

수문변화지표법을 이용한 댐 특성요소별 하류하천에 미치는 영향분석

An Analysis of the down stream impact of dam Characteristics of Dam Using Indicators of Hydrologic Alterations

강기호*, 박봉진**, 정관수***

Ki Ho Kang, Bong Jin Park, Kwan Sue Jung

요 지

본 연구에서는 수문변화 지표법을 적용하여 광동댐 등 12개 용수 전용댐의 연 최소·최대유량 크기와 지속기간, 고저맥과 빈도와 주기, 수문곡선 변화 비율과 빈도, 유량변화정도 등을 분석하여 댐이 하류하천에 미치는 영향을 수치로 제시 하였다. 광동댐 등 12개 댐의 월 유량변화를 산정한 결과, 갈수기에 해당하는 10월부터 다음해 6월까지 8개월간의 댐건설전 월평균 방류량은 0.64 m³/sec ~ 3.05 m³/sec이었으나, 댐건설후 월평균 방류량은 0.33 m³/sec ~ 2.99 m³/sec로 -69.7 % ~ 167.8 %의 분포를 나타내고 있으며, 12월과 1월을 제외하면 댐건설 이후 오히려 6.8 % ~ 69.7 %가 감소하였다. 우기철인 7월부터 9월까지 3개월간은 댐건설전 월평균 방류량이 6.82 m³/sec ~ 7.67m³/sec이었으나, 댐건설후 월평균 방류량은 4.12 m³/sec ~ 4.35 m³/sec로 51.0 % ~ 55.1 %가 감소하여 저수지 공용량을 이용한 저류효과가 다소 있었던 것으로 분석되었다. 연 최소·최대유량 크기와 지속기간 분석결과 1일, 3일, 7일, 30일, 90일 최소유량은 광동댐 등 10개 댐이 댐건설 전후 모두 0.0 m³/sec로 증감이 없었으며, 달방댐의 경우 30일 최소유량이 0.026 m³/sec에서 0.000 m³/sec로 99.11 %가 감소 하였다. 영천댐의 경우도 30일 최소유량이 0.101 m³/sec에서 0.067 m³/sec로 33.73 %가 감소 하였으며, 90일 최소유량의 경우 달방댐은 0.067 m³/sec에서 0.031 m³/sec로 53.48 %가 영천댐은 0.219 m³/sec에서 0.150 m³/sec로 31.29 %가 감소하였다. 12개 용수 전용댐중 유지용수공급이 계획되어 있는 영천댐과 달방댐을 제외하고는 댐하류 방류량이 없이 건천화 되었다는 사실을 알 수 있다. 고저맥과의 빈도와 주기 분석결과 댐건설 이후 수문곡선이 25% 이하로 떨어지는 저맥과는 72.99 % ~ 98.52 %가 감소하였으며, 저맥과의 기간은 -80.0 % ~ 4,423.3 %까지 분포하여 상당히 증가하였다. 수문곡선이 75%를 초과하는 고맥과의 발생 횟수는 댐건설 이후 34.28 % ~ 91.67 %가 감소하였으며, 고맥과의 기간은 -64.31 % ~ 135.62 %로 증가 또는 감소하였다.

핵심용어 : 댐 특성요소, 수문변화지표법, 유황, 연 극치유량 크기와 지속기간, 연 극치유량 발생 시기, 홍수맥과 빈도와 기간, 변화율, 변동계수

1. 서론

댐이 하천에 미치는 영향에 관한 국내 연구는 유량 변화 위주로 시행되어 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)이 대표적인 모델이다(Henriksen et al., 2006). 수문변화 지표법은 130 여건의 연구 및 적용사례가 있으며 우리나라에서는 박봉진 등(2008)이 수문변화 지표법을 처음 적용하여 영천댐이 하류하천에 미치는 유량변화를 분석한 바 있다.

다목적댐과 달리 대다수 용수 전용댐의 경우 댐건설이후 하천유지용수를 별도로 방류하고 있지 못한 실정으로 이로 인한 건천화 문제가 심각하며, 수질오염 문제와 더불어 하도로의 육상식물

침입으로 인한 하천생태계 교란 등 다양한 문제를 유발하고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 체계적으로 분석하고자 수문변화 지표법(Indicators of Hydrologic Alteration)을 적용하여 한국 수자원공사에서 관리하는 광동댐 등 12개 용수 전용댐의 일단위 유입량과 방류량을 이용, 연최소·최대유량 크기와 지속기간, 고저맥과 빈도와 주기, 수문곡선 변화 비율과 빈도, 유량변화정도 등을 분석하여 댐운영이 하류하천에 미치는 영향을 분석·제시하고자 하였다.

2. 수문변화지표 모형의 개요

수문변화지표 모형은 Richter 등(1996)에 의해 개발되었으며, 수문변화지표 모형에 의해서 산정된 32개의 지표는 다음과 같이 다섯가지의 주요 통계적 지표로 구분하여 제공한다. 첫째, 크기, 둘째, 연최대치 크기와 지속기간, 셋째, 연최대치의 발생시기, 넷째, 홍수량과 저유량의 홍수맥과 빈도와 주기, 다섯째, 유황변화 비율과 빈도 등 이다.

3. 분석대상 용수 전용댐 수문자료 현황

용수 전용댐 중 일유입량 자료 보유기간이 3년 이상 되는 12개 댐을 대상으로 시행하였다.

Table 1. Information of the dam close and analysis year

Dam	Dam closed	Analysis Years	Duration (Years)
Kwang Dong	1989. 9	1989 ~ 2007	19
Dal Bang	1990. 5	2001 ~ 2007	7
Young Chun	1980.12	1994 ~ 2007	14
Un Mun	1994. 9	1997 ~ 2007	11
An Gye	1971.12	1980 ~ 2000	21
Dae Gok	2005.12	2005 ~ 2007	3
Sun Am	1964.12	1998 ~ 2007	10
Dae Am	1969.12	2001 ~ 2007	7
Yeon Cho	1979.12	2001 ~ 2007	7
Gu Chun	1987.11	1995 ~ 2007	13
Sa Yeon	1965.12	2001 ~ 2007	7
Su Eo	1978. 5	2001 ~ 2007	7

4. 수문변화지표 분석 결과

4.1 월 유량의 변화 크기

광동댐 등 12개 댐의 월 유량변화를 산정한 결과, 갈수기에 해당하는 10월부터 다음해 6월까지 8개월간의 댐건설전 월평균 방류량은 0.64 m³/sec ~ 3.05 m³/sec이었으나, 댐건설후 월평균 방류량은 0.33 m³/sec ~ 2.99 m³/sec로 -69.7 % ~ 167.8 %의 분포를 나타내고 있으며, 12월과 1월을 제외하면 댐건설 이후 오히려 6.8 % ~ 69.7 %가 감소하였다. 우기철인 7월부터 9월까지 3개월간은 댐건설전 월평균 방류량이 6.82 m³/sec ~ 7.67m³/sec이었으나, 댐건설후 월평균 방류량은 4.12 m³/sec ~ 4.35 m³/sec로 51.0 % ~ 55.1 %가 감소하여 저수지 공용량을 이용한 저류효과가 다소 있었던 것으로 분석되었다.

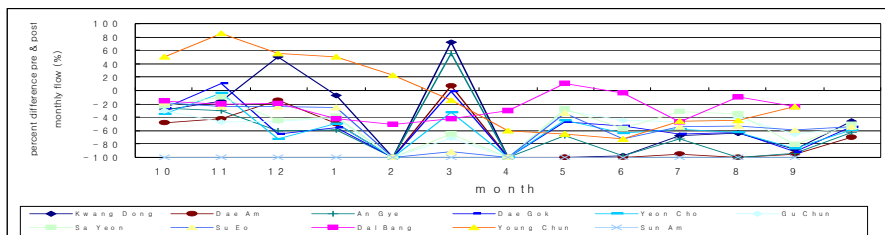


Fig. 1. percent difference in the means between pre & post impact condition for monthly flow

4.2 연 최소·최대유량 크기와 지속기간

1일 최소유량은 갈수기 동안 댐의 용수공급, 발전 등 댐 운영과 관련된 지표이다. 1일, 3일, 7일, 30일, 90일 최소유량은 광동댐 등 10개 댐이 댐건설 전후 모두 0.0 m³/sec로 증감이 없었으며, 달방댐의 경우 30일 최소유량이 0.026 m³/sec에서 0.000 m³/sec로 99.11 %가 감소 하였다. 영천댐의 경우도 30일 최소유량이 0.101 m³/sec에서 0.067 m³/sec로 33.73 %가 감소 하였으며, 90일 최소유량의 경우 달방댐은 0.067 m³/sec에서 0.031 m³/sec로 53.48 %가 영천댐은 0.219 m³/sec에서 0.150 m³/sec로 31.29 %가 감소하였다. 12개 용수 전용댐중 유지용수공급이 계획되어 있는 영천댐과 달방댐을 제외하고는 댐하류 방류량이 없이 건천화 되었다는 사실을 알 수 있다.

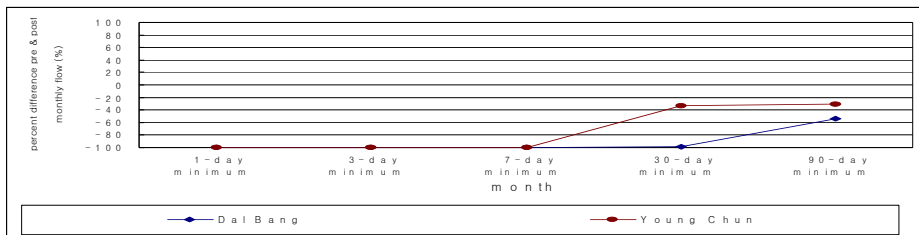


Fig. 2. percent difference in the means between pre & post impact condition for minimum flow

용수 전용댐의 대부분은 수문조작 등 홍수조절 효과가 없으며, 달방, 영천, 운문댐의 경우는 댐 건설전 보다 오히려 홍수량이 증가된 것으로 분석 되었으며, 영천댐의 경우 1일 최대유량이 0.085 m³/sec에서 2,471 m³/sec로 2,807.1 %가 증가 하였으며, 운문댐은 0.042 m³/sec에서 0.373 m³/sec로 788.1 %가 증가하였다. 구천댐의 경우 66.7 %가 감소되었으며, 나머지 댐은 전량이 댐에 저류된 것으로 분석되었다.

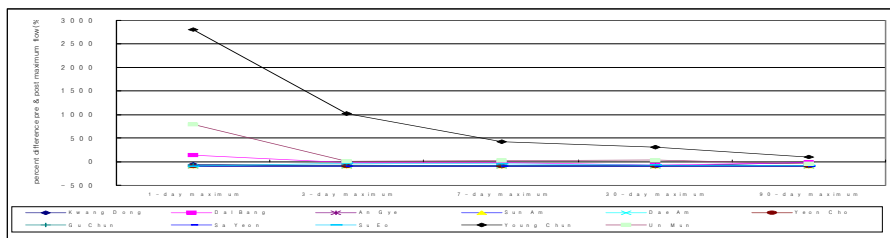


Fig. 3. percent difference in the means between pre & post impact condition for maximum flow

4.3 고·저맥파의 빈도와 주기

수문곡선의 맥파(pulse)는 하천생태계에 결정적인 역할을 한다(Richter et. al., 1998). 댐건설 이후 저맥파는 72.99 % ~ 98.52 %가 감소하였으며, 저맥파의 기간은 -80.0 % ~ 4,423.3%까지 분포하여 상당히 증가하였다. 고맥파의 발생 횟수는 댐건설 이후 34.28 % ~ 91.67%가 감소하였으며, 고맥파의 기간은 -64.31 % ~ 135.62%로 증가 또는 감소 하였다.

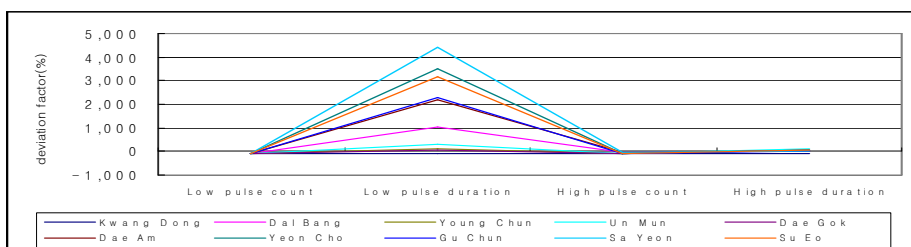


Fig. 4. the low & high pulse count and duration

4.4 수문곡선 변화 비율과 빈도

상승율과 하강율, 상승에서 하강 또는 하강에서 상승의 횟수는 유량변화의 역동성을 분석하여 정보를 제공한다. 상승률은 34.97 % ~ 612.28 %를 하강율도 23.20 % ~ 318.76 %까지 증가 또는 감소하였다.

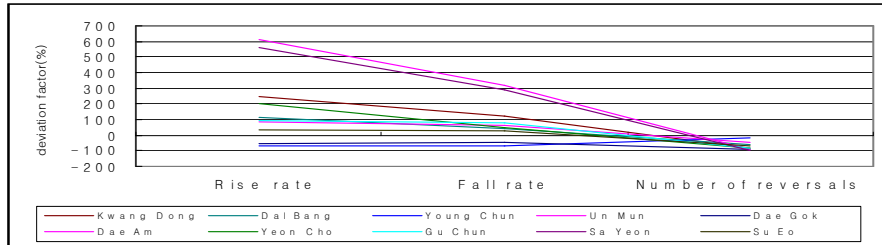


Fig. 5. number of hydrograph reversal, rise rate, fall rate

5. 유량변화정도 분석

Highest RVA Category에 대한 유량변화 정도를 분석한 결과 1일 최소유량에 대한 유량변화 정도는 -1.0에서 2.5정도로 광동, 달방, 영천댐은 증가하였으나, 나머지 댐은 감소하였다. 3일, 7일, 30일, 90일 최소유량에 대한 유량변화 정도 역시 대부분의 댐이 감소한 것으로 나타나 하류 건천화가 심각한 것으로 분석되었다. 1일 최대유량에 대한 유량변화정도도 -1.0에서 0.0으로 감소하였으며, 이는 댐으로 유입되는 양의 일부는 저감되어 방류되었으며, 일부는 홍수조절 없이 하류로 방류된 것으로 분석되었다.

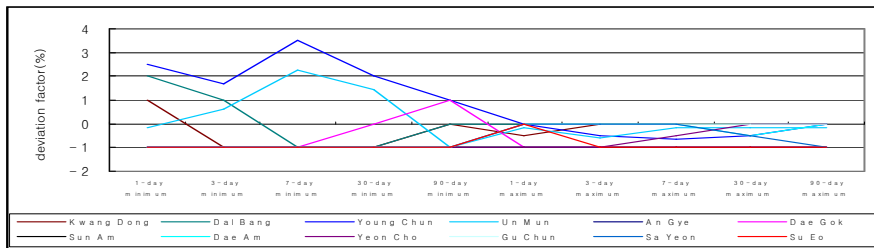


Fig. 6. Analysis result of the RVA (Highest RVA Category)

광동댐의 Highest RVA Category에 댐으로 유입하는 자연유량과 댐 조절후 하류로 방류한 유량의 발생횟수와 유량변화 정도를 분석한 결과, 댐 조절이후 1일 최소유량 발생횟수는 증가하였으나, 3일에서 30일 최소 유량 발생횟수는 감소한 것으로 분석되었다. 1일 최대유량의 발생횟수는 감소하였으나, 3일에서 90일 최대유량은 동일하게 나타나 유입량이 전량 방류 되었음을 알 수 있다.

Table 2. RVA analysis result of Kwang Dong Dam, (Highest RVA Category)

Dam	1-day minimum	3-day minimum	7-day minimum	30-day minimum	90-day minimum	1-day maximum	3-day maximum	7-day maximum	30-day maximum	90-day maximum
Expected count	3	3	3	3	1	2	2	3	4	3
Observed count	6	0	0	0	1	1	2	3	4	3
Alter.	1	-1	-1	-1	0	-0.5	0	0	0	0

6. 결론

본 연구에서는 수문변화지표 모형을 적용하여 광동댐 등 12개 용수 전용댐의 연 최소-최대유량 크기와 지속기간, 고-저맥과 빈도와 주기, 수문곡선 변화 비율과 빈도, 유량변화정도 등을 분석하

여 댐이 하류하천에 미치는 영향을 수치로 제시 하였다. 광동댐 등 12개 댐의 월 유량변화를 산정한 결과, 갈수기에 해당하는 10월부터 다음해 6월까지 8개월간의 댐건설전 월평균 방류량은 $0.64 \text{ m}^3/\text{sec} \sim 3.05 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이었으나, 댐건설후 월평균 방류량은 $0.33 \text{ m}^3/\text{sec} \sim 2.99 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 $-69.7 \% \sim 167.8 \%$ 의 분포를 나타내고 있으며, 12월과 1월을 제외하면 댐건설 이후 오히려 $6.8 \% \sim 69.7 \%$ 가 감소하였다. 우기철인 7월부터 9월까지 3개월간은 댐건설전 월평균 방류량이 $6.82 \text{ m}^3/\text{sec} \sim 7.67 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이었으나, 댐건설후 월평균 방류량은 $4.12 \text{ m}^3/\text{sec} \sim 4.35 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 $51.0 \% \sim 55.1 \%$ 가 감소하여 저수지 공용량을 이용한 저류효과가 다소 있었던 것으로 분석되었다. 하류하천으로 방류하는 1일, 3일, 7일, 30일, 90일 최소유량은 광동댐 등 10개 댐이 댐건설 전후 모두 $0.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 증감이 없었으며, 달방댐의 경우 30일 최소유량이 $0.026 \text{ m}^3/\text{sec}$ 에서 $0.000 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 99.11% 가 감소하였다. 영천댐의 경우도 30일 최소유량이 $0.101 \text{ m}^3/\text{sec}$ 에서 $0.067 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 33.73% 가 감소 하였다.

용수 전용댐의 대부분은 유지용수 공급을 통한 하류하천 건천화 방지 등 생태환경적인 측면은 도외시 한채 용수공급만을 목적으로 건설되어, 환경측면에서 많은 부정적인 영향을 제공하고 있다. 따라서 본 연구 결과에서 나타난 이러한 문제점을 개선할 수 있도록 하천 특성별로 다양한 하천환경 복원방안이 모색되고 시행되어야 할 것이다.

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.
- 박봉진, 성영두, 정관수 (2005). “영천댐 건설이 금호강의 어류 서식환경에 미치는 영향에 관한 평가.” 한국수자원학회, **한국수자원학회논문집**, 제38권, 제9호, pp. 771-778.
- 윤용남, 박무종 (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., Niewsand, 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*.