

# 유역별 물공급 안전도 지표의 비교평가

## Reliability Assesment of Water Supply System in Korea

○ 박성삼\*, 이동률\*\*, 강경석\*\*, 윤석영\*\*\*

### 1. 서 론

우리나라는 강수량이 계절적이나 지역적으로 편차가 심하여 수자원 관리상 매우 불리한 조건에 놓여있는 실정이다. 유역의 사회·경제 활동을 안정적으로 지속발전 시키기 위해서는 필요한 수자원의 안정적 공급이 절대적이다. 따라서 수자원 관리자는 자연 하천 혹은 댐과 같은 수자원 개발로 사회가 요구하는 물 수요량을 충족시켜야 한다. 그러나 자연 하천유량과 댐의 저수량은 불확정한 수문현상의 영향을 받기 때문에 때로는 수요량을 만족시킬 수 없는 경우가 발생하게 된다. 여기에서 물공급 안전도(이수안전도)의 개념이 도입되며, 이를 규정하는 요인들은 하천수량의 불확실성, 목표 수요량, 수자원 개발 및 공급 시스템의 3가지 요소가 있다.

물공급 안전도란 설정된 수요량을 공급할 수 있는 확실성을 의미하며, 확실성은 확률 또는 빈도 개념으로 표현된다. 이에 본 평가에서는 전국을 4대 권역 즉, 한강, 낙동강, 금강, 영산강 및 섬진강 권역으로 나누어 계획년도별 용수수요에 따른 유역별 다목적 댐 모의에 의한 장기간(1966.10~1998.9) 물수지 분석을 수행하였으며, 그 산정결과를 이용하여 유역별 최대갈수년(순위별), 저수지용량 부족발생년도, 발생횟수, 부족용량, 댐 공급량, 물공급 신뢰도 및 물부족을 등을 물공급 안전도 평가를 위한 지표로 선정하여 4대 권역의 본류유역 물공급 안전도를 평가하고자 하였다.

### 2. 물공급 안전도 평가지표 및 적용

자연계의 수문순환 현상을 관측하고 수문자료를 수집 및 분석하여 그 산출결과를 이용한 유역의 물공급 안전도를 정량적으로 표현하기란 매우 어려운 일이며 이에 대한 연구도 아직은 미비한 실정이다. 이에 본 평가에서는 수자원 계획의 최적화 연구(Ⅲ)(건설교통부, 1999)에서 제시한 물공급 안전도 평가지표를 이용 및 선정하여 유역별 물공급 안전도를 평가하고자 하였다. 유역의 물공급 안전도를 평가하는 지표는 계획기준년 갈수의 발생빈도, 물부족의 발생빈도 및 일단 갈수가 발생한 후 유역이 받는 물부족 피해의 정도를 나타내는 지표로 분류된다. 계획기준년 갈수의 경우는 자연유량에서 산정된 갈수량의 빈도 혹은 재현기간으로 표현되고, 물부족의 발생빈도 및 피해의 정도는 대상 자연유량의 기간의 공급량과 수요량의 물수지 분석에 의해 나타내는 지표들이다. 이들 지표들을 정리하면 다음의 표 1과 같다.

---

\* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원  
\*\* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원  
\*\*\* 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석연구원

표 1. 물공급 안전도 평가 지표

갈 수 발생빈도	기준갈수량 빈도 (frequency)	(1) 갈수년의 갈수량 발생빈도	
물 부족 발생빈도	위험도(신뢰도=1-위험도) (risk, reliability)	(2) 물부족의 발생년수 (3) 저수지용량 부족발생년수 (4) 취수제한 실시년수	
물 부족 정도	길이 (length, duration)	(5) 물부족 발생일수 (6) 저수지용량 부족발생일수 (7) 취수제한 실시일수	
	심각도 (vulnerability)	크기 (magnitude)	(8) 총부족수량 (9) 저수지 부족용량 (10) 부족%·일
		심도 (severity)	(11) 취대취수제한율 (12) (부족%) <sup>2</sup> ·일, (부족%) <sup>3</sup> ·일 (13) 갈수피해합수
	회복도 (resiliency)	(14) 물부족 및 회복 기간	
	경제적 피해 (economic damage)	(15) 갈수피해액 (16) 단위수량당 갈수피해액	

【참고】 건설교통부·한국수자원공사·한국건설기술연구원, 수자원 계획의 최적화 연구(Ⅲ)-물공급 안전도 평가 및 용수수급 계획 체제 개발, 1999

2.1 갈수 발생빈도

기준갈수년의 선정방법은 크게 두가지로 나눌수 있다. 첫째는 과거 매년 자연유량 기록을 이용하여 확률적 평가에 의해 해당 빈도에 대한 기준갈수량을 계산하여 이 유량이 포함된 연도를 기준갈수년으로 설정하는 방법이며, 두 번째는 갈수의 확률적 평가에 의하지 않고 갈수의 순위를 이용하는 방식이다.

본 평가에서는 수문년 1967~1998년 기간의 강우량을 이용하여 탱크모형에 의해 추정된 자연유출량의 순위별 갈수년 및 갈수량을 평가하였다.

2.2 물 부족 발생빈도

물 부족의 발생빈도는 대상기간에 대한 수요와 공급의 물수지를 통하여 수요를 만족시키지 못하는 위험도를 말한다. 위험도의 반대는 신뢰도라 하며 식(2.1)과 같이 표현된다.

$$\text{공급의 신뢰도} = \frac{N}{N_t} \times 100(\%), \quad (t = \text{반순, 순, 월, 년 등}) \dots \text{식(2.1)}$$

여기서, N은 수요를 만족시키는 횟수, N<sub>t</sub>는 총분석기간수이다.

본 평가에서는 단위기간을 반순으로 한 물수지 분석을 수행하였으며, 공급의 신뢰도 평가에서의 t의 단위기간은 반순 및 1년으로 설정하여 평가하였다.

### 2.3 물 부족 정도

갈수가 발생할 경우 물공급시설의 운영·조작 등에 의해 지표치가 변화되는 갈수의 길이, 심도, 회복도 및 경제적 피해는 수자원 계획의 지표로서 적당하지 못하다. 그러나 갈수의 절대적인 크기를 나타내는 총부족수량, 저수지 부족량 및 부족%·일의 지표는 수자원 공급시설 계획결정의 지표로서 적절하다고 볼 수 있다.

본 평가에서는 물부족횟수, 물부족량, 댐 공급량 및 수요량에 대한 물부족율을 물부족 정도의 지표로 설정하여 평가하였다.

### 3. 유역별 물공급 안전도 평가

상류에 댐이 존재하는 유역에 발생하는 가뭄의 종류는 두가지로 구분된다. 첫째는 강수의 부족에 의한 기상적인 가뭄이며, 둘째는 댐의 저류량 부족으로 야기되는 물공급시스템에 의한 가뭄이다. 물론 전자의 원인이 후자의 가뭄발생에 절대적인 영향을 미치기는 하지만 전자의 경우는 단기 가뭄을 의미하며, 후자의 가뭄은 연속가뭄을 의미한다. 즉 수문년 초기 저수위의 목표수위인 상시만수위를 채우지 못한채 익년으로 이월되어 연속가뭄이 발생하게 되는 것이다.

본 평가에서는 강수조건 및 기간에 따른 유출총량에 대한 순위별 갈수량 및 갈수년도의 평가와 댐 모의운영후 발생하는 가뭄(연속가뭄)에 대한 유역의 물공급신뢰도를 평가하였다.

#### 3.1 자연유출량에 대한 갈수 평가

4대 권역의 본류유역에서 발생한 자연유출량을 발생기간별 분석하면 4월-6월의 최대가뭄년은 4대 권역 모두 1968년으로 나타났으며, 10월-6월의 최대가뭄년 역시 1968년으로 나타났다. 반면 10월-9월의 1년간 유출총량은 한강과 금강권역은 1982년, 낙동강권역은 1994년, 영산강 및 섬진강권역은 1968년으로 나타났다. 이를 종합해볼 때 1968년도의 수문년 유출총량은 32년 자료기간 중 영산강 및 섬진강권역을 제외하고는 최대갈수년은 아니었으나 봄가뭄의 영향으로 인한 홍수기 이전의 유출량은 4대 권역 모두 최대갈수년이었음을 알 수 있었다. 다음의 표 2는 권역별 본류유역 자연유출량의 순위별 갈수량 및 갈수년을 평가한 표이다.

표 2. 자연유출량의 순위별 갈수량 및 갈수년 평가

기간	순위	한강	낙동강	금강	영산섬진
4월-6월	1	1,311(1968)	844(1968)	256(1968)	448(1968)
	2	1,508(1995)	1,040(1982)	345(1988)	598(1994)
	3	1,635(1988)	1,475(1988)	355(1995)	646(1982)
평 균		3,423	2,864	1,165	1,815
10월-6월	1	3,790(1968)	2,340(1968)	1,071(1968)	1,237(1968)
	2	4,539(1988)	3,279(1982)	1,399(1982)	1,703(1982)
	3	4,656(1970)	4,122(1995)	1,501(1992)	1,786(1994)
평 균		6,929	5,582	2,333	3,068
10월-9월	1	12,121(1982)	7,595(1994)	3,744(1982)	2,951(1968)
	2	13,020(1994)	7,872(1977)	3,890(1968)	3,260(1967)
	3	13,585(1977)	8,470(1968)	4,043(1994)	3,282(1994)
평 균		18,611	13,332	6,445	6,995

### 3.2 유역별 물공급 안전도 평가

본 평가에서 적용한 저수지 운영조건 및 조작방법은 수자원장기종합계획(건설교통부, 2000)과 동일하며, 하류유역에 물부족 발생시 다목적 댐에 의한 용수공급이 이루어진 후 하류 용수수요를 충당하지 못하여 발생한 물부족을 근거로 유역별 물공급 안전도를 평가하였다.

한강권역의 충주 다목적 댐을 예로보면 수자원장기종합계획(건설교통부, 2000)의 계획년도 2011년도의 용수수요가 예측될 때 1978년도의 유출조건에서 3회(반순), 1회/32년 물부족이 발생했으며, 이때 유역의 물부족량은 88백만m<sup>3</sup>/년이 부족할 것으로 나타났다. 이때 충주댐에서 하류에 공급한 총 공급량은 2,516백만m<sup>3</sup>, 단위기간 반순으로는 99.87%, 단위기간 1년으로는 96.88%의 물공급 신뢰도로 약 1회/30년 발생가뭄에 대처할 수 있는 능력이 있는 것으로 나타났다. 다음의 표 3은 유역별, 계획년도별 물부족 및 물공급 신뢰도를 평가한 표로 다목적 댐을 기준으로 평가하였다.

표 3. 유역별, 계획년도별 물부족 및 물공급 신뢰도 평가표

(단위 : 백만m<sup>3</sup>)

유역	댐명	2001	2006	2011	2016	2020
한 강	충주			1978 3 88 2,516 (99.87%, 96.88%)	1968 1 42 2,159 1978 4 168 2,516 (99.78%, 93.75%)	1968 2 91 2,162 1978 5 226 2,516 (99.70%, 93.75%)
	소양			1978 4 200 977 (99.83%, 96.88%)	1968 1 55 1,844 1978 5 284 942 (99.74%, 93.75%)	1968 2 117 1,846 1978 6 360 917 (99.65%, 93.75%)
	화천			1978 2 26 1,153 (99.91%, 96.88%)	1978 3 28 1,155 (99.87%, 96.88%)	1968 1 17 1,155 1978 4 47 1,156 (99.78%, 93.75%)
낙동강	안동			1968 5 181 746 1969 2 24 361 1996 1 11 618 1997 1 10 450 (99.61%, 87.50%)	1968 6 203 729 1969 2 63 360 1996 1 12 608 1997 2 24 450 (99.52%, 87.50%)	1968 7 239 723 1969 2 60 362 1996 1 21 592 1997 5 51 452 (99.35%, 87.50%)
	입하		1995 6 109 258 1996 5 71 329	1968 10 169 492 1969 11 103 398 1983 7 124 317 1995 21 223 233 1996 17 175 386 1997 19 154 387 (96.31%, 81.25%)	1968 11 184 487 1969 12 112 398 1983 8 135 315 1995 21 227 233 1996 18 184 388 1997 20 163 387 (96.09%, 81.25%)	1968 13 205 485 1969 13 120 402 1983 12 147 312 1995 24 257 228 1996 19 199 392 1997 21 178 389 (95.57%, 81.25%)
	합천			1968 5 104 477 1969 2 31 323 1996 1 0.1 394 1997 1 3 301 (99.61%, 87.50%)	1968 6 116 467 1969 2 36 323 1996 1 0.1 388 1997 2 10 301 (99.52%, 87.50%)	1968 6 135 462 1969 2 33 322 1996 1 8 380 1997 5 21 301 (99.39%, 87.50%)
	남강			1968 4 20 463 (99.83%, 96.88%)	1968 4 21 463 1969 1 4 519 (99.78%, 93.75%)	1968 5 30 464 (99.78%, 96.88%)
금 강	대청			1968 4 167 1,541 1995 6 267 1,149 (99.57%, 93.75%)	1968 5 226 1,545 1995 8 340 1,123 (99.44%, 93.75%)	1968 5 226 1,548 1995 9 370 1,102 (99.39%, 93.75%)
	용담		1995 2 6 374 (99.91%, 96.88%)	1993 4 13 426 1995 8 43 279 (99.48%, 93.75%)	1993 8 22 375 1995 9 54 267 (99.26%, 93.75%)	1993 8 25 326 1995 10 62 263 (99.22%, 93.75%)
영산강 섬진강	섬진	1995 2 20 333 (99.91%, 96.88%)	1995 2 21 330 (99.91%, 96.88%)	1995 2 25 326 (99.91%, 96.88%)	1995 2 24 326 (99.91%, 96.88%)	1995 2 23 327 (99.91%, 96.88%)
	주암		1968 3 27 365 (99.87%, 96.88%)	1968 13 113 324 1978 5 27 341 (99.22%, 93.75%)	1968 16 141 311 1978 9 52 331 (98.91%, 93.75%)	1968 18 159 303 1978 14 71 321 1989 2 8 375 (98.52%, 90.63%)

- 【주】 1. 자료값은 순서대로 저수지용량 부족발생년도, 부족발생횟수(반순), 부족용량, 댐공급량.  
2. ( )는 전분석기간에 대한 물공급 신뢰도로 단위기간은 각각 반순 및 1년에 대한 값임.

또한 본 평가에서는 유역내 소유역별 수요량 대비 물부족량에 대한 물부족율을 평가하였다. 한강유역의 계획년도 2011년의 용수수요가 예측될 때 팔당댐~한강하구 유역인 115번 소유역에서는 약 9%의 용수가 부족할 것으로 나타났으며, 소양강댐 상류유역인 109번 소유역과 달천 유역인 104번 소유역에서도 각 5%와 2%의 용수가 부족할 것으로 나타났다. 다음의 그림 1은 계획년도 2011년 용수수요 기준에서 평가한 소유역별 물부족율을 나타낸 그림이다.

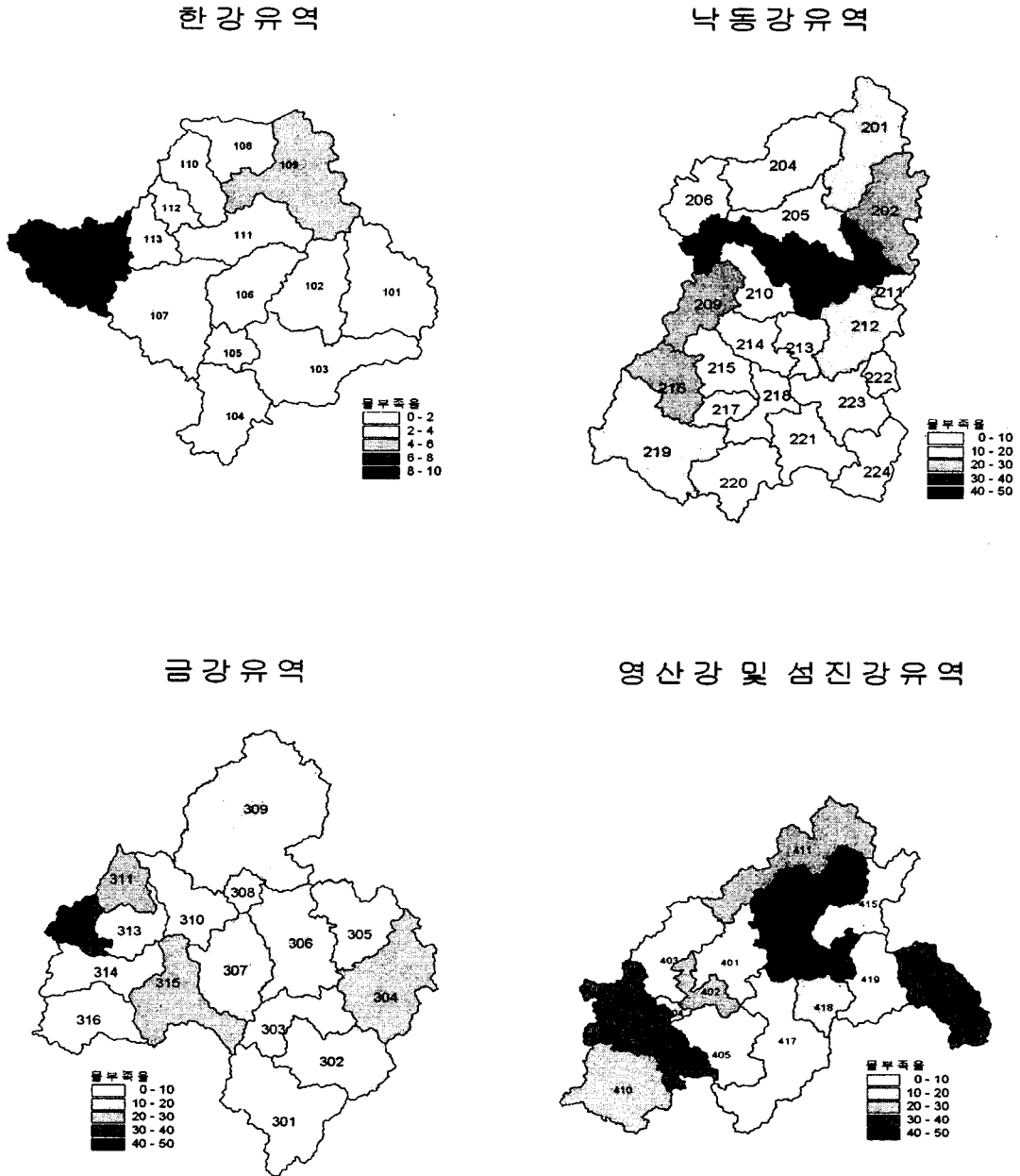


그림 1. 소유역별 물부족율(2011년 용수수요 기준)

#### 4. 결 론

본 평가에서는 4대 권역 본류유역에 대하여 자연유출량의 순위별 갈수년 및 갈수량, 다목적 댐의 저수지용량 부족발생년도 및 부족발생횟수(반순, 1년), 저수지 부족용량, 물공급 신뢰도 및 소유역별 물부족율을 분석함으로써 유역의 물공급 안전도 평가를 수행하였다. 평가결과 현재의 다목적 댐 시설을 통한 용수공급 규모로는 계획년도 2011년의 용수수요가 요구될 때 1년에 걸친 최대단기 가뭄(기준년 1968년)에 대한 한강권역의 내한능력은 충분하나 그밖의 권역은 용수수급에 어려움이 있을 것으로 나타났으며, 2~3년에 걸친 장기가뭄에는 전 권역이 취약한 것으로 나타났다. 한강권역의 경우 연속가뭄이 발생한 1978년 규모의 가뭄이 재현시에는 약 314백만 m<sup>3</sup>/년의 용수가 부족할 것으로 나타났으며, 물공급 신뢰도는 단위기간 반순 및 1년에서 각각 99.91%와 96.88%로 분석되었다. 또한 수요량 대비 물부족율 분석에서 용수수요가 집중되어 있는 팔당댐 하류부에서 물부족율이 9%에 이를 것으로 나타났으며, 한강 상류부인 소양강댐 상류부 및 달천유역에서도 물부족이 발생함에 따라 상류부 용수공급을 위한 수원확보에 대책이 요구되는 것으로 나타났다.

물공급 신뢰도를 유역별로 살펴보면 약 1회/30년 발생가능한 가뭄에 대한 한강유역의 물공급 신뢰도는 단위기간 반순 및 1년에서 각각 99%이상, 94~97%로 나타났으며, 낙동강유역은 각각 96~99%, 81~97%, 금강유역은 각각 99%, 94%, 영산강 및 섬진강유역은 각각 99%, 93~97%로 나타났다. 평가결과에서 알 수 있듯이 낙동강 유역의 2011년 이후 용수수급에 있어서 단위기간 반순에 대한 물공급신뢰도는 96%이상이나 단위기간 1년에 대한 물공급신뢰도는 최저 81%까지 나타나고 있어 1회/10년 발생규모의 가뭄에도 쉽게 영향을 받을 수 있는 것으로 나타나 향후 용수수급의 차질이 우려되고 있으며 이에 대한 대책이 시급한 것으로 나타났다.

본 평가를 통해 지역간 물부족의 상대적인 크기를 비교함으로써 국토의 균형개발을 위한 개발 우선지역 선정에 도움이 될 것으로 사료되며, 향후 과제로서는 해석결과와 객관성과 신뢰성 증대를 위한 정보자료의 정량화 및 현실적인 조사가 이루어져야 할 것이며, 또한 경제적인 피해를 고려한 평가지표의 개발이 이루어져야 할 것이다.

#### 5. 참고문헌

1. 건설교통부, 수자원장기종합계획, 1996
2. 건설교통부, 수자원장기종합계획, 2000
3. 건설교통부·한국수자원공사, 기존댐 용수공급능력조사 보고서, 1998
4. 건설교통부·한국수자원공사, 수자원개발 가능지점 및 광역배분계획 기본조사 보고서, 1996
5. 건설교통부·한국수자원공사·한국건설기술연구원, 수자원 계획의 최적화 연구(Ⅲ)-물공급 안전도 평가 및 용수수급 계획 체제 개발, 1999
6. 농림부·농업기반공사, 농촌용수 수요량조사 종합보고서, 1999
7. 노재경, 다목적댐의 용수공급능력 평가지표 설정 연구, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 1998
8. 한국수자원공사, 다목적댐 운영 실무편람, 2000
9. 한국수자원공사, 수자원장기종합계획, 1990