

금강수질자료를 이용한 군집분석 및 요인분석

임 창 수 *

1. 서론

인구의 증가와 각종 산업의 발달로 인하여 하수와 산업폐수가 다량으로 도시유역하천으로부터 유입되고, 또한 농경지나 산지 등으로부터 오염물질이 하천으로 유입되어 하천의 자정능력범위를 초과하게 되면, 수질의 오염도가 증가하게 된다. 이와 같이 각 지류로부터 하천본류로 유입되는 오염물질은 지류유역의 특성 즉 토지이용 조건, 인구밀도 및 산업조건 등에 따라 상이하게 다르다. 따라서 여러 지류 및 본류지점에 위치한 수질관측 지점으로부터 측정되어진 수질자료들을 이용하여 다변량 수질분석을 실시함으로써 전반적인 각 수질관측 지점간의 수질특성을 파악할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 첫 번째로 금강 대청댐 하류구간의 주요 본류 및 지류에 위치한 14곳의 수질관측지점의 수질변수를 이용한 군집분석을 실시하여 서로 비슷한 수질특성을 가지고 있는 관측지점을 몇 개의 군집으로 군집화하였다. 또한 서로 다른 군집으로 분류된 수질관측지점들에 대한 요인분석(Anderson, 1986)을 실시하여 각기 서로 다른 수질특성을 보이는 요인을 알아보았다. 따라서 본 연구의 결과는 금강 대청댐 하류 지점에 위치한 기존의 수질관측 지점간의 수질특성 연구에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 조사방법

2.1 조사지점

본 연구를 위하여 선정된 지역은 대청댐으로부터 금강하구둑까지로서, 유로연장은 약 150 km 정도이고, 면적은 약 5,710 km² 이다. 이는 전체 금강유역의 58% 정도에 해당한다. 금강하류수역은 하천지형학적으로 완만한 하천 경사를 지니고, 상류지역에 비하여 넓은 하폭과 비사행적인 특성을 지닌다. 주요지류로는 상류로부터 갑천, 미호천, 유구천, 지천, 논산천 등이 있으며 가장 큰 유역면적을 가진 하천은 미호천으로서 유역면적은 약 1,860 km² 정도이다. 지류별 유역특성으로는, 갑천과 미호천이 대전시와 청주시를 관통하여 흐르는 도시유역의 특성을 지니고 있으며, 이 두 유역으로부터 유입량이 대청댐 하류의 수질악화에 중요한 요인중의 하나로 여겨지며, 논산천을 제외한 다른 지류와 다른 수질특성이 존재하는 것으로 사료되며, 또한 본류와 지류 사이에도 서로 다른 수질특성이 있음을 보여주었다.

2.2 수질자료

본 연구를 위하여 사용되어진 수질자료는 환경부(1997)에서 관리하는 수질관측점의 월별 수질자료로서 대청댐 하류 유역의 본류 및 지류에 위치한 수질관측 지점의 월별자료를 이용하였으며 자료의 기간은 1994년 1월부터 1998년 1월까지이다. 선택되어진 금강 대청댐하류의 14곳의 수질관측 지점들(현도, 부강, 금남, 진두, 규암, 반조원, 강정, 갑천, 미호천, 유구천, 지천, 금천, 논산천, 길산천)은 Fig. 1에 나타나 있다.

* 청운대학교 토목환경공학과 전임강사

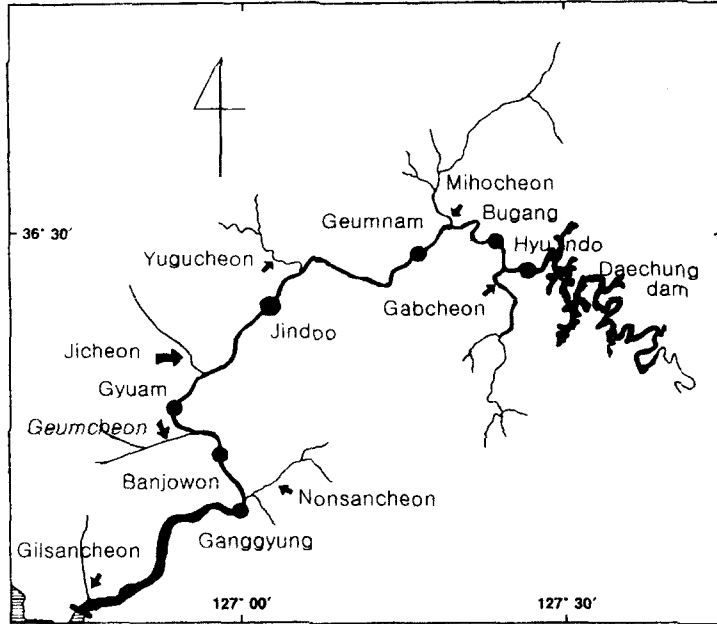


Fig. 1. Sampling stations at the downstream of Geum-river from Daechung dam

분석에 이용된 수질자료는 8개의 기초 수질자료로서 즉, 용존산소, 생물화학적산소요구량, 화학적산소요구량, 부유물질, 총대장균군수, 총질소, 총인, 전기전도도이다.

2.3 군집 및 요인분석

본 연구에서는 금강 대청댐 하류구간의 주요 분류 및 지류관측지점에서의 수질변수를 이용한 군집분석(Johnson과 Wichern, 1988)을 실시하여 서로 비슷한 수질특성을 가지고 있는 관측지점을 군집화하였으며, 또한 가장 수질특성이 다른 군집으로 분류된 수질관측지점을 선정하여 수질관측지점의 수질요인을 비교·분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수질변수들의 평균값 비교

각기 다른 수질관측점에서 측정된 수질변수들의 평균값을 비교한 결과에 의하면 현도와 유구천 그리고 지천의 수질이 다른 지점과 비교하여 양호한 것으로 나타났으며, 갑천과 미호천의 경우에는 모든 수질측정값들에 있어서 다른 수질관측점보다 좋지 않은 수질상태를 보여주고 있다. 또한 모든 수질변수들에 있어서 지류의 평균수치가 본류의 수치보다 큰 값을 보여주고 있다 (Table 1).

3.2 수질관측지점의 군집화

Table 2는 SPSS를 운영하여 얻어진 14곳의 수질관측 지점간의 Euclidean distance 행렬을 보여주고 있으며, 진두와 반조원 간의 Euclidean distance (d_{kl})가 가장 작으며, 갑천과 유구천 사이의 Euclidean distance (d_{kl})가 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 14 곳의 수질관측지점 중에서 갑

Table 1. The average values of water quality variables in the sampling stations

Sampling station	DO	BOD	COD	SS	TC	TN	TP	SC
Hyundo	8.984	1.282	2.882	4.643	58	1.880	0.078	127.4
Bugang	8.457	3.816	5.480	9.116	7095	4.261	0.185	265.0
Geumnam	8.271	3.886	6.247	12.541	3134	4.214	0.142	299.8
Jindoo	9.090	3.861	5.859	11.612	760	3.915	0.158	277.1
Gyuam	8.827	3.739	5.671	10.273	1088	3.898	0.163	272.7
Banjowon	9.153	3.698	5.831	12.086	718	3.873	0.134	274.3
Ganggyung	8.878	3.918	6.553	13.769	2106	3.485	0.142	278.3
Gabcheon	6.804	10.333	11.506	14.953	324419	9.548	0.517	497.4
Mihocheon	7.631	5.345	8.169	16.159	14946	5.723	0.294	474.1
Yugucheon	10.245	1.971	2.563	3.871	656	1.947	0.044	164.6
Jicheon	10.910	2.571	2.996	4.739	457	2.048	0.069	187.1
Geumcheon	9.694	3.716	5.500	16.655	4225	2.463	0.101	229.1
Nonsancheon	9.155	2.010	3.422	8.061	729	2.549	0.094	198.6
Gilsancheon	9.753	4.618	6.606	20.153	2793	2.319	0.116	274.5

DO : Dissolved Oxygen (mg/l); BOD : Biochemical Oxygen Demand (mg/l); COD : Chemical Oxygen Demand (mg/l); SS : Suspended Solid (mg/l); TC : Total Coliform (MPN/100ml); TN : Total Nitrogen (mg/l); TP : Total Phosphorus (mg/l); SC : Specific Conductance (micromhos/cm)

Table 2. The Euclidean distance matrix of 14 sampling stations using monthly water quality data

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	2.769												
3	3.315	0.935											
4	2.938	0.872	0.883										
5	2.744	0.518	0.832	0.391									
6	2.895	1.039	0.933	0.246	0.548								
7	3.235	1.256	0.774	0.622	0.858	0.580							
8	9.746	7.278	7.120	7.463	7.468	7.606	7.405						
9	5.831	3.156	2.662	3.169	3.209	3.289	3.009	5.308					
10	1.359	3.173	3.698	3.087	3.005	3.018	3.463	10.008	6.139				
11	2.045	3.256	3.750	3.014	3.012	2.949	3.407	9.865	6.049	0.807			
12	3.179	2.284	2.012	1.547	1.834	1.386	1.334	8.305	4.085	3.163	3.002		
13	1.132	1.921	2.360	1.914	1.777	1.848	2.227	9.001	4.875	1.533	1.888	2.204	
14	4.205	2.881	2.368	2.105	2.444	1.991	1.705	7.963	3.774	4.158	3.914	1.060	3.214

- 1) Hyundo 2) Bugang 3) Geumnam 4) Jindoo 5) Gyuam 6) Banjowon
 7) Ganggyung 8) Gabcheon 9) Mihocheon 10) Yugucheon 11) Gicheon
 12) Geumcheon 13) Nonsancheon 14) Gilsancheon

천과 유구천의 수질특성이 가장 다르며, 진두와 반조원 사이의 수질특성이 가장 유사하다는 것을 보여준다. 또한 대청댐하류 지역 중 오염부하량이 클 것으로 사료되는 갑천과 미호천은 유구천과 가장 다른 수질특성을 보여주고 있으며, 갑천의 수질과 다른 지점들의 수질과 비교하였을 때 미호천의 수질이 가장 근사한 것으로 나타났다. 유구천과 다른 지점의 수질과 비교하였을 때는 지천의 수질이 가장 근사한 것으로 나타났다.

Table 3에서는 14곳의 수질관측 지점의 cluster membership을 보여주고 있다. 본 연구에서는 너무 세분하여 수질관측지점을 수질특성별로 분류하여 군집화하는 경우 군집분석의 의미가 상실

Table 3. Cluster membership between water quality sampling stations

Sampling station	Number of Clusters					
	7	6	5	4	3	2
Hyundo	1	1	1	1	1	1
Bugang	2	2	2	2	1	1
Geumnam	2	2	2	2	1	1
Jindoo	2	2	2	2	1	1
Gyuam	2	2	2	2	1	1
Banjowon	2	2	2	2	1	1
Ganggyung	2	2	2	2	1	1
Gabcheon	3	3	3	3	2	2
Mihocheon	4	4	4	4	3	1
Yugucheon	5	5	5	1	1	1
Jicheon	5	5	5	1	1	1
Geumcheon	6	6	2	2	1	1
Nonsancheon	7	1	1	1	1	1
Gilsancheon	6	6	2	2	1	1

된다는 점을 고려하여 2~7개의 군집만을 예시하였다. 2개의 군집으로 분류하였을 경우에 갑천만이 다른 수질특성을 보였으며 3개의 군집으로 분류하였을 경우에는 갑천과 미호천이 그 외 12 수질관측지점의 수질과 상이한 특성을 보였다. 4개 이상의 수질특성 군집으로 분류하였을 경우에 금강본류에 위치한 수질관측지점 중 현도를 제외한 부강, 금남, 진두, 규암, 반조원 그리고 강경지점이 같은 수질특성으로 군집되어졌다. 이는 대청댐 직하류에 위치한 현도지점의 수질특성이 현도지점 하류에 위치한 다른 본류수질관측점의 수질특성과 상이함을 보여주며, 이는 현도지점이 대청댐 직하류에 위치하며, 상류에 갑천이나 미호천과 같은 많은 오염원을 유출하는 지류유역이 존재하지 않기 때문으로 사료된다. 또한 7개의 군집으로 분류하였을 경우에도 현도와 갑천 미호천, 논산천은 다른 지점의 수질과 다른 특성을 보였으며, 유구천과 지천이 같은 수질특성을 보였고, 금천과 길산천 역시 같은 수질특성을 보여주었다. 실험구간에서의 전반적인 수질특성을 검토한 바에 의하면, 금강본류와 지류 사이에는 서로 다른 수질특성을 보이고 있음을 알 수 있었다.

3.3 군집분석 결과에 따른 요인분석

군집분석 결과에 의하면 갑천과 유구천이 가장 다른 수질특성을 보여주었다. 따라서 이 두 하천(갑천, 유구천)의 수질특성을 알아보기 위하여 요인분석을 실시하였다. 수질자료를 이용한 요인분석을 수행하기 위하여 필요한 가정한 자료의 정규분포성을 만족시키기 위하여 자료를 로그변형을 수행하였다 (Table 4). 두 하천에서의 수질변수의 기본적인 통계자료를 조사한 결과 자료가 대체로 양의 왜곡도를 보여주고 있었다.

갑천유역은 인구 약 126만 명중 약 125만 명이 도시에 거주하고, 면적이 약 652 km² 정도인 도시유역이며, 유구천유역은 인구 약 2만 6천 명중 약 만 7천명이 농촌에 거주하고 있는 면적이 약 340 km²인 농촌유역이다. 따라서, 갑천과 유구천의 수질자료를 이용하여 각기 다른 하천의 수질특성을 알아보기 위한 요인분석을 실시하였다.

Table 5와 Table 6은 갑천과 유구천에서의 세 다른 요인에 대한 각각의 요인적재량 (factor loadings)과 공통성(communality) 그리고 아이겐 값 (eigen value)을 보여주고 있다. 아이겐 값은 특정요인에 적재된 모든 변수의 적재량을 제공하여 합한 값이며, 이는 특정요인이 설명해주는 총 분산을 의미한다. 이 값이 클수록 해당 요인이 설명력이 큰 것이다.

Table 4. The skewness coefficients of water quality variables used for factor analysis on Gabcheon and Yugucheon

Sampling station	DO	BOD	COD	SS	TC	TN	TP	SC
Gabcheon	0.034	-0.190	-0.093	-0.003	-0.849	0.153	-0.413	-0.046
Yugucheon	0.169	0.088	-0.020	-0.134	0.404	-0.433	0.693	-0.159

DO : Dissolved Oxygen (mg/l); BOD : Biochemical Oxygen Demand (mg/l); COD : Chemical Oxygen Demand (mg/l); SS : Suspended Solid (mg/l); TC : Total Coliform (MPN/100ml); TN : Total Nitrogen (mg/l); TP : Total Phosphorus (mg/l); SC : Specific Conductance (micromhos/cm)

Table 5. Factor loadings and communality at Gabcheon

Water quality variable	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	COMMUNALITY
COD	0.87806	0.11649	0.25146	0.84779
SC	0.81475	-0.02256	-0.24236	0.72307
BOD	0.79698	0.28677	0.19944	0.75719
TC	-0.18843	0.93502	0.02890	0.91060
TP	0.29860	0.87984	-0.11079	0.87555
TN	0.53690	0.75990	-0.08813	0.87347
SS	-0.13637	-0.00469	0.83103	0.70924
DO	-0.36002	0.11610	-0.69323	0.62366
Eigen value	3.268	1.830	1.221	

Table 6. Factor loadings and communality at Yugucheon

Water quality variable	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	COMMUNALITY
TP	0.89719	0.01253	-0.12700	0.82123
COD	0.80194	0.05048	-0.02256	0.64617
SS	0.79206	-0.32949	0.12405	0.75131
SC	-0.63184	-0.12975	0.42803	0.59926
DO	-0.65550	0.36950	-0.31578	0.66592
TN	0.13568	0.85825	-0.01942	0.75539
BOD	-0.23271	0.74760	-0.07194	0.61824
TC	-0.00635	-0.04215	0.94069	0.88671
Eigen value	3.095	1.682	0.966	

갑천과 유구천에서의 각 요인에 대한 요인 적재량을 검토한 결과에 의하면, 두 유역 사이에는 각각의 수질관측점 특성에 따른 나름대로의 수질특성을 보이고 있었다. 두 수질관측점에서의 전반적인 수질상태는 군집분석에 의한 결과와 14곳의 수질관측지점에서의 평균수질값을 비교한 결과에 의하면 갑천의 수질이 가장 나쁜 상태이고 유구천이 가장 양호한 수질을 보이고 있는 것으로 사료된다. 갑천에서는 화학적산소요구량, 전기전도도 그리고 생물화학적산소요구량이 첫 번째 요인에 포함되어져 있는데 이것은 산업폐수나 도시지역생활하수에 기인한 것으로 보이며, 전기전도도와 높은 상관관계를 보임으로서 수중에 용해된 물질과 연관되어져 있는 것으로 사료된다. 두 번째 요인으로 총대장균군수, 총인, 총질소가 묶여져 있는데, 이 세 수질변수는 갑천이 많은 인구를 포함하고 있는 도시유역하천이라는 것을 감안할 때 주로 생활하수에 의한 수질오염요인에 기인하는

것으로 사료된다. 따라서, 도시유역으로부터의 오염원의 효과적 저감을 위해서는 도시생활하수 및 산업폐수의 효과적 처리가 필수적이라 할 수 있다. 세 번째 요인으로서 부유물질과 용존산소가 서로 높은 상관을 보이고 있는데 이는 강우 발생시 도시유역으로부터 하천으로 유입된 부유물질과 그에 따른 수중의 용존산소의 변화에 관련되어져 있는 것으로 사료된다.

유구천의 경우에는 첫 번째 요인에 총인, 화학적산소요구량, 부유물질과 전기전도도, 용존산소가 포함되어져 있어, 강우에 따른 농촌유역으로부터의 유사의 유입과 총인의 유입 그리고 그에 따른 용존산소의 변화요인을 가지고 있는 것으로 사료된다. 두 번째 요인으로는 총질소와 생물화학적산소요구량이 포함되어져 있는데, 이는 하천의 질소화합물의 산화분해과정 요인으로 고려되며, 세 번째 요인인 대장균군은 유구천에서 주로 생활하수와 가축으로부터 배출되는 각종 분뇨에 의한 수질오염요인인 것으로 사료된다.

4. 결론

금강 대청댐하류 14곳의 수질관측 지점의 수질특성에 따른 군집화 경향을 알아보기 위하여 군집분석을 실시하였다. 군집분석 결과에 의하면 갑천과 유구천이 가장 다른 수질특성을 보였다. 따라서 이 두하천 (갑천, 유구천)의 수질특성을 알아보기 위하여 요인분석을 실시하였다.

대상지역에서의 전반적인 수질특성을 검토한 바에 의하면, 금강본류와 지류 사이에는 서로 다른 수질특성을 보이고 있음을 알 수 있었다. 금강 본류에 위치한 수질관측점들 사이에는 현도를 제외하고는 유사한 수질특성을 보였다. 현도지점이 양호한 수질을 보이고 있는 이유는 대청댐 직하류에 위치하며, 상류에 갑천이나 미호천과 같은 많은 오염원을 유출하는 지류유역이 존재하지 않기 때문으로 사료된다.

분석결과에 의하면 지류 수질관측점들 간에는 갑천과 미호천에서 유사한 수질특성을 보이고 있다. 또한 14곳의 수질관측점 중에서 갑천과 유구천의 수질특성이 가장 다른 것으로 나타났다. 두 수질관측점에서의 전반적인 수질상태는 군집분석에 의한 결과와 14곳의 수질관측지점에서의 평균수질값을 비교한 결과에 의하면 갑천의 수질이 가장 나쁜 상태이고 유구천이 가장 양호한 수질을 보이고 있는 것으로 사료된다.

갑천과 유구천에서의 각 요인에 대한 요인적재량을 검토한 결과에 의하면, 갑천에서의 수질특성은 갑천이 많은 인구를 포함하고 있는 도시유역하천이라는 것을 감안할 때 주로 산업폐수나 도시지역생활하수 등에 기인한 수질오염물질의 유입에 따른 것으로 판단되며, 유구천의 경우에는 농촌지역으로부터의 유사의 유입과 총인의 유입 그리고 생활하수와 가축으로부터 배출되는 각종 분뇨에 의한 수질오염요인인 것으로 사료된다.

5. 참고문헌

1. Anderson, T.W. (1986). An Introduction to Multivariate Statistical Analysis, West Publishing Company, New York.
2. 환경부 (1997). 수질측정망 운영계획.
3. Johnson, R.A., and Wichern, D.W. (1988). Applied Multivariate Statistical Analysis, 2nd ed., Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.