



Improving the water yield capabilities using reservoir emergency storage and water supply adjustment standard

Ahn, Jaehong^a · Lee, Youngmok^b · Yi, Jaeung^{c*}

^aDepartment of Civil Systems Engineering, Ajou University

^bK-water

^cDepartment of Civil Systems Engineering, Ajou University

Paper number: 16-088

Received: 13 October 2016; Revised: 18 November 2016 / 21 November 2016; Accepted: 21 November 2016

Abstract

One of the most important purpose of multi-purpose reservoir is storing a large amount of water for utilization in a dry season. However, multi-purpose reservoirs that were constructed according to the limited hydrologic information available at the time of construction may encounter problems such as decreased water inflow due to climate change and an inability to cope with a water shortage. To solve these problems, in 2015, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport suggested a revised water supply standard in case of water shortage for reservoirs. However, the revised standard has not been sufficiently discussed to determine its effectiveness. In addition, multi-purpose reservoirs in South Korea have secured and stored water for emergencies, but there is currently no way to utilize the stored water. Determining how to utilize the stored water effectively may be a useful method for preparing drought. Therefore, this article discusses the revised water supply standard as it relates to a water shortage in reservoirs and a method of utilizing the water stored for emergencies in multi-purpose reservoirs. The options for utilizing the water storage were evaluated using a water shortage safety degree index, and the results showed that the options may slightly and limitedly increase the water supply capacity. However, the evaluation also showed that a complex application of two options may overcome the existing problem and to supply water more effectively.

Keywords: Reservoir, Reservoir Yield, Emergency Storage, Water Supply Adjustment Standard

합천댐의 비상용량 및 용수공급 조정기준을 활용한 용수공급능력 제고

안재홍^a · 이영목^b · 이재웅^{c*}

^a아주대학교 건설교통공학과, ^b한국수자원공사, ^c아주대학교 건설시스템공학과

요 지

다목적댐을 건설하는 중요한 기능 중 하나는 대량의 수자원을 저수하여 건기에 적절하게 활용하는 것이다. 그러나 건설 당시 제한된 수문정보를 이용하여 건설된 다목적댐은 기후변화로 인한 유입량 감소와 같은 문제에 직면할 수 있어 물 부족이 발생할 경우 대처하는데 어려움이 있다. 국토교통부에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 2015년 댐 용수부족 대비 용수공급 조정기준을 제시하였으나 아직 충분한 검토가 진행되지 않아 이에 대한 결과를 논하기엔 어려움이 있다. 또한 국내의 다목적댐은 비상용량을 확보하고 있으나 이를 활용할 수 있는 기준이 없다. 하지만 이를 효과적으로 사용한다면 가뭄에 대비할 수 있는 방안이 될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 댐 용수부족 대비 용수공급 조정기준과 다목적댐의 비상용량을 활용하는 방안을 검토하였다. 이수안전도 지표를 이용하여 대안들을 평가한 결과 대안별 용수공급능력이 다소 증가하지만 한계가 나타났다. 그러나 두 가지 대안을 복합적으로 활용할 경우 기준에 나타나던 문제를 보완하여 더욱 효과적인 용수공급을 할 수 있는 것으로 나타났다.

핵심용어: 다목적댐, 용수공급능력, 비상용량, 용수공급 조정기준

*Corresponding Author. Tel: +82-31-219-2507

E-mail: jeyi@ajou.ac.kr (J. Yi)

1. 서론

우리나라의 수자원은 홍수기에 집중적으로 발생한 강우를 갈수기에 활용한다. 그러나 기후변화로 인한 강우패턴 변화로 수자원 관리에 어려움을 겪고 있다. 자연재해 증가물은 시작시점을 예측하기 어렵고 광범위한 지역에 발생하기 때문에 피해정도를 산정하기 어렵다. 또한 수자원 시설물은 건설 당시 제한된 수문정보를 이용하여 평가하였으므로 이상강우, 이상가뭄 등 설계 당시 고려하지 못했던 현상에 직면할 수 있다(Lee et al., 2012). 따라서 공급량을 항상 만족시킬 수 없으므로 가뭄 발생 시 용수부족으로 인한 사회·경제적 등의 피해를 최소화시킬 수 있는 전략이 필요하다.

우리나라는 가뭄으로 인한 피해가 주기적으로 발생하고 있다. 이에 따른 대응방안으로 국토교통부는 용수부족을 사전에 대비하기 위하여 댐 용수부족 대비 용수공급 조정기준(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015)을 제시하였다. 이 기준은 다목적댐의 저수량을 기준으로 단계별 공급량을 감축하여 장기간 공급함으로써 국가재난을 사전에 예방하는 것을 목표로 하고 있다. 그러나 용수공급 조정기준은 실제 용수부족이 발생한 2015~2016년 가뭄(소양강댐, 충주댐, 보령댐) 이외에는 시행된 기록이나 평가가 없어 충분한 검토가 진행되지 못하였다. 국내 가뭄 시 저수지 운영과 관련된 연구는 현재 시행되고 있는 용수공급 조정기준과는 다른 기법을 제시하고 있으므로 Jin (2016)은 현재 4단계로 분류된 용수공급 조정기준을 적용하여 가뭄 대응 단계에 상응하는 감량공급 기법을 검토한 바 있다.

기존 용수공급능력에 관한 연구는 용수수요 증가에 따른 수자원 확보에 대한 필요성을 제기하기 위하여 다목적댐의 이수안전도를 재평가하거나 평가지표를 개선하기 위한 연구 정도가 진행되어 왔다(Lee et al., 2012; Kwon., 2014). 그러나 최근 홍수기 저수량의 감소로 다목적댐의 비상용량을 활용하는 방법이 모색되고 있다. 댐 설계기준(2011)에 따르면 비상용량은 가뭄과 같은 비상시에 이용 가능한 용량이나 댐 건설 이후 비상용량을 활용한 기록은 전무하였다. 또한 비상용량을 활용하기 위한 법적 제도 및 활용 기준이 미비하며 비상용량을 단순 활용한 이수안전도 분석, 용수부족지표를 이용한 용수공급능력 재평가, 공급편의 산정 방안 등으로 관련 연구가 부족한 실정이다(Lee and Yi, 2012; Moon and Lee, 2009; Yoon et al., 2008). 비상용량만을 활용하여 용수공급능력을 증대시키는 것은 비상용량을 이수용량으로 편입시켜 단순 운영한 것과 같으므로 장기간 가뭄이 지속되거나 가뭄의 심도가 깊어질 경우 그 효과는 미미할 것으로 생각된다. 그러나 타방

안과 연계될 경우 더 큰 시너지 효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다.

일반적으로 다목적댐의 용수공급능력은 주어진 목표공급량에 대한 용수공급 안전도를 평가함으로써 수자원 시설물의 성능을 파악한다. 안전도가 높을 경우 특별한 조치 없이 기존 운영방식을 이용하여도 문제가 발생하지 않을 것으로 판단되지만 안전도가 낮을 경우 신규 수자원 시설물을 건설하거나 기존 시설물의 상황에 맞는 운영방안을 도입하여 합리적인 수자원 이용방안을 수립해야한다.

따라서 본 연구에서는 효율적인 용수공급을 위해 다양한 용수공급능력 지표를 활용하여 합천댐의 대안별 용수공급능력을 평가하고 향후 가장 효과적인 용수공급능력 향상 방안을 제시하였다.

2. 이론적 배경

2.1 다목적댐의 용량 배분

일반적인 다목적댐의 저수용량은 Fig. 1과 같이 목적과 기능에 따라 사수위, 저수위, 홍수기 제한수위, 상시만수위, 홍수위 등으로 구분하여 용량을 배분한다. 총 저수용량은 활용용량과 비활용용량으로 나누어지며 평상시 다목적댐 운영 시에는 활용용량을 이용하여 이수 및 치수의 역할을 수행한다. 활용용량 중 치수기능의 안정적인 운영을 위해 홍수기 제한수위를 활용하여 홍수조절용량을 증가시킴으로써 더욱 효과적인 홍수 방어대책을 마련한다. 또한 이수기능은 보통 저수위부터 상시만수위 사이의 유효저수용량을 활용하여 용수를 공급하지만 가뭄과 같은 비상시에는 비상용량을 활용할 수 있다.

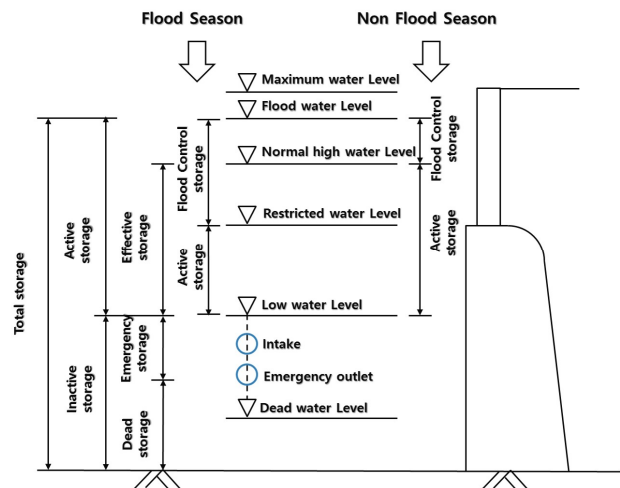


Fig. 1. Description of water level and capacity in reservoir

2.2 용수공급 조정기준

용수공급 조정기준은 다목적댐의 용수부족을 사전에 대비하기 위한 전략적 운영기법이다. 저수량이 일정 저수량 이하로 낮아지면 신속히 댐의 용수공급량을 조정하여 저수량을 비축해 가뭄과 같은 국가재난에 대비한다. 이러한 운영기법은 전국 17개의 다목적댐 중 섬진강댐과 남강댐을 제외한 15개의 댐에 적용되고 있다. 용수공급은 관심, 경계, 주의, 심각으로 나누어 단계별 기준 저수량을 설정하고 댐 내 저수량이 단계별 기준 저수량에 도달할 경우 감량을 실시한다. Fig. 2는 단계별 감량 규모를 나타낸 것으로, 관심단계에서는 댐 설계시 목표하였던 기본공급 계획량에서 용수 계약량의 차이인 여유량을 감축하고 주의 단계에서는 관심단계 감축량에 하천 유지용수를 추가 감축한다. 경계단계에서는 주의단계 감축량에 농업용수를 추가 감량하여 공급하고 심각단계에서는 경계단계의 감축량에 추가적으로 생·공용수를 10% 감량 공급하며 필요시 관계기관과 협의 후 추가적인 감량을 결정한다.

2.3 용수공급능력 평가방법

2.3.1 신뢰도(Reliability)

신뢰도는 Hashimoto et al. (1982)에 의하여 개발되었으며 수자원 시스템의 상태가 운영 기간 동안 얼마나 정상적으로 공급되는가를 확률로 나타내며 Eq. (1)과 같이 표현된다.

$$Rel = Prob[X_t \in S] \tag{1}$$

여기서, Rel 는 신뢰도, S 는 용수수요의 충족상태이다. 신뢰도 분석은 사용하는 기준에 따라 시간 또는 공급량 등으로 나

누어지며, 본 연구에서는 총 공급기간 중 부족한 기간의 비율로 용수공급능력을 평가하는 기간신뢰도와 전체 운영기간 동안 계획된 공급량에서 부족한 공급량의 비율로 나타내는 공급신뢰도를 사용하였다. 이를 산정하는 공식은 Eq. (2) 및 Eq. (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Rel_t(\%) = [1 - \frac{T_s}{T_n}] \times 100\% \tag{2}$$

$$Rel_s(\%) = [1 - \frac{Q_s}{Q_n}] \times 100\% \tag{3}$$

여기서, Rel_t 는 기간신뢰도, T_n 는 총 분석기간, T_s 는 용수부족기간, Rel_s 는 공급신뢰도, Q_n 는 총 계획공급량, Q_s 는 공급부족량을 나타낸다.

2.3.2 회복도(Resiliency)

회복도는 수자원 시스템의 상태가 용수공급을 정상적으로 수행하지 못하는 시점으로부터 얼마나 빨리 정상 상태로 돌아오는가를 나타내는 지표이다. 동일한 운영기간, 용수공급 실패기간을 가지고 있다면 기간신뢰도는 동일할 수 있으나 용수공급 실패사상이 빈번히 발생하는 것보다 장기간 발생하는 것이 더욱 피해가 심각할 수 있다. 이러한 점을 착안하여 Hashimoto et al. (1982)이 제시한 회복도는 Eq. (4)와 같이 용수공급 실패 사상의 지속기간 동안의 평균 회복도와 같고 Moy et al. (1986)이 제시한 회복도는 수자원 시스템의 운영기간 중 최대연속 용수공급 실패기간을 고려한 Eq. (5)와 같다.

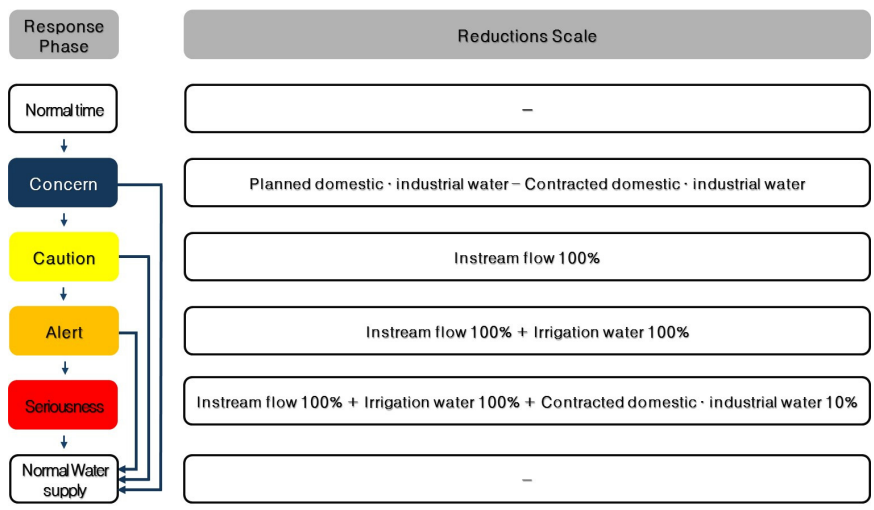


Fig. 2. Necessary reductions scale of adjustment standard

$$Res_H = \left\{ \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M d(j) \right\}^{-1} \quad (4)$$

$$Res_M = \max\{d(j)\}^{-1} \quad (5)$$

여기서, Res_H 는 지속기간 평균 회복도, M 는 용수공급 실패사상의 수, $d(j)$ 는 용수공급 실패 지속기간, Res_M 는 최대지속기간 회복도를 나타낸다.

2.3.3 취약도(Vulnerability)

취약도는 수자원 시스템의 용수공급 실패로 발생 가능한 물 부족의 크기를 말하며 신뢰도, 회복도와 더불어 중요한 평가지표로 사용되고 있다. 취약도는 동일한 운영기간과 용수공급 실패기간을 가지고 있더라도 실패기간 동안 공급하지 못한 부족량의 크기는 상이할 수 있다. 이러한 점을 착안하여 Hashimoto et al. (1982)이 제시한 취약도는 Eq. (6)과 같고 용수공급 실패기간 동안의 평균 용수공급 부족량을 나타낸다. 또한 Moy et al. (1986)은 물 부족량의 최대값을 활용한 평가를 통해 취약도를 산정하는 Eq. (7)을 제안하였다.

$$Vul_H = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M d(j) \quad (6)$$

$$Vul_M = \max\{d(j)\} \quad (7)$$

여기서, Vul_H 는 평균 용수공급 부족량, M 은 용수공급 실패사상의 수, $d(j)$ 는 용수공급 부족량, Vul_M 은 최대 용수공급 부족량을 나타낸다.

3. 모형구축

3.1 대상유역 선정

본 연구에서는 용수공급 조정기준과 비상용량을 활용한 용수공급능력을 제고하기 위해 비교적 용수공급능력이 낮고 비상용량 확보율이 높은 합천댐을 선정하였다. 낙동강 중부 지역은 최근 30년 동안 평균 강수량이 약 1,100 mm 이하로 우리나라의 연평균 강수량인 1,300 mm 보다 작다. 또한 작은 강수로 인한 과거 가뭄피해가 심하여 수자원 시스템의 합리적인 운영이 필수적이다. 합천댐은 Fig. 3과 같이 낙동강유역에 위치하고 있으며 총 저수용량은 7.9억 m^3 중 유효저수용량 5.6억 m^3 , 홍수조절용량 0.8억 m^3 , 비상용량 1.3억 m^3 으로

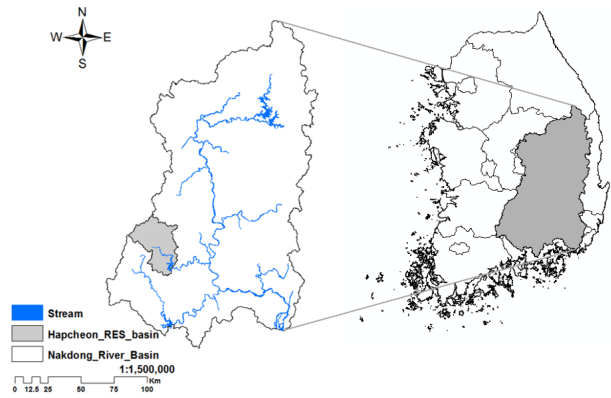


Fig. 3. Hapcheon reservoir watershed

유효저수용량 대비 비상용량 확보율도 타 다목적댐에 비하여 크기 때문에 본 연구대상 다목적댐으로 선정하였다. 합천댐의 기본계획공급량은 연간 5.99억 m^3 이며 이중 생·공용수 5.2억 m^3 , 농업용수 0.32억 m^3 , 하천유지용수 0.47억 m^3 으로 계획되어 있다.

3.2 모의운영

합천댐의 모의운영은 저류방정식을 기본으로 방류 우선순위에 따라 HEC-ResSim (USACE, 2007)모형을 이용하여 저수지, 하천, 조절점 등으로 나누어 도시화하고 저수지의 체원 및 유입량, 제약조건 등을 입력하여 수자원 시스템을 구축하였다. 모의운영 및 평가는 일(Day)로 설정하고 대안별 용수공급능력 평가 및 향상 정도를 비교하기 위하여 4개의 CASE로 나누어 모의운영 하였으며 각 CASE별 운영은 다음과 같이 설정하였다.

CASE (I)은 가장 기본적인 모의운영으로 유효저수용량만을 활용하며 댐 내 저수량이 작아지더라도 용수공급량을 감축하지 않는다. 댐 내 수위가 저수위에 도달하여 계획한 용수공급량을 정상적으로 공급하지 못하면 용수공급 실패일수로 산정하였다.

CASE (II)는 용수공급능력을 향상시키기 위한 방안으로 유효저수용량 이외 추가적으로 비상용량을 활용한 모의운영이다. 댐 내 수위가 저수위보다 아래에 있는 용수공급 가능수위에 도달할 때까지 정상적으로 용수공급은 이루어지며 댐 내 수위가 용수공급 가능수위에 도달하여 계획한 용수공급량을 만족시키지 못하면 용수공급 실패일수로 산정하였다.

CASE (III)는 유효저수용량 내에서 용수공급 조정기준을 적용하여 댐 내 저수량이 조정기준 저수량에 도달할 경우 각 단계에 맞는 감량을 실행하는 운영을 하였다. CASE (I)과 동일하게 댐 내 수위가 저수위에 도달하여 계획된 공급량을 총

족시키지 못하면 용수공급 실패일수로 산정하였다.

CASE (IV)는 용수공급 조정기준 적용과 비상용량을 모두 활용하여 모의운영을 수행하였다. 댐 내 저수량이 기준저수량에 도달하게 되면 공급량을 감축하고 댐 내 수위가 용수공급 가능수위에 도달하게 되면 용수공급 실패일수로 산정하였다.

4. CASE별 용수공급능력 평가 및 비교

기본운영인 CASE (I)은 총 분석일수 9,861일(1989~2015년) 중 용수공급 실패횟수 23회, 용수공급 실패일수는 971일로 산정되어 기간신뢰도($Rel_{(t)}$)는 90.2%로 산정되었으며 운영기간 동안 총 계획공급량 $161.99 \times 10^6 m^3$ 중 부족량 $12.46 \times 10^6 m^3$ 으로 양적신뢰도($Rel_{(s)}$)는 92.3%로 산정되었다. 평균 회복도($Res_{(H)}$) 0.024, 최대지속기간 회복도($Res_{(M)}$) 0.006, 평균

취약도($Vul_{(H)}$) 54.18백만 m^3 , 최대 취약도($Vul_{(M)}$) 210.09백만 m^3 으로 산정되었다.

비상용량을 활용한 CASE (II)는 용수공급 실패횟수 21회, 용수공급 실패일수는 774일로 산정되어 기간신뢰도는 92.2%로 산정되었으며 운영기간 동안 총 계획공급량 $161.99 \times 10^6 m^3$ 중 부족량 $9.84 \times 10^6 m^3$ 으로 양적신뢰도는 93.9%로 산정되었다. 평균회복도 0.027, 최대지속기간 회복도 0.007, 평균취약도 $46.86 \times 10^6 m^3$, 최대 취약도 $183.61 \times 10^6 m^3$ 으로 산정되었다.

용수공급 조정기준을 적용한 CASE (III)는 용수공급 실패횟수 23회, 용수공급 실패일수는 551일로 산정되어 기간신뢰도는 94.2%로 산정되었으며 운영기간 동안 총 계획공급량 $161.99 \times 10^6 m^3$ 중 부족량 $7.46 \times 10^6 m^3$ 으로 양적신뢰도는 95.4%로 산정되었다. 평균회복도 0.027, 최대지속기간 회복도 0.007, 평균취약도 $46.86 \times 10^6 m^3$, 최대취약도 $183.61 \times 10^6 m^3$ 으로

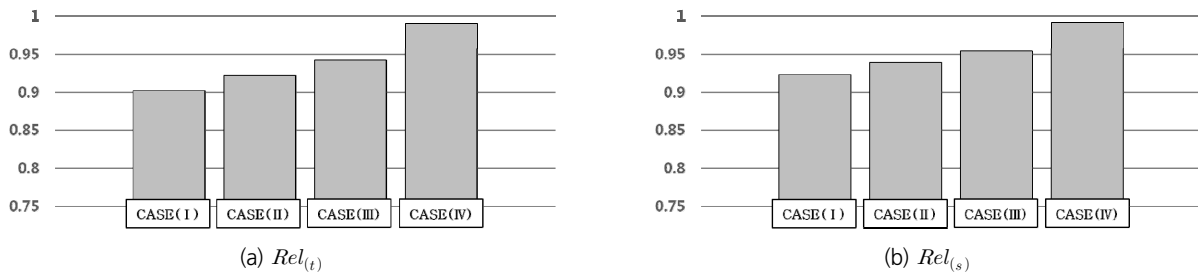


Fig. 4. Basic assessment of water supply reliability

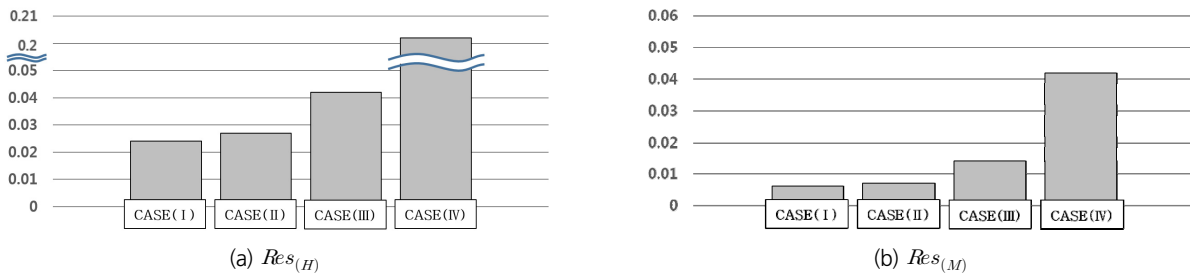


Fig. 5. Basic assessment of water supply resiliency

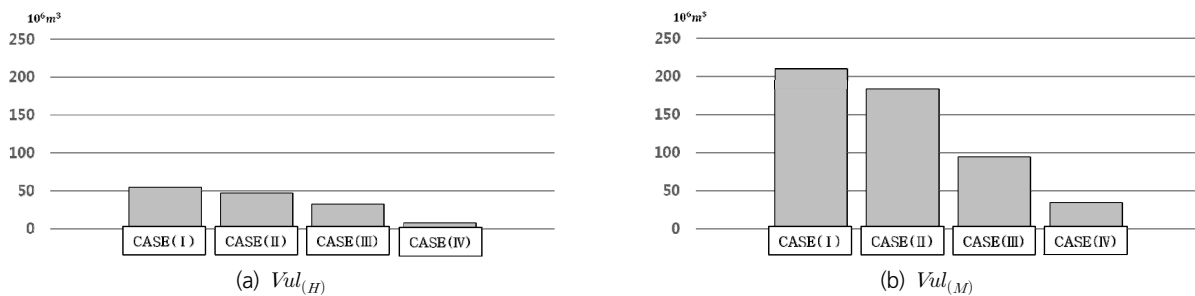


Fig. 6. Basic assessment of water supply vulnerability

산정되었다.

용수공급 조정기준 적용 및 비상용량을 활용한 CASE (IV)는 운영기간 동안 용수공급 실패횟수 20회, 용수공급 실패일수 99일로 기간신뢰도는 99.0%로 산정되었으며 운영기간 동안 총 계획공급량 161.99억 m^3 중 부족량 1.84억 m^3 으로 양적 신뢰도는 98.9%로 산정되었다. 신뢰도 이외 용수공급능력 지표는 평균회복도 0.202, 최대지속기간 회복도 0.042, 평균 취약도 7.15백만 m^3 , 최대 취약도 34.36백만 m^3 으로 산정되었다.

산정된 합천댐의 CASE별 용수공급능력은 Figs. 4-6에 나타내었다. 모든 대안들은 일반운영인 CASE (I)과 비교하였을 때 용수공급능력이 향상되었으며 그 중 CASE (IV)에서 용수공급 안정성이 가장 많이 향상되었다. 단일 대안을 적용한 CASE (II)와 CASE (III)의 경우 용수공급 조정기준을 적용한 CASE (III)이 더욱 큰 효과를 나타내었다.

그러나, 용수공급 조정기준을 적용한 CASE (III), CASE (IV)의 경우 댐 내 수위가 저수위에 도달하지 않았음에도 용수공급 조정기준에 따라 공급량을 감축하였기 때문에 이 시기에

Table 1. Stepwise reduction by water supply adjustment standard

	Concern (MCM)	Caution (MCM)	Alert (MCM)	Seriousness (MCM)	Water Supply Failure (MCM)	Total (MCM)
CASE (I)	-	-	-	-	1,246.16	1,246.16
CASE (II)	-	-	-	-	983.96	983.96
CASE (III)	269.78	145.80	47.17	84.55	745.86	1,293.16
CASE (IV)	441.29	246.24	123.74	170.80	184.15	1,166.21

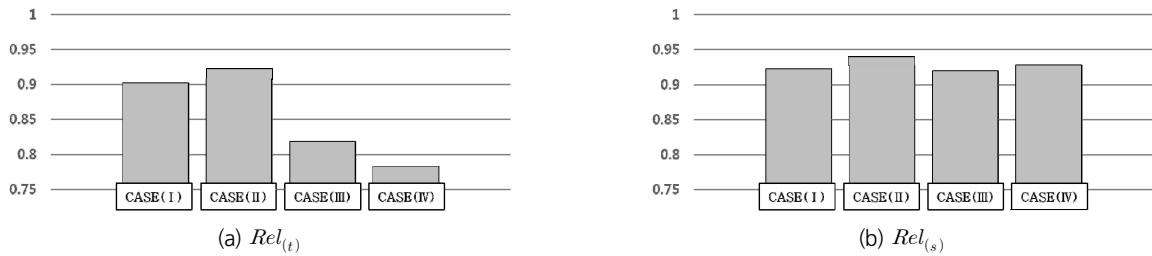


Fig. 7. Adjustment assessment of water supply reliability

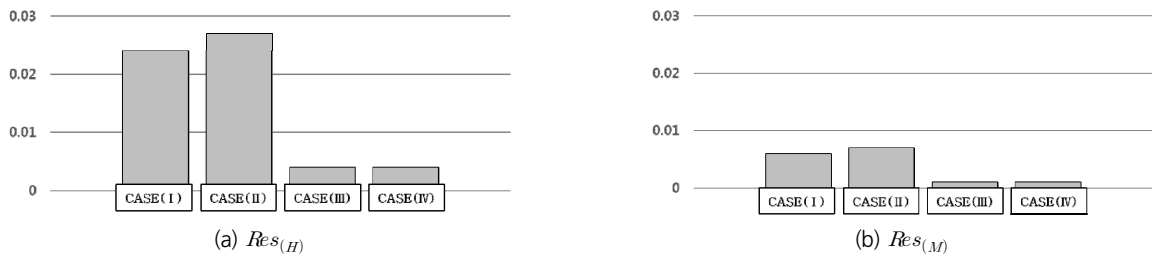


Fig. 8. Adjustment assessment of water supply resiliency

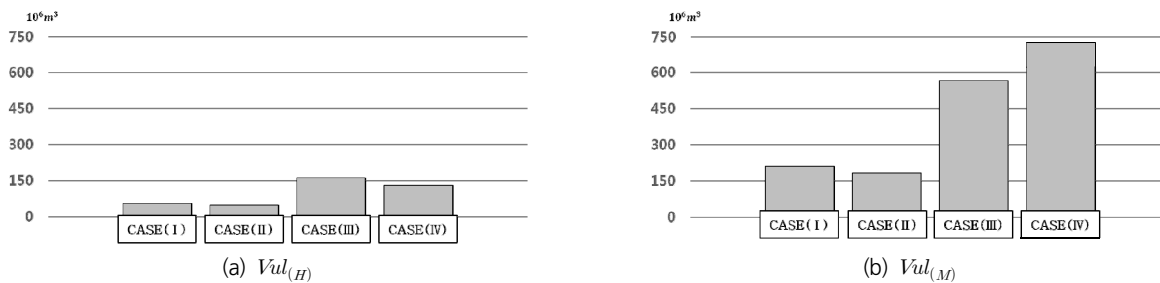


Fig. 9. Adjustment assessment of water supply vulnerability

는 완벽한 용수공급을 하였다고 보기는 어렵다. 따라서 용수 공급 조정기준이 적용된 2가지 CASE는 부족량 이외의 감축량이 발생하였으며 CASE (III)에서는 단계별로 관심 269.78 MCM, 주의 145.80 MCM, 경계 47.17MCM, 심각 84.55 MCM이 발생하였고 CASE (IV)는 관심 441.29 MCM, 주의 246.24 MCM, 경계 123.74 MCM, 심각 170.80 MCM의 감축량이 발생하였으며 이는 Table 1과 같다. 위와 같이 부족량에 감축량을 합산하여 용수공급능력 지표를 재산정한 결과는 Fig. 7~9와 같다. 용수공급 조정기준 적용으로 인한 감량을 추가적으로 고려하였을 때 일반운영인 CASE (I)보다 대부분의 용수공급능력 지표는 현저히 감소하였다.

5. 결론

본 논문에서는 저수지 모의기법을 이용하여 합천댐의 일반 운영, 용수공급 조정기준 적용 운영, 비상용량 활용 운영, 용수공급 조정기준 적용 및 비상용량 활용 운영 등 4가지 CASE로 나누어 용수공급능력을 평가하고 비교·분석하였다.

일반운영 방식인 CASE (I)의 결과 기간신뢰도 90.2%로 합천댐 설계 시 계획하였던 이수안전도 95%보다 낮았으며 신뢰도 이외의 회복도 및 취약도의 결과도 앞으로 발생할 수 있는 물 부족에 취약할 것으로 예상된다. 이에 따른 용수공급능력 향상방안인 비상용량을 추가 활용하여 공급함으로써 기간신뢰도 2%, 공급신뢰도 1.6%가 증가하였으며 회복도, 취약도 또한 향상되었다. 이러한 결과는 합천댐에 저류되어 있던 비상용량을 공급함은 물론 비상용량 활용기간 중 유입되는 유입량을 추가적으로 확보할 수 있어 예상보다 큰 효과를 나타낸 것으로 보인다. 그러나 단순히 비상용량을 추가 공급하는 것은 저수위를 용수공급 가능수위로 낮추어 운영한 것과 동일하기 때문에 일시적인 용수부족은 해결할 수 있을 것으로 보이나 용수부족이 장기화 될 경우 큰 효과를 기대하기는 어려울 것으로 예상된다.

용수공급 조정기준을 적용한 CASE (III)과 용수공급 조정기준 적용 및 비상용량을 활용한 CASE (IV)는 일반운영 (CASE I) 및 비상용량을 활용한 운영(CASE II)보다 부족일수 및 부족량이 확연히 감소하여 용수공급능력을 평가하는 모든 지표에서 향상된 결과를 보였다. 그러나 이는 부족량만을 평가 대상으로 하였을 때 효율적인 대책 방안으로 평가될 수 있으나 용수공급 조정기준에 의한 감축량을 추가적인 용수 부족으로 감안하게 되면 대부분의 용수공급능력 지표는 일반 운영인 CASE (I)보다 감소하였다. 이러한 결과는 용수공급

조정기준의 특성으로 가장 중요시되는 생·공용수를 장기간 공급하기 위해 선제적 감량을 시행하였기 때문에 이러한 결과가 산정된 것으로 판단된다. 그러나 CASE (IV)에서는 용수공급 조정기준에 따른 감량을 부족량으로 간주하여도 기본운영보다 공급신뢰도가 0.5% (79.9 MCM) 증가하여 장기간 용수를 공급한 것뿐만 아니라 더욱 많은 양을 공급할 수 있으므로 가장 효과적인 용수공급능력 향상효과를 보인 것으로 판단된다.

국내에서는 아직 비상용량의 활용방안과 용수공급 조정기준의 실제 적용 결과가 명확하지 않기 때문에 향후 발생할 수 있는 물 부족상황을 대비할 수 있는 연구가 필요하다. 따라서 용수공급 조정기준의 단계별 기준 저수량이나 감축량 등을 비상용량과 연계하여 설정한다면 더욱 효과적인 운영을 할 수 있을 것이라 판단된다. 향후 이러한 대안을 다양한 다목적댐에 적용하여 비교 및 분석이 이루어진다면 효과적인 대응방안을 마련하는데 본 연구에서 제시된 결과가 유용한 정보가 될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리사업의 연구비지원(14AWMP-B082564-01)에 의해 수행되었습니다.

References

- Cha, S. H., and Park, K. B. (2004). "A study on estimate of evaluation indices of water supply capacity for multipurpose dam." *Journal of the Environmental Sciences*, Vol. 13, No. 3, pp. 197-204.
- Choi, S. J., Lee, D. R., and Moon, J. W. (2014). "Comparison of water supply reliability by dam operation methods." *Journal of Korean Water Resources Association*, KWRA, Vol. 47, No. 6, pp. 523-536.
- Hydrologic Engineering Center (2007). *HEC-ResSim : Reservoir System Simulation User's Manual*. U.S. Army Corps of Engineers.
- Hashimoto, T., Stedinger, J. R., and Loucks, D. P. (1982). "Reliability, Resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation." *Water Resources Research*, Vol. 18, No. 1, pp. 14-20.
- Jin, Y. K. (2016). *Reservoir Operation Applying a Discrete Hedging Rule with Ensemble Stream flow Prediction to Cope with Droughts*. pukyong National University, Busan, Korea.
- K-water (2013). *Practical Manual of Dam Operation*.
- Kjeldsen, T. R., and Rosbjerg, D. (2004). "Choice of reliability, resilience and vulnerability estimator for risk assessments of water resources system." *Hydrologic Sciences*, Vol. 49, Issue. 5.

- Kwon, T. Y. (2014). *Improvement of Reservoir Yield Evaluation Index for Multipurpose Reservoir*. Ajou University, Suwon, Korea.
- Lee, D. H., Choi, C. W., Yu, M. S., and Yi, J. E. (2012). "Reevaluation of multi-purpose reservoir yield." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 45, No. 4, pp. 361-371.
- Lee, G. M., and Yi, J. E. (2012). "Analysis of emergency water supply effects of multipurpose dams using water shortage index." *Journal of Korean Water Resources Association*, KWRA, Vol. 45, No. 11, pp. 1143-1156.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2015). Dam water shortage contrast water supply adjustment standard.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011). Dam design standard.
- Moon, J. W., and Lee, D. R. (2009). "Emergency water supply effect on improvement of water supply capacity in multi-purpose dam." *Korean Society of Civil Engineers*, KSCE 2009 Convention, pp. 3386-3389.
- Moy, W. S., Cohon, J. L., and ReVelle, C. (1986). "A programming model for analysis of the reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir." *Water Resources Research*, Vol. 135, No. 6, pp. 414-425.
- Rittima, A., and Vudhivanich, V. (2003). "Storage-yield-resilience-reliability relationship of mun bon reservoir." *Proceedings of 41st Kasetsart University Annual Conference*, Bangkok, pp. 55-64.
- Srivastava, D. K., and Awchi, T. A. (2009). "Storage-yield evaluation and operation of mula reservoir." *Journal of Water Resources and Management*, Vol. 135, No. 6, pp. 414-425.
- Yoon, S. K., Kim, G. H., Yeo, K. D., and Shim, M. P. (2008). "A study on estimating emergency water supply benefits by dam." *Korea Water Resources Association*, KWRA 2008 Convention, pp. 1540-1544.