

유역 토지이용과 저수지 수질의 상관관계 분석

윤동균^{*} · 정상옥^{**}

^{*}한국농촌공사 포항지사
^{**}경북대학교 농업토목공학과

Correlation Analysis of Reservoir Water Quality with respect to Land Use Types of Watersheds

Youn, Dong-Koun^{*} · Chung, Sang-Ok^{**}

Abstract

The objective of this study was to present regression equations between reservoir water quality and land use types of the watersheds. In order to derive regression equations, a multiple linear regression analysis was used using observed data from 88 reservoirs in the Kyungpook Province. The measured values of BOD, COD, T-N, and T-P were correlated with the areas of land use types. 23 regression equations were obtained for all the water quality items and watershed sizes. The results showed that 2 regression equations have the multiple correlation coefficient(MCC) above 0.90, 10 regression equations have the MCC values from 0.70 to 0.90, 9 equations have the MCC from 0.40 to 0.70, and 2 equations have the MCC from 0.20 to 0.40. The results of this study can be used to estimate reservoir water quality simply and quickly in the planning phase.

Key words : reservoir, water quality, multiple regression analysis, BOD, COD, T-N, T-P

서론

우리나라 전체 농업용 수리시설은 총 67,481 개소이며, 이 중 농업용 저수지는 전체의 26.5%를 차지한다. 수혜면적은 전체 8,287 km²의 61.9%인 5,082 km²를 농업용 저수지가 차지하고 있다. 수리시설의 지역별 분포를 보면 대구를 포함한 경상북도가 전체의 23.9%인 16,146 개소로 가장 많은 수리시설을 가지고 있으며, 저수지 또한 5,809 개소로 전체 농업용 저수지의 32.7%를 가지고 있어 비교적 풍부한 수자원을

을 가지고 있다고 할 수 있겠다((Ministry of Agriculture and Forestry · KARICO, 2004)). 그러나 경상북도를 비롯한 우리나라 대부분의 저수지는 점원 및 비점원 오염 물질의 지속적인 유입으로 인해 저수지 수질은 점점 더 악화되고 있어 하루 하천 수질에 직접적으로 영향을 미칠 뿐만 아니라 수서 생태계의 파괴, 수혜지구의 재배작물의 질적 및 양적인 감소를 초래하고 있다.

특히, 우리나라 농촌 저수지 유역의 비점원 오염의 경우 동일한 토지이용형태의 밀집과 강우의 집중 및

지형적인 특성 등으로 인하여 일시에 자정능력을 초과하는 다량의 오염물질이 저수지로 유입되어 저수지 본래의 기능을 상실하게 한다. 따라서 농촌 수자원 개발 및 유지·관리를 위한 정책 제안 및 설계 단계에서 이들 비점원 오염의 지역적인 특성을 고려한 신속한 예측 및 그에 대한 대책의 수립은 필수적이다.

비점원 오염의 예측을 위한 다수의 모형들은 이미 일부 선진국들에서 개발하여 광범위하게 이용되고 있으며, 국내 적용성 또한 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다. 그러나 입력 매개변수들에 대한 자료구축과 모형의 복잡성 등으로 인하여 정책 제안 및 설계 단계에서 활용하기에는 시간적 및 경제적인 한계가 있다.

저수지 수질 오염은 오염 성분이 각각 독립적으로 반응을 하는 것이 아니라 주변 환경 여건 및 여러 성분들간에 서로 영향을 주고받는 매우 복잡한 메커니즘을 나타낸다. 따라서 저수지 수질의 개선 및 관리를 위해서는 지속적인 모니터링 및 관련 연구를 병행하여야 할 것이다.

저수지 수질과 관련한 연구를 살펴보면, 문 (2004)은 우리나라 농업용 저수지의 물리적 인자와 수질모니터링 결과를 이용하여 농업용 저수지의 물리적 특성을 분석하고, 수질항목간 상관성과 물리적 인자가 수질에 미치는 영향에 대하여 관찰하였다. 박과 박 (2004)은 남한강 유역에 위치한 용담천과 죽당천 유역을 대상으로 토지이용과 수질 항목간의 회귀식을 유도하였다. 토지이용과 BOD, T-N, T-P 각각에 대하여 유도된 회귀식의 상관계수는 0.9 이상임을 나타내었다. 정과 정 (2003)은 7개 다목적 댐에 대한 홍수조절용지내의 경작실태 및 비점원오염부하량에 대하여 연구하였으며, 그 결과 환경부 비점오염원단위를 기준으로 할 때 7개 댐 홍수조절용지 경작지 비점오염부하가 전체 유역 부하에 기여하는 비율은 3개 수질항목 (BOD, T-N, T-P) 모두 0.2% 이하로 나타났다.

Shumji (1999)는 한국 4대 하천의 댐지점 수질데이터를 정리하여 수질항목간의 상관관계를 조사하였다. 조사 결과 COD와 TN 사이에는 약한 정의 상관관계, COD와 N/P 사이에는 4대 하천수계 모두 상관성이 없었고, COD와 SS 사이에는 각 수계가 정의 상관

관계를 나타내었다. 또한 낙동강 수역의 COD가 SS의 영향을 가장 받기 쉬우며, 이하 영산강, 한강, 금강 수계의 저수지 순으로 나타났다. BOD와 TN 사이에는 약한 정의 상관관계, BOD와 N 및 P 사이에는 모두 상관성이 없었고, BOD와 SS 사이에는 한강, 낙동강 수계의 저수지가 정의 상관관계를 나타내었다. 박 등 (1994)은 한강지천 총 94개 지점의 갈수기, 평수기, 풍수기 때의 수질과 도시, 녹지, 농지, 임야로 구분한 토지이용간의 관계에 대하여 회귀식을 도출하였다. 조사 결과 BOD에 대한 회귀식의 다중 상관계수는 0.51~0.67이었으며, SS에 대한 회귀식의 다중 상관계수는 0.57~0.63으로 나타내었다. 음이온성 계면활성제에 대한 회귀식의 다중 상관계수는 0.40~0.61로 나타났으며, EC에 대한 다중 상관계수의 값은 0.83~0.88로 나타나, 대부분 '비교적 높은 상관관계'의 범위에 포함되는 것으로 나타내었다.

이상의 연구를 살펴보면, 대부분이 하천 수질과 관련한 연구이며, 하천 수질과 유역 토지이용과의 통계적 모형 연구에 비하여 농업용 저수지 유역의 토지이용과 저수지 수질에 대한 자료는 극히 미비한 실정이다. 저수지의 수질관리를 위해서는 지속적인 연구에 의한 유역내의 오염물질의 정확한 평가가 필요하며, 장기적인 수질 보전대책을 위해서는 하천뿐 아니라 농업용 저수지에 대해서도 모니터링과 모델링을 통한 예측이 필수적이라 할 수 있겠다.

따라서 본 고에서는 저수지로 유입되는 수질의 예측을 위하여 대구를 포함한 경상북도의 88개 농업용 저수지를 선정하여 토지 이용 형태와 수질과의 상관관계를 분석하여 유역 면적별 회귀식을 제시하였다. 본 연구 결과는 효율적인 비점원 오염 관리를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

조사지역 및 분석방법

1. 조사 지역

대상 지역은 한국농촌공사에서 환경부 수질측정망 구축의 일환으로 운영하고 있는 농업용수 수질 측정망 조사 지점 중 대구를 포함한 경상북도의 88개 농업

용 저수지를 선정하였다. 수질자료는 1997년부터 2004년까지 관측된 BOD, COD, T-N, T-P 값을 이용하였으며, 각 저수지에 대한 유역 토지 이용 현황은 1:5,000 지형도와 현지조사를 병행하였다.

저수지의 유역 면적은 500 ha 미만이 15 개소, 500 ~ 1,000 ha 가 22 개소, 1,000 ~ 2,000 ha 가 25 개소, 2,000 ~ 3,000 ha 가 13 개소, 3,000 ha 이상이 13 개소로 조사되었다. Fig. 1은 조사 대상 저수지의 위치를 나타낸다.

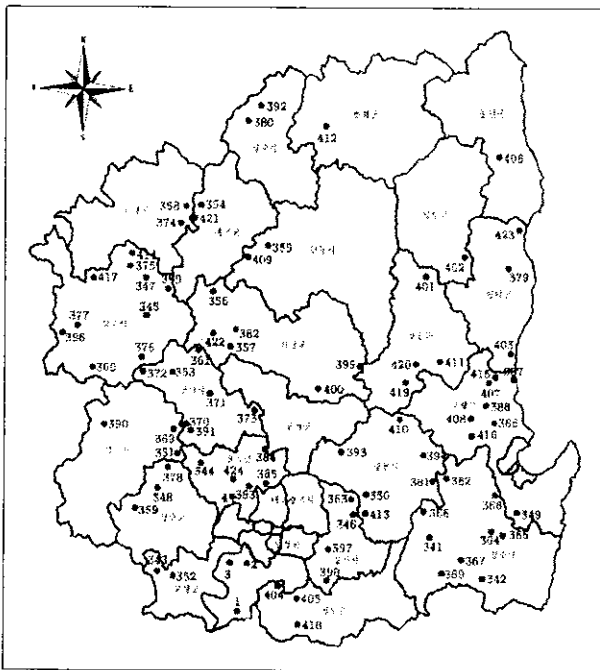


Fig 1. Location map of studied reservoirs

2. 자료 분석방법

회귀분석 (regression analysis) 이란 1개의 종속변수와 1개 혹은 그 이상의 독립변수간의 관계식을 도출하는 통계학적 방법으로 일단 관계식이 얻어지면 임의의 독립변수에 대응되는 종속변수를 추정할 수 있게 된다. 회귀분석은 종속변수와 독립변수간의 관계가 선형인가 혹은 비선형인가에 따라 선형 회귀분석 (linear regression analysis) 과 비선형 회귀분석 (nonlinear regression analysis) 으로 나누며 수문학에서의 확률론적 해석에서는 일반적으로 선형 회귀분석을 주로 사용한다.

선형 회귀분석은 다시 독립변수의 개수에 따라 단

순 선형 회귀분석 (simple linear regression analysis) 과 다중 선형 회귀분석 (multiple linear regression analysis) 으로 구분하며, 본 고에서는 토지 이용 형태를 독립변수로 하였기에 다중 선형 회귀분석 방법을 적용하였다. 회귀식의 유의수준을 향상하기 위하여 독립변수의 각 단계별 선정은 전방 진입법 (forward selection) 에 의해 유의수준 0.05 이하를 채택하고, 각 단계에서 선정된 변수를 다시 후방 제거법 (backward elimination) 에 의해 유의수준 0.10 이상의 변수가 발견되면 그 변수를 제거하면서 회귀분석을 실시하는 단계적 방법 (stepwies) 을 사용하였다.

저수지 유역은 크게 전 (X1), 담 (X2), 임야 (X3) 및 대지를 포함한 기타 (X4) 지역으로 구분하고, 각 토지 이용 형태를 독립변수로 채택하였으며, 수질 측정항목인 BOD, COD, T-N, T-P 를 종속변수로 하였다. 수질에 대한 토지 이용 형태별 회귀식을 도출하기 위하여 전체 저수지 유역의 크기를 소규모 (500 ha 미만, 500 ~ 1,000 ha), 중규모 (1,000 ~ 3,000 ha), 대규모 (3,000 ha 이상) 로 구분하였으며, 각 유역 크기에 대한 구성 면적별로 회귀식을 산정하였다.

도출된 회귀식의 검정에 사용한 통계학적 지표는 독립변수와 종속변수 간의 관련성의 방향과 정도를 정량적으로 표현하는 다중 상관계수 (multiple correlation coefficient, MCC) 와 평균 오차 (mean error, ME), 제곱근 평균 제곱 오차 (root mean square error, RMSE) 이다. 여기서 MCC 의 절대치가 클수록 독립변수와 종속변수 사이의 직선관계의 정도가 강하다는 것을 뜻하며, 이는 독립변수들이 종속변수들을 잘 표현한다는 것을 뜻한다. 대체로 $MCC < 0.20$ 일 때는 '아주 낮은 관계', $0.20 \leq MCC < 0.40$ 의 범위는 '낮은 관계', $0.40 \leq MCC < 0.70$ 의 범위는 '비교적 높은 관계', $0.70 \leq MCC < 0.90$ 의 범위는 '높은 관계', 그리고 $MCC > 0.90$ 은 '아주 높은 관계' 라고 한다 (김과 허, 2004).

결과 및 고찰

다중선형 회귀분석은 수질항목과 토지이용 형태에

대하여 하였다. 유역면적의 영향을 고려하기 위하여 유역의 크기를 500 ha 이하, 500 ha ~ 1,000 ha, 1,000 ha ~ 2,000 ha, 2,000 ha ~ 3,000 ha, 3,000 ha 이상으로 구분하였다. 다중회귀식은 대상저수지 88개 전체에 대하여와 각 유역 크기 범위에 대하여 도출하였다. Table 1 은 분석 결과인 회귀식을 보여주고 있다.

저수지 유역의 토지이용에 따른 저수지 수질을 다중 선형 회귀분석한 결과, '낮은 상관관계'의 범위에 포함되는 회귀식은 2 개로 나타났으며, '비교적 높은 관계'가 9 개, '높은 관계'가 10 개, '아주 높은 관계'가 2개, 회귀식이 유도되지 않은 것이 1 개로 나타났다.

회귀식에 영향을 끼치는 인자들을 살펴보면, 밭 면적 (X1) 이 4 개의 회귀식에 영향을 끼치며, 논 면적 (X2) 은 4 개의 회귀식, 임야 면적 (X3) 는 5 개의 회귀

식, 그리고 대지를 포함한 기타 면적 (X4) 은 1 개의 회귀식에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 그리고 논 면적 (X2) 과 임야 면적 (X3) 이 복합적으로 영향을 끼치는 회귀식의 개수는 6 개로 나타났으며, 논 면적 (X2), 임야 면적 (X3) 및 기타 면적 (X4) 이 복합적으로 영향을 끼치는 회귀식은 3 개로 나타났다.

BOD 항목에 대한 유역크기별 회귀식을 도출한 결과, 유역면적이 2,000 ~ 3,000 ha 의 범위에 대한 MCC 가 가장 높은 0.940 로 나타났다. 유역크기별 회귀식에서 논 면적 (X2) 이 다른 독립변수에 비하여 상관관계가 높은 것으로 분석 되었으며, 유역면적 500 ha 이하의 경우에는 임야 면적 (X3) 만이 독립변수로 채택되었고, 500 ~ 1,000 ha 의 경우에는 논 면적 (X2) 만이 독립변수로 채택되었다.

Table 1. Obtained regression equations with respect to land use areas

구 분		회 귀 식	MCC	RMSE(mg/L)
BOD	전 체	$Y_B = 2.751 + 0.00367 X_2 - 0.00033 X_3$	0.444	1.0306
	500ha 이하	$Y_B = 5.294 - 0.0096 X_3$	0.857	0.6520
	500ha ~ 1,000ha	$Y_B = 1.964 + 0.0164 X_2$	0.623	0.9891
	1,000ha ~ 2,000ha	$Y_B = 5.163 + 0.0141 X_2 - 0.0022 X_3 - 0.0095 X_4$	0.748	0.8654
	2,000ha ~ 3,000ha	$Y_B = -0.618 + 0.009391 X_2 + 0.000796 X_3$	0.940	0.3302
	3,000ha 이상	$Y_B = 2.866 + 0.001405 X_2 - 0.00015 X_3 - 0.00081 X_4$	0.922	0.2147
COD	전 체	$Y_C = 6.207 + 0.00604 X_2 - 0.00068 X_3$	0.493	1.7456
	500ha 이하	$Y_C = 9.995 - 0.0140 X_3$	0.710	1.5960
	500ha ~ 1,000ha	$Y_C = 8.569 + 0.01342 X_2 - 0.0027 X_3$	0.730	1.4328
	1,000ha ~ 2,000ha	$Y_C = 8.569 + 0.01342 X_2 - 0.0027 X_3$	0.730	1.4328
	2,000ha ~ 3,000ha	$Y_C = 2.622 + 0.01511 X_2$	0.849	1.0110
	3,000ha 이상	$Y_C = 5.590 - 0.00019 X_3$	0.733	0.6482
T-N	전 체	$Y_N = 1.281 + 0.001027 X_1$	0.227	0.4826
	500ha 이하	$Y_N = 1.998 - 0.0032 X_3$	0.587	0.4m06
	500ha ~ 1,000ha	$Y_N = 1.086 + 0.00773 X_1$	0.544	0.3973
	1,000ha ~ 2,000ha	$Y_N = 1.187 + 0.00435 X_1$	0.435	0.3993
	2,000ha ~ 3,000ha	$Y_N = 0.912 + 0.00468 X_1$	0.739	0.3603
	3,000ha 이상	-	-	-
T-P	전 체	$Y_P = 0.0401 + 0.00006 X_2 - 0.0000042 X_3$	0.392	0.0182
	500ha 이하	$Y_P = 0.0798 - 0.00015 X_3$	0.665	0.0188
	500ha ~ 1,000ha	$Y_P = 0.0330 + 0.000219 X_2$	0.533	0.0168
	1,000ha ~ 2,000ha	$Y_P = 0.0731 + 0.00025 X_2 - 0.000032 X_3 - 0.00015 X_4$	0.848	0.0104
	2,000ha ~ 3,000ha	$Y_P = 0.01459 + 0.0001266 X_2$	0.761	0.0116
	3,000ha 이상	$Y_P = 0.02715 + 0.0000269 X_4$	0.673	0.0099

주) 첨자 B, C, N, P 는 각각 BOD, COD, T-N, T-P 를 나타냄.
X1, X2, X3, X4 는 각각 전, 담, 임야, 대지를 포함한 기타 지역의 면적 및 구성 비율을 나타내는 독립 변수를 나타냄.

COD 항목에 대한 유역크기별 회귀식을 도출한 결과, 2,000 ~ 3,000 ha의 범위에 대한 MCC가 가장 높은 0.849로 나타났다. 유역크기별 회귀식에서 논 면적(X2)이 다른 독립변수에 비하여 상관관계가 높은 것으로 분석되었으며, 유역면적 500 ha 이하의 경우 T-N 항목에 대한 유역크기별 회귀식을 도출한 결과, BOD 및 COD와 마찬가지로 2,000 ~ 3,000 ha의 범위에서 MCC가 0.793로서 가장 높게 나타났으며, '높은 관계'의 범위에 포함되었다. T-N 항목에 대해서 다중회귀분석 결과 500 ha 이하에서는 임야 면적(X3)만이 독립변수로 채택되었고, 이를 제외한 전체, 500 ~ 1,000 ha, 1,000 ~ 2,000 ha, 2,000 ~ 3,000 ha의 회귀식은 모두 밭 면적(X1)이 독립변수로 채택되었다. 3,000 ha 이상의 범위인 저수지의 토지이용에 대한 회귀식의 경우 변수 채택 및 제거 과정에서 모두 소거되어 유도되지 않았다.

T-P 항목에 대한 유역크기별 회귀식을 도출한 결과, 1,000 ~ 2,000 ha의 범위에 대한 MCC가 가장 높은 0.848로 나타났다. 유역크기별 회귀식에서 담(X2)가 다른 독립변수에 비하여 상관관계가 높은 것으로 분석되었으며, 유역면적 500 ~ 1,000 ha과 2,000 ~ 3,000 ha의 경우 저수지의 토지이용 면적에 대한 회귀식에서 담(X2)만이 독립변수로 채택되었다. 3,000 ha 이상의 범위인 저수지의 토지이용에 대한 회귀식에서는 기타(X4)만이 독립변수로 채택되었다.

결 론

농촌 수자원 개발 및 유지·관리를 위한 정책 제안 및 설계 단계에서 비점원 오염의 지역적인 특성을 고려한 신속한 예측 및 그에 대한 대책수립은 필수적이다. 그러나 비점원 오염의 예측을 위한 대부분의 모형들은 입력 매개변수들에 대한 자료구축 및 모형의 복잡성 등으로 인하여 정책 제안 및 설계단계에서 채용하기에는 시간적 및 경제적인 한계가 있다.

따라서 본 고에서는 저수지로 유입되는 수질의 신속한 예측을 위하여 대구를 포함한 경상북도의 88

개 농업용 저수지에 대한 8개년의 수질자료를 통계학적 방법을 이용하여 유역 토지이용 형태와 저수지 수질과의 상관관계를 분석하였으며, 유역 면적의 크기별로 회귀식을 유도하였다. 저수지 유역의 토지이용에 따른 저수지 수질을 다중 선형 회귀분석한 결과, '낮은 상관관계'의 범위에 포함되는 회귀식은 2개로 나타났으며, '비교적 높은 관계'가 9개, '높은 관계'가 10개, '아주 높은 관계'가 2개로 나타났다.

본 연구를 기초로 하여 농업용 저수지 유역의 기상 및 토양, 지질학적 특성 등을 병행한 부가적인 연구 결과들이 축적된다면 앞으로 보다 정확하고 간편하게 농업용 저수지의 수질예측이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 김호정, 허진, 2004. 한글 SPSSWIN 10.0 통계분석 및 해설, 삼영사.
2. 농림부·농업기반공사, 1997~2004. 농업용수 수질측정망 조사 보고서.
3. 문영목, 2004. 우리나라 농업용수 수질변화 특성에 관한 연구, 석사학위논문, 한경대학교.
4. 박석순, 박배경, 이상호, 1994. 한강유역의 토지이용도에 따른 지천 수질 비교, 한국물환경학회 논문집, 10(1):10-16
5. 박연희, 박석순, 2004. 강우강도에 따른 토지이용별 비점오염원 부하량 산정 함수 연구, 대한환경공학회지, 26(10):1070-1078
6. 윤용남, 1998. 공업수문학, 청문각.
7. 정지은, 정상욱, 2003. 다목적댐 홍수조절용지 내 경작실태 및 비점원오염부하량 조사 분석, 한국관개배수, 10(1):44-52.
8. Shunji, Takeshita, 1999. Water quality characteristics of lakes in Japan and Korea, The 6th International Symposium on Environmental Issues and Alternatives for 21 Century, Environmental Science and Technology Institute, Kyungpook National University, pp.85-93