

# 수자원계획에서 이수안전도 기준의 적정성 평가

## Assessing Appropriateness of Water Supply Reliability in Water Resources Planning

차형선\*, 이광만\*\*, 정관수\*\*\*  
Hyeung Sun Cha, Gwang Man Lee, Kwan Sue Jung

### 요 지

용수공급 계획의 수립이나 수자원시설물 운영에서 주어진 목적의 달성여부를 판단하는 기준은 사회적 합의를 바탕으로 한 공개념으로 작용하기 때문에 기준 적용은 매우 신중하게 다루어져야 한다. 이런 기준들은 신규용수공급시설 설계나 기존시설의 경우 이행도를 평가하는 척도가 되며 경제성이나 대안을 결정하는데 이용된다. 또한 이런 기준들은 국가 수자원 정책의 지표가 될 뿐만 아니라 물 공급 서비스를 받는 사람들에게 최소 필요로 하는 물을 어느 수준으로 얼마를 어떻게 공급할 것인가를 약속하는 의미를 갖는다. 이를 위해 우선 검토하여야 할 사항은 용수공급신뢰도 조사를 위한 기본체계를 제공하고 현재 신뢰도가 어떻게 정의되었으며 물 공급관리지표에 맞추어 예상되는 물 수요의 증가를 언제 어떻게 맞출 것인가라는 측면에서 신규시설물을 계획하면서 공급신뢰도에 의한 계획공급량(목표공급량)을 정하였다. 물을 공급받는 수요자는 공급에 대한 신뢰도가 높은 상태를 원하며 자신이 원하는 물을 아무런 장애없이 지속적으로 공급될 수 있는 조건을 전제로 물 공급계약을 체결한다. 이와 같은 신뢰도가 늘 엄격히 지켜지는 것은 아니나 현대 사회에서도 수요와 공급관계에서 지켜져야 할 기준으로 인식되고 있다. 아울러 수자원 기술자들에게는 최적으로 달성해야 할 업무목표가 된다. 그러나 제한된 정보를 이용하여 용수공급의 신뢰도를 정하게 되며 설계치를 초과하는 수문사상의 불확실성 및 수리구조물의 불안정 등으로 물 공급의 위험도는 항상 발생할 수 있다. 또한 인구증가나 새로운 산업입지에 의한 물 수요의 증가는 기존 시설물의 용량을 초과하여 물 공급의 신뢰도를 악화시킬 수 있다. 가장 널리 이용되고 있는 공급신뢰도 개념은 목표한 용수공급량 혹은 수요량을 충족시키느냐 못하느냐의 정도를 발생빈도 확률로 나타내는 것이다. 그러나 신뢰도의 적용에 대한 기준은 국내뿐만 아니라 외국에서도 종종 논란거리가 되고 있다. 또한 한 국가 내에서도 수자원을 개발하는 기관 내에서도 동일 목적의 사업별로 적용기준이 천차만별이다. 본 연구에서는 국내·외 이수안전도에 대한 정의와 적용사례를 분석하고 각각의 기준이나 지표의 장단점을 비교 평가하고자한다. 아울러 도출된 문제점을 바탕으로 개선방향을 제시하고자 하며, 궁극적으로 국내의 이수안전도 기준설정에 대한 종합적 의견을 제시하고자 한다.

**핵심용어 : 계획공급량, 이수안전도, 평가지표, 신뢰도**

\* 정회원 · K-water 조사기획처 팀장 · E-mail : [chasun@kwater.or.kr](mailto:chasun@kwater.or.kr)  
\*\* 정회원 · K-water연구원 수석연구원 · E-mail : [lkm@kwater.or.kr](mailto:lkm@kwater.or.kr)  
\*\*\* 정회원 · 충남대학교 토목공학과 교수 · E-mail : [ksjung@cnu.ac.kr](mailto:ksjung@cnu.ac.kr)

## 1. 서론

용수공급 계획의 수립이나 수자원시설물 운영에서 주어진 목적의 달성여부를 판단하는 기준은 사회적 합의를 바탕으로 공개념으로 작용하기 때문에 기준적용은 매우 신중하게 다루어져야 한다. 이런 기준들은 용수공급시설 설계나 기존시설의 경우 이행도를 평가하는 척도가 되며 경제성이나 대안을 결정하는데 이용된다. 또한 이들 기준은 여러 가지 의미를 가지는데 국가 수자원 정책의 지표가 되며(희망적 목표 혹은 꼭 달성해야하는지에 대한 검토 필요), 물 공급 서비스를 받는 사람들에게는 필요로 하는 물을 어느 수준으로 얼마를 어떻게 공급받을 것인가를 약속하는 의미를 갖는다. 따라서 수자원 시스템을 통한 물 공급의 신뢰도를 평가하는 지표도 여러 측면에서 고려할 수 있는데 이수안전도가 정해지면 어떤 형태로든 기능이 작동되어야 한다. 이것은 신뢰도를 측정하기 위한 지표와 단위를 결정하는 것이고 계획이나 운영단계에서 적용하기 위한 신뢰도의 표준을 정하는 것이며 신뢰도 모니터링과 관리체계를 설계하고 수립하는 평가지표가 된다. 이를 위해 본 연구에서는 국내·외 이수안전도에 대한 정의와 적용사례를 분석하고 각각의 기준이나 지표의 장단점을 비교 평가하고자한다. 아울러 도출된 문제점을 바탕으로 개선방향을 제시하고자 하며, 궁극적으로 국내의 이수안전도 기준설정에 대한 종합적 의견을 제시하고자 한다.

## 2. 이수안전도 평가 지표

수자원 시스템을 통한 용수공급계획은 시설물의 경제적 설계를 포함하여 실용적 범위내에서 물 공급의 안정성과 계절 또는 기후에 따른 부족량의 취약성을 최소화하고 수요자들이 인내할 수 있는 최소한의 제약조건을 충족시키도록 하.

여야 한다. 여기서 최소한의 제약조건이 의미하는 것은 정해진 일정 목표기간 동안 기준 값(지표) 이상으로 시스템이 유지되도록 설계되고 운영되어야 한다는 것이다. 이와 같은 수자원 시스템의 이수안전도는 기 개발된 사례를 통하여 분석해 보면 다음과 같다.

\* 실패도(failure) : 일반적으로 수자원 시스템의 이행도 평가는 주어진 시간에 시스템이 만족하느냐 만족하지 못하느냐의 가정에 기초하여 설명하게 된다. 시스템이 시간  $t$  에서  $t+1$ 로 이동할 때 시스템은 같은 상태 혹은 다른 상태로 남을 수 있다. 실패기간으로 들어오는  $j$  번째를 제외한 지속기간을  $d(j)$ 로 하고 대응하는 부족량을  $v(j)$ 로 하자.  $d(j)$ 와  $v(j)$ 의 정의는 단일실패사상으로 나타낼 수 있다. 실패사상의 부족량은 수요와 공급 가능량의 차를 누계하여 나타낼 수 있다.

$$v(j) = \sum_{t=1}^{d(j)} [D(t) - Y(t)] \quad (1)$$

여기서,  $d(j)$ 는 실패상태 지속기간,  $D(t)$ 와  $Y(t)$ 는 수요와 실제 공급량을 각각 나타낸다.

\* 신뢰도(reliability) : 수자원 시스템의 이행도 평가를 위해 가장 오래되고 널리 사용되고 있는 것이 Hashimoto et al.(1982)이 제안한 신뢰도이다.

$$\text{Reliability } R = P\{S \in NF\} \quad (2)$$

여기서,  $S$ 는 고려하는 시스템의 상태변수이다. 가장 널리 받아들여지고 활용되는 것이 발생빈도 신뢰도로 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\text{Reliability } R = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{M} d(j)}{T} \quad (3)$$

여기서,  $M$ 은 실패사상의 수이며,  $T$ 는 시간단위의 전체 수이다.

\* 회복도(Resilience) : 회복도는 한번 시스템이 불만족 상태로 들어온 후 얼마나 빨리 만족상태로 되돌아가는가를 평가하는 것이다. Hashimoto et al.(1982)는 조건확률로 회복도를 정의하였다

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

여기서,  $S(t)$ 는 고려하는 시스템의 상태변수이다. 이와 같은 회복도의 정의는 시스템이 불만족 상태에서 보내는 시간의 평균값의 역수와 같다.

$$\text{Resilience} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M d(j) \quad (5)$$

Moy et al.(1986)는 식(10)을 보완하여 시스템이 불만족상태의 최대 연속기간을 회복도로 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{Resilience} = \max_j d(j) \quad (6)$$

\* 취약도(vulnerability) : Hashimoto et al.(1982)의 정의는 실패사상의 피해정도를 측정하는 것이다.

$$\text{Vulnerability} = \sum_{j \in F} e(j)h(j) \quad (7)$$

여기서,  $h(j)$ 는 불만족 상태로 있는 j 번째의 가장 심각한 결과이고  $e(j)$ 는 불만족 상태로 들어와 있는 상태에서 가장 심각한 결과상태의  $h(j)$ 의 확률이다.

### 3. 국내 이수안전도의 적용 사례

과거 우리나라에서 적용된 이수안전도의 특징은 크게 보장공급량 방식과 신뢰도 방식으로 구분할 수 있다. (표 1)에서 알 수 있듯 이들 방식 중 어떤 것이 우수하다고는 할 수 없으며 가용한 수문자료계열의 정도와 개발비용, 그리고 운영의 가변성을 고려하여 변화해 오고 있다. 기존 댐 혹은 현재 건설중이나 계획중인 댐들에 적용된 이수안전도를 살펴보면 단일 기준을 주로 적용하였다. 비약적인 경제발전이라 할 수 있는 80년대 이전에는 주로 장래 수요를 미리 예측하여 대비할 뿐만아니라 공급을 통하여 수요를 창출하는 의미도 있었다. 이때에는 가용 수문자료의 최대 수문한발년을 적용하였다. 갈수 발생빈도로서 공급량을 평가하는 신뢰도 방식 형태로 최대 한발년(1개년)에도 보장하는 공급량, 다년간(20개년 내외) 저수지 모의조작을 통한 보장공급량 및 전체 기간 중에서 일정비율 기간 동안만 물 부족을 허용하는 신뢰도 방식 등이 사용되어 왔다.

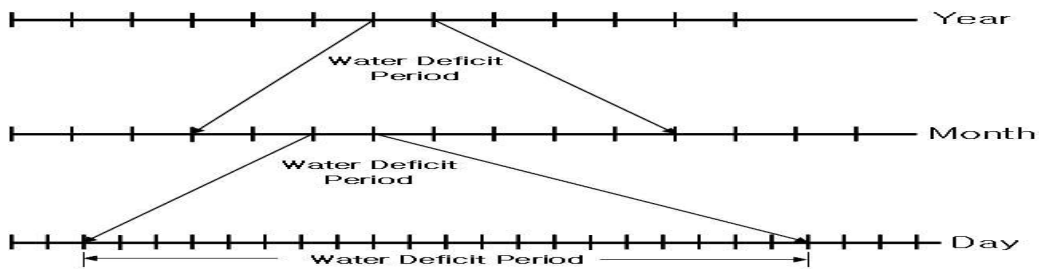
### 4. 이수안전도 적용의 문제점 및 개선 방안

#### 4.1 안동 및 임하댐의 사례

과거 적용된 평가방법은 일반적으로 저수지 모의운영기간은 일, 순, 월 단위를 적용하였음에도, 이수안전도 평가는 연단위 분석방법을 사용하였다. 지금까지의 수자원 시스템의 수요-공급 평가를 위한 수문자료의 시간단위에 상관없이 일률적으로 신뢰도 평가기법을 적용하고 있다. 이 경우 긴 시간단위 평가방법이 비교적 낮은 신뢰도를 보일 수 있으며 이때 보장공급량 개념이나 높은 신뢰도의 적용은 비용측면에서 왜곡될 수 있는 여지가 있다. 과거의 예서와 같이 운영단위 및 평가단위에 따라 이수안전도는 큰 차이를 보이는데 대략 다음 그림 1과 표 2와 같은 경향을 보인다. 시간단위 축상에서 연은 12개월로 나눌 수 있으며, 월은 그 달에 해당하는 날짜로 나눌 수 있다. 역으로 전체 기간 중 용수부족이 발생한 날이 그 달의 전 기간에 걸쳐 발생하지 않았음에도 그 달은 단 하루만 용수부족이 발생하여도 용수공급에 실패한 달로 처리하게 된다. 마찬가지로 어느 해의 전 월에 걸쳐 용수부족이 발생하지 않았음에도 그 해는 용수 부족년으로 처리하게 된다.

**표 1. 다목적댐(13개)의 이수안전도 적용 사례**

댐명	준공 년도	댐 유입량			공급능력 평가		출처
		기간	자료기준	한발년도 포함여부	보장공급	신뢰도	
충주	1986	'17-'40, '56-'74 (43년)	실측			(95%,년)	충주다목적댐 공사지(1986)
횡성	1999	'63-'88(26년)		○		(96%,년)	원주권계통광역상수도타당성조사 및 기본설계(1996)
안동	1977	'58-'68(11년)	실측+ 농업 순물(반순)		○	-	안동댐타당성조사(1971)
임하	1993	'80-'93(14년)		재평가		(93%,년)	포항권광역상수도기본계획(1996)
합천	1989	'69-'94(25년)				(97%,월)	부산경남권광역상수도 기본설계(1996)
남강	2003	'72~'87(16년)	실측		○	-	남강댐보강계획타당성검토및기본계획 (1988)
밀양	2002	'73-'88(16년)	실측비유량			(93%,년)	밀양댐건설실시설계기본설계(1990)
대청	1981	'58-'70(13년)				(90%,년)	대청댐광역상수도2단계타당성조사 및기본계획(1995)
용담	1999	'63~'88(26년)		○	○		용담다목적댐타당성조사(1990)
부안	1996	'63~'88(26년)		○	○		부안댐계통광역상수도타당성조사및 기본계획(1992)
보령	1998	'67~'88(22년)	가지야마	○		(95%,년)	보령댐타당성조사(1990)
장흥	2007	'66~'93(18년)	Tank	○		(96%,년)	탐진다목적댐건설사업기본설계(1994)
주암 (본)	1992	53~'82(30년)	실측 보강강댐	○	○		주암다목적댐본댐최종설계(1984)



**그림 1. Effects on water supply reliability by time intervals**

**표 2. 이수안전도 평가를 위한 수문시간단위에 의한 이수안전성 변화**

분석단위	평가단위	이수안전도(%)	물이용효율 (공급능력)	이수안정성
순(일)	년	(1-부족년/전체년)×100	소	대
순(일)	월	(1-부족월/전체월)×100	중	중
순(일)	순(일)	(1-부족순/전체순)×100	대	소

일반적으로 공급량을 크게 하면 이수안전도는 저하되고 반대로 이수안전도를 크게 하려면 공급량을 적게 설정하는 수밖에 없으므로 이수안전도 설정은 정치, 사회 및 경제의 관점에서 사업시행자가 신중하게 선택해야 한다. 이수안전도 평가 기준에 대해서는 『댐설계기준(2005)』에서는 댐의 유입량은 100년 이상이 바람직하며, 최소 20년이상 기간의 자료를 활용하도록 하고 있다. 상수도시설기준에서도 가능한 장기간(20~30년)을 이용하며, 불가피시 최근 10년간의 자료를 적용하도록 정하고 있다. 가용 자료기간이 짧을 경우 통계학적 모의자료를 사용하도록 하고 있으나 특별한 기준은 없는 실정이다. 이와 같은 특성들을 보다 구체적으로 알아보기 위해 안동댐과 임하댐의 예와 같이 1979~2008년 사이 30년간의 최근의 수문자료를 적용하여 계획공급량을 대상으로 한 이수안전도 평가 결과 몇 가지 문제점을 눈여겨 볼 필요가 있다. 우선 지난 30년간의 수문자료를 대상으로 이수안전도를 평가할 경우 보장공급량 방법은 두 댐 모두에서 실패한 결과를 보여준다. 물론 임하댐의 경우 1991년 영천도수로 사업을 하면서 재평가한 경우가 있지만 당시 적용했던 95% 신뢰도에 미치지 못하고 있다. 안동댐의 경우도 보장공급량 방식으로 현재 설정되어 있는 계획공급량을 달성하기 어려워 보인다. 따라서 보장공급량 기준 평가방법은 물이용 효율 저하, 가용자료의 여건과 특정 한발년 포함여부에 따른 결과의 편차, 분석자 및 모형에 따른 임의성 등에 의한 신뢰성의 달성여부를 판단할 때 지양되어야 한다. 수요-공급평가를 위한 물수지 분석의 단위기간은 자연유량, 수요량 등의 자료수집 및 분석에 사용되므로 미리 결정하는 것이 필요하며, 통상 분석기간은 5일, 10일 및 1개월 등을 사용하고 있다. 분석기간이 짧아질수록 물 부족이 크게 산정되며 또한 그 차이가 상당히 크므로 분석기간의 채택에 유의하여야 한다.

(표 3)은 이수안전도 평가기간단위에 의한 신뢰도 값의 변동성을 알아 보기위해 안동댐과 임하댐의 계획공급량을 대상으로 한 일간 운영 결과이다. (표 4)은 평가기간단위에 의한 신뢰도의 변동성을 보여주고 있다. 일간 운영을 기본으로 일간단위 결과를 살펴보면 안동댐의 경우 30년, 전체 10,958일중 221일 용수부족이 발생하여 공급신뢰도는 97.8%를 보여 주었으며, 임하댐은 816일의 용수부족일수가 발생하여 91.9%의 신뢰도를 나타내었다. 그러나 (표 4)와 같이 일에서 연으로 분석단위기간이 길어질수록 신뢰도는 적어지고 있다. 안동댐의 경우 일, 월 및 연 단위기간 적용에 따른 용수공급 신뢰도 수준은 각각 97.9, 96.9 및 88.9%로 나타났다. 임하댐의 경우도 각각 91.9, 89.1 및 69.6%로 나타났다. 분석단위기간이 길어질수록 신뢰도 수준이 급격히 낮아지는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 (그림 2~4)와 같은 이유에서다. 분석단위기간에 따른 절대 부족량은 큰 차이를 보이지 않으나 기간이 길어질 수록 어떤 특정 단위기간(time interval)내에서 발생하는 용수부족 현상은 단기위간의 수에 비해 절대적으로 늘어날 수 밖에 없는 구조에 기인한다. 임하댐의 경우는 이와 같은 이유를 단적으로 보여주는 예라 할 수 있다.

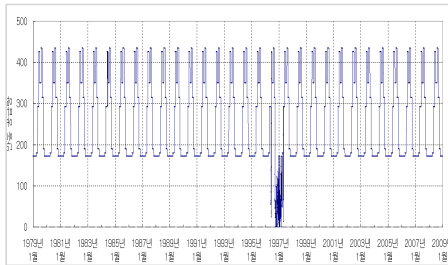
**표 3 . 안동 및 임하댐 계획공급량 기준 용수공급 이수안전도 평가**

적용기간	구분	안 동	임 하
일	전체 일수	10,958	10,958
	공급 일수	10,737	10,142
	부족 일수	221	816
	신뢰도(%)	97.9	91.9
월	전체 월수	360	360
	공급 월수	354	329
	부족 월수	11	36
	신뢰도(%)	96.9	89.1
연	전체 년수	30	30
	공급 년수	27	23
	부족 년수	3	7
	신뢰도(%)	88.9	69.6

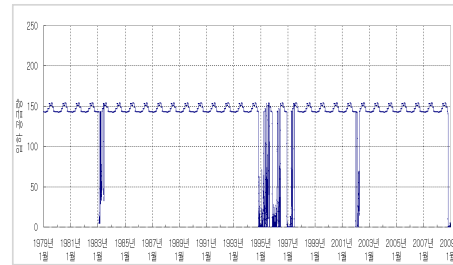
**표 4 . 분석 시간단위에 의한 용수공급 신뢰도 변동성 분석**

운영조건	구분	안동	임하	
개별 운영시	용수 공급	연간수요량	91,720.4	55,448.8
		연평균공급량	90,616.7	51,929.5
		연평균부족량	1,103.8	3,519.3
	공급 신뢰도	연평균공급일수 (전체일수)	357.6 (10,737일)	337.8 (10,142일)
		연평균부족일수 (전체부족일수)	7.4 (221일)	27.2 (816일)
		신뢰도(%)	97.9	91.9

이와 같은 현상은 그림을 통해서도 알 수 있는데 (표 4)의 결과를 보충 설명해 주기위한 것으로 (그림 2~4)는 안동댐과 임하댐의 일단위 운영결과를 일, 월 및 연 시간단위로 정리한 것으로 계획공급량 평가와 부족 발생정도를 보여주고 있다.

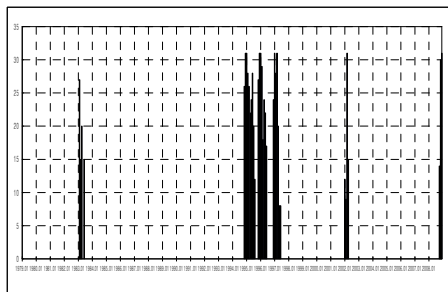


(a) 안동댐

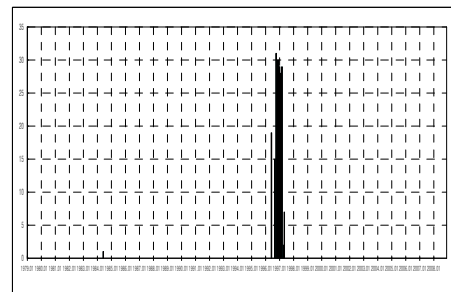


(b) 임하댐

**그림 2. 안동댐 및 임하댐 일별 용수부족 현황**

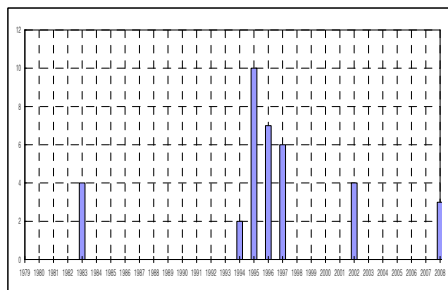


(a) 안동댐

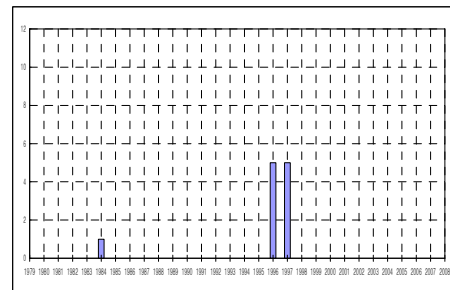


(b) 임하댐

**그림 3. 안동댐 및 임하댐 월별 용수부족 현황**



(a) 안동댐



(b) 임하댐

**그림 4. 안동댐 및 임하댐 연간 용수부족 현황**

저수지 모의운명을 통한 이수안전도의 평가는 수문시계열 입력자료의 기간 평균량으로 기간이 길수록 짧은 기간에 비해 평활화되는 현상이 발생하였으며, 월이나 연간 평가기간 적용시 이수안전도는 짧은 시간단위의 평가방법이 긴 시간단위 평가보다 높은 값을 보임을 확인하였다.

## 4.2 개선방안

1) 이수안전도 설정 문제는 검토 대상 사업의 특징을 고려하여 합리적으로 정해져야 한다. 앞의 예를 통하여 알 수 있듯이 우리가 가장 일반적으로 적용하고 있는 신뢰도 기준의 평가 방식은 여러 가지 불합리한 점을 가지고 있다.

2) 단일 이수안전도의 설정은 각각의 방법론을 비교하여 문제에 적합한 기준을 선택하여야 하는데 공급개념의 이수안전도는 신뢰도 방법이 무난한 것으로 판단되며, 수요측면에서는 용수부족이 발생할시 예상되는 문제점을 고려하여 회복도나 취약도를 고려하여야 한다. 공업용수의 경우 공장 전 라인에 영향을 미칠 수 있으므로 부족지속기간 등을 검토하여야 하며, 생활용수의 경우 부족량의 크기를 양적 신뢰도로 적용할 필요가 있다. 다중 목적을 갖는 경우 신뢰도 개념을 적용하되 다른 평가기준을 복합적으로 적용할 필요가 있다. 필요시 통합 이수안전도 지표의 개발이 권장된다.

3) 갈수년 기준이던 유효저수용량의 공급 가능량 기준이던 수문자료는 한정되어 있으므로 이의 불확실성을 최소화하는 방법이 필요하다. 많은 논문에서 수문자료계열의 기간에 따른 신뢰도의 변동성을 중시하고 있으므로 가능한 장기간의 실측자료나 추계학적 수문시계열 모형에 의한 수문자료확장을 검토하여야 한다. Monte Carlo시뮬레이션에서는 1,000년 이상의 자료계열을 권장하고 있다.

4) 이수안전도 평가 시간단위는, 안동댐 및 임하댐의 예에서 보았듯이 수자원 시스템 해석 시간단위와 이수안전도 적용 시간단위에 따라 이행도는 큰 차이를 보인다. 정중호와 윤용남(2009)이 지적하듯이 가능한 수자원시스템 해석의 시간단위를 짧게(일 혹은 순별) 적용할 필요가 있으며 평가 시간단위도 여기에 맞추어 주는 것이 합리적으로 판단된다.

5) 공간적 측면에서 이수안전도의 변동성을 검토해 보면 유역면적이 크고 수자원 이용률(계획공급량/총유입량)이 작을수록 회복도나 취약도가 양호한 것으로 나타나고 있다. 연이나 월단위의 이수안전도 평가는 기대이상으로 낮아질 수 있다. 충주댐의 이수안전도 이행도는 편차가 적은 것으로 나타나고 있어 유역이 적은 수자원시스템의 이수안전도 및 평가방법 설정에 보다 세심한 주의가 필요하다.

6) 이수안전도 평가지표는 단일 항목에 의존하지 않고 다양한 방법을 적용하고 있다. 일본의 경우 기준갈수나 기왕 최대 가뭄년을 기준으로 용수부족 발생빈도, 지속기간, 크기 및 경제적 피해정도 등을 지표로 활용하고 있다. 따라서 신뢰도 중심의 단일 지표의 적용은 앞에서 지적한 문제점을 포함하여 수자원 시스템의 이수안전도 이행에 문제가 발생할 수 있으므로 이를 보완하는 전략이 유효하다.

## 5. 결 론

합리적인 용수공급 계획은 단순히 어떠한 경우에도 공급을 보장 할 수 있는 양을 기준으로 수립하는 것 보다 수자원 이용의 효율과 신뢰도의 적절한 절충을 통하여 수립하여야 한다. 용수공급의 효율과 신뢰도를 최대화하려는 노력은 상충될 수 있으며, 최대의 신뢰도와 최소의 취약성을 동시에 구현한다는 것은 불가능하며 적절한 타협점에서 결정하게 된다. 특히, 다목적댐의 용수공급능력을 평가함에 있어서 점차 고도화 되어가는 수자원 이용 현황을 반영하여 제한된 수자원 부존량내에서 증가하는 수요에 대응할 수 있도록 신뢰도 기준으로 평가하되 보조지표(양적신뢰도나 용수부족 지속기간)를 보완적으로 적용하는 것이 현실적이라 할 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. 남강댐보강계획타당성검토및기본계획(1988)
2. 대청댐광역상수도2단계타당성조사및기본계획(1995)
3. 밀양댐건설실시설계기본설계(1990)
4. 보령댐타당성조사(1990)
5. 부산경남권광역상수도 기본설계(1996)
6. 부안댐계통광역상수도타당성조사및기본계획(1992)
7. 수자원장기종합계획(건설부, 1990)
8. 안동댐타당성조사(1971)
9. 원주권계통광역상수도타당성조사 및 기본설계(1996)
10. 용담다목적댐타당성조사(1990)
11. 정중호와 윤용남(2009) 수자원설계실무, pp.263~266.
12. 주암다목적댐본댐최종설계(1984)
13. 충주다목적댐공사지(1986)
14. 탐진다목적댐건설사업기본설계(1994)
15. 포항권광역상수도기본계획(1996)
16. Hashimoto, T., Stedinger, J. R. & Loucks, D. P. (1982) Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Wat. Resour. Res.* 18, 14-20.
17. Moy Wai-See, Cohon, J. L. & ReVelle, C. (1986) A programming model for analysis of the reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir. *Wat. Resour. Res.* 22, 489-498.