

용수공급 평가지표 적용의 의문점에 관한 고찰

A Consideration on Questions of Water Yield Assessment Indicators



이 광 만 |

Kwater연구원 수석연구원
lkm@kwater.or.kr



차 기 욱 |

Kwater 수자원사업처 수자원계획팀장
cku@kwater.or.kr

1. 서론

수자원시스템의 용수공급 계획량을 평가하는 기준을 칭하여 이수안전도라 할 수 있다. 이수안전도는 용수공급을 위한 수자원시설물의 물 공급의 안정성 정도를 나타내는 의미로 해석되며, 실무에서 지침이나 표준화된 것 없이 관례적으로 적용해 오고 있다. 따라서 우리 실정에 적합한 이수안전도를 한마디로 정의하기 어렵고 보다 포괄적인 의미로 해석할 수 밖에 없다. 이렇다 보니 기술적으로도 명확히 정의하기 어려운 점이 있다. 본 논고에서는 이수안전도를 수자원시스템의 이행도 평가와 관련 보다 구체적인 용수공급 평가지표로 표기하고자 하며, 관련 내용은 지난 8월호(이광만, 2012)에 상세히 소개한바 있다.

지금까지 댐 등 수자원 사업에서 용수공급량을 결정하기 위해 통칭 이수안전도로 표기되어 왔던 용수공급 평가지표에 대해 여러 가지 의문점이 제기되어 왔다. 이에 대한 전문가 설문조사 결과는 주로 “수자원시스템 평가모형에 적용되는 분석단위기간(일, 주, 순, 월 등)에 따라 평가 지표치(예, 신뢰도)가 큰 차이가 날 수있다”, “기간신뢰도뿐만 아니라 양적신뢰도 역시 같이 평가되어야 한다.”, “신뢰도만의 단일 지표 평가의 단점을 보완하기 위해 회복도나 취약도 등을 포함하는 복합지표를 적용하여야 한다.” 그리고 “보장공급량(firm yield)과 물 부족을 허용하는 신뢰도 평가지표간의 상충” 등이다.

지금까지 수자원사업에 적용되어온 평가방법이나 적용된 지표를 살펴보면 당연한 의문점이라 할 수 있다. 예를 들어 80년 이전에 계획된 댐들은 주로 갈수기준년을 대상으로 물수지 분석을 통해 공급량을 결정하였고 이후에는 주로 신뢰도 지표를 적용하고 있다. 이중 신뢰도 지표는 계획된 수자원시스템의 용수공급 가능량을 평가하기 위해 적용된 방법 중 분석단위기간에 대한 의문점이다. 과거 주로 적용된 분석단위기간은 일, 5일, 주, 순 및 월 등 취득된 수문자료나 적용모형의 한계, 수요의 특성 혹은 기술자의 선호 등에 따라 다양하게 분석되었다.

이렇다 보니 분석단위기간에 따라 평가지표치가 차이를 보일 것이라는 의문이 들 수 밖에 없다. 또한 분석단위기간과 평가단위기간을 달리 적용한 사

학술/기술기사

례도 여러 건 확인할 수 있다. 특히 양적신뢰도에 대한 평가의 중요성은 소위 기간신뢰도와와의 관계에서 살펴보아야하나 그에 대한 답을 제시하지 못했다. 신뢰도만을 평가할 경우 물 부족 지속기간이나 물 부족에 따른 심각성(피해규모)을 정량적으로 판단하기 어렵다는 단점을 보완하기 위해 회복도나 취약도를 보조지표로 평가하여야 한다는 의견도 있다. 게다가 보장공급량 개념의 평가와 신뢰도 지표의 적용간에는 물 이용과 관련된 이해관계도 내재되어 있어 판단이 쉽지 않다.

이와 같이 수자원시스템의 이행도 평가지표를 둘러싼 여러 가지 의견이 분분한 것이 당연한 사실이지만, 어떤 것이 맞고 틀리다는 이분법적 판단이 아닌 우리가 적용해온 평가방법이나 지표들에 대한 올바른 이해가 선행되어야 한다. 평가기준이나 지표가 다양한 종류로 제시되어 있을 때 의사결정의 주관적인 판단이 전적으로 그러다고 할 수는 없지만 개개인의 호불호(好不好)에 따라 결정되는 것은 문제가 있다. 즉, 지표가 갖고 있는 특성을 간과하고 일방적인 주장이나 논리의 전개는 물 이용의 안정성을 저해할 수 있다. 이런 측면에서 본 논고는 이수안전도, 즉 수자원시스템 평가지표에 대한 의문점을 조금이나마 해소하고자 하였다.

2. 과거 적용 신뢰도 계산식

과거 수자원시스템의 계획이나 저수용량 배분 사업에서 주로 적용된 이론은 보장공급량 기준을 제외하면 대부분 Kritskiy and Menkel(1952)가 정의한 신뢰도 기준에 근거하고 있다. 이에 근거하여 신뢰도 평가지표를 크게 3가지로 구분하면 다음과 같이 정의할 수 있다(Klemes, 1969).

우선, 발생신뢰도(occurrence reliability)로 정의할 수 있는데 년을 평가단위기간으로 설정하고 물 부족이 발생하지 않은 년을 전체 년의 비로 계산하는 것이다.

$$\begin{aligned} Rel_{occ} &= \frac{\text{Number of Year enter Satisfactory State}}{\text{Total Number of Year Considered}} \quad (1) \\ &= 1 - \frac{\text{Number of Year enter Nonsatisfactory State}}{\text{Total Number of Year Considered}} \end{aligned}$$

다음은 기간신뢰도(temporal reliability)로 수자원시스템 분석단위기간을 기준으로 용수공급이 만족상태에 있는 시간을 전체시간의 비로 구하는 것이다.

$$\begin{aligned} Rel_{tem} &= \frac{\text{Duration of Time of System Sojourn in the Satisfactory State}}{\text{Total Time Period Considered}} \\ &= 1 - \frac{\text{Duration of Time of System Sojourn in the Nonsatisfactory State}}{\text{Total Time Period Considered}} \quad (2) \end{aligned}$$

마지막은 양적신뢰도(volumetric reliability)로 고려하는 기간 동안에 계획된 양이나 혹은 적게 공급된 양을 전체 계획공급량의 비로 계산한다.

$$\begin{aligned} Rel_{vol} &= \frac{\text{Portion of Volume of Water Supplied}}{\text{Demanded Volume}} \quad (3) \\ &= 1 - \frac{\text{Portion of Volume of Water Not Supplied}}{\text{Demanded Volume}} \end{aligned}$$

이와 같은 평가지표는 고전적인 것이지만 적용의 용이성과 수요-공급을 기본으로 하는 수자원시스템의 반응을 잘 나타내고 있어 지금도 많이 사용되고 있다. 우리나라의 지금까지의 사례를 살펴보면 Table 1과 같이 주로 식 (1)과 (2)를 혼용하여 적용해 왔다. 적용방법은 수문자료의 조건이나 저수지 규모를 대상으로 적정 공급량을 충족시키는 대안을 찾는 방법을 주로 이용하였다. 이 과정에서 표준화된 방법이 제시되지 못했고, 수자원시스템 해석

Table 1. 기존 및 건설중인 댐의 분석단위기간별 분류

구분	대상댐
월	임하댐(영천도수로), 소양강댐, 충주댐, 보현산댐, 대청댐, 장항댐, 보령댐, 주암댐, 화북댐, 부항댐, 합천댐(재평가), 합천댐(실시), 성덕댐
순	밀양댐, 황성댐
5일	안동댐, 합천댐, 부안댐, 용담댐, 임하댐(실시설계)
일	영주(송리원)댐, 남강댐

조건이나 평가가 제 각각 이루어져 댐간 혹은 유역간 상대적 비교가 불가능하고 일관성이 결여되어 있다.

3. 평가지표 의문점에 대한 견해

3.1 분석단위기간에 의한 차이

지금까지 건설되었거나 건설중인 다목적댐을 대상으로 분석단위기간을 분석해 보면, 주로 과거에 건설된 댐이나 자체 유역에 수문관측 자료가 없는 경우, 인근 유역에서 전이된 자료를 적용한 댐들은 월기간단위 평가가 주를 이루고 있다. 또한 물수지분석을 기본으로 한 경우나 자체 유역에 수문자료가 있는 경우 혹은 농업용수의 비중이 큰 경우 등은 5일 기간단위를 적용하였다. 영주댐이나 남강댐 재개발 등과 같이 최근에 검토된 댐들은 일단위까지 적용하고 있다.

이와 같은 적용사례의 가장 중요한 요인은 수문자료의 획득과 관련이 있다. 과거 60~70년대에는 수위관측소가 부족했고 자료기간 역시 짧아 유량비방 법이나 가지야마 공식을 이용하여 취득한 경우가 많이 있다. 근래에 들어 자료관측기간이 늘어나고 강우-유출모형에 의한 유량자료 획득이 용이해져 짧은 분석단위기간의 적용이 가능해졌다 할 수 있다. 실제 분석단위기간에 대한 선택은 이용 가능한 수문자료의 획득 단위기간에 의존할 수 밖에 없다. 이에 따라 분석단위기간에 따른 신뢰도 지표값의 차이가 클 것으로 예상하는 전문가들이 많이 있다.

이를 확인하기 위하여 기존의 16개 다목적댐을 대상으로 분석단위기간별로 기간신뢰도를 추정하였다. 추정방법은 각 댐이 준공되어 정상운영 시점부터 2009년 말까지 댐으로 유입된 유입량을 기준으로 계획공급량의 공급여부를 판단하였다. 적용 결과는 Table 2와 같으며, 일단위 운영의 신뢰도 평균값은 97.3, 순단위 운영은 96.9 그리고 월단위

운영은 96.9%로 나타났다. 분석기간별 평균치의 차이는 0.4에 불과하며, 순단위와 월단위는 같은 값을 보였다. 댐별로는 합천, 황성, 임하 및 밀양댐이 1%이상의 차이를 보였으나 최대편차를 보인 황성댐도 -2.8%를 나타내었다. 나머지 댐은 1%이내의 차이를 보였다. 황성, 섬진강, 임하 및 남강댐의 경우는 월단위 분석이 높은 값을 보여주고 있어 분석기간에 따른 기간신뢰도 값이 일관성을 보이지는 않았다. 즉, 다목적댐의 경우 분석단위기간이 짧을 수록 신뢰고 값이 높을 것이라는 평가는 신중하게 판단할 필요가 있다. 이와 같은 결과는 대부분의 다목적댐은 생활 및 농업용수의 비중이 높고 연중 일정량을 공급하는 유지용수가 배분되어 있어 분석단위기간의 영향이 적은 것으로 판단된다. 결과적으로 지금까지 건설되어 온 다목적댐의 경우 현재와 같은 조건이 지속된다면 분석단위기간별 신뢰도의 차이는 크게 나타나지 않을 것으로 예상된다.

Table 2. 분석단위기간별 신뢰도 추정치의 차이 분석

구 분	일 (%)	순 (%)	월 (%)	분석기간간 차이		
				(일)-(순)	(일)-(월)	(순)-(월)
대청댐	96.0	95.9	95.4	0.1	0.6	0.5
밀양댐	97.0	96.6	95.4	0.4	1.6	1.2
보령댐	99.3	99.3	99.3	0.0	0.0	0.0
부안댐	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
섬진강댐	99.3	99.2	99.3	0.1	0.0	-0.1
소양강댐	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
안동댐	98.1	97.7	97.5	0.4	0.6	0.2
용담댐	98.1	97.8	97.2	0.3	0.9	0.6
임하댐	85.6	84.0	85.6	1.6	0.0	-1.6
장흥댐	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
주암댐	100.0	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0
충주댐	98.3	97.8	97.6	0.5	0.7	0.2
합천댐	89.3	88.9	86.9	0.4	2.4	2.0
황성댐	98.0	96.4	99.2	1.6	-1.2	-2.8
남강댐	99.8	99.8	100.0	0.0	-0.2	-0.2
평 균	97.3	96.9	96.9	0.4	0.4	0.0

3.2 분석단위기간과 평가단위기간의 차이

다음은 분석단위기간과 평가단위기간을 달리할

학술/기술기사

경우에 대해 분석하였다. 실제 대청댐, 장흥댐, 부항댐, 송리원댐 및 영주댐의 경우 분석단위기간과 평가단위기간이 다른 경우이다. 이중 송리원댐은 일단위기간으로 모의된 결과를 년평가단위기간으로 분석하였으며, 나머지 댐들은 월단위기간 운영결과를 년단위기간으로 평가한 사례이다. 이와 같은 분석은 분석단위기간과 평가단위기간을 달리할 경우에 대한 신뢰도 추정치의 차이를 알아보기 위함이다.

Table 3은 일단위기간 모의결과를 순, 월 및 년단위기간으로 평가한 사례이다. 16개 댐의 일단위기간 신뢰도 평균은 97.3%였으나 순단위기간 평가의 신뢰도 평균은 96.7, 월단위기간은 95.8 그리고 년단위기간은 87.0%으로 나타났다. 분석기간별 차이는 (일)-(순)이 0.6, (일)-(월)이 1.4, (일)-(년)이 10.3%였다. 순기간 평가에 대한 댐별 결과는 임하댐, 합천댐 및 황성댐이 1%이상의 차이를, 월기간 평가에서는 황성댐, 합천댐, 충주댐, 임하댐 및 보령댐 등이 2%이상의 차이를 보였다. 년기간평가는 보령댐, 임하댐, 충주댐, 합천댐 및 황성댐이 10% 이상이었다.

Table 3. 일단위기간 분석결과를 순, 월 및 년단위기간으로 평가한 신뢰도 추정치

구분	일 (%)	순 (%)		월 (%)		년 (%)	
		(일)-(순)	(일)-(월)	(일)-(월)	(일)-(년)		
대청댐	96.0	95.5	0.5	94.5	1.5	86.2	9.8
밀양댐	97.0	96.3	0.7	95.4	1.6	88.9	8.1
보령댐	99.3	98.6	0.7	97.2	2.1	83.3	16.0
부안댐	100.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0
섬진강댐	99.3	99.1	0.2	98.6	0.7	94.3	5.0
소양강댐	100.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0
안동댐	98.1	97.7	0.4	97.0	1.1	90.9	7.2
용담댐	98.1	97.5	0.6	96.3	1.8	88.9	9.2
임하댐	85.6	83.3	2.3	81.5	4.1	50.0	35.6
장흥댐	100.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0
주암댐	100.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0
충주댐	98.3	97.9	0.4	95.8	2.5	79.8	18.5
합천댐	89.3	87.6	1.7	86.5	2.8	76.2	13.1
황성댐	98.0	96.8	1.2	95.0	3.0	70.0	28.0
남강댐	99.8	99.7	0.1	99.5	0.3	97.1	2.7
평균	97.3	96.7	0.6	95.8	1.4	87.0	10.3
표준편차	4.1	4.7	0.7	5.1	1.2	13.4	10.3

순단위기간 모의결과를 월 및 년단위기간으로 평가한 결과는 (순)-(월)은 1.5, (순)-(년)은 9.8%로 나타났다. 일 단위 운영에 의한 기간별 평가보다 차이는 줄었으나 월단위기간에 대해서 1% 이상, 년단위기간에 대해서는 9.8%의 차를 보여주고 있다. 댐별로는 임하댐, 충주댐, 합천댐, 황성댐 및 대청댐이 큰 차이를 보이고 있다. 월단위기간 운영의 결과에 대해서는 (월)-(년)은 6.6%의 차이를 보였다. 댐별로는 대청댐, 임하댐, 충주댐 및 합천댐이 큰 차이를 보였다.

이상의 결과를 종합하면, 분석단위기간과 평가단위기간이 다른 경우 비교적 큰 값의 차이를 보이고 있다. 기존의 댐에서 일이나 월단위기간분석 결과를 기간신뢰도가 아닌 발생신뢰도(년단위기간으로 평가)로 평가할 경우 신뢰도 평가치의 차이가 크게 나타나고 있다. 이와 같은 결과는 짧은 평가단위기간에 비해 평가단위기간이 길어질수록 용수부족 발생사상이 증가하는 구조에 따른 것으로 일반적인 추세로 볼 수 있다. 따라서 분석단위기간과 평가단위기간을 달리 적용할 경우 결과의 왜곡이 크게 나타날 수 있으므로 주의하여야 한다.

3.3 기간신뢰도와 양적신뢰도의 관계

지금까지 적용된 신뢰도 평가방법 중 양적신뢰도를 적용한 경우는 발견되지 않았다. 실제 Fig. 1의 예와 같이 기간신뢰도와 양적신뢰도 관계는 상관성이 매우 높게 나타나고 있다. Table 4에서 알 수 있듯이 두 지표간의 상관계수는 0.98이상의 값을 보였다. 상관회귀식에 따르면 양적신뢰도가 기간신뢰도보다 일단위 운영의 경우 2, 순단위 운영은 3.5 그리

Table 4. 양적신뢰도에 대한 기간신뢰도 회귀식 및 상관계수

구분	상관계수식 (x는 양적신뢰도)	상관계수 (r ²)
월	$y = 1.2101x - 21.038$	0.9797
순	$y = 1.3312x - 33.206$	0.9898
일	$y = 1.4547x - 45.914$	0.9912

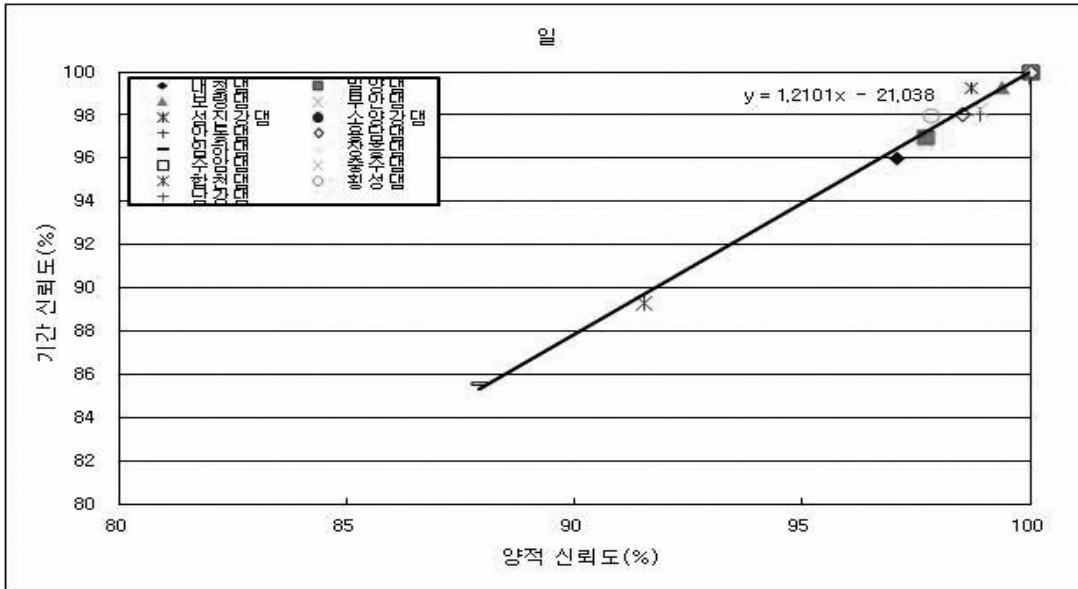


Fig. 1. 일단위 운영의 기간신뢰도와 양적신뢰도의 관계

고 일단위 운영은 5% 높은 값을 보였다. 즉 분석단위에 상관없이 양적신뢰도의 값이 크게 나타났으며 분석단위시간이 길어질수록 차이도 커지고 있다.

3.4 회복도 및 취약도 적용

현재 신뢰도 지표가 수자원시스템 평가지표로 선호되고 있는 이유는 이론이 간단하고 적용의 편리성과 용이성 뿐만 아니라 지표 자체가 가지고 있는 특성에 기인한다고 할 수 있다. 신뢰도의 경우 분석방법이 기간이나 발생 혹은 양적신뢰도이던 간에 공급량 조건이 한정되어 있을 때 수요량이 증가함에 따라 물 부족에 따른 평가지표의 값이 단조롭고 일관되게(monotonic) 악화되는 추세를 보인다. 그러나 수자원시스템 이행도 평가지표 중 많이 인용되고 있는 Hashimoto et al.(1982)이 제시한 평균개념의 회복도와 취약도 지표는 공급량 조건이 일정한 경우에도 수요량이 증가함에 따라 지표치가 개선되는 현상이 나타날 수 있다.

Hashimoto et al.(1982)가 제시한 회복도는 한번 시스템이 불만족 상태로 들어온 후 얼마나 빨리

만족상태로 되돌아가는가를 평가하는 것으로 다음과 같은 조건확률로 정의하였다.

$$Res = P\{S(t+1) \in NF | S(t) \in F\} \quad (4)$$

여기서, $S(t)$ 는 고려하는 시스템의 상태변수이며, NF 는 *Non-failure*상태를, F 는 *Failure*상태를 의미한다. 식 (4)을 전체 용수부족 발생사상을 대상으로 불만족 상태에서 보내는 시간의 평균값의 역수로 정의하면 회복도는 다음과 같다.

$$Res_1 = \left\{ \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M d(j) \right\}^{-1} \quad (5)$$

여기서, M 은 실패사상의 수이며, T 는 시간단위의 전체 수이다.

취약도 역시 Hashimoto et al.(1982)가 정의한 것이 많이 적용되고 있는데 실패사상의 심각성 정도를 측정하는데 이용된다. 이중 용수부족 사상을 대상으로 용수부족 기간 중에 발생한 전체 물 부족 상태, 즉 용수공급 부족량에 근거한 취약도 평가방법 중 각 사상의 발생확률이 같다고 가정하여 용수

부족 사상 $v(j)$ 의 평균값으로 취약도를 추정하는 방법은 다음과 같다.

$$Vul_1 = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M v(j) \quad (6)$$

식 (5)와 (6)을 적용할 경우 공급량 조건이 한정되어 있을 때 수요량이 증가하면 평가지표는 악화되는 것이 일반적인 추세이나 경우에 따라서는 좋아지는 추세를 보이는 경우가 있다. 이와 같은 예는 Fig. 2와 같이 (a)의 경우 용수부족사상이 2개인 경우와 (b)와 같이 4개인 경우를 비교해 보면 (b)의 경우가 용수공급 신뢰도가 떨어집에도 회복도와 취약도의 계산치는 좋아질 수 있다. 이의 원인은 식 (2)와 (3)과 같이 용수부족 발생사상 전체에 대하여 발생횟수를 기준으로 평균을 구하기 때문이다. 즉, (a)의 전체 용수부족 발생기간이나 용수부족량을 2로 나눈 것이 (b) 전체 용수부족 발생기간이나 용수부족량을 4로 나눈 것 보다 낮은 수치를 보여줄 수 있다.

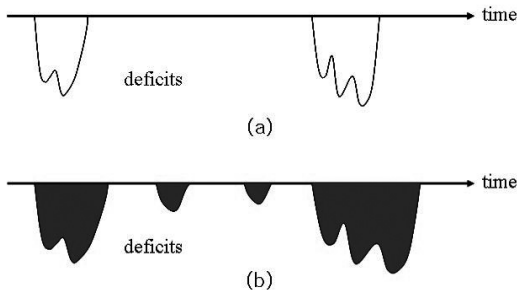


Fig. 2. Hashimoto et al.(1982)의 회복도와 취약도의 증감현상 원인

3.5 보장공급량과 신뢰도 기준의 대립

이수안전도 측면에서 수자원시스템의 계획이나 설계시 가장 고심하여 결정하게 되는 부문은 보장공급량으로 할 것인지 신뢰도 기준으로 할 것인지 하

는 평가지표 혹은 방법의 선택문제일 것이다. 특히 저수지 용량 재배분이나 수리권 조정시 이해 당사자간 평가방법이나 지표에 대한 대립이 격화될 수 있다. 이런 이유는 어떤 지표를 적용하느냐에 따라 공급량뿐만 아니라 공급의 안전성이 달라질 수 있기 때문이다. 현재 이 문제와 관련하여 명확한 해법을 기대하는 것은 다소 어려움이 있다. 이유는 여수로나 제방설계와 같이 치수분야는 수문학적 기준이 명확히 제시되어 있으나 이수분야는 그렇지 못하며, 또한 계획공급량 결정이 단순히 지표만의 문제가 아니라 물 이용 전반에 대한 문제이기 때문이다.

그럼에도 이들 지표에 대한 평가사례를 살펴보면, Moy et al.(1986)은 저수지에서 보장공급량 (safe yield)을 목표로 한 운영은 정상적인 운영조건에서는 적절하나 장기지속가뭄, 이상기후 및 수요의 급격한 변화 등의 기간에는 부적절하다고 지적하고 있다. 미공병단(USACE, 1966)은 생활용수와 공업용수의 경우 용수부족을 허용하지 않는 것이 일반적이나 관개용수의 경우 과거 기록 중 가장 극심한 가뭄동안에 25~35%의 용수부족을 허용하는 설계를 하였고, 한해의 용수부족률이 50%에 이르게 허용하는 경우도 있었다. 10%의 관개용수 부족은 피해가 아주 적거나 없을 수 있으나, 25%의 용수부족에서는 수확량이 줄어들 수 있으며, 다년작물의 경우 계절적으로 50%의 용수부족에도 견딜 수 있는 것으로 보고 있다.

또한 미국 펜실베니아주의 경우 주지사가 가뭄비상사태를 선언하면 생활 및 공업용수 등 꼭 필요한 용수를 제외한 나머지 용수에 대하여 제한할 수 있도록 정하고 있다. 일본도 이상가뭄시에는 갈수조정을 통하여 수리권을 제한하는 조치를 취하고 있다. 따라서 보장공급량과 신뢰도 기준의 대립은 수리권 주장에 앞서 물 이용의 중요도를 따져보아야 할 것이다. 이런 경우 이용가능수자원, 수요의 중요도, 물 부족에 따른 실질적 피해 정도 및 물 이용의 형평성 등을 고려하여 판단하는 지혜가 필요하다.

4. 결론

지금까지 과거 우리나라 댐 계획시 적용된 용수 공급 평가 방법이나 지표를 대상으로 근래에 회자되고 있는 이수안전도 지표와 관련된 의구심에 대하여 알아보았다. 분석결과 일부 오해의 소지도 있었지만 보다 중요한 것은 용수공급 평가지표에 대한 명확한 기준이나 지침이 필요하다는 것을 알 수 있었다. 실제 수자원시스템의 이행도 평가는 지표의 선택에서부터 분석방법과 평가에 이르기 까지

물 이용의 다양성 만큼이나 복잡하고 난해한 문제라 아니 할 수 없다. 역설적으로 이런 특징은 수자원의 합리적 이용을 위해서는 관련 기준과 분석방법이 조속히 정리되어야 한다는 것을 의미하기도 한다. 이런 뜻에서 본 논고를 통하여 이수안전도 평가지표의 선택과 적용에 대한 의구심을 조금은 해소할 수 있는 기회가 되었다는 것을 위안으로 삼으며, 이수안전도 평가와 관련된 문제들이 조속히 개선되기를 기대해 본다. 🍵

참고문헌

1. 이광만 (2012). “수자원시스템의 용수공급 평가기준에 대하여.”, 한국수자원학회지, Vol. 45, No. 8, pp. 71-77.
2. Hashimoto, T., Stedinger, J.R. and Loucks, D.P. (1982). “Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation.” *Water Resources Research*, 18, pp. 14-20.
3. Moy, W-S., Cohon, J.L. and ReVelle, C.S. (1986). “A programming model for analysis of the reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir.” *Water Resources Research*, Vol. 24, No. 4, pp. 489-498.
4. US Army Corps of Engineers (1966). *Methods for Determination of Safe Yield and Compensation Water from Storage Reservoirs*.
5. Klemes, V. (1969). “Reliability estimates for a storage reservoir with seasonal input.” *Journal of Hydrology*, Vol. 7, pp. 198-216.
6. Kritskiy, S.N. and Menkel, M.F. (1952). *Water Management Computation*, GIMIZ, Leningrad, pp. 392.