

다목적댐의 용수공급능력 재평가

Reevaluation of Multi-Purpose Reservoir Yield

이 동 훈* / 최 창 원** / 유 명 수*** / 이 재 응****

Lee, Dong Hoon / Choi, Chang Won / Yu, Myung Su / Yi, Jae Eung

Abstract

For a basin with existing reservoirs, the necessity of additional water demands has been proposed, as well as a reevaluation of existing reservoir yield has been proposed. The objective of this study is to reevaluate a multipurpose reservoir yield and to assess the possibility of additional water supply according to increase of downstream water demands. Andong and Imha Reservoirs are selected for reevaluation. The standard reservoir operation rule model and the HEC-ResSim model were used for reservoir simulation for 30 years (1979~2008). In this study, water supply reliability was set up as 96.7% and 95.0% with yearly and monthly evaluating unit. In case of 95% water supply reliability with yearly evaluating unit, water supply capability of Andong reservoir was evaluated as 893MCM and water supply capability of Imha reservoir was evaluated as 382MCM, and that results showed that water yields for both reservoirs are less than the original designed yields.

Keywords : firm yield, reliability, water supply safety, water supply capacity, HEC-ResSim

요 지

댐이 위치하고 있는 유역에서도 신규 수자원 확보에 대한 필요성은 계속 제기되어왔고, 이에 따라 기존 댐에 대한 용수공급능력의 재평가의 필요성도 제기되어져 왔다. 본 연구에서는 댐의 하류 용수수요 증가에 따른 추가용수공급 가능 여부를 판단하기 위하여 다목적댐의 용수공급능력을 재평가하였고, 이에 따른 추가용수공급 가능량을 산정하였다. 대상댐은 낙동강의 안동댐 및 임하댐을 선정하였다. 저수지운영모형으로는 표준운영률을 사용한 모형과 HEC-ResSim을 사용하였으며 1979년부터 2008년까지 30년 동안 저수지 단독운영을 실시하였다. 본 연구에서 용수공급능력의 평가기준인 이수안 전도는 신뢰도 96.7%, 95.0%의 연단위 및 월단위 평가를 기준으로 설정하였다. 신뢰도 95.0%의 연단위 평가 시 안동댐의 경우 용수공급 가능량이 연간 893백만 m^3 로 산정되었고, 임하댐의 경우 연간 382백만 m^3 로 산정되어 안동댐 및 임하댐 모두 기본계획공급량에 비하여 용수공급능력이 부족한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 보장공급량, 신뢰도, 이수안전도, 용수공급능력, HEC-ResSim

* 아주대학교 건설교통공학과 석사과정 (e-mail: otation@ajou.ac.kr)

Graduated Student, Dept. of Civil & Transportation Engineering, Ajou Univ., Suwon 442-749, Korea

** 아주대학교 건설교통공학과 박사과정 (e-mail: itsme99@ajou.ac.kr)

Ph.D. Candidate, Dept. of Civil & Transportation Engineering, Ajou Univ., Suwon 442-749, Korea

*** 아주대학교 건설교통공학과 석사과정 (e-mail: niceguy-03@ajou.ac.kr)

Graduated Student, Dept. of Civil & Transportation Engineering, Ajou Univ., Suwon 442-749, Korea

**** 교신저자, 아주대학교 환경건설교통공학부 교수 (e-mail: jeyi@ajou.ac.kr)

Corresponding Author, ProfesSOR, Div. of Environ., Const. and Trnst., Engineering, Ajou Univ., Suwon 442-749, Korea

1. 서론

인구증가와 산업발달로 인하여 용수수요는 지속적으로 증가하는 경향을 보이거나 용수공급은 이에 미치지 못하고 있는 실정이다. 이를 해결하기 위하여 1960년 이후 우리나라의 주요 수계에는 이·치수를 주요 목적으로 하는 많은 다목적댐들이 건설되어 운영되고 있다. 하지만 댐 건설 이후에도 하류의 용수수요는 농업시설의 확충, 하천의 친수기능 및 수질오염 방지 등과 같은 이유로 계속 증가하고 있다. 이와 같은 추가적인 용수수요를 해결하기 위한 대규모 신규 저류시설은 입지선정의 어려움, 지역사회 반발, 환경영향 등 여러 가지 문제점으로 인하여 개발에 어려움이 있기 때문에, 최근에는 기존 댐의 효율적인 운영 등을 통한 비구조적인 수자원확보 대책에 관심이 집중되고 있다. 비구조적인 방법으로 기존 댐에서 추가적인 용수수요를 충족시킬 수 있는지에 대한 여부를 판단하기 위해서는 댐의 용수공급 가능량인 용수공급능력을 평가하여야 한다. 용수공급능력의 평가는 댐 계획 당시에도 이루어지지만, 현재의 댐 운영은 건설 당시와 다른 환경을 반영하면서 운영되고 있으며 댐 건설 후 시간이 경과하면서 하류의 용수수요 및 유역환경이 변하기 때문에 현재 수자원의 관리환경과 수요에 맞는 용수공급능력의 재평가가 필요하다. 또한, 용수공급능력 평가는 저수지나 댐뿐만 아니라 이들을 포함하는 수자원시스템의 계획 및 운영 방안의 수립에 있어서 매우 중요한 절차이다(이재웅과 송재우, 2002). 그러나 평가기준에 따라 산정되는 공급능력이 상이하고, 평가기준에 대한 명확한 규정이 없어 평가에 대한 어려움이 있는 실정이다.

지금까지 저수지의 용수공급능력 평가를 위해 저수지 계획 단계에서 주어진 각종 수문자료를 이용하여 저수지의 용량을 결정하는 기법들이 많이 제시되어 왔다. Ripple (1883)은 누가용적곡선을 이용하여 저수지 용량을 결정하는 기법을 제안하였고, Alexander (1962)는 연 유출량의 재현기간과 Gamma 분포를 이용한 저수지 용량 결정기법을 제시하였으며, Gould (1964)는 추계학적 분석에 기반을 두고 합성유입량자료를 생성하여 저수지 용량과의 관계를 분석하였다. 또한 Hardison (1965)은 저수지의 용량을 연 유입량의 이론적 분포와 함께 일반화하여 제시하였으며, Teh and McMahon (1982)는 Gould의 확률행렬절차를 이용하여 저수지의 용량과 공급량의 관계를 회귀방정식으로 나타내었다.

용수공급능력에 대한 연구로서 Wurb and Bergman (1990)은 저수지 공급량 및 신뢰도의 예측에 영향을 미치는

인자들을 유역의 수문학적 요소들로 나타내었고, Smithers and Walker (1997)는 극심한 가뭄사상에서의 저수지 공급량을 재평가하였으며 공급량과 신뢰도의 관계에 영향을 미치는 수문·사회학적 인자를 제시하였다. Rittima and Vudhivanich (2003)는 회복도와 신뢰도를 사용하여 저수지의 용수공급능력을 평가하였으며, Srivastava and Awchi (2009)는 인공신경망과 hedging rule을 의사결정기법으로, 선형계획법과 동적계획법으로 저수지 운영을 최적화하여 저수지의 공급량을 평가하였고, Adeloeye (2009)는 다중선형회귀분석과 인공신경망을 이용하여 저수지 용량과 공급량 및 신뢰도를 일반화한 모형을 제안하였다.

용수공급능력의 평가에 대한 국내의 연구로서, 박성삼 등(2001)은 가뭄의 정도와 기간에 따른 다목적댐의 저수량 회복특성 및 용수공급능력을 평가하였고, 이재웅과 송재우(2002)는 신뢰도 기준을 기본으로 모의기법과 최적화기법을 사용한 다목적댐의 용수공급능력평가 기법을 제안하고 용담댐의 용수공급능력을 평가하였으며, 강민구와 박승우(2005)는 저수지의 용수공급능력을 평가할 수 있는 모의-최적화 모형을 개발하고 섬진강댐의 용수공급능력을 평가하였다. 또한, 용수공급능력 평가의 안전도에 대한 국내의 연구로서 박성삼 등(2002)은 물 공급 안전도 지표를 선정하여 4대 권역의 분류유역 물 공급 안전도를 평가하였고, 이상호와 강태욱(2006)은 확률론적 신뢰도를 이용하여 댐의 물 공급 안전도를 정의하고 안전도 평가 절차를 제시하였으며, 소양강댐과 충주댐의 물 공급 안전도를 평가하였다.

본 연구에서는 신규 물 수요량의 확보와 취수원 이전에 대한 물 부족 발생여부 등 용수공급능력 검토에 대한 필요성이 제기된 낙동강의 안동댐 및 임하댐의 용수공급능력의 평가기준을 설정하고 저수지 모의운영 모형을 이용하여 용수공급능력을 재평가하였고, 추가용수공급 가능 여부를 판단하였다.

2. 용수공급능력 평가 방법

최근 저수지의 용수공급능력을 평가하는 방법 중 널리 이용되는 방법은 목적에 따라 적절한 용수공급능력 평가기준을 설정하고 저수지 모의운영을 통하여 용수공급능력을 산정하는 방법이다. 유역의 장래 물 부족 및 이용현황을 분석하기 위하여 사용되는 물수지분석은 모의기간 동안 공급량이 일정할 때 저수지 모의운영을 통하여 하류의 소유역별 물 부족량 및 이용량 등을 산정하는 방법이다. 반대로 용수공급능력 평가는 하류의 물 부족에 대한

정도를 이수안전도로 미리 설정한 상태에서 저수지 모의 운영을 통하여 설정된 이수안전도 내에서 최대로 공급할 수 있는 양인 용수공급 가능량을 산정하는 방법이다. 본 연구에서는 시스템 운영의 탄력성을 최대한 이용한 최적의 운영결과를 발견할 수 없다는 단점이 있지만, 시스템의 상태를 비교적 상세히 표현할 수 있다는 장점과 주어진 운영규칙에 대하여 장기간의 분석을 통한 신뢰성 해석, 또는 위험도 해석과 같은 연구에 적합한 모의모형을 이용하여 용수공급능력을 산정하였다.

2.1 용수공급능력

다목적댐의 용수공급능력은 댐에 의해 형성된 저수지로부터 공급 가능한 물의 양을 의미하며 통상 연간 공급 가능량으로 표시한다. 댐의 용수공급능력에 대한 평가는 신규 수자원의 확보와 저수지 규모의 결정 등을 포함하는 수자원 공급계획의 수립에 필수적인 요소이다. 다년간 운영된 기존댐의 용수공급능력을 평가하기 위해서는 댐 운영 시점에서의 유효저수량에 저수지 유입량, 증발량, 강수량, 댐 하류 편익공제수량 및 목적별 계획 용수 수요량, 홍수 시 월류, 방류량 등을 고려하여 물수지 계산 절차에 따른 저수지 모의운영 분석을 실시함으로써 물 부족량 및 실제 공급량(용수공급능력)을 계산하게 된다(MOCT, 1998).

댐으로부터의 용수공급능력은 저수지의 유입량에 의해 좌우되므로 연도별로 변하게 되며 최대 갈수기간(critical drought period ; 일반적으로 12개월 혹은 24개월 누가 유입량이 기록상 최저치에 달했던 기간)에도 공급을 보장할 수 있는 보장공급량(firm yield)과, 풍수년에도 보장공급량을 초과하는 공급량인 부차적 공급량(secondary yield)으로 나누어지고, 부차적 공급량의 경우 추가 용수공급 목적에 사용될 수 있다(MOCT, 1998).

2.1.1 이수안전도

이수안전도란 수자원 공급시설이 그 시설로부터 기대되는 용수수요를 충족시킬 수 있는 물 공급의 안전성 정도를 표시하는 지표로서 수자원 공급시설의 설계, 대상 갈수유황의 발생빈도 혹은 평균 재현기간으로 표시하는 것이 보통이다. 현재 국내의 이수안전도 기준에 관한 명확한 기준은 없으나 크게 기왕의 최대갈수 시에도 용수공급이 가능한 보장공급량 기준과 전체 계획기간 중에서 일정 기간 동안은 물 부족을 허용하는 신뢰도 기준으로 분류할 수 있다(이재응과 송재우, 2002).

보장공급량 기준의 경우 특정 갈수년을 기준으로 한 방식과 다년의 갈수기간을 기준으로 한 방식으로 분류된다. 1970년대까지 주로 사용되었던 특정 갈수년 기준 보장공급량 방식은 안동댐, 용담댐 및 수어댐 등의 설계 시 사용되었으며, 과거 최대 한발년의 유입조건을 물 부족 발생 없이 모두 만족시키는 보장공급량을 용수공급 가능량으로 산정하는 방법이다. 1970년에서 1980년 사이에 주로 사용된 다년 갈수기간을 기준으로 한 보장공급량 방식은 남강댐, 대청댐 및 임하댐 등의 설계에 사용되었으며, 20개년 내외의 유입조건에 대해 물 부족 발생 없이 모두 만족시키는 보장공급량을 용수공급 가능량으로 산정하는 방법이다.

신뢰도 기준의 경우 대체로 1980년대부터 지금까지 사용되고 있으며 충주댐, 보령댐 및 화북댐 등에 적용되었고, 수자원의 효율적인 이용을 위하여 전체 기간 중에서 일정비율 기간 동안의 물 부족을 허용하는 다년 갈수기간 기준의 보장공급량을 용수공급 가능량으로 산정하는 방법이다. Table 1은 우리나라 주요 다목적댐의 이수안전도를 정리하여 나타낸 것이다.

Table 1. Water Supply Safety of Multi-purpose Reservoirs

Reservoir	Design Completion	Base Yield ($10^6 m^3/yr$)	Data for Analysis	Water Supply Safety
Soyanggang	1973	1,213	'15~'39	Firm yield of $36 m^3/s$
Chungju	1986	3,380	'66~'83	Reliability 95%
Andong	1977	926	'47~'70	Drought streamflow of '67~'68 + a reserve storage 25%
Imha	1993	497	'63~'83	Firm yield during 21 years
Daechung	1981	1,649	'58~'70	Firm yield during 13 years
Youngdam	1999	650	'63~'88	Drought stream flow of '67~'68, '82~'83

2.1.2 용수공급능력 평가기준

용수공급능력 평가기준은 크게 이수안전도의 기준과 평가단위의 설정으로 구분할 수 있다. 이수안전도를 보장 공급량 방식과 신뢰도 방식 중에서 선정해야 하며, 신뢰도 방식의 경우 동일한 신뢰도라 하더라도 물 부족을 평가하는 평가단위에 따라서도 용수공급량이 상이하게 산정되므로 평가단위에 대한 기준 설정이 필요하다.

신뢰도 방식의 경우 총 분석기간을 p_t , 물 부족 발생기간을 p_f 로 표시할 때 신뢰도 $r(\%)$ 은 Eq. (1)로 표시된다.

$$r = (1 - \frac{p_f}{p_t}) \times 100 \quad (1)$$

이때, 물 부족 발생기간은 연간, 월간, 주간, 일간의 평가 단위기간들 중 단 하루라도 물 부족일이 발생한 단위기간들의 합을 의미하기 때문에 물 부족기간이 동일하게 발생하더라도 평가 단위에 따라 신뢰도 값이 상이하게 된다. 용수공급능력의 경우 신뢰도 값을 미리 설정해 놓고 그에 해당하는 물 부족이 발생할 때의 공급량으로 산정되므로 역시 평가단위에 따라 용수공급능력이 상이하게 된다. 즉 물 부족기간이 동일하게 발생하더라도 연간단위부터 일간단위까지 물 부족기간을 산정하는 평가단위가 짧아질수록 용수공급능력은 같거나 크게 산정된다.

2.2 저수지 모의운영 모형

저수지 모의운영 모형은 하나 또는 하나 이상의 저수지들이 위치한 전체 유역을 하나의 시스템으로 고려하고 시스템으로 유입되는 각종 입력 자료들과 유역 내의 각종 상호작용을 고려하여 저수지들을 운영한 결과를 검토할 수 있도록 수학적으로 재현한 모형으로, 근래의 전산시스템의 발전으로 인해 주로 전산모형으로 구성되어 있다. 본 연구에서는 standard operation rule을 사용하여 개발한 모형과 상용저수지 운영 프로그램인 HEC-ResSim을 사용하여 저수지의 용수공급능력을 평가하였다.

2.2.1 Standard operation rule을 사용한 모형

저수지 모의모형에서 입력 자료로는 유입량과 강수량 등이 있으며, 출력에는 방류량 등이 포함된다. 일반적으로 저수지내 수면 강수량과 기타 손실량은 유입량에 포함되어 계산하며, 다음의 Eqs. (2)~(4)와 같은 저수지 상태를 나타내는 물수지 방정식으로 저수지의 상태 변화를 모의한다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t - O_t - E_t \quad (2)$$

$$S_{t,\min} \leq S_t \leq S_{t,\max} \quad (3)$$

$$O_{t,\min} \leq O_t \leq O_{t,\max} \quad (4)$$

여기서, S_t 와 S_{t-1} 는 각각 t 및 $t-1$ 시점에서의 저수량, I_t , O_t 및 E_t 는 $t-1$ 에서 t 시점 사이의 유입량, 방류량, 증발량, $S_{t,\min}$ 과 $S_{t,\max}$ 는 각각 t 시점의 최소저수량과 최대저수량, $O_{t,\min}$ 과 $O_{t,\max}$ 는 각각 t 시점의 최소방류량과 최대방류량을 나타낸다.

Eqs. (3) and (4)는 저수량 S_t 가 최소저수량과 최대저수량 사이의 범위에 있어야 한다는 제약조건과 함께 저수지의 운영률을 고려하여 저수량에 따른 방류량의 제한을 반영한다. 저수지 모의운영기법은 비교적 간단한 절차에 의해 저수지의 저류량 상태 변화를 명확하게 제시할 수 있고, 또한 자료의 가용 범위 내에서는 임의시간 단위로 적용할 수 있어서 실제 운영 상황에서 발생할 수 있는 복잡한 운영정책을 고려하여 모형화할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 일반적인 저수지 운영에 널리 적용되는 표준운영방안(Standard Operation Policy, SOP)을 고려하였으며, 표준운영방안에서 저수지운영률로 사용되는 표준운영률(Standard Operation Rule, SOR)을 모형에 적용하였다. 표준운영방안(SOP)은 저수지운영 계획수립에 적용되고 있는 개념이며, 가용 수자원이 있는 경우에는 목표 공급량만을 공급하고 가용수자원이 부족한 경우는 감량공급을 하는 방식의 운영방안이다(고익환 등, 2004). 표준운영률(SOR)의 경우 Eqs. (5)~(7) and Fig. 1과 같이 표현된다.

$$O_t = S_{eff,t-1} + I_t \quad \text{if} \quad S_{eff,t-1} + I_t \leq D_t \quad (5)$$

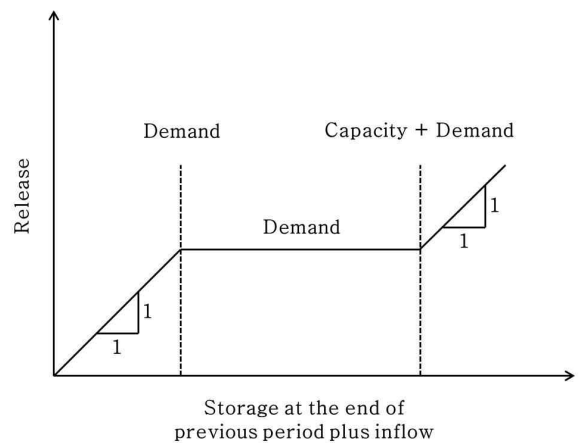


Fig. 1. Standard Operation Rule S-shaped Curve (Shih and Revelle, 1994)

$$O_t = D_t \quad \text{if} \quad D_t \leq S_{eff,t-1} + I_t \leq S_{max_{eff,t}} \quad (6)$$

$$O_t = S_{eff,t-1} + I_t - S_{max_{eff,t}} \quad (7)$$

$$\text{if} \quad S_{eff,t-1} + I_t - D_t > S_{max_{eff,t}}$$

여기서, O_t 는 t 시점의 저수지 공급량(취수 및 방류량), $S_{eff,t}$ 와 $S_{eff,t-1}$ 는 t 시점 및 $t-1$ 시점의 저수지 저수량(유효저수량 개념), I_t 는 t 시점의 저수지 유입량, D_t 는 t 시점의 용수 수요량, $S_{max_{eff,t}}$ 는 t 시점의 저수지 저수량 상한선(유효저수량 개념)을 의미한다.

2.2.2 HEC-ResSim

HEC-ResSim (US Army Corps, 2007)은 미 공병단에서 20년 이상 사용되어 온 HEC-5 (US Army Corps, 1998)를 대체하기 위한 차세대 모형으로, 1996년부터 개발되기 시작하여 현재 version 3.0까지 개발되어 있다. HEC-ResSim은 각 수계에서 저수지들의 제원, 초기치, 유입상황, 각종 제약조건 등을 입력하여 다음과 같은 저수지의 운영평가가 가능하다.

- 1) 수계 각 저수지에서의 홍수조절용량과 이시기 저류용량의 조절
- 2) 저수지의 홍수조절 계획 및 용수공급 가능량의 추정
- 3) 수력발전 에너지량의 산정
- 4) 홍수피해액, 홍수조절비용 및 발전편익의 산정
- 5) 유역 내의 저수지 시스템이 유출의 시·공간적 분포에 미치는 영향의 산정

또한, 저수지운영과 자료의 관리 및 보정을 GUI를 통하여 간편하게 이용할 수 있고, 의사결정모형을 통하여 목적함수와 제약조건을 적용하거나 if-then-else와 같은 조건의 입력을 통한 저수지 모의운영이 가능하다.

3. 대상댐 및 용수공급능력 평가기준 설정

3.1 적용대상 댐

본 연구에서는 적용대상 댐으로 최근 신규수요량의 확보와 취수원 이전에 대한 물 부족 발생 여부 등 용수공급능력 검토에 대한 필요성이 제기된 낙동강 상류유역의 안동댐과 임하댐을 선정하였다. 낙동강유역은 동경 127°29'~129°18', 북위 35°03'~37°13'에 걸쳐 남한의 동남부에 위치하며 유역면적은 약 23,700 km²이고, 유로연장은 521.5 km로 전 국토면적의 약 24%를 차지한다(MOCT, 1998). Fig. 2는 낙동강 유역도이다.

안동댐은 4대강 유역 종합개발사업의 일환으로 1977년

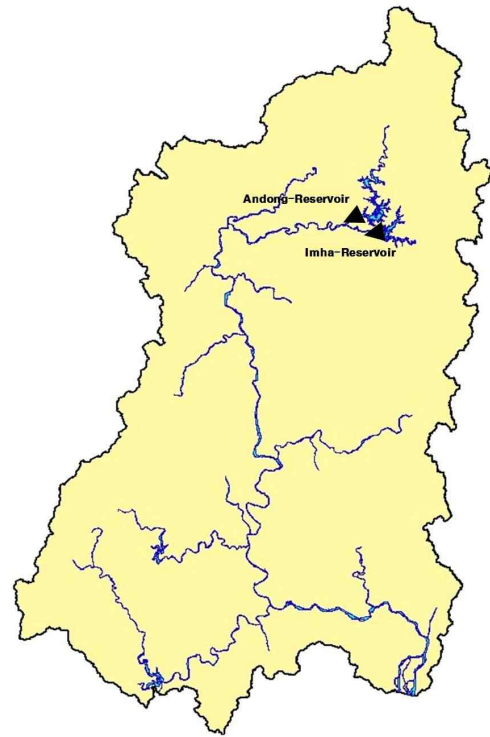


Fig. 2. Nakdong-River Basin

에 건설되었으며, 낙동강유역 내의 수자원을 개발하여 댐 하류 지역에 관개용수 및 생공용수를 공급하고 발전 및 홍수조절을 목적으로 낙동강 상류에 건설되었다. 안동댐의 총저수용량은 상시만수위를 기준으로 1,248백만m³이며 유효저수용량은 1,000백만m³이다. 안동댐의 기본계획 공급량은 연간 926백만m³이며 이중 생공용수는 450백만m³, 농업용수는 300백만m³, 유지용수는 176백만m³으로 계획되었다.

임하댐 또한 4대강 유역 종합개발계획의 일환으로 1993년에 건설되었으며, 낙동강수계가 보유하고 있는 수자원을 고도로 개발하여 댐 하류 유역에 위치한 도시, 공업지역 및 농경지에 생활, 공업 및 관개용수를 공급하는 동시에 수력에너지 개발과 홍수조절을 목적으로 하는 다목적 댐 사업으로 계획되었다. 임하댐의 총저수용량은 상시만수위를 기준으로 595백만m³이며 유효저수용량은 424백만m³이다. 임하댐의 기본계획공급량은 연간 497백만m³이며 이중 생공용수는 269백만m³, 농업용수는 13백만m³, 유지용수는 215백만m³으로 계획되었다. 임하댐의 경우 설계 당시 산정한 계획공급량은 연간 497백만m³이지만, 안동댐과 용수공급 위주로 연계운영할 경우 영천도수로를 통해 영천댐에 생공용수 94.6백만m³을 공급할 수 있으며, 이때 임하댐의 용수공급량은 연간 총 591.6백만m³으로

Table 2. Specifications of Andong-Reservoir and Imha-Reservoir

Section	Andong-Reservoir	Imha-Reservoir	
Core Height (EL.m)	165.4	167.5	
Flood Water Level (EL.m)	161.7	164.7	
Normal High Water Level (EL.m)	160	163	
Restricted Water Level (EL.m)	-	161.7	
Low Water Level (EL.m)	130	137	
Catchment Area (km ²)	1,584	1,361	
Average Annual Rainfall (mm)	950.0	1,055.1	
Average Annual Inflow (10 ⁶ m ³)	850.0	762.0	
Total Capacity of Reservoir (10 ⁶ m ³)	1,248	595	
Active Capacity of Reservoir (10 ⁶ m ³)	1,000	424	
Base Yield (10 ⁶ m ³ /yr)	926	497 (Single Reservoir Operation)	591.6 (Reservoirs System Operation)

로 제시되어 있다(건설부, 1992). 용수공급능력 평가의 경우 저수지 연계운영 방법에 따라 댐 운영과 용수공급량이 상이하기 때문에 본 연구에서는 안동댐 및 임하댐을 표준 운영률에 기반을 둔 저수지 단독운영기법으로 모의하였고, 비교 기준이 될 기본계획공급량을 단독운영 기준인 497백만m³으로 선정하였다. Table 2는 안동댐 및 임하댐의 주요 제원을 나타낸 것이다.

3.2 용수공급능력 평가기준 설정

본 연구에서는 용수공급능력의 평가기준인 이수안전도를 모의기간 30년 동안 1개년의 물 부족이 발생하는 신뢰도 96.7%와 20년 동안 1개년의 물 부족이 발생하는 신뢰도 95.0%로 설정하였으며, 평가단위는 상대적으로 용수공급량이 크게 산정되는 순단위 및 일단위를 제외한 연단위 및 월단위로 설정하고 저수지 모의운영을 실시하여 용수공급능력을 산정하였다. 신뢰도 96.7%에서의 연단위 평가 시의 용수공급능력은 30개년 중 부족년이 1년 발생할 때의 용수공급 가능량을 의미하고, 신뢰도 96.7%의 월단위 평가 시의 용수공급능력은 360개월 중 부족월이 12개월 발생할 때의 용수공급 가능량을 의미한다. 신뢰도 95.0%의 연단위 평가 시의 용수공급 능력은 30개년 중 부족년이 1.5개년 발생할 때의 용수공급 가능량을 의미하고, 신뢰도 95.0%의 월단위 평가 시의 용수공급능력은 360개월 중 부족월이 18개월 발생할 때의 용수공급 가능량을 의미한다. 여기서 신뢰도 95.0%의 연단위 평가 시의 용수

공급능력은 30년 중 부족년이 1년 발생할 때의 용수공급 능력인 신뢰도 96.7%의 용수공급 가능량과 부족년이 2년 발생할 때의 용수공급능력인 신뢰도 93.3%의 용수공급 가능량과의 산술평균값을 사용하였다.

4. 용수공급능력 재평가

4.1 유입량 자료 및 상세운영

안동댐과 임하댐에 대하여 1979년부터 2008년까지 30년간 일유입량 자료를 이용하여 저수지 모의운영을 수행하였다. 안동댐은 1977년 완공되어 1977년부터 댐 유입량 자료를 보유하고 있으나, 임하댐은 1993년 완공되어 1979년부터 1992년까지의 댐 유입량 자료를 보유하고 있지 못하므로 30개년의 모의기간 중 1979년부터 1992년까지의 자료는 낙동강 유역조사의 일유출량 자료를 이용하였다. 임하댐은 2001년부터 금호강 하천수질 개선용수용으로 3.0m³/s(연간 94.6백만m³)와 포항권 광역상수용으로 1.8m³/s(연간 56.7백만m³)를 영천도수로를 통하여 도수하기 때문에 본 연구에서도 이와 마찬가지로 임하댐에서 4.8m³/s(연간 151백만m³)를 영천댐으로 도수하도록 설정하고 운영하였다.

본 연구에서는 용수공급부족 기간을 댐의 수위가 저수위에 도달하여 계획공급량만큼 하루로 공급하지 못하는 기간으로 정의하였다. SOR모형의 경우 수위가 저수위까지만 저하되며 용수공급부족 기간이 발생한 직후 저수지

로 유입되는 유량을 계획공급량에 맞게 방류하는 반면, HEC-ResSim모형의 경우 수위가 저수위 이하로도 저하되며 용수공급부족 기간이 발생한 직후 1일 동안 유입량을 방류하지 않고 저류하기 때문에 용수공급부족 기간을 산정하는데 두 모형간의 차이가 발생하였다.

4.2 이수안전도 별 용수공급능력

안동댐의 경우 이수안전도 96.7%로 연단위 평가에 의한 결과, SOR모형의 연간 용수공급 가능량은 861백만 m^3 , HEC-ResSim의 경우 835백만 m^3 으로 산정되었다. 이수안전도 96.7%로 월단위 평가에 의한 결과, SOR모형의 경우 연간 용수공급 가능량은 942백만 m^3 , HEC-ResSim의 경우 925백만 m^3 으로 산정되었다. 이수안전도 95.0%로 연단위 평가에 의한 결과, SOR의 경우 연간 용수공급 가능량

은 893백만 m^3 , HEC-ResSim의 경우 847백만 m^3 으로 산정되었다. 이수안전도 95.0%로 월단위 평가에 의한 결과, SOR모형의 경우 연간 용수공급 가능량은 965백만 m^3 , HEC-ResSim의 경우 959백만 m^3 으로 산정되었다.

임하댐의 경우 이수안전도 96.7%로 연단위 평가에 의한 결과, SOR모형의 연간 용수공급 가능량은 362백만 m^3 , HEC-ResSim의 경우 356백만 m^3 으로 산정되었다. 이수안전도 96.7%로 월단위 평가에 의한 결과, SOR모형의 경우 연간 용수공급 가능량은 419백만 m^3 , HEC-ResSim의 경우 417백만 m^3 으로 산정되었다. 이수안전도 95.0%로 연단위 평가에 의한 결과, SOR모형의 경우 연간 용수공급 가능량은 382백만 m^3 , HEC-ResSim의 경우 359백만 m^3 으로 산정되었다. 이수안전도 95.0%로 월단위 평가에 의한 결과, SOR모형의 경우 연간 용수공급 가능량은 462백만 m^3 ,

Table 3. Water Supply Capacity for Reliabilities and Evaluating Units

Section		Base Yield	Reliability 96.7%		Reliability 95.0%		
			SOR	HEC-ResSim	SOR	HEC-ResSim	
Water Supply Capacity ($10^6 m^3/yr$)	Andong Reservoir ('79~'08)	Yearly Unit	926	861	835	893	847
		Monthly Unit		942	925	965	959
	Imha Reservoir ('79~'08)	Yearly Unit	497	362	356	382	359
		Monthly Unit		419	417	462	451
	Total ('79~'08)	Yearly Unit	1,423	1,223	1,191	1,276	1,206
		Monthly Unit		1,361	1,342	1,427	1,410

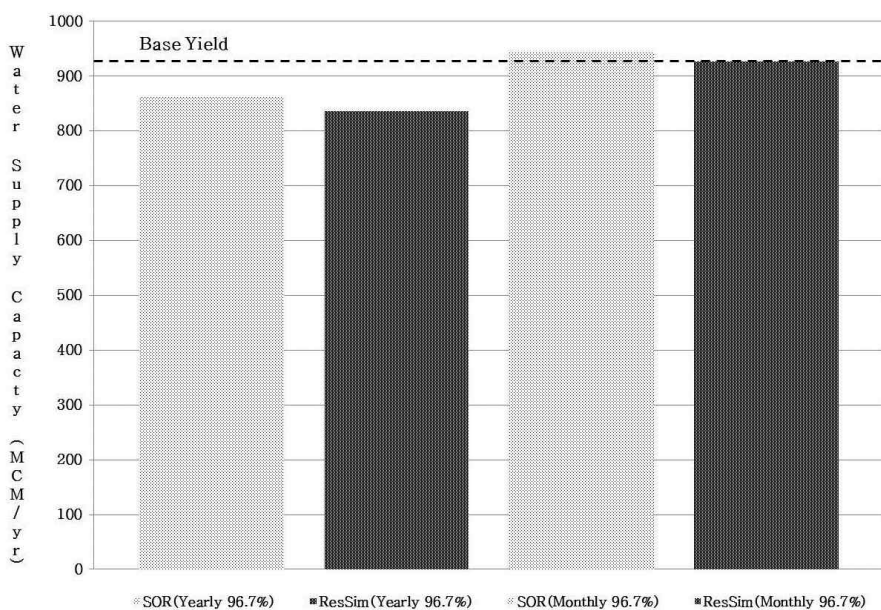


Fig. 3. Andong Reservoir (Reliability 96.7%)

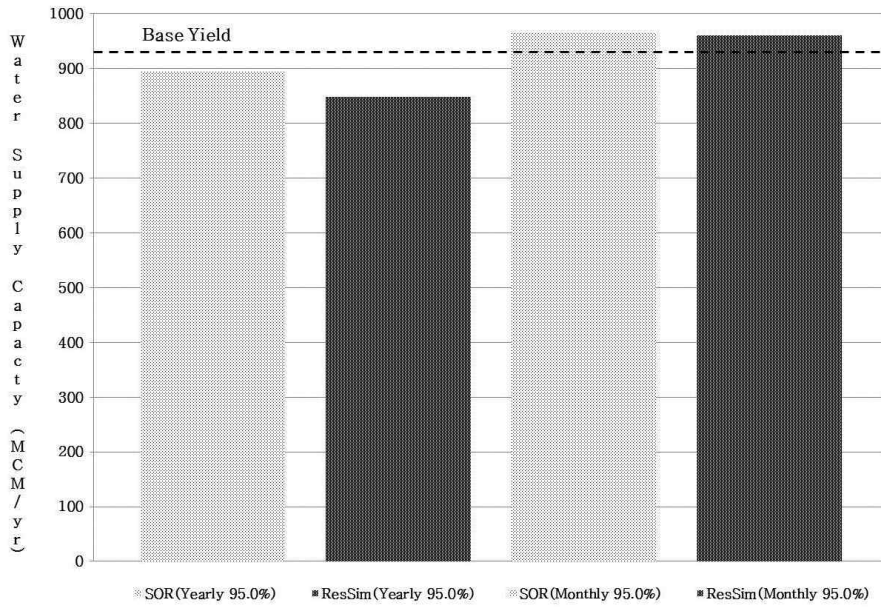


Fig. 4. Andong Reservoir (Reliability 95.0%)

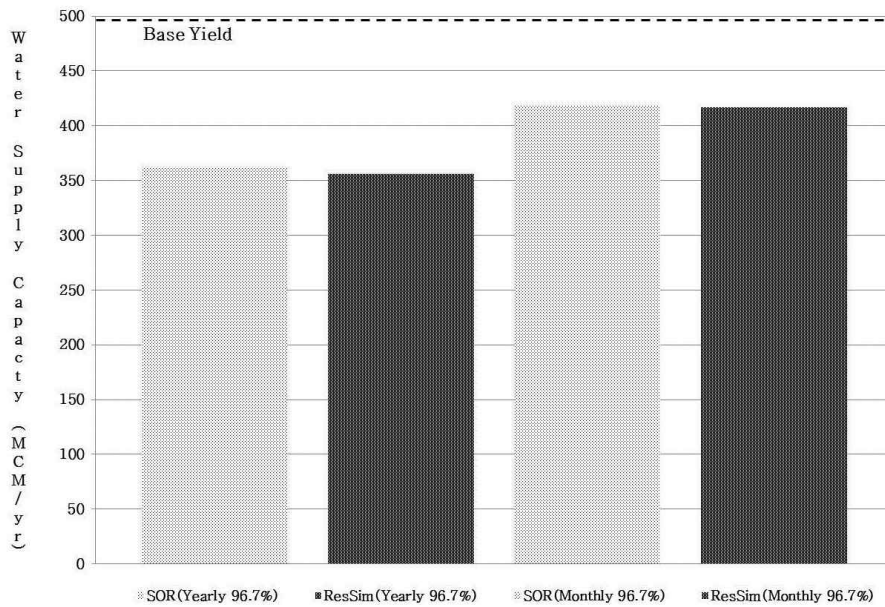


Fig. 5. Imha Reservoir (Reliability 96.7%)

HEC-ResSim의 경우 451백만³으로 산정되었다.

산정된 안동댐 및 임하댐의 용수공급능력을 Table 3 및 Figs. 3~6에 나타내었다. Figs. 3~6에서 base yield는 기본계획공급량을 나타낸다.

4.3 기존 용수공급평가와의 비교

안동댐 및 임하댐의 설계 당시와 기존댐 용수공급능력 조사(MOCT, 1998)에서 평가되었던 용수공급능력 및 이

수안전도 등을 본 연구결과와 비교하여 Table 4 및 Figs. 7 and 8에 나타내었다. 안동댐의 경우 설계 당시 용수공급능력을 연간 926백만³로 산정하였으며, 설계 이후 평가된 용수공급능력(MOCT, 1998)에서는 867백만³, 본 연구에서는 893백만³ (SOR), 및 847백만³ (ResSim)로 평가되었다. 임하댐의 경우 설계 당시 용수공급능력을 연간 497백만³, 설계 이후 평가된 용수공급능력(MOCT, 1998)에서는 451백만³, 본 연구에서는 382백만³ (SOR), 359

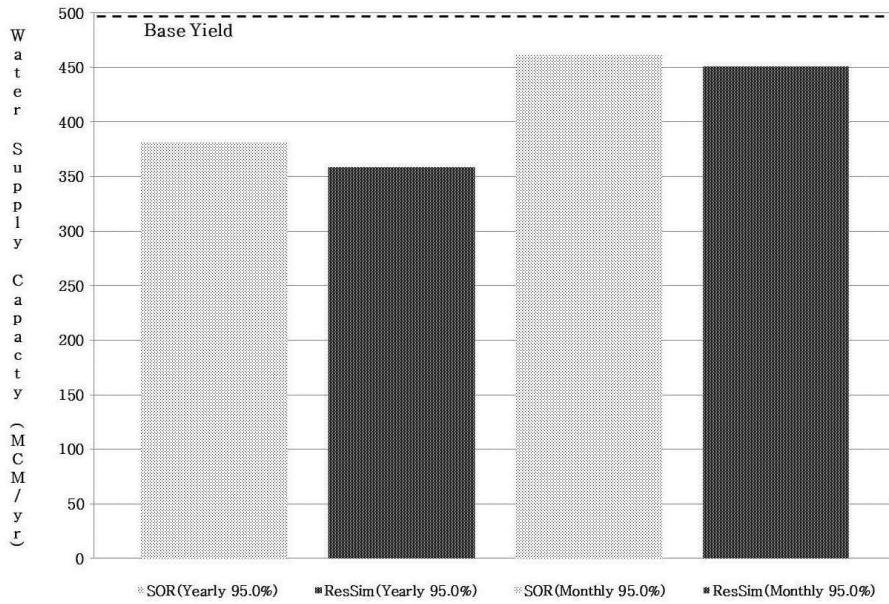


Fig. 6. Imha Reservoir (Reliability 95.0%)

Table 4. Water Supply Capacity and Water Supply Reliability

Section		Andong Reservoir	Imha Reservoir	
Reservoir Design (Andong 1977, Imha 1993)	Water Supply Safety	Drought streamflow of '67~'68 + a reserve storage of 25%	Drought Period of '63~'83 (21 years)	
	Flow Data	'47~'70 (24 years)	'63~'83 (21 years)	
	Water Supply Capacity ($10^6 m^3/yr$)	926	497	
Water Yield of Existing Reservoirs (MOCT, 1998)	Water Supply Safety	Reliability 95.0% and Yearly Unit		
	Flow Data	'66~'96 (31 years)		
	Water Supply Capacity ($10^6 m^3/yr$)	867	451	
This Study (2011)	Water Supply Safety	Reliability 95.0% and Yearly Unit		
	Flow Data	'79~'08 (30 years)		
	Water Supply Capacity ($10^6 m^3/yr$)	SOR	893	382
		ResSim	847	359

백만 m^3 (ResSim)로 평가되었다.

5. 결론

본 연구에서는 안동댐 및 임하댐 하류의 추가용수공급 가능여부를 판단하기 위하여 이수안전도를 신뢰도 96.7%와 95.0%의 연단위 평가 및 월단위 평가로 설정하고, 1997

년부터 2008년까지의 30년 동안의 유입량 자료로 저수지 모의운영을 실시하여 용수공급능력을 재평가하였다. 댐 설계 후 용수공급능력을 평가했던 기준(MOCT, 1998)과 동일한 기준인 신뢰도 95.0%의 연단위 평가 시 안동댐의 경우 연간 용수공급능력이 SOR은 연간 893백만 m^3 , ResSim은 847백만 m^3 로 산정되었으며, 모두 기본계획공급량인 926백만 m^3 보다 작아 기본계획공급량 대비 추가용수공급

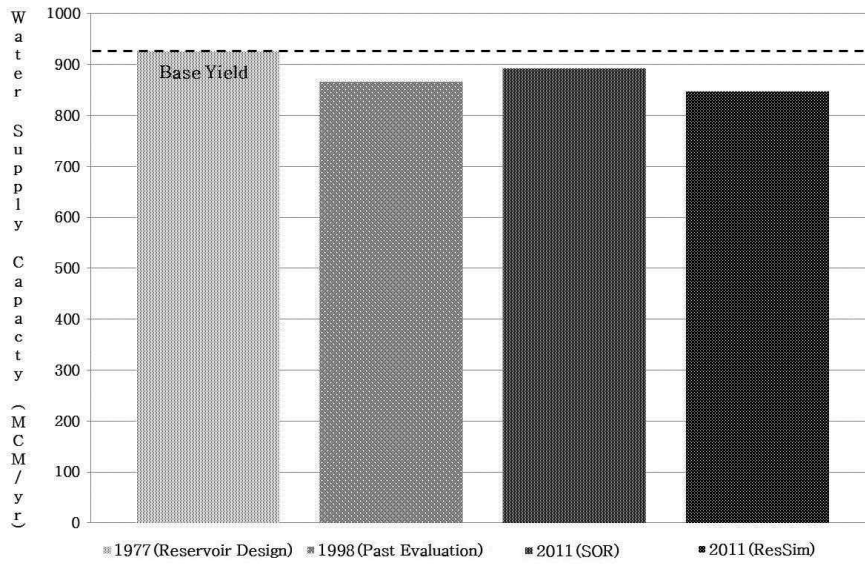


Fig. 7. Comparison of Water Supply Capacity of Andong Reservoir

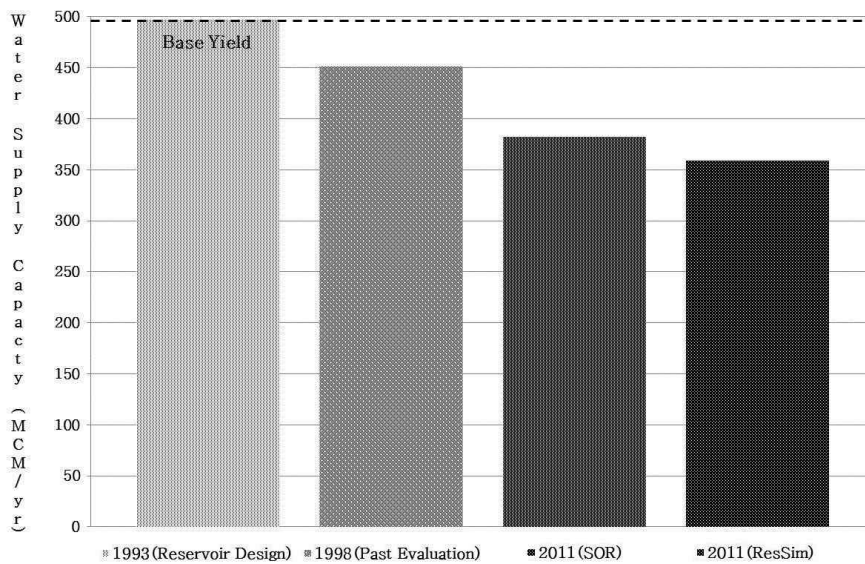


Fig. 8. Comparison of Water Supply Capacity of Imha Reservoir

이 어려운 것으로 판단된다. 임하댐의 경우도 용수공급능력이 SOR은 연간 382백만 m^3 , ResSim은 359백만 m^3 로 산정되었으며, 모두 기본계획공급량인 497백만 m^3 보다 작아 안동댐과 마찬가지로 기본계획공급량 대비 추가용수공급이 어려운 것으로 판단된다.

설계 이후 평가된 용수공급능력(MOCT, 1998)과 본 연구에서 평가된 용수공급능력 모두 설계 당시의 용수공급능력인 기본계획공급량보다 작게 산정되었다. 이는 설계 당시 분석기간이었던 안동댐의 1947~1970년 유입량 및 임하댐의 1963~1983년 유입량에는 1994~1997년과 같은

연속된 가뭄이 고려되지 않아 상대적으로 용수공급능력이 크게 평가된 것으로 판단된다. 실제로 본 연구에서 산정된 물 부족 기간은 1984년을 제외하면 모두 1994년부터 1997년 사이에 발생하였고, 설계 이후 평가된 용수공급능력의 경우도 대부분의 물 부족 기간이 1995년부터 1996년 사이에 발생하였으므로 이수안전도와 평가단위 뿐만 아니라 분석기간 또한 용수공급능력의 평가에 영향을 미친 것으로 판단된다.

마지막으로, 댐의 용수공급능력을 평가할 때에 기준이 되는 이수안전도는 해당구역의 갈수조건과 장래 용수수

요를 고려해야 하며, 정치, 사회, 경제의 관점에서 적절하고 일괄된 규정으로 설정되어야 한다. 또한 기후변화로 인한 이상홍수에 대비하여 진행된 기존댐 치수능력 증대 사업과 마찬가지로 극심한 가뭄에 대비하여 기존댐 용수 공급능력을 재평가할 필요가 있다고 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(과제번호: 2010-0029194)을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

강민구, 박승우 (2005). “저수지 최적 운영 모형을 이용한 추가 용수 공급 능력 평가.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제11호, pp. 937-946.

건설부 (1992). 임하다목적댐 공사지.

고익환, 박명기, 김정엽 (2004). 이수관리를 위한 저수지 시스템 모의운영 모형 개발, 2003년 분과위원회 연구과업 보고서, 한국수자원학회, pp. 65-66.

박성삼, 이동률, 강경석, 윤석영 (2002). “유역별 물공급 안전도 지표의 비교 평가.” **2002년 학술발표회 논문집(III)**, 한국수자원학회, pp. 691-696.

박성삼, 이동률, 김현준, 신영호 (2001). “우리나라 다목적댐 용수공급능력 평가.” **2001년 학술발표회 논문집(I)**, 한국수자원학회, pp. 533-538.

이상호, 강태욱 (2006). “보장 공급량 분석에 의한 댐의 물 공급 안전도 평가기법 연구.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제39권, 제5호, pp. 467-478.

이재응, 송재우 (2002). “최적화기법과 모의기법을 이용한 다목적댐의 용수공급능력 평가.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제22권, 제6-B호, pp. 811-818.

Adeloye A.J. (2009). “Multiple Linear Regression and Artificial Neural Networks Models for Generalized Reservoir Storage-Yield-Reliability Function for Reservoir Planning.” *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, Vol. 14, No. 7, pp. 731-738.

Alexander, G.N. (1962). “The use of the Gamma distribution in estimating regulated output from storages.” *Civil Engineering Transactions, The Institution of Engineers*, Australia, Vol. 4, No. 1, pp. 29-34.

Gould, B.W. (1964). “Statistical methods for estimating

the design capacity of dams.” *Journal of the Institution of Engineers*, Australia, Vol. 33, No. 12, pp. 405-416.

MOCT (1998). Water Yield of Existing Reservoirs (Nakdong river watershed).

Hardison, C.H. (1965). “Storage to augment low flows.” *Proceedings of Reservoir Yield Symposium. Water Research Association*, Oxford, UK., Part I, pp. 8.

Rippl, W. (1883). “Capacity of storage reservoirs for water supply.” *Minutes of Proceedings Institution of Civil Engineers*, Vol. 71, pp. 270-278.

Rittima, A., and Vudhivanich, V. (2003). “Storage-Yield-Resilience-Reliability Relation ship of Mun Bon Reservoir.” *Proceedings of 41st Kasetsart University Annual Conference, Bangkok, Thailand*, pp. 55-64.

Shih, J.S., and Revelle, C.S. (1994). “Water supply operation during drought : continuous hedging rule.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 120, No. 5, pp. 613-629.

Smithers, H., and Walker, S. (1997). “Reassessment of water resources in northwest England as a result of the 1995-1996 drought.” *Sustainability of Water Resources under Increasing Uncertainty*, IAHS-AISH Publication, Vol. 240, pp. 173-181.

Srivastava, D.K., and Awchi, T.A. (2009). “Storage-Yield Evaluation and Operation of Mula Reservoir, India.” *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol. 135, No. 6, pp. 414-425.

Teoh, C.G. and McMahon, T.A. (1982). “Evaluation of rapid reservoir storage-yield procedures.” *Advances in Water Resources*, Vol. 5, pp. 208-216.

US. Army Corps (1998). *HEC-5, Simulation of Flood Control and Conservation Systems, User's Manual*, USACE.

US. Army Corps (2007). *HEC-ResSim, Reservoir System Simulation, User's Manual*, USACE.

Wurbs, R.A., and Bergman, C.E. (1990). “Evaluation of factors affecting reservoir yield estimates.” *Journal of Hydrology*, Elsevier BV, Vol. 112, Issue 3-4, pp. 219-235.

논문번호: 11-105	접수: 2011.09.19
수정일자: 2011.12.21/2012.01.13	심사완료: 2012.01.13