

수계 상하류의 유량 및 수질 상관관계 분석

장인수* · 정진경 · 박기범

충주대학교 환경공학부

(2010년 3월 8일 접수; 2010년 4월 1일 수정; 2010년 4월 8일 채택)

Analysis of Correlation Relationship for Flow and Water Quality at Up and Down Streams

In Soo Chang*, Jin Kyeng Jung, Ki Bum Park

Department of Environmental Engineering, Chungju national University, Chungju 380-702, Korea

(Manuscript received 8 March, 2010; revised 1 April, 2010; accepted 8 April, 2010)

Abstract

The prediction of discharge is very important in water resources management and plan. In this study, we have analyzed discharge data of site at up and down stream in watershed. In order to forecast discharge the regression equations were developed by measuring flow data. Also, to forecast the change of water quality followed by change of inflow the correlation relationship between inflow of the Youngchun site and the Chunhju dam was shown as very high. The forecast of inflow at the Chungju dam would be possible through flow analysis of the Youngchun site. And, it is possible to forecast water quality by flow analysis because the correlation relationship of SS and turbidity followed by change of flow for each station of investigation was very high.

Key Words : Discharge, Water quality, Correlation coefficient, Determination coefficient

1. 서론

현대사회에 있어서 물은 사람이 살아가는 데 있어 필수불가결하고 대체 불가능한 자원이며, 때로는 자연재해로 인간의 생명을 위협하는 대상이 되기도 한다. 이와 같은 물은 문명의 발달과 인구증가로 인해 자연에 있는 물을 마음대로 사용할 수 있는 자유재가 아니라 개발하고 관리하여야 하는 자원으로 보다 정밀하고 체계적인 관리가 요구되고 있다.

수자원 분야에서는 이수 혹은 치수문제에서 문제

해결을 위한 목적변수는 결국 하천 유량이므로 하천 유량 자료의 정확한 획득은 모든 수문분석에 있어서 기본적인 자료로 대단히 중요하다. 이수측면에서 유량관측은 각종 용수의 취수계획 수립, 댐계획 등에 필수적이며, 치수측면에서는 홍수방어, 치수시설물의 설계 및 시공 등에 기본 자료로 사용되고 있다.

특히, 댐의 안정적인 용수공급을 위한 유입량의 관측과 예측은 매우 중요한 항목으로 앞으로의 수자원 계획을 수립하는데 있어 매우 중요하며, 유량에 따른 수질의 변화가 어느 정도의 영향을 주는지 파악하는 것도 중요하다.

유량과 수질의 상관성에 대한 연구는 꾸준히 지속되어 오고 있으며, 한 등(2000) 관측유출량과 4가지 관측 수질인자간의 회귀모형을 구성하여 오염원 농도를 추정하는 연구를 하였으며, 천 등(2006)은 대청댐

*Corresponding Author : Ki Bum Park, Department of Environmental Engineering, Chungju national University, Chungju 380-702, Korea
Phone: +82-53-321-1517
E-mail: pkb5032@naver.com

의 유입량의 변화가 수질변화와 조류의 발생관계에 대하여 연구하여 유입량과 인(P)과의 상관성을 규명하였다. 사 등(2007)은 산지유역의 유량변동 관계를 통계학적인 분석을 통하여 유량과 T-N과의 상관성이 높은 것으로 분석된 바 있다. 한 등(2009)은 계절적인 유량변동과 토지이용 및 토지피복, 인구 등과의 상관 분석을 실시한 바 있다. 최 등(2002)는 유출량과 오염농도와의 관계와 유출량과 오염부하량의 상관관계를 통계적 기법을 통하여 분석한 바 있다. 김(2006)은 용담댐에서 유량과 수질자료로부터 유량과 부하량관계식을 유도한 바 있으며, Dolan 등(1981)은 유량과 인(P)의 측정자료를 이용하여 유량과 인(P)의 관계식을 유도한 바 있다. 김 등(2004)은 유량과 탁도와의 관계를 이용하여 부유토사를 산출해 내는 기법을 제시한 바 있다. 정(2008)은 하천유역내 지점간 유량-수질의 상관성을 회귀분석하여 상관성을 규명한 바 있다.

본 연구 대상유역은 충주댐으로 유역면적은 6,648 km²로 총 14개 시·군에 걸쳐 있어 매우 광범위하고, 거대한 유역을 형성되어 있으며, 유입되는 주요 하천 및 지천들의 오염특성은 다양하고 산업활동이 활발한 관계로 많은 오염물질이 유입되고 있는 상황이다.

충주댐에 유입되는 수계내의 지류 가운데 비교적 댐 저류량에 큰 영향을 미치는 댐 상류의 영월1 지점, 영월2 지점, 영춘 지점의 유량 및 충주댐 유입량에 대하여 최근 4년간의 자료를 조사하여 상류지역의 유량 변화가 하류지역의 유량과 수질의 변화에 미치는 영향을 분석하여 유량과 수질을 정량적으로 예측함으로써 합리적이고 경제적인 이수 및 치수계획 수립에 필요한 기초 자료를 마련하고자 한다.

2. 대상유역의 개요

본 연구의 대상유역인 충주댐에 유입되는 지류중

비교적 댐 저류량에 큰 영향을 미치는 남한강 상류의 평창강(서강)과 남한강 본류가 합류된 영월1 지점, 남한강 본류(동강)와 평창강이 합류된 영월2 지점, 영월1 지점과 영월2 지점이 합류된 영춘 지점, 그리고 전체 지류가 유입된 충주댐지점, 이렇게 4개 지점을 선정하였다.

연구대상 유역인 영월1 지점, 영월2 지점, 영춘 지점, 충주댐 지점 등 4개지점에 대하여 각 수위국 지점별로 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)이 보유하고 있는 2003년부터 2006년까지의 유량 및 유입량 자료를 조사하였다.

영월1 지점 및 영월2 지점의 유량과 영춘 지점의 유량과의 상관관계를 분석하고, 영춘 지점의 유량과 충주댐 유입량과의 상관관계를 분석하였고, 동절기 수위관측소의 운영중단 및 홍수기 계기 오류로 인한 결측치가 일부 있으며, 이상치에 대해서는 일부 수정·보완하여 사용하였다.

영춘 지점 유역면적은 4,690.0 km²이며 각 지점별 면적비율은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Basin area

Sites	Area(km ²)	Areal ratio(%)
Chung ju dam	6,648.0	100.0
Youngwal 1	1,525.1	22.9
Youngwal 2	2,283.2	34.3
Youngchun	4,690.0	70.5

3. 결 과

3.1. 유량분석 결과

연구대상 4개 지역에 대한 2003년부터 2006년까지 최근 4년간의 수자원종합정보에 의한 수집된 일평균 자료의 분석 결과 연평균 유량은 Table 2와 같이 2003년을 기점으로 충주댐 유입량이 감소하다가 2006년

Table 2. Results of yearly average discharge statistical analysis

(Units : cms)

Classifications	Youngwal 1		Youngwal 2		Youngchun		Chungju dam	
	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation
2003	61.3	108.4	108.0	158.2	161.4	302.0	262.8	505.9
2004	48.1	123.8	76.5	226.4	138.0	411.5	220.8	663.1
2005	61.4	98.4	72.2	117.1	149.5	228.8	218.2	366.6
2006	47.0	117.9	79.6	227.6	139.2	400.5	231.0	760.0

에 유입량이 증가하였다.

영월1 지점 유량과 영춘 지점 유량의 회귀분석 결과 Fig. 1과 같이 상관계수는 0.8820으로 비교적 높게 나타났고, 영월2 지점 유량과 영춘지점 유량의 회귀분석결과 Fig. 2와 같이 상관계수는 0.9730으로 상당히 높게 나타났으며, 영춘지점 유량과 충주댐 유입량의 회귀분석 결과 Fig. 3과 같이 상관계수가 0.9726으로 상당히 높게 나타났으며, 영춘 지점과 지점별 유량 상

관관계는 Table 3와 같이 나타났다.

Table 3. Results of relation coefficients

Classifications	Youngwal 1	Youngwal 2	Chungju dam
Correlation Coefficient	0.8820	0.9730	0.9726
Determination Coefficient	0.7780	0.9466	0.9459

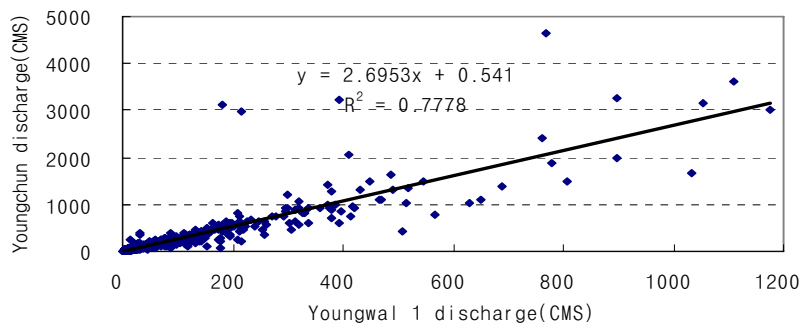


Fig. 1. Regression result(Youngwal 1 and Youngchun).

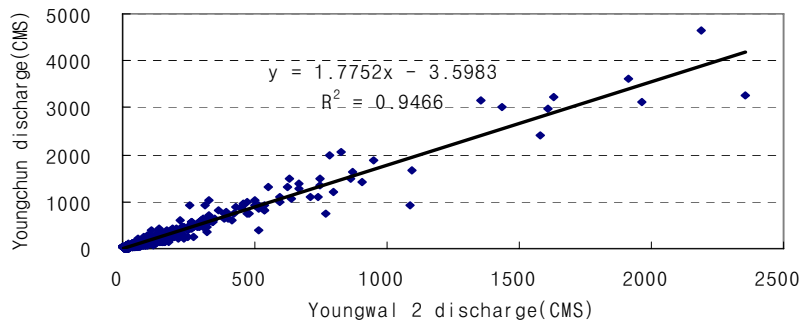


Fig. 2. Regression result(Youngwal 2 and Youngchun).

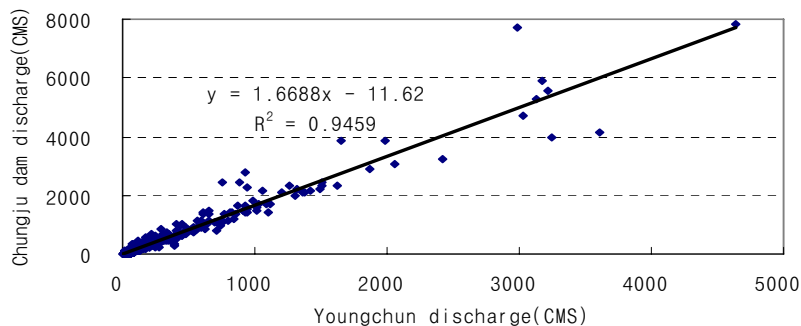


Fig. 3. Regression result(Youngchun and Chungju dam).

앞서 언급했듯이 영월1 지점의 유량과 영월2 지점의 유량이 합류해서 영춘 지점으로 유하하기 때문에 영춘 지점의 유량 및 유역면적에는 영월1 지점과 영월2 지점의 유량 및 유역면적이 포함되어 있다. 충주댐 유입량에 대한 각 지점별 유량 및 유역면적이 차지하는 비율을 분석한 결과 Table 4와 같이 영월1 지점과 영월2 지점은 면적비율에 비해 유량비율이 유사하게 나왔으나 영춘 지점은 면적비율에 비해 유량비율이 적게 나타났다.

3.2. 수질분석 결과

본 연구에서는 영월1 지점, 영월2 지점, 영춘 지점에 대하여 2006년도에 유량을 직접 측정함과 동시에 수질 분석을 실시하였다.

유량측정은 유속-유적법에 의해 평·갈수기에는 회전식 유속계를 사용하여 유량을 측정하였고, 홍수

기에는 전자파 표면유속계를 사용하여 지점별로 유량을 측정하였다. 평·갈수기에는 1일 1회 유량측정을 실시하였으나 홍수기에는 유량의 변화가 심한 것을 감안하여 1일 2회에서 3회까지 유량측정을 실시하였다.

수질분석 항목으로는 비교적 유량변화에 민감한 부유물질(SS)농도와 탁도에 대해서 분석을 실시하였다.

영월1 지점 수질의 회귀분석 결과 유량과 SS의 상관계수는 0.9820, 유량과 탁도의 상관계수는 0.9795로 상당히 높게 나타났고, 영월2 지점 수질의 회귀분석 결과 유량과 SS의 상관계수는 0.8602, 유량과 탁도의 상관계수는 0.8076로 보통으로 나타났으며, 영춘 지점 수질의 회귀분석 결과 유량과 SS의 상관계수는 0.9002, 유량과 탁도의 상관계수는 0.8553으로 비교적 높게 나타났다.

각 지점별 유량과 수질과의 상관관계는 Table 5 및 Fig. 4 ~ Fig. 9와 같이 나타났다.

Table 4. Discharge ration at chungju dam

Year	Discharge (cms)				Ratio (%)		
	Youngwal 1	Youngwal 2	Youngchun	Chungju dam	Youngwal 1	Youngwal 2	Youngchun
2003	61.30	108.03	161.38	262.81	23.32	41.11	61.40
2004	48.13	76.46	138.01	220.78	21.80	34.63	62.51
2005	61.35	72.22	149.50	218.17	28.12	33.10	68.52
2006	46.97	79.62	139.17	231.02	20.33	34.47	60.24
Average	54.44	84.09	147.01	233.19	23.35	36.06	63.04
Area(km ²)	1525.1	2283.2	4690.0	6648.0	22.94	34.34	70.55

Table 5. Coefficients relation results

Sites	SS		Turbidity	
	Correlation Coefficient	Determination Coefficient	Correlation Coefficient	Determination Coefficient
Youngwal 1	0.9820	0.9644	0.9795	0.9595
Youngwal 2	0.8602	0.7399	0.8076	0.6522
Youngchun	0.9002	0.8103	0.8553	0.7315

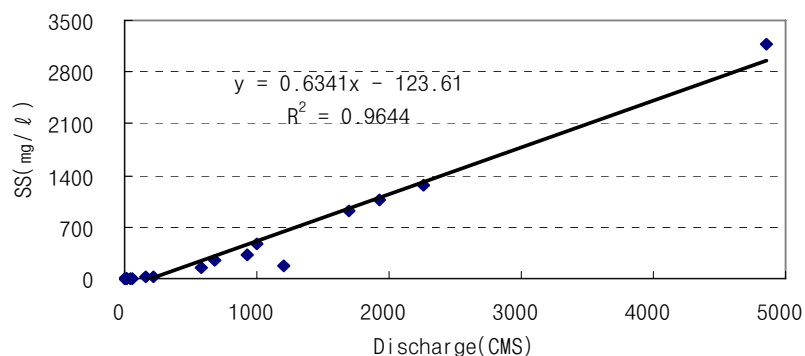


Fig. 4. Regression results of SS and discharge (Youngwal 1).

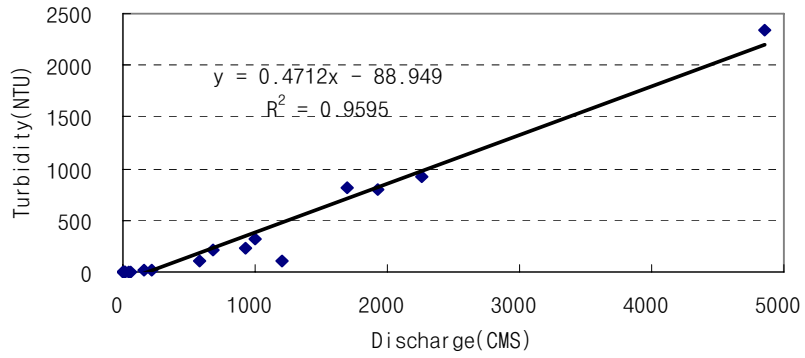


Fig. 5. Regression results of Turbidity and discharge (Youngwal 1).

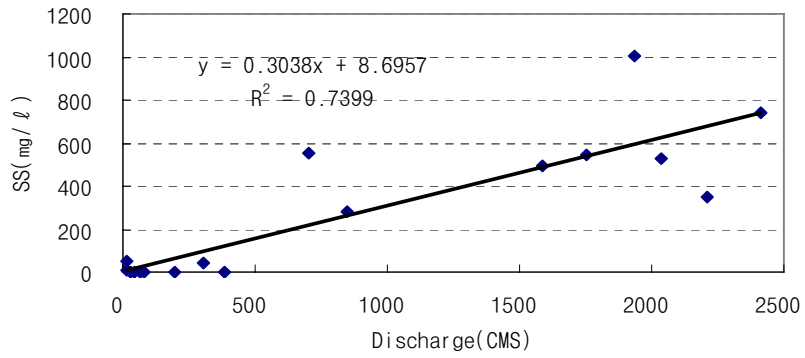


Fig. 6. Regression results of SS and discharge (Youngwal 2).

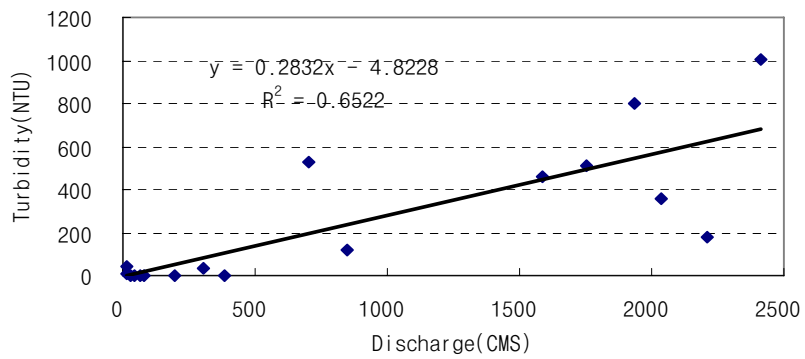


Fig. 7. Regression results of Turbidity and discharge (Youngwal 2).

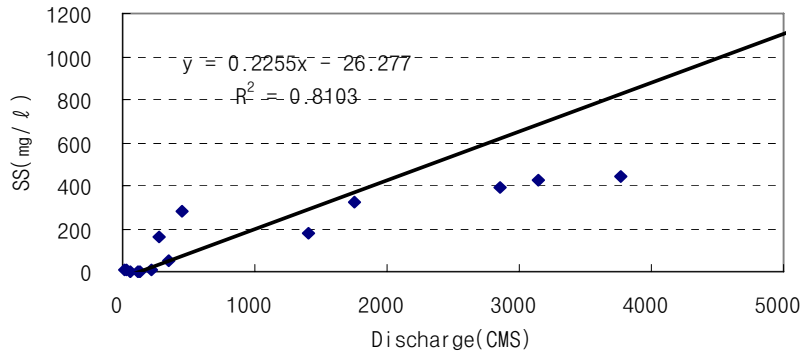


Fig. 8. Regression results of SS and discharge (Youngchun).

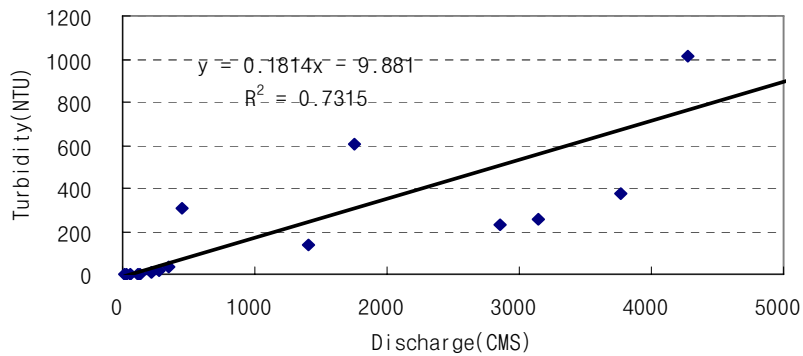


Fig. 9. Regression results of Turbidity and discharge (Youngchun).

4. 개발식의 적용

4.1. 유량 회귀식

충주댐 유역 상·하류간의 유량상관성 분석을 통하여 본 연구에서 개발된 회귀식은 Table 6과 같다.

Table 6. Regression equations at sites

Sites	Regression equations
Youngwal 1- Youngchun	$y = 2.6953x + 0.541$
Youngwal 2 - Youngchun	$y = 1.7752x - 3.5983$
Youngchun - chungju dam	$y = 1.6688x - 11.62$

개발한 유량 회귀식의 정확도를 파악하기 위하여 관측자료와 실제 측정된 유량자료를 비교하였는데, 2006년에 영월1 지점, 영월2 지점 및 영춘 지점에서 평·갈수기에 측정된 결과를 2회 적용하였고, 홍수기에 측정된 결과를 6회 적용하였다. 개발한 회귀식을

이용하여 비교한 결과 Table 7 및 Table 8과 같이 대체로 80%이상의 정확도를 나타내었다.

Table 7. Results of Youngchun discharge prediction by Youngwal 1 discharge

Date	Youngwal 1		Youngchun		Accuracy (%)
	Observed (cms)	Development equation(cms)	Observed (cms)	Development equation(cms)	
2006-4-14	55.00	148.78	132.59	89.12	
2006-7-13	1931.69	5207.03	5049.10	96.97	
2006-7-13	1695.51	4570.45	4274.88	93.53	
2006-7-14	681.34	1836.96	1751.13	95.33	
2006-7-14	578.53	1559.85	1404.51	90.04	
2006-7-17	1007.04	2714.82	3140.65	86.44	
2006-7-17	924.69	2492.86	2854.30	87.34	
2006-7-31	213.29	575.42	444.70	77.28	

Table 8. Results of Youngchun discharge prediction by Youngwal 2 discharge

Date	Youngwal 2	Youngchun		Accuracy (%)
	Observed (cms)	Development equation (cms)	Observed (cms)	
2006-4-14	62.17	106.75	132.59	80.51
2006-7-13	2415.90	4284.62	5049.10	84.86
2006-7-13	2034.75	3608.08	4274.88	84.40
2006-7-14	845.34	1496.88	1751.13	85.48
2006-7-14	701.04	1240.75	1404.51	88.34
2006-7-17	1751.75	3105.76	3140.65	98.89
2006-7-17	1585.06	2809.88	2854.30	98.44
2006-7-31	301.22	531.07	444.70	83.74

개발식을 적용하여 유량을 예측한 결과 평·갈수기 보다는 홍수기에 정확도가 높은 것으로 나타났다. 홍수기 유량 예측은 Table 9에서 나타난 바와 같이 정확도가 90%이상으로 높게 나타나 충주댐 유입량 예측에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

Table 9. Results of accuracy by development equations at Youngchun

Equation	Youngwal 1	Youngwal 2
	$y = 2.6953x + 0.541$	$y = 1.7752x - 3.5983$
Low flow accuracy	83.20 %	82.13 %
Flood flow accuracy	91.61 %	90.07 %
Average accuracy	89.51 %	88.08 %

4.2. 수질 회귀식

충주댐 유역 지점별 유량에 따른 수질(SS, 탁도)의 상관성 분석을 통하여 본 연구에서 개발된 회귀식은 Table 10과 같다.

Table 10. Results of regression equations at each sites

Sites	Classifications	Regression equations
Youngwal 1	SS	$y = 0.6341x - 123.61$
	Turbidity	$y = 0.4712x - 88.949$
Youngwal 2	SS	$y = 0.3038x + 8.6957$
	Turbidity	$y = 0.2832x - 4.8228$
Youngchun	SS	$y = 0.2255x - 26.277$
	Turbidity	$y = 0.1814x - 9.881$

개발한 수질 회귀식의 정확도를 파악하기 위하여 2007년에 영월1 지점, 영월2 지점 및 영춘 지점에서 평·갈수기에 측정된 결과를 적용하였다. 개발한 회귀식을 이용하여 비교한 결과 Table 11 ~ Table 13과 같이 대체로 70%이상의 정확도를 나타내었다.

개발식을 적용하여 수질을 예측한 결과 상관계수가 높은 영월1 지점의 정확도가 다른 지점보다 높게 나타났다. 개발된 회귀식을 통하여 지점별 유량에 따른 수질을 예측하여 관측치와 비교, 검토할 수 있을 것

Table 11. Results of water quality prediction at Youngwal 1 discharge

Date	Discharge (cms)	SS			Turbidity		
		Development equations (mg/ℓ)	Observed (mg/ℓ)	Accuracy (%)	Development equations (NTU)	Observed (NTU)	Accuracy (%)
2007-7-20	405.01	133.2	180.3	73.88	101.9	178.6	57.05
2007-8-09	585.82	247.9	216.7	87.43	187.1	186.3	99.58
2007-8-10	452.85	163.5	161.0	98.45	124.4	162.7	76.48
2007-8-11	938.91	471.8	515.2	91.57	353.5	379.5	93.14
2007-9-16	394.25	126.4	152.9	82.66	96.8	111.2	87.07
Average accuracy		86.80 %			82.66 %		

Table 12. Results of water quality prediction at Youngwal 2 discharge

Date	Discharge (cms)	SS			Turbidity		
		Development equations (mg/ℓ)	Observed (mg/ℓ)	Accuracy (%)	Development equations (NTU)	Observed (NTU)	Accuracy (%)
2007-7-20	498.72	160.2	121.4	75.78	136.4	89.8	65.83
2007-8-09	430.12	139.4	160.1	87.05	117.0	71.5	61.12
2007-8-10	825.86	259.6	464.8	55.85	229.1	385.6	59.40
2007-8-11	667.53	211.5	202.4	95.70	184.2	161.2	87.50
2007-9-16	358.69	117.7	153.9	76.46	96.7	113.8	85.02
Average accuracy		78.17 %			71.78 %		

Table 13. Results of water quality prediction at Youngchun discharge

Date	Discharge (cms)	SS			Turbidity		
		Development equations (mg/ℓ)	Observed (mg/ℓ)	Accuracy (%)	Development equations (NTU)	Observed (NTU)	Accuracy (%)
2007-7-20	1110.83	224.2	269.6	83.17	191.6	242.0	79.18
2007-8-09	1562.22	326.0	285.1	87.45	273.5	314.3	87.02
2007-8-10	1980.19	420.3	354.0	84.23	349.3	376.5	92.78
2007-8-11	2403.31	515.7	626.3	82.34	426.1	595.9	71.50
2007-9-16	679.12	126.9	105.7	83.32	113.3	71.6	63.19
Average accuracy		84.10 %			78.74 %		

으로 기대되며, 더 많은 유량과 수질자료를 확보하여 회귀식을 추후 보완하여 개발하면 좀 더 높은 정확도를 보일 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서 충주댐 상하류 주요지점의 유량을 조사하여 유량과 수질에 대한 상관성을 분석하여 회귀식을 개발하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 영월1 지점과 영춘 지점의 유량상관성을 분석한 결과, 상관계수가 0.88로 비교적 높게 나타났고, 영월2 지점과 영춘 지점의 유량상관성을 분석한 결과 상관계수가 0.97로 매우 높은 상관성을 나타내어 영월1 지점 보다 유역면적이 큰 영월2 지점의 유량변화가 영춘 지점의 유량변화에 많은 영향을 주는 것으로 판단된다.

2. 충주댐 대비 영춘 지점의 면적비는 70.5%, 유량비는 평균 63% 정도이며, 영춘 지점과 충주댐의 유량상관성을 분석한 결과 상관계수가 0.97로 매우 높은 상관성을 나타내는 것으로 나타났다.

3. 지점별 유량과 수질과의 상관성을 분석한 결과, 영월2 지점은 유량과 SS 및 탁도의 상관성이 보통으로 나타났으나, 영월1 지점과 영춘 지점은 유량과 SS 및 탁도의 상관성이 비교적 높게 나타나 유량 분석을 통한 SS 및 탁도의 예측이 가능할 것으로 판단된다.

4. 본 연구결과를 이용하여 향후 충주댐 유입량의 예측과 검토에서 비교할 수 있는 자료의 제공이 가능할 것으로 판단되며, 추후 강우-유출모형의 유출량 산정에서도 자료의 제공이 가능한 신뢰도를 가질 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 충주대학교 대학구조개혁지원사업비(교육과학기술부 지원)의 지원을 받아 수행한 연구입이다.

참고 문헌

- 김진관, 양동운, 김주용, 박종관, 2004, 유량-탁도 관계를 이용한 산지소하천에서의 토사유출량 산정에 관한 연구, 한국지형학회지, 11(3), 25-36.
- 김태근, 2006, 유량-부하량 관계식을 이용한 용담호 유입 하천의 영양염류 유입량 변동특성, 환경영향평가, 15(2), 129-138.
- 사공민, 고수현, 심창석, 박배경, 김용석, 2007, 산지유역의 유량변동에 의한 수질의 통계학적 해석, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회 공동 추계학술발표회 논문집, 607-610.
- 정진경, 2008, 하천유역내 유량 상관성에 관한 연구, 석사학위논문, 충주대학교.
- 천세역, 이재안, 이재정, 유영복, 방규철, 이열재, 2006, 대청호 유입유량 변동과 수질 및 조류증식의 관계, 한국물환경학회지, 22(2), 342-348.
- 최한규, 백경원, 최용목, 오기호, 2002, 유량변동에 따른 소양강유역 수질의 통계학적 해석, 대한토목학회지, 22(2-B), 117-124.
- 한미덕, 박신정, 최승석, 김종찬, 이창희, 남궁은, 정옥진, 2009, 하천 수질의 계절적 변화에 미치는 유량과 토지이용의 영향, 수질보전 한국물환경학회지, 25(4), 539-546.
- 한재석, 김주훈, 김만식, 2000, 유역의 비점오염부하량 산정에 관한 연구, 환경관리학회지, 6(1), 147-157.
- Dolan, D. M., Yui, A. K., Geist, R. D., 1981, Evaluation of river load estimation method for total phosphorus, J. Great lakes Res, 7(3), 207-214.