

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

박 봉 진* / 김 준 태** / 장 창 래*** / 정 관 수****

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

Abstract

Hydrologic regimes play a major role in determining the biotic composition, structure, and function of river ecosystem. In this study, hydrologic regimes were analyzed on down stream effects of the Young-Chun dam construction using the Indicators of Hydrologic Alterations(IHA). The analysis results were as follows ; (1) Monthly mean flows were decreased during drought and flood season on the pre and post dam, (2) Magnitude and Duration of Annual Exterm Conditions, annual minima 1-day means was 3.48 m³/sec, 0.89 m³/sec and annual maxima 1-day mean was 833.1 m³/sec, 672.1 m³/sec on the pre and post dam (3) Timing of Annual Exterm conditions, Julian date of the annual minima 1-day means was 180th(June) in the pre dam, 257th(September) in the post dam, Julian date of the annual maxima 1-day means was 209th(July) in the pre dam, 217th(August) in the post dam, (4) Frequency and Duration of High and Low Pulse, Low Puls counts and duration were 3 times and 23 days in the pre dam, High Pulse counts and duration were 4 times and 2 days in the pre dam. (5) Rate and Frequency of Water Condition Changes, rise rates was 39.27 %, 19.36 % and fall rates -15.85 %, -8.16 % in the pre and post dam, respectively (6) Coefficient of Variation, annual exteram water conditions were decreased from 0.9054 to 0.6314 and from 1.0440 to 0.9617, Timing of Annual Exterm conditions were increased for minima flow from 0.269 to 0.282, for maxima form 0.069 to 0.153.

keywords : Indicators of Hydrologic Alteration(IHA), Hydorlogic Regime, Magnitude, Magnitude and Duration of Annual Exterm Conditions, Timing of Annual Exterm conditions, Frequent and Duration of High and Low Pulses, Rate and frequency of water comdition changes

* 한국수자원공사 댐·유역관리처, 하천유역팀장
Korea Water Resourecs Corporation San 6-2 Yeonchuk-dong Daeduk-Gu, Daejon, 306-711, Korea
(e-mail: bongjinpark@kwater.or.kr)

** 한국수자원공사 수자원연구원 공동연구원
Korea Water Resourecs Corporation San 6-2 Yeonchuk-dong Daeduk-Gu, Daejon, 306-711, Korea
(e-mail: chonjoonate@naver.com)

*** 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원
Korea Water Resourecs Corporation San 6-2 Yeonchuk-dong Daeduk-Gu, Daejon, 306-711, Korea
(e-mail: cljang@kwater.or.kr)

**** 충남대학교 공과대학 토목공학과 부교수
Associate Professor, Dept. of Civil engineering, ChungNam National University, Daejon, 305-764
(e-mail: ksjung@cnu.ac.kr)

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 건설 전 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 일이었으며, 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, 홍수맥과 빈도와 기간, 변화율과 빈도

1. 서 론

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. 댐에 의한 유사의 차단은 하류하천의 하상을 저하시켜 하류구간에서의 장갑화현상과 지천의 두부침식이 발생하게 된다. 반면, 침투 홍수량의 감소로 인하여 지류에서 유입되는 유사가 하구지역으로 이송되지 않고, 합류부에 퇴적되면서 큰 사주를 형성하여 하구 폐색과 홍수터 잠식으로 홍수피해가 발생하거나, 식생역의 발달과 육상화의 원인이 되고 있다. 유황은 하천생태계의 생물학적 구조와 기능에 중요한 역할을 한다(Richter et al., 1996; Henriksen, et al., 2006).

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 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).

이러한 모델중 대표적인 것은 미국의 Nature Conservancy에서 개발한 수문변화 지표법(Indicators of Hydrologic Alteration, Richter et al., 1996)과 U.S. Department of the Interior과 U.S. Geological Survey에서 개발한 HIAP (Hydroecological Integrity Assessment Process, Henriksen et al., 2006)이 있다.

수문변화 지표법(IHA)은 댐, 도수, 지하수 등 수자원의 인위적인 이용에 따른 유황변화의 영향을 통계학적으로 분석하여 수문학적 연구(Hydrologic Research), 생태학적 연구(Ecological Research), 생태학적 추천유량 연구(Environmental Flow Recommendations), 기타 종합적인 적용·연구 등의 4개 분야에 대하여 다양하게 적용할 수 있다(Nature Conservancy, 2007; Magilligan et al., 2005; Graf, 2006; Lajoie et al., 2007). HIAP는 171개지표의 수문학적 분류가 가능한 HIT(Hydrologic Index Tool), 6가지 하도분류를 기준으로 5가지 주요지표의 통계적 분석이 가능한 NHAT(National Hydrologic Assessment Tool), 4가지 하도분류 모듈과 환경용수산정과 수문학적 통계분석이 가능한 NJSCT (New Jersey Stream Classification Tool)로 구성되었다.

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 적용사례(Nature Conservancy 2007)가 있는 수문변화 지표법 모형을 선정 하였다. 연구 대상은 다목적댐 하류하천의 유황변화는 그동안 많은 연구가 시행되어 왔지만 용수공급과 같은 단일목적에 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. 수문변화지표 모형의 개요

수문변화지표 모형은 자연유량 특성과 유황(Hydrologic Regimes)의 변화를 정량적으로 계산할 수 있도록 Richter *et al.*(1996)에 의해 개발되었으며, 하천유량이나 수위, 지하수위, 저수지 수위 등과 같은 일 수문량을 입력 자료로 이용하여, 총 67개의 통계적 매개변수들을 산정할 수 있다(Richter *et al.*, 1996). 수문변화 지표의 32개 지표는 크기(Magnitude), 시기(Timing), 빈도(Frequency), 기간(Duration), 변화율(Rate of Change)의 5가지 주요한 유황특성에 기초를 두고 있으며 수문변화에 관한 정보를 제공한다. 수문변화지표 모형의 32개 수문학적 특성지표는 Table 1과 같이 (1) 크기(Magnitude), (2) 연최대치 크기와 지속기간(Magnitude and Duration of Annual Exterm Conditions), (3) 연최대치의 발생시기(Timing of Annual Exterm conditions), (4) 홍수량과 저유량의 홍

수맥과 빈도와 주기(Frequency and Duration of High and Low Pulse), (5) 유황변화 비율과 빈도(Rate and Frequency of Water Condition Changes)의 다섯가지의 주요 통계적 지표로 구분하여 분석할 수 있다(Nature Conservancy, 2007).

각각 5가지 평가지표의 그룹은 다음 사항들을 평가·분석하게 된다. 첫째 그룹인 크기는 일 유량의 평균과 분산값을 나타내는 12개의 항목으로 구성되었다. 일 유량의 월평균이란 해당 월간 유량의 정상상태를 나타내는 값으로 하천 생태계에 생물서식처의 가용성(Availability)과 적응성(Suitability)을 제공하는 지표가 된다(Richter *et al.*, 1996). 둘째 그룹인 연최대치 크기와 지속기간은 10개의 항목으로 구성되었으며, 유량의 다양한 주기와 범위의 연단위 극한값(Minimum, Maximum)을 제공하며, 이러한 항목들은 하천생태계의 스트레스와 교란을 평가하는 지표로 활용되게 된다. 셋째 그룹인 연최대치 발생시기는 3개의 항목으로 구성되었으며, 연단위 극한값 발생시기(Julian day)에 관한 정보를 제공하고, 계절적으로 하천생태계의 스트레스와 교란을 평가하는 지표로 활용되게 된다. 넷째 그룹인 홍수량과 저유량의 홍수맥과 빈도와 주기는 4개의 항목으로 구성되었으며, 일유량의 75%를 넘는 유량과 25%를 초과하지 못하는 유량이 발생하는 빈도와 주기에 관한 정보를 제공하게 된다. 다섯째 그룹인 유황변화 비율과 빈도는 4개의 항목으로 구성되었으며, 일 유황의 증가와 감소를 나타내는 횡수와 비율에 관한 정보를 제공하고, 하천생태계의 급격한 변화도와 연간 환경변화 주기와 빈도를 평가하는 지표로 활용하게 된다.

Table 1. Summary of Hydrologic Parameters Used in the IHA and Their Characteristics.

IHA statistics group	Regime characteristics	Hydrologic parameters
Group 1: Magnitude of monthly water conditions	Magnitude Timing	Mean value for each calendar month
Group 2: Magnitude and duration of annual extreme water conditions	Magnitude Duration	Annual minima(/maxima) 1-day means Annual minima(/maxima) 3-day means Annual minima(/maxima) 7-day means Annual minima(/maxima) 30-day means Annual minima(/maxima) 90-day means
Group 3: Timing of annual extreme water conditions	Timing	Julian date of each annual 1 day maximum(/minimum)
Group 4: Frequency and duration of high and low pulses	Magnitude Frequency Duration	No. of high(/low) pulses each year Mean duration of high(/low) pulses within each year
Group 5: Rate and frequency of water condition changes	Frequency Rate of change	Means of all positive(/negative) differences between consecutive daily means No. of rises(/falls)

3. 수문변화 지표의 선정

3.1 영천댐 현황 및 분석자료 구성

금호강은 낙동강의 주요 11개 지류 중의 하나로 경상북도 영일군 죽장면 가사리에서 발원하여 대구광역시를 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.

금호강 유역의 상류에는 중규모의 영천댐이 있으며, 영천댐의 유역면적은 235 km²으로 금호강 전체 유역면적의 약 11 %를 차지하고 있다. 영천댐은 POSCO와 관련단지, 포항시 일원에 농업용수 및 생활용수를 공급하고, 댐 하류지역인 금호강 유역에 관개용수 및 하천유지용수를 공급하기 위하여 1980년 12월 준공되었다(건설부, 1977). 영천댐에서는 1981년부터 2001년까지 생공용수 2.44 m³/s, 관개용수 0.26 m³/s, 하천유지용수 0.27 m³/s를 공급하였으며, 현재는 생공용수 4.26 m³/s, 관개용수 0.39 m³/s, 하천유지용수 3.46 m³/s를 공급하고 있다(한국수자원공사, 2007).

본 연구에서는 영천댐의 영향을 고려하기 위하여 영천댐 직하류의 금호 수위관측소를 유황분석 지점으로 선정하였다. 금호 수위관측소는 1962년 7월 1일 보통수위표로 관측을 개시하여 한국수자원공사에서 관리하였으며, 1988년 1월 1일부터는 T/M 관측소로 변경되어 낙동강 홍수통제소에서 관리하고 있다. 유황분석을 위해 금호 수위관측소의 1963년부터 2001년까지의 관측된

일 유량자료를 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.

3.2 수문변화 지표의 선정

수문변화 지표를 적용하는 단계는 첫째 연구 대상지역의 수문변화 전·후의 자료 분석, 둘째 유황이 미치는 영향을 수문분석 자료를 활용하여 32개의 지표 선정, 셋째 32개 지표의 64개의 연간 통계특성(평균과 분산) 분석, 넷째 64개의 연간통계특성에 관한 수문변화 전·후의 영향을 비교·분석하는 4가지 단계로 구분할 수 있다(Richter *et al.*, 1996).

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.

3.2.1 크기

Table 2의 그룹 1에서 영천댐 건설 전·후의 월평균 유황변화를 분석한 결과, 갈수기인 1월부터 6월까지와 10월부터 12월까지의 유황은 댐 건설 후 전반적으로 감소하였다. 일반적으로 다목적댐의 경우 갈수기의 평균

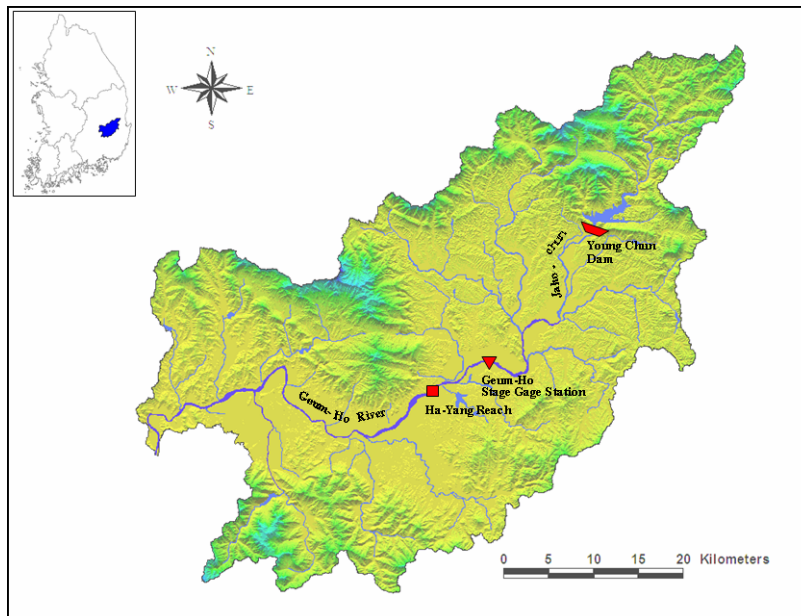


Fig. 1. Location Map of the Study Area

Table 2. 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

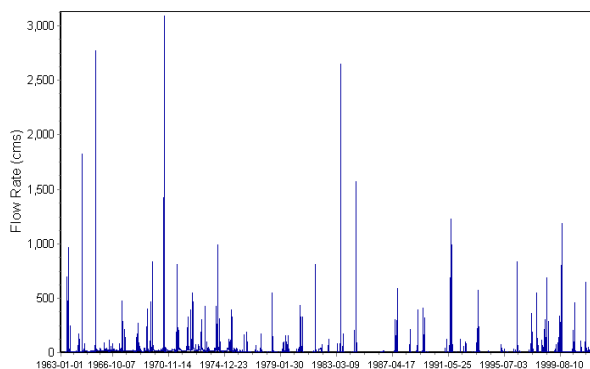


Fig. 2. Daily Data

유량은 증가하는 경향이 있으나(이진원 등, 1993; Graf, 2006), 영천댐의 경우는 용수전용댐으로 유역외인 포항 지역으로 생공용수 공급과 댐 하류구간의 하천수 사용량 증가 등의 원인으로 갈수기 동안 댐으로 인한 유량이 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. Fig. 3은 영천댐 건설 전·후의 월평균 유량의 변화를 나타내며, Fig. 4와 5는 갈수기인 2월과 우기인 7월의 월평균 유량의 변화를 분석한 결과이다.

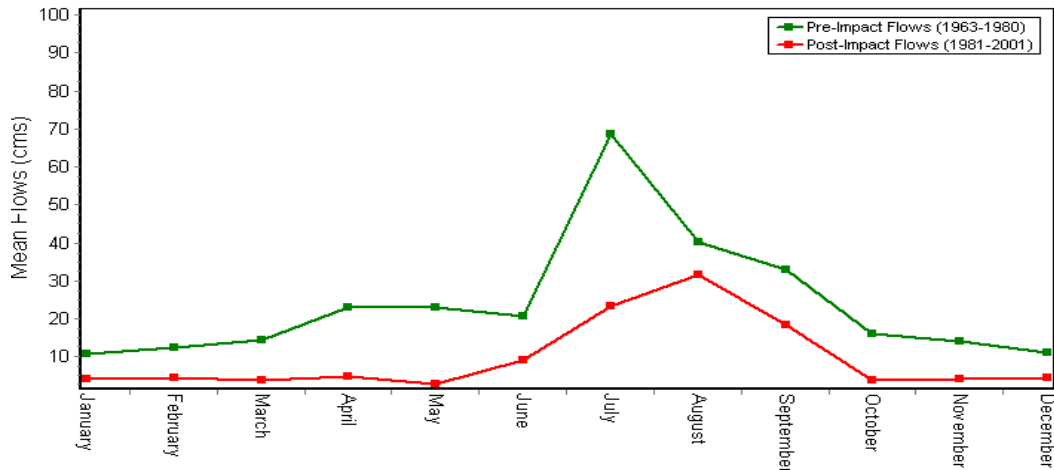


Fig. 3. Monthly Flow Alteration (1963–2001)

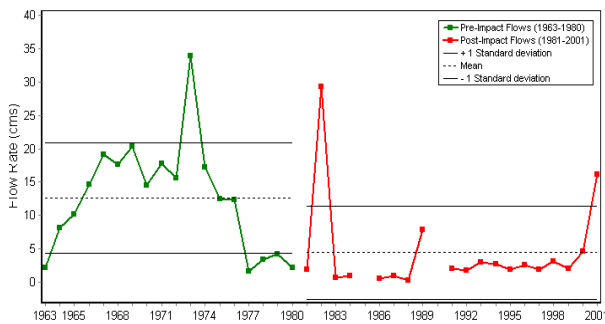


Fig. 4. Monthly Flows for February

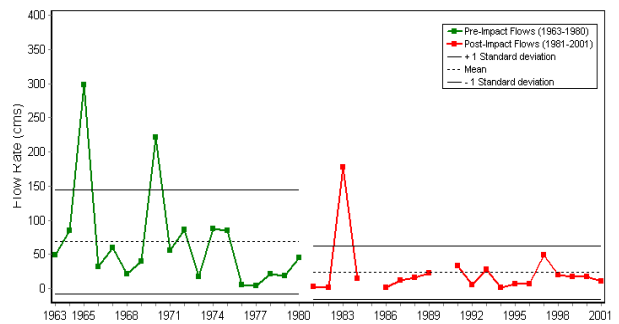


Fig. 5. Monthly Flows for July

3.2.2 연 극치유량의 크기와 기간

Table 2에서 그룹 2는 1일, 3일, 7일(주단위), 30일(월 단위), 90일(계절별)의 최대유량, 최소유량을 산정하는 10개의 매개변수로 구성되어 있으며, 연 극치유량의 크기와 기간을 분석한 결과, 1일 최소유량의 평균값은 댐 건설 전 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 산정

되었다. 일반적으로 다목적댐의 경우 최소유량은 증가하고, 최대유량은 감소하는 경향이 있으나(Graf, 2006), 금번 분석결과, 최소유량과 최대유량 모두 감소하고 있어, 월평균유량과 같이 영천댐이 포항지역에 용수를 공급하기 위하여 용수전용댐으로 건설되었기 때문인 것으로 판단된다. 1일 최소유량과 1일 최대유량의 댐 건설 전·후의 분석결과는 Fig. 6 및 7과 같다.

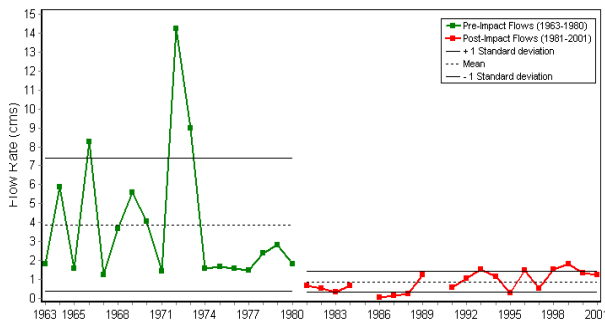


Fig. 6. 1-Day Minimum Flows

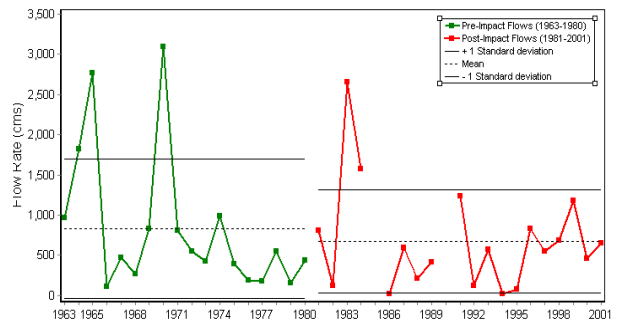


Fig. 7. 1-Day Maximum Flows

3.2.3 연 극치유량의 발생시기

과거 수문자료를 이용하여 가뭄과 홍수의 시기를 산정하고 예측하는 지표로서 Julian Day로 나타낸다. 여기서 Julian Day란 1월 1일을 기점으로 통산한 일수로 해마다 1~365(6)의 범위를 가지며, 30은 1월 30일, 365(6)는 12월 31일을 의미한다. 댐 건설 전 최소유량의 평균 Julian Day는 198일로 7월 중순경에 발생하였으나, 댐 건설 후 평균 Julian Day는 258일로 9월경에 발생하는 것으로 분석되었다. 반면에 댐 건설 전 최대유량의 평균 Julian Day는 209일로 7월경, 댐 건설 후 평균 Julian Day는 217일로 8월경에 발생하는 것으로 분석되었다. 연극치 유량의 발생시기는 Fig. 8 및 9에 제시하였다.

Fig. 9에서 1997년 비정상값으로 판단되는 최대유량을 분석한 결과, 1997년의 최대유량 발생시기가 Julian Day 330일(11월25일)에 발생한것은 11월25일의 강우량이 45.3 mm(1997년 일최대강우)을 기록하였던 원인으로 분석되었다.

3.2.4 홍수맥파(Low · High Pulse)의 빈도와 기간

홍수맥파(Flood Pulse) 개념이란 홍수터를 범람하는 규모이상의 홍수는 하도와 홍수터의 중요 유기체들의 생산과 교환을 촉진시키며, 대부분의 하천 생물종들은 규칙적인 발생빈도와 지속시간을 가진 홍수에 적응하거

나 생존자체를 의존하게 된다는 것이다(Junk et al. 1989). 수문곡선에서의 파고와 파장을 의미하는 Table 2의 그룹 4에서는 고저 홍수맥파(High · Low Pulse)의 빈도와 기간을 나타내는 것으로, 다음 Fig. 10과 12에서는 홍수맥파(Flood Pulse) 개념을 의미하는 맥파(Pulse)의 발생횟수를 나타냈다. 댐 건설 전의 저맥파(Low Pulse)의 발생횟수는 3회와 지속기간은 23일, 댐 건설 후에는 7회와 지속기간 61일로 나타났고, 댐 건설 전의 고맥파(High Pulse)의 발생횟수는 4회와 지속기간은 2일, 댐 건설 후의 맥파 발생횟수는 3회와 1.6일로 분석되었다.

Fig. 11에서 1994년의 비정상 값으로 판단되는 저맥파(Low Pulse)의 지속기간을 분석한 결과, 1994년 총강우량이 582mm에 불과하고 극심한 가뭄이 지속되었던 것이 원인으로 분석되었다.

3.2.5 변화율과 빈도

Table 2에서 그룹 5는 수문변화율을 나타내는 지표로서 Fig. 14에 수문변화 상승율을 Fig. 15에 수문변화 감소율을 나타냈다. 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.

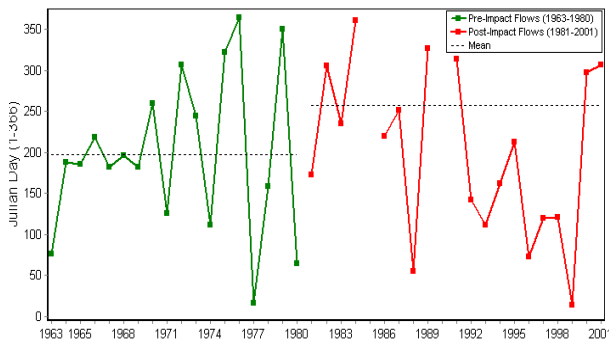


Fig. 8. Date of Minnum Flows

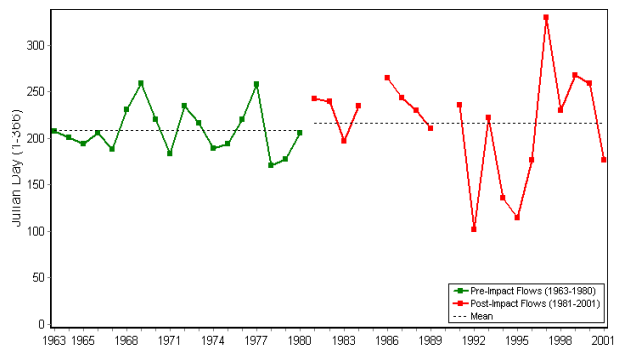


Fig. 9. Date of Maximum Flows

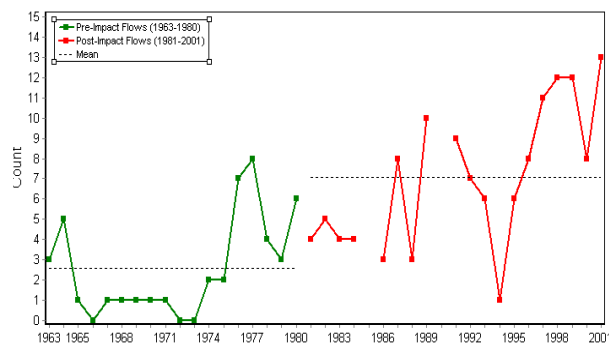


Fig. 10. Low Pulse Count

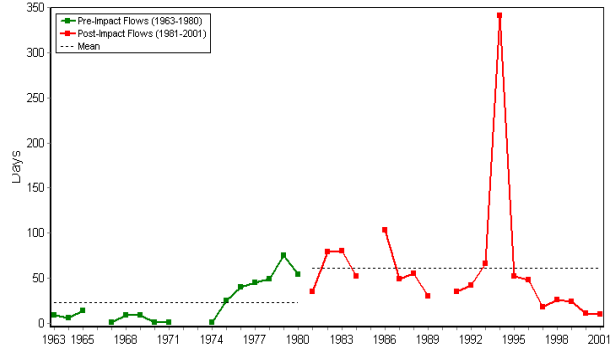


Fig. 11. Low Pulse Duration

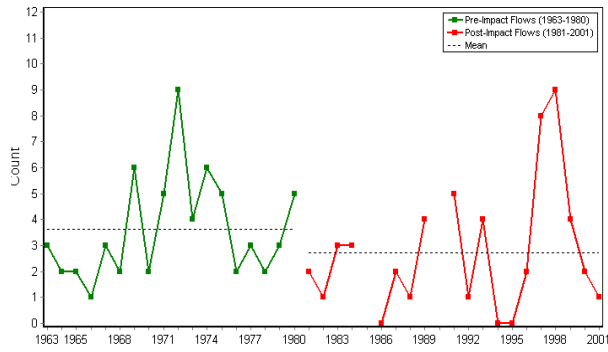


Fig. 12. High Pulse Count

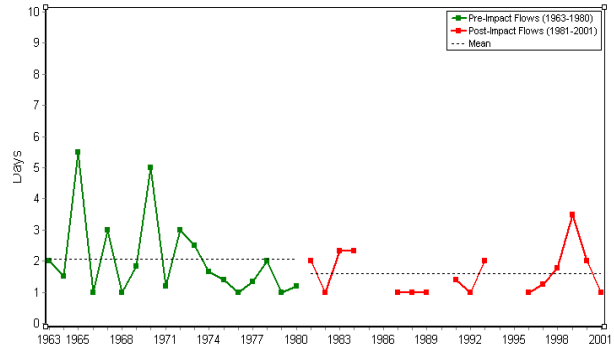


Fig. 13. High Pulse Duration

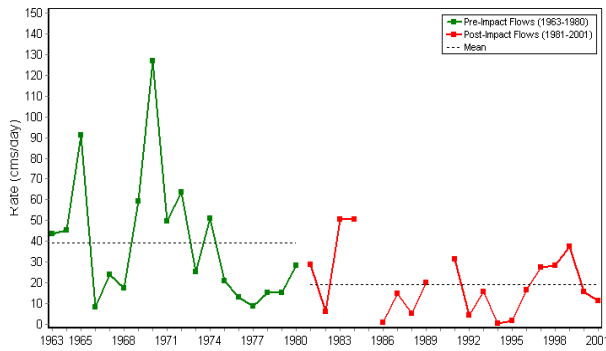


Fig. 14. Rise Rate

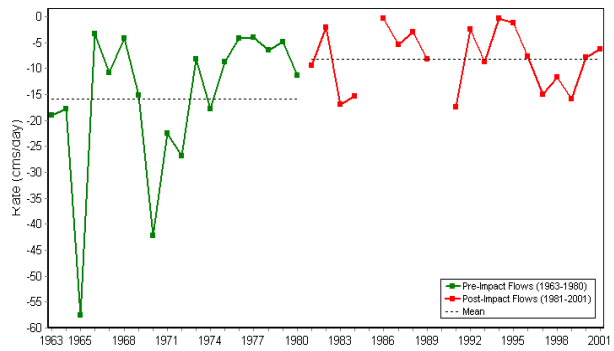


Fig. 15. Fall Rate

3.3. 변동계수 분석

수문변화 지표모형은 일유량을 입력자료로 하여, 수문변화를 중심값의 변화를 분석하는 평균(중앙값포함)과 평균값의 분산정도를 나타내는 변동계수(Coefficient of Variation, CV)를 제공하게 된다. 영천댐의 건설 전·후의 유황의 변화를 변동계수를 적용하여 Table 2로부터 분석하면 다음과 같다. 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 건설 전·후를 비교하여 0.269에서 0.282, 0.069에서 0.153으로 증가하여 오히려 댐 건설이후 변동계수가 증가한 경향이 있다. 이것은 최소유량과 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.

4. 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, 극한유량(홍수와 가뭄)의 발생시기와 빈도, 일단위 혹은 계절단위, 연단위의 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 유황변화에 관한 연구가 다목적댐을 위주로 시행되었으나 단일목적댐의 유황변화는 다목적댐과 다를 것이라고 정성적으로 제기되었던 사항을 본 연구에서는 정량적으로 분석·제시하고자 하였다.

그러나, 금번 연구는 댐 건설이 하류하천의 미치는 많은 영향요인 중 유황에 국한하여 시행하였다. 유황변화는 댐의 영향뿐만 아니라 기후적인 수문변화의 영향도 있으나 이러한 요인들은 금번 연구에는 반영하지 못

하였다. 또한 금번 연구에서는 수문변화 지표(IHA) 모형을 적용하였으나 우리나라의 수문특성을 반영할 수 있는 모형을 비교·검증하는 연구도 필요하며, 향후 이러한 연구들은 지속적으로 시행하고자 한다. 본 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 영천댐 건설 전·후의 월평균 유황변화를 분석한 결과, 포항지역의 생공용수 공급과 댐 하류의 하천수 사용량 증가 등의 원인으로 갈수기인 1월부터 6월까지와 10월부터 12월까지의 유황은 댐건설 후 전반적으로 감소한 것으로 분석되었다.
- 2) 연 극치유량의 크기와 기간을 분석한 결과, 1일 최소유량의 평균값은 댐 건설 전 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.
- 3) 연 극치유량의 발생시기 분석결과, 댐 건설 전 최소유량의 평균 Julian Day는 198 일(7월), 댐 건설 후는 258 일(9월)에 발생하는 것으로 분석되었다. 반면에 댐 건설 전 최대유량의 평균 Julian Day는 209 일(7월), 댐 건설 후는 217 일(8월)에 발생하는 것으로 분석되었다.
- 4) 홍수맥파의 빈도와 기간 분석결과, 댐 건설 전의 저맥파(Low Pulse)의 발생횟수는 3회와 지속기간은 23 일, 댐 건설 후에는 7회 지속기간 61 일로 나타났고, 댐 건설 전의 고맥파(High Pulse)의 발생횟수는 4회와 지속기간은 2 일, 댐 건설 후의 맥파 발생횟수는 3회 1.6 일로 나타났다.
- 5) 변화율과 빈도의 분석결과, 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.
- 6) 분산정도를 변동계수로 분석한 결과, 댐 건설 전·후 1일 최소·최대유량의 변동계수도 각각 0.9054에서 0.6314와 1.0440에서 0.9617로 모두 감소하였으며, 연 극치유량 발생시기의 변동계수는 댐 건설전·후를 비교하여 0.269에서 0.282, 0.069에서 0.153으로 증가하여 오히려 댐건설이후 변동계수가 증가한 경향이 있다. 또한 변화율의 분석결과 상승율은 변동계수가 0.799에서 0.807로 증가하였으나, 하강율은 -0.911에서 -0.715로 감소하였다.
- 7) 비정상값에 대한 분석결과, 최대유량에서 1997년의 최대유량 발생시기가 Julian Day 330일(11월25

일)에 발생한 것은 11월25일의 강우량이 45.3 mm (1997년 일최대강우)을 기록하였던 원인이었으며, 1994년의 저맥파(Low Pulse)의 지속기간은 1994년의 총강우량이 582mm에 불과하고 극심한 가뭄이 지속되었던 것이 원인으로 분석되었다.

참 고 문 헌

- 건설부 (1977). **포항공업용수도 확장사업 실시설계보고서 추가보고서**
- 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.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제9호, pp. 771-778.
- 윤용남, 박무중 (1993). “댐 건설로 인한 5대수계 분류의 유황변화 분석.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제13권, 제3호, pp. 79-91.
- 이진원, 김형섭, 우효섭 (1993). “댐 건설로 인한 5대수계 분류의 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.
- Henriksen, J. A., Heasley, J., Kennen, J.G., Newsand, S. (2006). “Users’ Manual for the Hydroecological Integrity Assessment Process Software(including the New Jersey Assessment Tools).” U.S. Geological Survey, Biological Resources Discipline, Open File Report2006-1093.
- Junk, W. J., Baylay, P. B., and Sparks, R. E. (1989). “The Flood Pulse Concept in River Floodplain Systems.” *Procedure International Large River Symposium*, Canada, Special Publication, *Fish Aquatic Science*, Vol. 106, pp. 110-127.
- Lajoie, F., Assani, A. A., Roy, A.G., Mesfioui, M. (2007). “Impacts of Dams on Monthly flow Characteristics-The Influence of Watershed size and Seasons.” *Journal of hydrology*, Vol. 334, pp. 423-439.
- Magilligan F. J., Nislow K. H. (2005). “Change in Hydrologic Regime by Dams.” *Geomorphology*, Vol. 71, pp. 61-78.

- 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 Paradigam 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.
- (논문번호:07-103/접수:2007.10.02/심사완료:2008.01.09)