

수문변화 지표법에 의한 다목적댐의 유입량과 방류량 변화분석

Inflow and Outflow Variation Analysis of the Multi-Purpose Dam by Indicators of Hydrologic Alterations

박봉진* / 강기호** / 정관수***

Park, Bong Jin / Kang, Ki Ho/ Jung, Kwan Sue

요 지

본 연구에서는 수문변화 지표법을 적용하여 11개 주요 다목적댐의 월 유량 크기, 연 최소·최대유량 크기와 지속기간, 고·저맥과 빈도와 주기, 수문곡선 변화 비율과 빈도를 분석하였다. 월 유량변화 분석 결과, 갈수기에 해당하는 10월부터 다음 해의 6월까지의 유입량이 6.38 m³/sec ~ 39.84 m³/sec이었으나, 방류량은 20.36 m³/sec ~ 49.43 m³/sec로 1.84 % ~ 200.98 %까지 증가하였다. 우기철인 7월부터 9월까지의 유입량이 79.06 m³/sec ~ 137.12 m³/sec이었으나, 방류량은 65.32 m³/sec ~ 80.16 m³/sec로 18.19 % ~ 40.39 %가 감소하였다. 연 최소·최대 유량변화 분석 결과는 1일 최소유량이 82.86 % ~ 2,950%까지 증가하였으며, 연 최소 및 최대 유량변화는 1일 최소유량은 82.86 % ~ 2,950 %까지 증가하였으나, 1일 최대유량은 34.78 % ~ 83.96 %까지 감소하였다. 고·저맥과의 빈도와 주기의 분석 결과, 저맥과의 발생 횟수는 댐 조절후 29.67 % ~ 99.07 %가 감소하였으며, 고맥과의 발생횟수도 4.6 % ~ 92.35 %가 감소하였다. 수문곡선 변화 비율과 빈도의 분석 결과 상승률은 15.84 % ~ 79.31 %가 감소하였으며, 하강율은 1.97 % ~ 107.10 %가 감소하였다. 유량변화정도 분석 결과는 1일 최소유량은 0.60 ~ 2.67 증가하였으며, 1일 최대유량은 0.50 ~ 1.00으로 감소하였다.

핵심용어 : 수문변화지표법, 다목적댐, 월 유량의 크기, 연최소·최대유량 크기와 지속기간, 연최소·최대 유량의 발생시기, 고·저맥과 빈도와 주기, 수문곡선 변화 비율과 빈도

1. 서론

하천은 살아있는 유기체로 끊임없이 변화하는 특성을 가지고 있다. 자연적인 유량변화인 주기적인 홍수와 가뭄은 하천을 삶의 터전으로 살아가는 생물들의 건진성을 유지하는 핵심적인 요소이다 (Junk et al., 1989). 그러나 댐 건설로 인한 유량변화는 하천생태계의 생물학적 구조와 기능에 중요한 영향을 미치게 된다(Richter et al., 1996; Henriksen et al., 2006).

댐이 하천에 미치는 영향에 관한 국내 연구는 유량 변화 위주로 연구되어 왔다(윤용남과 박무중, 1993; 이진원 등, 1993; 김태균 등, 2002).

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

* 정회원·한국수자원공사 댐유역관리처 하천유역팀장·E-mail: bongjinpark@kwater.or.kr

** 정회원·한국수자원공사 댐유역관리처 하천유역팀 하천사업차장·E-mail: kangkiho@kwater.or.kr

*** 정회원·충남대학교 공과대학 토목공학과 부교수·E-mail: ksjung@cnu.ac.kr

(Hydroecological Integrity Assessment Process)이 대표적인 모델이다(Henriksen et al., 2006). 수문 변화 지표법은 130 여건의 연구 및 적용사례가 있으며(Nature Conservancy, 2007) 그중 주요한 연구 사례는 다음과 같다. Graf(2006)는 미국의 1.2 km²이상 32개 대댐의 수문과 지형적인 영향을 분석 제시하였다. Lajoie 등(2007)은 캐나다 Quebec 주의 자연하천(Natural Rivers) 76개 구간과 댐의 영향을 받는 하천(Reservoir Regulated Rivers) 25개 구간의 월유량 특성을 분석하였다. 우리나라에서는 박봉진 등(2008)이 수문변화 지표법을 처음 적용하여 영천댐이 하류하천에 미치는 유량변화를 분석한 바 있다.

하천의 유량은 크기(Magnitude), 발생시기(Timing), 발생빈도(Frequency), 기간(Duration), 변화율(Rate of change)의 5가지의 주요한 특성을 고려하여 분석하게 된다(Poff and Ward, 1989; Richter et al., 1996). 국내에서는 댐으로 인한 유량변화를 분석하는 방법으로, 대부분 10년 이상의 일 유량자료를 활용하여 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량을 산정하고, 이들을 유량변화의 지표로 활용하고 있다(이진원 등, 1993; 김태균 등, 2002). 그러나 이렇게 단순한 4가지 지표로 댐이 하류하천에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고 제시하는 것은 한계가 있었다.

따라서 본 연구에서는 수문변화 지표법을 적용하여 우리나라의 소양강댐 등 11개 주요 다목적댐에서의 일단위 유입량과 방류량을 분석하여 댐운영이 하류하천에 미치는 영향을 분석·제시하고자 하였다. 금번 수문변화 지표법으로 적용한 분석항목은 유량의 크기, 연최소·최대유량 크기와 지속기간, 고·저맥과 빈도와 주기, 수문곡선 변화 비율과 빈도 등이다.

2. 수문변화지표 모형

2.1 모형의 개요

수문변화지표 모형은 자연유량 특성과 유황(Hydrologic Regimes)의 변화를 정량적으로 계산할 수 있도록 Richter 등(1996)에 의해 개발되었으며, 일 유량자료를 분석하여 유량변화의 32개 인자를 계산할 수 있다. 수문변화지표 모형에 의해서 산정된 32개의 지표는 다음과 같이 다섯 가지의 주요 통계적 지표를 제공한다(Nature Conservancy, 2007). 첫째 월유량 변화의 크기, 둘째 연최소·최대 유량 크기와 지속기간, 셋째 연최소·최대유량의 발생시기, 넷째 고·저맥과의 빈도와 주기, 다섯째, 수문곡선 변화 비율과 빈도이다.

2. 분석 대상댐 및 수문자료

본 연구는 홍수조절과 발전, 용수공급 등의 역할을 하는 소양강댐을 포함하여 우리나라의 주요 다목적댐 11 개소를 선정하였다. 본 연구에서는 국가수문정보시스템에서 제공하는 수문자료를 활용하였으며, 댐별 분석기간은 Table 1과 같다. 댐 지점에서의 유입량은 댐 상류지역으로 취수 또는 도수하는 모든 유량을 포함하여 댐으로 유입하는 전체 유량자료를 적용하였으며, 댐 하류측의 방류량을 댐 운영후의 댐 상류지역으로 취수 또는 방류하는 유량은 제외하고, 순수히 댐 하류하천으로 방류한 자료를 사용하였다. 조정지댐이 있는 충주댐, 안동댐, 합천댐, 임하댐, 주암댐은 댐 하류측의 방류량을 조정지댐의 방류량 자료를 사용하였다.

Table 2. Information of the dam close and analysis year

Dam	Dam closed	Analysis Years	Duration (Years)	Analysis Site
So Yang	1973. 12	1974 ~ 2006	33	dam
Chung Ju	1986. 10	1986 ~ 2006	21	regulation dam
Hoeong Seong	2002. 11	2001 ~ 2006	6	dam
Dae Chung	1981. 6	1981 ~ 2006	26	regulation dam
Bo Ryeong	2000. 6	1999 ~ 2006	8	dam
An Dong	1977. 5	1977 ~ 2006	30	regulation dam
Im Ha	1993. 12	1993 ~ 2006	14	regulation dam
Hap Chun	1989. 12	1990 ~ 2006	17	regulation dam
Mil Yang	2002. 12	2002 ~ 2006	5	dam
Sum Jin	1965. 12	1975 ~ 2006	32	dam
Ju Am	1992. 12	1991 ~ 2006	16	regulation dam

3. 수문변화 지표 분석

3.1 월 유량의 변화 크기

소양강댐 등 11개 다목적댐의 월 유량변화의 산정 결과 갈수기에 해당하는 10월부터 다음해의 6월까지 8개월간은 월평균 유입량이 6.38 m³/sec ~ 39.84 m³/sec이었으나, 월평균 방류량은 20.36 m³/sec ~ 49.43 m³/sec로 1.84 % ~ 200.98 %가 증가하였다. 특히 유입량이 급격히 감소하는 11월에서 2월까지 4개월간의 유량은 평균 12.74 m³/sec로 143 %가 증가하였으나, 4월에는 평균유입량이 30.44 m³/sec이었으나, 평균방류량은 26.29 m³/sec로 18.62 %가 감소하였다. 우기철인 7월부터 9월까지 3개월간은 월평균 유입량이 79.06 m³/sec ~ 137.12 m³/sec이었으나, 월평균 방류량은 65.32 m³/sec ~ 87.26 m³/sec로 18.19 % ~ 40.39 %가 감소하였다.

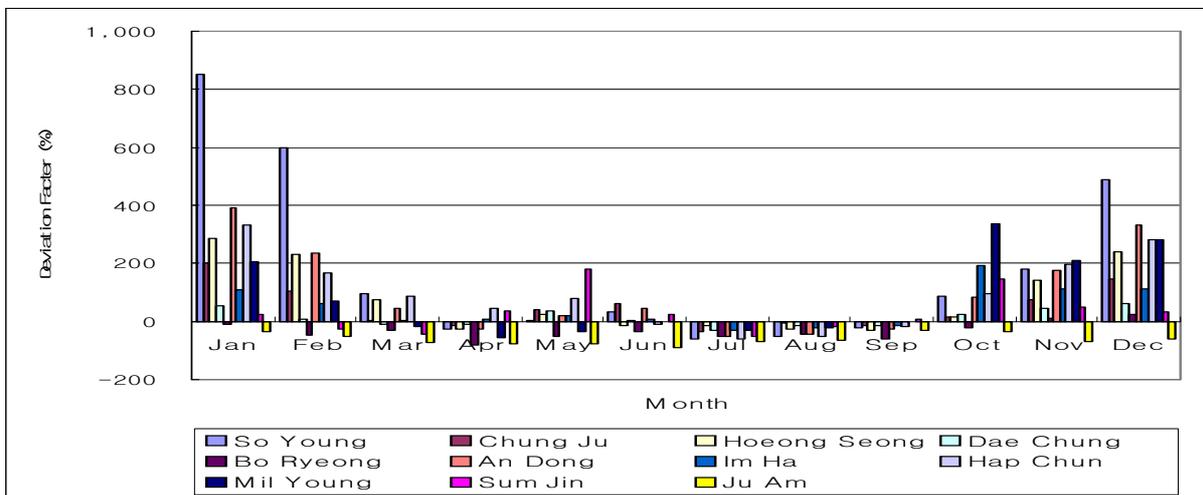


Fig. 1. percent difference in the means between pre & post impact condition for monthly mflow

3.2 연 최소·최대유량 크기와 지속기간

연 최소유량 변화의 산정 결과, 1일 최소유량은 갈수기 동안 댐의 용수공급, 발전 등 댐 운영과 관련된 지표이다. 댐 운영으로 인한 하류하천으로 방류하는 1일 최소유량은 충주댐이 7.59 m³/sec에서 13.87 m³/sec로 82.86 %가 증가하였으며, 주암댐이 0.03 m³/sec에서 0.81 m³/sec로 2,950 %가 증가하였다. 월단위의 댐 운영계획에 중요한 30일 최소유량은 주암댐이 1.22 m³/sec에서 1.16 m³/sec로

4.57 %가 감소하였으나 밀양댐이 0.14 m³/sec에서 0.76 m³/sec로 430.70 %가 증가였다. 계절적인 요인을 반영하는 90일 최소유량은 주암댐이 2.93 m³/sec에서 1.23 m³/sec로 58.05 %가 감소하였으나 소양강댐은 11.47 m³/sec에서 39.41 m³/sec로 243.40%가 증가하였다.

연 최대유량 변화의 산정 결과, 1일 최대유량은 황성댐이 329.20 m³/sec에서 214.70m³/sec로 34.78 %가 감소하였으며, 안동댐이 1,090 m³/sec에서 174.80 m³/sec로 83.96 %가 감소하였다. 3일 최대유량은 황성댐이 186.60 m³/sec에서 160.90 m³/sec로 13.74 %가 감소하였으며, 안동댐이 1,090 m³/sec에서 174.8 m³/sec로 83.96 %가 감소하였다.

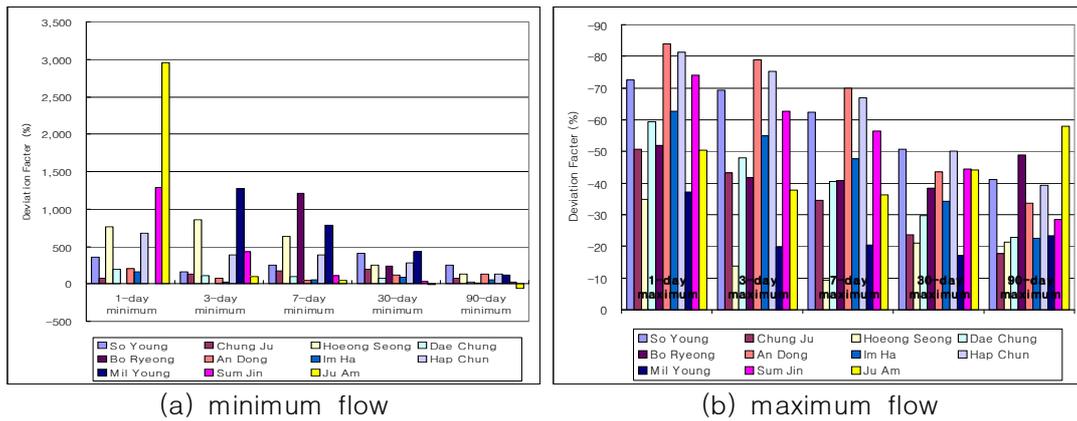


Fig. 2. percent difference in the means between pre & post impact condition for

3.3 고저맥과의 빈도와 주기

수문곡선이 25 % 이하로 떨어지는 기간을 저맥과, 75 %를 초과하는 기간을 고맥과로 분류한다. 고저맥과의 빈도와 주기의 산정 결과 댐 운영이후 29.67 % ~ 99.07 %가 감소하였으며, 저맥과의 기간은 27.18 % ~ 681.10 %까지 분포하였다. 고맥과의 발생 횟수는 댐 조절방류 이후 4.60 % ~ 92.35 %가 감소하였으며, 고맥과의 기간은 2.00 % ~ 137.50 %까지 증가하였다.

3.4 수문곡선 변화 비율과 빈도

수문곡선 변화 비율과 빈도의 산정 결과 상승률은 15.84 % ~ 79.31 %가 감소하였으며, 하강율은 -1.97 % ~ 107.10 %까지 분포하였다. 상승에서 하강 또는 하강에서 상승의 횟수는 3.15 % ~ -161.40 %까지로 분석되었다.

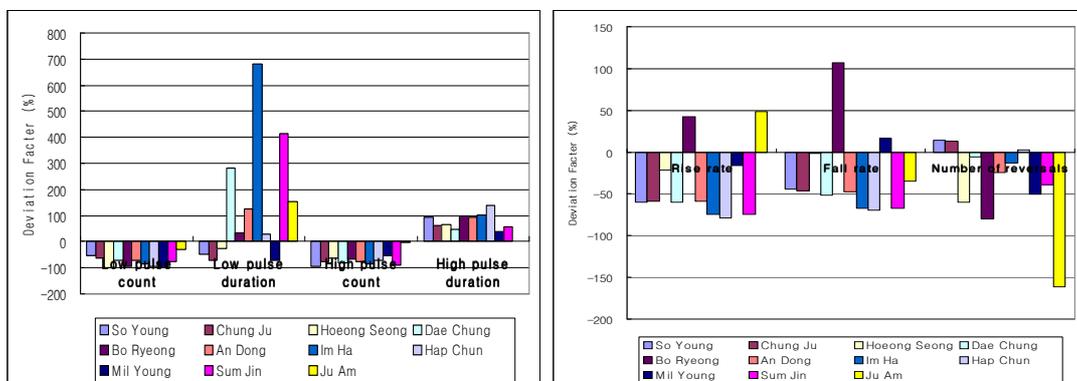


Fig. 3. the low & high pulse count and Fig. 4. number of hydrograph reversal, rise rate, fall rate

4. 결론

금번 연구에서는 수문변화지표 모형을 적용하여 우리나라의 소양강댐 등 11개 주요 다목적댐을 대상으로 댐의 유입량과 방류량에 의한 유량의 크기, 연최소·최대유량 크기와 지속기간, 고저맥과 빈도와 주기, 수문곡선 변화 비율과 빈도, 유량변화정도를 분석하였다. 분석결과, 갈수기에 해당하는 10월부터 다음 해의 6월까지 월평균 방류량은 20.36 m³/sec ~ 49.43 m³/sec로 유입량과 비교하여 1.84 % ~ 200.98 %가 증가하였다. 우기철인 7월부터 9월까지 월평균 방류량은 65.32 m³/sec ~ 87.26 m³/sec로 유입량과 비교하여 18.19 % ~ 40.39 %가 감소하였다. 년 최소 및 최대 유량의 변화는 1일 최소유량은 82.86 % ~ 2,950 %까지 증가하였으나, 1일 최대유량은 34.78 % ~ 83.96 %까지 감소하였다. 이와 같은 유량변화는 댐이 홍수기 동안은 일시적으로 유입하는 홍수량을 저류하여 하류하천의 홍수를 조절하고, 갈수시에 발전 및 용수 안정적으로 공급하는 것을 목적으로 하고 있기 때문에 필연적이다.

수자원 이용의 극대화를 위하여 댐 건설이 피할 수 없는 상황이라면, 댐도 하천의 일부로써 인식하고 댐과 하천이 함께 공유할 수 있는 방안이 모색되어야 한다. 미국, 일본 등에서는 댐 건설로 인한 하류하천의 생태계 변화를 회복하기 위한 댐 운영방식 변화를 시도하고 있다. 따라서 본 연구는 댐 건설로 인한 하류하천에 미치는 영향을 분석하고 평가하여 댐 운영의 새로운 개념들이 전향적으로 도입되어야 할 시기에 필요한 연구라고 판단된다.

참고문헌

- 김태균, 윤용남, 안재현 (2002). “댐 건설에 따른 하류 유황의 변화 분석.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp. 807-916.
- 박봉진, 김준태, 장창래, 정관수 (2008). “수문변화 지표법에 의한 영천댐이 하류하천에 미치는 유황 변화 분석.” 한국수자원학회, **한국수자원학회논문집**, 제41권 제2호, pp. 163-172.
- 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.
- 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 Report 2006-1093.
- 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.
- 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.
- Richther, B. D., Baumgartner, J. F., Powell, J., Braun, D. P. (1996). "A Method for Assessing Hydrologic Alterations within Ecosystems." *Conservation Biology*, Vol. 10, No. 4, pp. 1163-1174.