물 공급시설의 용수공급능력 분석을 위한 물공급가능지수 개발

○이동률[1], 이대희[2], 안재현[3]

1. 서론

우리나라의 기상 여건과 수문 여건이 수자원 관리상에 불리하기 때문에 가뭄과 홍수 등의 물에 의한 재해를 수시로 겪고 있고, 이러한 재해에 대한 대비마저 쉽지 않다. 더욱이 최근에는 이상기후의 발생으로 극심한 가뭄과 홍수가 반복적으로 발생하여 왔고, 이러한 경향이 장래에도 지속될 것임을 여러 보고에서 제기하고 있다.

본 연구의 목적은 가뭄 기간에 효율적인 물관리를 위하여 가뭄상황을 파악하고 대책수립을 위한 지표를 제시하고자 하는 것이다. 본 연구의 최종 목표는 기존 수자원 여건의 틀 안에서 물공급시설의 효율적인 관리에 도움이 될 수 있는 새로운 지표의 개발이며, 그 지표를 물공급가능지수(Water Supply Capacity Index, 이하 'WSCI'로 명시)라 명명하였다. 기존의 여러 가뭄지수들의 특성을 분석하고, 다목적댐의 저수율과 각 가뭄지수들과의 상관성 분석을 통해 댐 방류기준의 설정에 기여할 수 있는 WSCI의 적정성을 검토하였고, 가뭄시 또는 가뭄이 예상되는 기간의 다목적댐 방류량의 결정에 WSCI가 유용한 수단으로 기여할 수 있음을 확인하였다.

2. 물공급가능지수(WSCI)의 정의

WSCI는 현재 저수량과 향후 공급해야될 수요량과의 균형평가에 의해 댐에서 공급가능한 양을 정량화한 지수이다. 댐별 용수공급량이 다목적댐에 요구되는 수요량이므로 댐의 저수량과 용수공급량에 의해 물공급가능지수를 유도하였다. 즉 해당월의 저수량을 익월의 용수공급량으로 감하고, 계속해서 저수량이 유지되는 범위안에서 그 다음 월의 용수공급량을 충당할 수 있을 때까지 감해 가면서 강수량이 없을 경우에 향후 몇 개월의 내한능력이 있는가를 측정한 수치이다.

3. 가뭄대비 국내 다목적댐의 물공급 기준

우리나라는 갈수를 대비하여 저수지에 물을 가두어 두고자 하는 저수지 운영규칙이 있지만, 현업에서 이용하기에 기상의 불확실성으로 어려움이 있다. 다목적댐의 경우, 홍수기 후의 용수공급에 대비한 적정 저수지 저류량이 확보되어야 하지만 실제 이수측면이 적절히 고려되지 못한 채 운영되고 있으므로 비홍수기에 강수량이 부족하게 되면 용수공급에 어려움을 초래할 소지가 있다. 갈수기를 대비한 규정으로 찾아볼 수 있는 것은 저수위 설정 정도일 뿐이고 이수부문의 규정은 다목적댐 이수관리에 대한 체계를 구성하고, 월별 용수공급계획을 설정하는 정도이다.

용수공급계획은 각 다목적댐별로 방류량을 규정하고 있는 것으로 갈수기에도 하류부에 보장해 주어야 할 유량을 규정하고 있다. 현재 우리나라의 다목적댐들은 생공용수, 농업용수 및 하천유지용수로 용도를 구분하여 월별 용수공급계획이 수립되어 있으며, 주로 여름철의 공급량이 크게 나타나고 있다. 그러나 이 규정은 갈수기를 대비한 저수량의 확보를 의미하는 것은 아니다. 그러므로 현재의 댐 운영방식으로는 가뭄이 극심하

1) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석연구원 (E-mail: dryi@kict.re.kr)
2) 고려대학교 토목환경공학과 수공학 석사 (E-mail: davelee7@hotmail.com)
3) 서경대학교 토목환경공학과 전임강사 (E-mail: wrr@skuniv.ac.kr)

여 저수지 수위가 한계치까지 내려갈 경우에 용수공급계획에 따라 하류에 보낼 보장유량을 유지할 수 없는 형편이다.

4. 물공급가능지수(WSCI) 산정 결과

4.1 과거 다목적댐별 WSCI 산정

최근에 완공된 다목적댐과 남강댐을 제외한 소양강댐을 비롯한 10개 다목적댐에 대해 WSCI를 산정하였다. 남강댐은 1969년 준공되었으나, 2차에 걸친 보강공사로 총저수량과 월별공급계획량이 변하여 WSCI의 산정시 전기간에 걸친 일관성이 없으므로 제외하였다. 그림 1은 각 권역별로 가장 장기간의 저수량 자료를 보유하고 있는 다목적댐의 WSCI이고, 그림 2는 댐별 WSCI의 누가확률을 나타낸다. 그림 1에 나타난 바와 같이, 1994~1995년의 가뭄기간 등 극심한 가뭄이 발생했던 시기에 다목적댐의 WSCI가 '0'까지 떨어지는 물공급 능력이 심각한 상황에 직면했음을 알 수 있다.

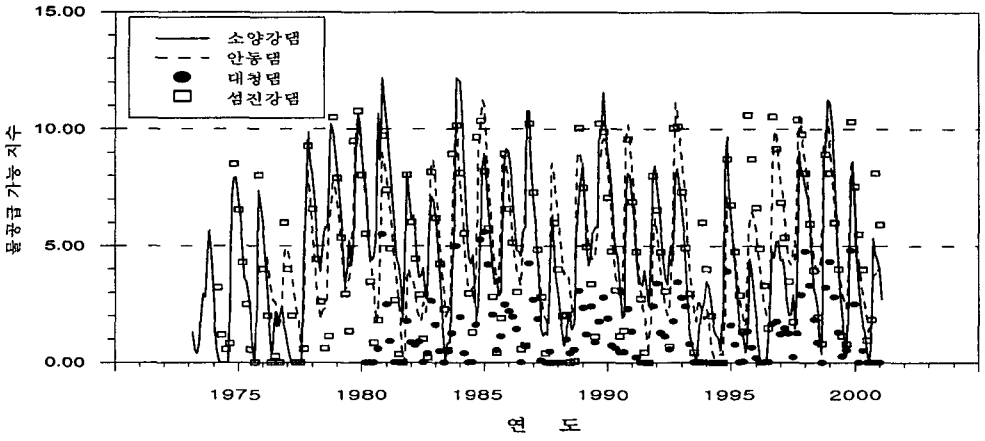

그림 1. 권역별 대표 다목적댐의 물공급 가능지수 시계열

WSCI의 누가확률을 검토하면, 다목적댐 중 부안댐, 주암댐, 안동댐 등이 누가확률별 지수값이 크다. 상대적으로 이러한 댐들이 안정적인 물공급이 가능한 댐임을 의미한다. 누가확률(비초과확률)이 작을수록 WSCI가 낮음을 의미하는데, 누가확률이 0.1 이하인 상태에서도 상기한 세 댐은 물공급가능지수가 2이상을 유지하고 있으며 평균적으로 6이상이므로 극심한 가뭄상황이라도 최소 2개월 이상, 평균적으로 약 6개월 이상 물공급이 가능함을 의미한다. 그 밖의 댐들은 누가확률별 WSCI가 작고, 특히 가뭄시는 월별 계획방류량을 충족시킬 여유가 부족하다. 섬진강댐은 누가확률에 따른 지수의 범위가 넓게 분포하고 있는 것으로 나타나므로 지수의 변동이 큰 댐임을 알 수 있다.

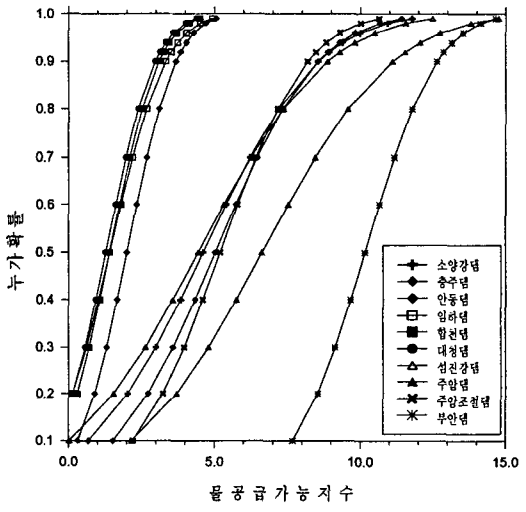

그림 2. 다목적댐 물공급가능지수의 누가확률

물공급 가능지수는 다목적댐의 능력평가의 한 기준으로 사용될 수 있으며, 단기적으로는 물부족 예상 시점에 물공급 운영의 판단기준으로 이용할 수 있고, 장기적으로는 수자원 부존량의 불균형을 파악하고 수자원 최적개발 지점의 선정 등과 같은 분석에도 이용될 수 있을 것으로

판단된다. 추후 좀더 체계적이고 구체적인 기준의 설정과 적용이 필요한 연구 사항으로 판단된다.

4.2 WSCI와 가뭄지수들의 상관성 분석

WSCI는 물공급시설의 용수공급능력에 주안점을 두고 있으므로, 가뭄의 심도를 파악하는 지표로 참고할 수 있을 것이다. 가뭄심도 판단 지표로써 WSCI의 적정성과 기능을 검토하기 위해 기존의 가뭄지수들과 비교하고 상관성을 분석하였다. 기존 가뭄지수와의 비교를 위해서 표준화한 물공급가능지수(Standized Water Supply Capacity Index, 이하 'SWSCI'로 명시)를 이용하였다.

WSCI를 표준화함에 있어 선행하여할 할 문제는 월별로 구분하여 표준화할 것인가 또는 월 구분없이 전 기간을 하나의 자료계열로 표준화할 것인가의 선택이다. 월별로 자료계열을 구분하여 표준화한다는 의미는 월별 자료의 특성이 독립적이고, WSCI의 산정치에 의한 심각도가 월별로 차이가 있음을 인정하는 것이다. 그러나 파머가뭄심도지수 등 대부분의 기존 가뭄지수들의 경우와는 다르게 WSCI는 월별 산정치가 해당월의 특수성에 크게 영향을 받지 않는 의미를 지니고 있는 것으로 판단되므로 월별 구분없이 표준화한 값을 이용하였다.

표 1. SWSC와 가뭄지수의 상관계수

댐	상관계수							
	PDSI	SWSI1	SWSI2	SPI1	SPI3	SPI6	SPI9	SPI12
소양강댐	0.4514	0.7130	0.5356	0.4514	0.0227	0.2932	0.4235	0.4536
안 동 댐	0.4906	0.6225	0.0344	0.4906	0.0246	0.3086	0.4692	0.5112
대 청 댐	0.5359	0.6874	0.0193	0.5359	0.0717	0.4333	0.5040	0.4459
섬진강댐	0.2669	0.4232	0.1547	0.2669	-0.0047	0.2397	0.3061	0.3206

【주】 1) SWSI1는 저수율만을 고려한 SWSI,
SWSI2 : 저수율과 강우량을 고려한 SWSI,
SPI1, SPI3, SPI6, SPI9, SPI12는 각각 1, 3, 6, 9 및 12개월 지속기간의 SPI
2) 다목적댐이 속한 권역의 평균 가뭄지수

권역에 속한 다목적댐 중 저수용량이 가장 큰 다목적댐의 SWSCI와 각 가뭄지수별 권역 평균값의 상관계수 산정 결과는 표 1과 같다. 전반적으로 상관도가 높지는 않으며, SWSCI와 SWSI1이 가장 상관도가 높은 것으로 나타나고 있으며, 그 다음은 PDSI이다. SPI는 지속기간이 짧은 경우보다는 지속기간이 6~9개월 정도인 장기간 지속기간인 경우가 좀더 상관도가 높게 나타났다. SWSCI와 가뭄지수간의 상관도가 작은 이유는 비교된 가뭄지수들은 강수량 등의 기상학적 요소에 큰 영향을 받는 반면에 다목적댐의 저수량 변화가 기상 상태에 따라 즉각적인 반응을 일으키지 않기 때문인 것으로 판단된다. 대규모 저수지의 경우는 기상 상태에 따라 인위적인 저수량 조절이 수행되므로 기상 상황과 전혀 무관할 수는 없지만, 그 영향은 크지 않을 수도 있다.

그림 3은 SWSCI와 가뭄지수의 상관도가 상대적으로 높은 소양감댐의 과거 산정치이다. 어떤 지역의 전반적인 가뭄상황을 나타내는 가뭄지수가 해당지역에 속한 물공급시설의 현황을 적절히 반영하지 않을 경우, 본 연구에서 제시한 WSCI와 같은 물공급시설의 현황을 반영하는 지수가 보완적인 요소로써 가뭄관리상 물공급시설 운영과 관련된 부분에 가뭄지수와 더불어 고려되어야 함을 반증한다.

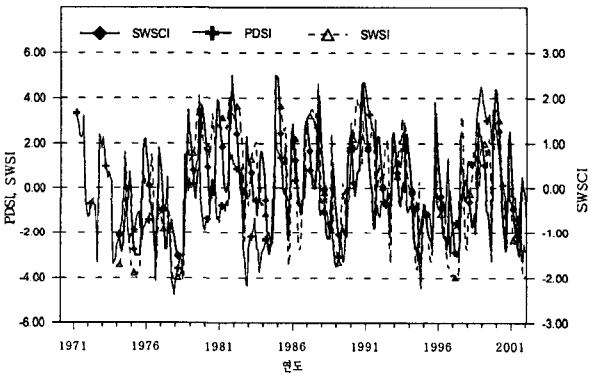

그림 3. 소양강댐 SWSCI와 가뭄지수 비교

4.3 과거 가뭄기간의 물공급가능지수 적용

전반적으로 다목적댐의 SWSCI와 가뭄지수간의 상관성이 높지 않지만, 그림 3과 그림 4에 나타난 바와 같이 장기간의 극심한 가뭄시에는 SWSCI도 -1.50이하까지 떨어지는 극심한 상태를 나타내고 있다. 특히,

1994~1995년의 가뭄시에는 전 권역에서 가뭄지수 뿐만이 아니라 SWSCI도 극심한 가뭄을 나타내고 있다. 이러한 현상은 2년에 걸친 장기간의 가뭄에는 인위적인 저수량 조절조차 불가능하여 기상학적 상태가 그대로 저수상황에 반영되기 때문이다. 즉, 장기간의 극심한 가뭄기간에는 SWSCI와 각 가뭄지수간의 상관성이 높을 것이다.

그림 4는 '94~'95년 가뭄 기간에 가뭄이 가장 심했던 낙동강 권역에 속한 안동댐의 WSCI 및 SWSCI와 각 가뭄지수를 나타내고 있다. 이 기간의 SWSCI는 정부에서 가뭄대책을 수행했던 기간인 1994년 5월부터 1995년 9월까지 중에서 해갈이 된 1995년 9월을 제외하고 전 기간에 0 이하를 기록하고 있으며, 1995년 2월부터 7월까지는 WSCI가 1 이하로 추가적인 강수량이 없을 경우 유효저수량이 완전 고갈될 위험 상황에 직면했음을 알 수 있다.

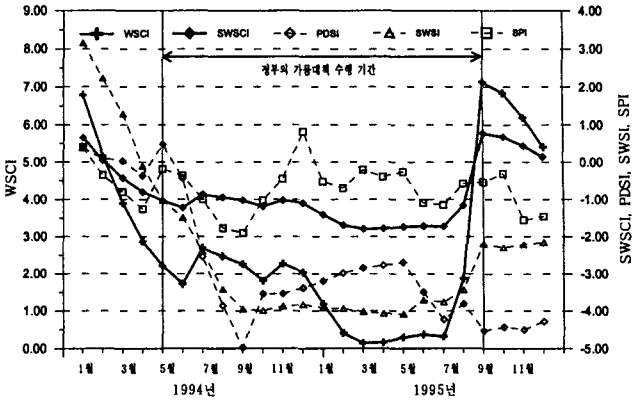

그림 4. 가뭄기간의 각 지수 산정치(안동댐의 경우)

5. 결론 및 향후 과제

새로운 가뭄지수 WSCI를 산정하여 다목적댐별로 검토한 결과, 다목적댐 중 부안댐, 주암댐, 안동댐 등의 용수공급능력이 비교적 안정적이며, 그 밖의 댐들은 가뭄시 물공급에 어려움이 예상된다. 기존의 가뭄지수들이 강수량에 의해 산정된 기상학적 가뭄지수들이므로 전반적으로 WSCI는 기존에 널리 이용되는 가뭄지수들과의 상관도가 높지는 않았다. 그러나 극심한 가뭄기간에 대해서는 가뭄지수들과의 상관도가 높으며, 물 부족시기에 물공급운영 측면에서 가뭄지수를 보완할 수 있는 지표로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

실제 경험했던 가뭄상황과 그 당시의 가뭄지수를 WSCI와 비교함으로서, 가뭄의 심화에 따른 물공급 능력의 변화를 파악하고 가뭄지수들의 유용성을 검증할 수 있으며, 이 지수 자체가 가뭄관리의 유용한 판단기준이 될 수 있다. 또한 다목적댐외의 물공급시설에 대해서도 적용이 가능할 것으로 기대된다.

6. 감사의 글

본 연구는 한국수자원공사의 연구비 지원으로 수행된 가뭄관리종합대책수립연구의 결과입니다.

7. 참고문헌

1. 한국건설기술연구원(1996). 갈수기와 홍수기의 댐운영 실태 및 개선방향
2. 한국수자원공사 (2000). 다목적댐 운영 실무편람
3. 한국수자원공사 (2002). 가뭄관리 종합대책 수립연구
4. *Hydrologic Engineering Center* (1995). Drought Indices

8. 참고 웹사이트

한국수자원공사 수자원관리 종합정보 시스템 <http:\\wamis.kowaco.or.kr>