

수문변화 지표법에 의한 영천댐이 하류하천에 미치는 유황변화 분석

Hydrologic Regimes Analyses on Down Stream Effects of the Young Chun Dam by Indicators of Hydrologic Alterations

박봉진* / 김준태** / 장창래*** / 정관수****

Park, Bong Jin / Kim, Joon Tae / Jang, Chang-Lae / Jung, Kwan Sue

요 지

하천의 유황특성을 평가 하는 것은 하천생태계의 인위적인 변형을 이해하고 예측하는데 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 댐 건설에 따른 하류하천의 영향을 분석하고자 수문변화 지표모형을 이용하여 용수 전용댐인 영천댐을 대상으로 댐 건설전·후의 유황변동을 분석하였다. 분석결과는 다음과 같다. (1) 월 평균유량은 갈수기와 홍수기 모두 댐건설 후 감소하였다. (2) 연 극치유량의 크기와 기간 분석결과, 댐 건설전·후의 1일 최소유량은 3.48 m³/sec와 0.89 m³/sec 이었으며, 1일 최대유량은 833.1 m³/sec와 672.1 m³/sec 이었다. (3) 연극치 유량의 발생시기 분석결과, 최소유량의 Julian Day는 댐 건설전 180 일(6월), 댐 건설 후 257 일(9월)이었으며, 최대유량의 Julian Day는 댐 건설전 209 일(7월), 댐 건설 후는 217 일(8월)에 발생하였다. (4) 홍수맥과의 빈도와 기간의 분석결과, 저맥과(Low Pulse)의 발생횟수는 댐 건설전 3회, 지속기간은 23 일, 댐 건설 후에는 7회, 지속기간 61 일 이었으며, 고맥과(High Pulse)의 발생횟수는 댐 건설 전 4회 지속기간은 2 일, 댐 건설후에는 2회 1.2 일로 분석되었다. (5) 변화율과 빈도의 분석결과, 상승율은 댐 건설 전, 후의 각각 39.27 %와 19.36 %로 댐 건설 전에 수문변동이 크게 발생하였으며, 감소율은 각각 -15.85 %와 -8.16 %로 분석되었다. (6) 분산정도를 변동계수로 분석하였으며, 1일 최소·최대유량은 0.9054에서 0.6314와 1.0440에서 0.9617로 모두 감소하였으며, 연 극치유량 발생시기는 댐 건설전·후 최소유량은 0.269에서 0.282, 최대유량은 0.069에서 0.153으로 댐건설이후 변동계수가 증가하였다.

핵심용어 : 수문변화지표법, 유황, 크기, 연 극치유량 크기와 기간, 연 극치유량 발생시기, 홍수맥 파 빈도와 기간, 변화율과 빈도

1. 서론

댐은 홍수기에 유량을 저장하여 수력발전이나 각종 용수공급 등에 이용함으로써 수자원의 가치를 높이는 유용한 역할을 하고 있다. 그러나 댐 하류하천에는 침투 홍수량 감소와 갈수시 저유량 증가, 유사량 차단, 수질과 수온 등의 변화가 발생하게 된다. 댐이 하류하천의 생태계에 미치는 영향에 가장 핵심이 되는 사항은 유량 변화이다(이진원 등, 1993; Graf, 2006).

댐이 하천에 미치는 영향에 관한 국내 연구는 유량 변화 위주로 연구되어 왔으며(윤용남과 박무중, 1993; 이진원 등, 1993; 김태균 등, 2002), 최근에 와서야 제한적이지만 유황변화에 따른 어류 서식처 변화(박봉진 등, 2004) 등에 관한 연구도 시행되고 있다. 국내에 적용하고 있는 유황변화 양상을 분석하는 기법은 단순한 유황분석을 통하여 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량을 산정하여 비교하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 이러한 지표는 댐으로 인한 하류하천의 영향을 정량적으로 분석하고

* 정회원·한국수자원공사 댐유역관리처 하천유역팀장·E-mail: bongjinpark@kwater.or.kr
** 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 공동연구원·E-mail :chonjoonate@naver.com
*** 정회원·한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원·E-mail: cljang@kwater.or.kr
**** 정회원·충남대학교 공과대학 토목공학과 부교수·E-mail: ksjung@cnu.ac.kr

제시하는 것은 한계가 있다.

외국에서는 댐 건설 전·후의 수문학적인 변화과정을 통계학적 기법을 적용하여 정량적인 지표로 산정하고 분석하는 모델을 개발하여 다양한 연구를 시행하고 있다(Olden and Poff, 2003).

본 연구에서는 두 모형 중에서 수문변화의 중요한 지표들을 포함하고 있으며 수문변화 양상을 가장 잘 분석하여 제시할 수 있는 모형으로 평가(Olden and Poff, 2003)되었으며, 130여건의 연구 및 적용 사례(Nature Conservancy 2007)가 있는 수문변화 지표법 모형을 선정 하였다. 연구 대상은 다목적 댐 하류하천의 유황변화는 그동안 많은 연구가 시행되어 왔지만 용수공급과 같은 단일목적을 위하여 건설된 댐의 건설 전·후 유황의 변화에 따른 하류하천의 영향에 대한 분석·연구가 미흡하여, 본 연구에서는 용수 전용댐으로 금호강 유역에 위치한 영천댐을 선정하였다.

2. 수문변화 지표의 산정

2.1 영천댐 현황 및 분석자료 구성

금호강은 낙동강의 주요 11개 지류 중의 하나로 경상북도 영일군 죽장면 가사리에서 발원하여 대구 광역시를 관통하고 낙동강 하구로부터 167 km 상류 지점인 경상북도 달성군 다사읍 죽곡리에서 낙동강과 합류한다. 금호강 유역면적은 2,088 km²으로 낙동강 전체유역면적 23,859 km²의 약 8.8 %를 차지하고 유로연장은 118 km이다.

본 연구에서는 영천댐의 영향을 고려하기 위하여 영천댐 직하류의 금호 수위관측소를 유황분석 지점으로 선정하였다. 유황분석을 위해 금호 수위관측소의 1963년부터 2001년까지의 관측된 일 유량 자료를 이용하였으며, 영천댐의 건설 전은 1963년에서 1980년까지, 건설 후는 1981년부터 2001년까지의 자료를 이용하였다. 분석결과 이상치로 판단된 1985년과 1990년의 측정자료는 제외하였다. 또한 임하댐에서 유입하는 영천댐 도수로 유입량은 준공 후 운영기간이 짧아 본 연구에서는 고려하지 않았다.

2.2 수문변화 지표의 산정

본 연구에서는 이와 같이 4가지 단계를 거쳐 영천댐의 건설 전과 후의 수문변화를 중심값의 변화를 분석하는 평균(중앙값 포함)과 평균값의 분산정도를 나타내는 변동계수(Coefficient of Variation, CV)를 통계학적으로 분석하였으며, 크기, 연최대치 크기와 지속기간, 연최대치의 발생시기, 홍수량과 저유량의 홍수맥과 빈도와 주기, 유황변화비율과 빈도 등의 5가지 그룹으로 Table 2에 제시 하였다.

2.2.1 크기

영천댐 건설 전·후의 월평균 유황변화를 분석한 결과, 갈수기인 1월부터 6월까지와 10월부터 12월까지의 유황은 댐 건설 후 전반적으로 감소하였다. 일반적으로 다목적댐의 경우 갈수기의 평균유량은 증가하는 경향이 있으나(이진원 등, 1993; Graf, 2006), 영천댐의 경우는 용수전용댐으로 유역외인 포항지역으로 생공용수 약 2.44 m³/s 를 공급하고 있어(한국수자원공사, 2007) 갈수기 동안 댐으로 인한 유황이 증가하지 않고 오히려 감소된 것으로 판단된다. 우기철인 7월부터 9월까지의 월평균 유량 역시 감소하였으며, 7월의 경우 댐 건설 전에는 68.46 m³/sec이고, 댐 건설 후에는 23.35 m³/sec로 감소한 것으로 분석되었다.

Table 1. Results of the IHA analysis

IHA Group	MEANS		COEFF. of VAR.		DEVIATION FACTOR		DEV. of C.V.	
	Pre	Post	Pre	Post	Magnitude(%)		Magnitude(%)	
Parameter Group #1 : Monthly management								
January	10.87	4.30	0.6259	1.7250	-6.575	-60.470	1.099	175.600
February	12.63	4.43	0.6543	1.5810	-8.201	-64.910	0.926	141.600
March	14.37	3.91	0.6675	1.2790	-10.460	-72.800	0.611	91.550
April	23.09	4.79	0.7281	1.0950	-18.310	-79.270	0.367	50.410
May	23.19	2.90	0.8076	0.7446	-20.300	-87.510	-0.063	-7.801
June	20.72	9.05	0.5982	1.5020	-11.680	-56.340	0.904	151.100
July	68.46	23.35	1.1110	1.6780	-45.110	-65.890	0.567	51.020
August	40.17	31.59	0.9653	1.2380	-8.576	-21.350	0.273	28.270
September	33.02	18.41	0.8498	1.6960	-14.610	-44.250	0.847	99.630
October	15.97	3.89	0.5862	1.2420	-12.090	-75.670	0.656	111.900
November	14.09	4.11	0.5761	1.8450	-9.974	-70.800	1.269	220.300
December	11.27	4.60	0.5461	1.6530	-6.663	-59.140	1.107	202.700
Parameter Group #2 : Magnitude and duration annual extremes								
1-day minimum	3.89	0.87	0.9054	0.6314	-3.026	-77.740	-0.274	-30.270
3-day minimum	6.14	0.98	0.7120	0.7753	-5.163	-84.100	0.063	8.896
7-day minimum	6.34	1.10	0.6854	0.7831	-5.246	-82.730	0.098	14.250
30-day minimum	8.33	1.36	0.5900	0.7222	-6.962	-83.630	0.132	22.410
90-day minimum	11.11	1.97	0.6027	0.7041	-9.138	-82.270	0.101	16.830
1-day maximum	833.10	672.10	1.0440	0.9617	-161.100	-19.330	-0.082	-7.872
3-day maximum	403.20	347.50	0.9383	1.0270	-55.720	-13.820	0.088	9.430
7-day maximum	241.80	183.40	0.9348	0.9923	-58.440	-24.170	0.058	6.155
30-day maximum	100.50	61.81	0.9484	0.8772	-38.650	-38.470	-0.071	-7.508
90-day maximum	53.48	28.04	0.6433	0.7781	-25.440	-47.560	0.135	20.950
Parameter Group #3 : Timing of annual extremes								
Date of minimum	197.3	257.6	0.269	0.282	60.350	32.980	0.013	4.822
Date of maximum	208.7	216.7	0.069	0.153	7.962	4.351	0.084	121.700
Parameter Group #4 : Frequency and duration of high and low pulse								
Low pulse count	2.556	7.053	0.970	0.495	4.497	176.000	-0.475	-49.010
Low pulse duration	22.62	60.95	1.061	1.183	38.340	169.500	0.122	11.540
High pulse count	3.611	2.737	0.563	0.918	-0.874	-24.210	0.355	63.090
High pulse duration	2.063	1.6	0.643	0.453	-0.463	-22.460	-0.190	-29.520
Parameter Group #5 : Rate and frequency of water condition changes								
Rise rate	39.27	19.36	0.799	0.807	-19.910	-50.710	0.008	1.038
Fall rate	-15.85	-8.167	-0.911	-0.715	7.685	-48.480	0.196	-21.490
Number of reversals	51.67	76.37	0.240	0.192	24.700	47.810	-0.048	-19.830

2.2.2 연 극치유량의 크기와 기간

1일, 3일, 7일(주단위), 30일(월단위), 90일(계절별)의 최대유량, 최소유량을 산정하는 10개의 매개 변수로 구성되어 있으며, 연 극치유량의 크기와 기간을 분석한 결과, 1일 최소유량의 평균값은 댐 건설전 3.89 m³/sec, 댐 건설 후에는 0.87 m³/sec로 분석 되었으며, 1일 최대유량의 평균값은 댐 건설 전의 833.1 m³/sec, 댐 건설 후에는 672.1 m³/sec로 산정되었다. 일반적으로 다목적댐의 경우 최소유량은 증가하고, 최대유량은 감소하는 경향이 있으나(Graf, 2006), 금번 분석결과, 최소유량과 최대유량 모두 감소하고 있어, 월평균유량과 같이 영천댐이 포함지역에 용수를 공급하기 위하여 용수전용댐으로 건설되었기 때문인 것으로 판단된다. 1일 최소유량과 1일 최대유량의 댐 건설전-후의 분석결과는 Fig. 1 및 2와 같다.

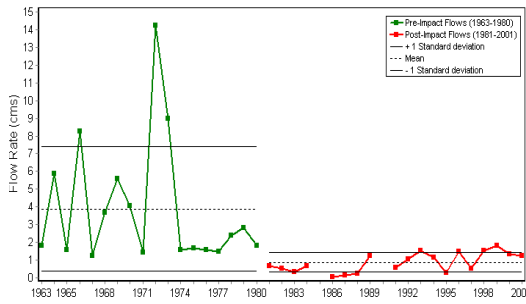


Fig. 1. 1-Day Minimum Flows

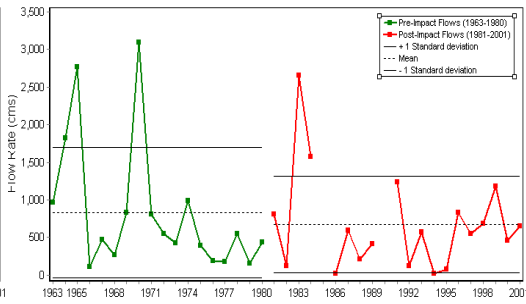


Fig. 2. 1-Day Maximum Flows

2.2.3 연 극치유량의 발생시기

댐 건설 전 최소유량의 평균 Julian Day는 198 일로 7월 중순경에 발생하였으나, 댐 건설 후 평균 Julian Day는 258 일로 9월경에 발생하는 것으로 분석되었다. 반면에 댐 건설 전 최대유량의 평균 Julian Day는 209 일로 7월경, 댐 건설 후 평균 Julian Day는 217 일로 8월경에 발생하는 것으로 분석되었다. 연극치 유량의 발생시기는 Fig. 3 및 4에 제시하였다.

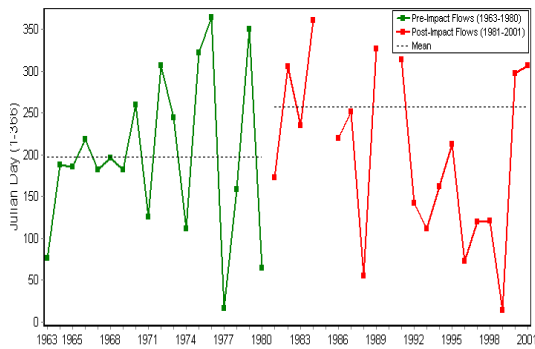


Fig. 3. Date of minimum Flows

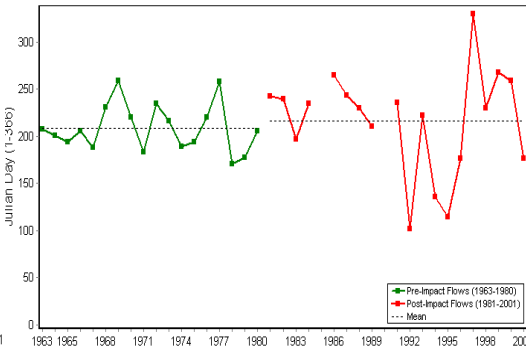


Fig. 4. Date of maximum Flows

2.2.4 홍수맥파(Low-High Pulse)의 빈도와 기간

댐 건설 전의 저맥파(Low Pulse)의 발생횟수는 3회와 지속기간은 23 일, 댐 건설 후에는 7회와 지속기간 61 일로 나타났고, 댐 건설 전의 고맥파(High Pulse)의 발생횟수는 4회와 지속기간은 2 일, 댐 건설 후의 맥파 발생횟수는 3회와 1.6 일로 분석되었다.

2.2.5 변화율과 빈도

댐 건설 전, 후의 상승율은 각각 39.27 %와 19.36 %로 댐 건설 전에 수문변동이 더 크게 나타났다. 또한 감소율은 각각 -15.85 %와 -8.16 %로 나타났다.

2.3. 변동계수 분석

댐 건설 전·후 1일 최소·최대유량의 변동계수도, 각각 0.9054에서 0.6314와 1.0440에서 0.9617로 모두 감소하였으며, 이것은 영천댐은 용수 전용댐으로 건설되어 포항지역에 용수를 공급하기 때문인 것으로 판단된다. 연 극치유량 발생시기의 변동계수는 댐 건설전·후를 비교하여 0.269에서 0.282, 0.069에서 0.153으로 증가하여 오히려 댐 건설이후 변동계수가 증가한 경향이 있다. 이것은 최소유량

과 최대유량의 발생시기의 변화가 커진 것을 의미하며, 이 원인은 영천댐의 영향보다는 기후적인 변화의 요인으로 판단된다.

변화율의 분석결과 상승율은 변동계수가 0.799에서 0.807로 증가하였으나, 하강율은 -0.911에서 -0.715로 감소하여, 홍수로 인한 유량의 상승율이 증가함에도 불구하고, 홍수를 차단하여 용수공급의 목적으로 사용함에 따라 하강율은 감소한 것으로 판단된다.

3. 결론

하천의 유황특성을 평가 하는 것은 하천생태계의 인위적인 변형을 이해하고 예측하는데 중요한 역할을 한다(Olden and Poff, 2003). 유황을 통계적으로 분석 평가하는 수많은 모델이 제시되고 있지만 대부분의 모형이 가지는 중요한 특징은 자연유량(Natural flow regime)의 계절적 변동, 극한 유량(홍수와 가뭄)의 발생시기와 빈도, 일단위 혹은 계절단위, 년단위의 유황변동과 유황변동 비율에 관한 정보를 제공하게 된다(Poff et al., 1997).

본 연구에서는 댐 건설에 따른 하류하천의 영향을 분석하고자 적용성이 입증된 수문변화 지표모형을 이용하여 용수 전용댐인 영천댐을 대상으로 댐 건설 전·후의 유황변동을 분석하였다. 그간의 유황 변화에 관한 연구가 다목적댐을 위주로 시행되었으나 단일목적댐의 유황변화는 다목적댐과 다를 것이라고 정성적으로 제기 되었던 사항을 본 연구에서는 정량적으로 분석·제시 하고자 하였다. 금번 연구에서는 수문변화 지표(IHA) 모형을 적용하였으나 우리나라의 수문특성을 반영할 수 있는 모형을 비교·검증하는 연구도 필요하며, 향후 이러한 연구들은 지속적으로 시행하고자 한다.

참고문헌

- 김태균, 윤용남, 안재현 (2002). “댐 건설에 따른 하류 유황의 변화 분석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp. 807-916.
- 박봉진, 성영두, 정관수 (2005). “영천댐 건설이 금호강의 어류 서식환경에 미치는 영향에 관한 평가.” **한국수자원학회**, 한국수자원학회 논문집, 제38권, 제9호, pp. 771-778.
- 윤용남, 박무중 (1993). “댐 건설로 인한 5대수계 본류의 유황변화 분석.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제13권, 제3호, pp. 79-91.
- 이진원, 김형섭, 우효섭 (1993). “댐 건설로 인한 5대수계 본류의 유황변화 분석.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제13권, 제3호, pp. 79-91.
- 한국수자원공사 (2007). **댐운영실무편람**.
- Graf, W. L. (2006) "Downstream Hydrologic and Geomorphic Effects of Large Dams on American Rivers." *Geomorphology*, Vol. 79, pp. 336-360.
- Nature Conservancy (2007) "Indicators of Hydrologic Alteration Version 7 User's Manual."
- Olden, J. D., Poff, N. L. (2003). "Redundancy and the Choice of Hydrologic Indices for Characterizing Streamflow Regimes." *River Research and Applications*, Vol. 19, pp. 101-121.
- Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B.D., Sparks, R. E., and Stromverg, J. C. (1997). "The Natural Flow Regime : A Paradigm for River Conservation and Restoration." *Bioscience*, Vol. 47, No. 11, pp. 769-784.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. F., Powell, J., and Braun, D. P. (1996). "A Method for Assessing Hydrologic Alterations within Ecosystems." *Conservation Biology*, Vol. 10, No. 4, pp. 1163-1174.