



농업용 저수지 관개 취약성 특성 곡선 산정

Evaluation of Irrigation Vulnerability Characteristic Curves in Agricultural Reservoir

남원호* · 김태곤* · 최진용**† · 김한중***

Nam, Won-Ho · Kim, Taegon · Choi, Jin-Yong · Kim, Han-Joong

ABSTRACT

Water supply capacity and operational capability in agricultural reservoirs are expressed differently in the limited storage due to seasonal and local variation of precipitation. Since agricultural water supply and demand basically assumes the uncertainty of hydrological phenomena, it is necessary to improve probabilistic approach for potential risk assessment of water supply capacity in reservoir for enhanced operational storage management. Here, it was introduced the irrigation vulnerability characteristic curves to represent the water supply capacity corresponding to probability distribution of the water demand from the paddy field and water supply in agricultural reservoir. Irrigation vulnerability probability was formulated using reliability analysis method based on water supply and demand probability distribution. The lower duration of irrigation vulnerability probability defined as the time period requiring intensive water management, and it will be considered to assessment tools as a risk mitigated water supply planning in decision making with a limited reservoir storage.

Keywords: Agricultural reservoir; irrigation vulnerability characteristic curves; probability distribution; reliability analysis; water supply and demand

1. 서 론

농업용 저수지는 풍수기의 유량을 갈수기로 이월하여 지속가능한 농업용수 공급을 목적으로 축조되었으며 (Kim et al., 2012), 저수지의 이월능력은 저수 용량과 운영 방법에 의해 시기적, 지역적으로 서로 상이하게 발현된다. 우리나라 농업용 저수지는 지형적인 여건과 농경지 분포가 영세하여 유역 규모가 작고 저수 용량 부족으로 내한능력이 취약하다 (Jee, 2011). 농업용 저수지의 용수공급 가능량 및 저수지 운영 방법에 따른 내한능력에 대한 평가는 저수지 이월능력의 극대화 및 효율적인 운영을 저해하는 요소인 지역수자원의 공급량과 수요량의 시기적 불균형을 객관적으로 제시할 수 있는 방안이다.

지역수자원 시스템에서 이수목적에 위한 농업용 저수지의 운영은 예상되는 유역으로부터 유출량, 즉 저수지 유입량과 관개지

역의 수요량을 예측하여 용수공급계획을 수립한다 (Park, 2005). 농업용 저수지의 경우 저수지의 현재 저수량은 앞으로 용수 공급이 가능한지를 가늠할 수 있는 시작점으로 취약성을 판단할 수 있다. 매년 관개기 시작 전 (3월 하순)의 저수율 확보는 당해 연도 용수공급능력 및 저수지 운영에 직결되므로, 이러한 상황을 정량적으로 판단하고 봄 가뭄에 대응할 수 있는 용수공급능력 평가 방법이 필요하다.

수자원 시스템의 운영 방안 수립에 필수적인 용수공급능력의 평가 척도로서 보편적으로 사용되는 설계빈도는 기후변화로 인한 수문사상의 변화 및 수요의 다변화에 대응하지 못하는 단점이 있다. 이에 농업용 저수지의 물 공급에 기여하는 공급량과 수요량의 특성 및 수문사상의 변화에 의한 불확실성을 분석하고 기상학적, 지형학적 특성에 따라 단일 저수지별로 상이한 용수 공급능력을 평가하는 연구들이 수행되었다. 수요량이 공급량을 초과하여 발생하는 물 부족의 척도를 표현하기 위하여 신뢰도 기반의 국내외 저수지 용수공급능력 평가에 관한 연구가 진행되었으며 (Hashimoto et al., 1982; Moy et al., 1986; Shim et al., 1997; Cha and Park, 2004; Park, 2005; Lee and Kang, 2006; Ahn et al., 2009; Nam et al., 2012a), 기존의 선형 연구들은 일반적으로 변동성이 큰 유입량 등 불확실한 요소를 확률 또는 극한 조건의 값을 사용하여 정량화하였다 (Shim et al.,

* 서울대학교 생태조경·지역시스템공학부

** 서울대학교 조경·지역시스템공학부 부교수, 농업생명과학연구원

*** 환경대학교 지역자원시스템공학과 부교수

† Corresponding author Tel.: +82-2-880-4583

Fax: +82-2-873-2087

E-mail: iamchoi@snu.ac.kr

2012년 9월 12일 투고

2012년 10월 22일 심사완료

2012년 10월 25일 게재확정

1997; Park, 2005). 하지만 선행연구는 농업용 저수지의 수위로 부터 용수공급 계획 시점인 관개 시작 전 용수공급능력의 불확실성을 평가할 뿐 (Shim et al., 1995; Kim et al., 1998a; Kim et al., 1998b; Jang et al., 2004), 관개가 진행됨에 따라 이수 측면에서 유입량 및 수요량의 변동성으로 인해 달라지는 용수공급의 취약성을 평가하기 위한 설정기준의 지표 또는 평가 방법이 부족한 실정이다.

본 연구에서는 농업용 저수지 공급계획량과 수요예측량의 확률분포 및 신뢰성 해석 기법을 이용하여 농업용수 공급 취약성을 평가한 선행 연구 (Nam et al., 2012a)를 기초로 관개기간동안 관개 취약성 확률 변화를 산정하였다. 신뢰도 기반의 관개 취약성 확률은 이수 측면에서 저수지의 용수공급능력을 평가할 수 있으며, 관개 취약성 확률 변화는 단일 저수지 고유의 특성을 반영한 지표로써 농업용 저수지의 효율적인 운영 및 관리를 위한 관개 취약성 특성 곡선으로 정의할 수 있다. 이를 바탕으로 송악, 신평, 탑곡, 유곡, 효천 저수지의 관개 취약성 특성 곡선 (irrigation vulnerability characteristic curves)을 작성하고 비교하였으며, 물 공급 또는 이수 관점에서 지역수자원의 용수공급 가능량 및 저수지 운영 방법에 따른 내한능력에 대한 기준을 제시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 관개 취약성 평가 모델의 확장

관개 지구의 농업용수 수요예측량과 저수지의 공급계획량을 상호 비교하여 농업용 저수지 공급가능량의 부족여부를 판단할 수 있다. 관개 취약성 평가 모델 (Nam et al., 2012a)은 관개기 시작 전일, 즉 특정 시점의 저수량 및 관개 기간의 누적 잔여 공급계획량, 누적 잔여 수요예측량을 활용하여 설계빈도의 객관적

평가를 위한 물 공급의 취약성 여부를 판단하였다. 농업용 저수지 운영 측면에서 모델을 활용하기 위해서는 운영 시점의 공급 가능량 및 예상되는 잔여 공급계획량과 수요예측량을 고려하여 공급 가능 여부를 판단하고 시간의 경과에 따라 취약성을 재평가해야 한다. 본 연구에서는 기존 취약성 평가 기법을 확장하여 특정 시점이 아닌 관개기 전 기간에 대한 일별 관개 취약성 지표의 시계열 변화를 통해 용수공급 상황을 판단할 수 있는 기준으로써 제안하였다.

농업용 저수지 물 공급 시스템을 구성하는 주요 요소로써 유역에서 저수지로부터 공급 가능한 가용용수량 (potential water supply capacity, PWS)과 관개지역의 필요수량 (irrigation water requirement, IWR)을 식 (1), 식 (2)와 같이 공급계획량과 수요예측량으로 정의하였다 (Nam et al., 2012b).

$$PWS_t = RC_t + \sum_{j=1}^n RWI_{t+j} - \sum_{j=1}^n RO_{t+j} \quad (1)$$

$$IWR_t = \sum_{j=1}^n PWR_{t+j} \quad (2)$$

여기서, PWS 는 공급 가능 가용 용수량, RC (reservoir capacity)는 저수지의 저수량, RWI (reservoir watershed inflow)는 유역의 유입량, RO (reservoir overflow)는 월류량, t 는 시간 단위, n 은 관개 종료시점이다. 수요예측량 (IWR)은 논 의 필요수량, PWR (paddy water requirement)로 정의하였다.

본 연구에서는 관개 취약성 판단을 위한 기초자료로써 향후 유입량과 필요수량의 누적 값을 활용하여 관개지역의 잔여 수요예측량이 유역의 저수지의 공급계획량을 초과하는 경우를 물 공급의 파괴 상태로 정의하였으며, 이상의 관계를 수식으로 표현하면

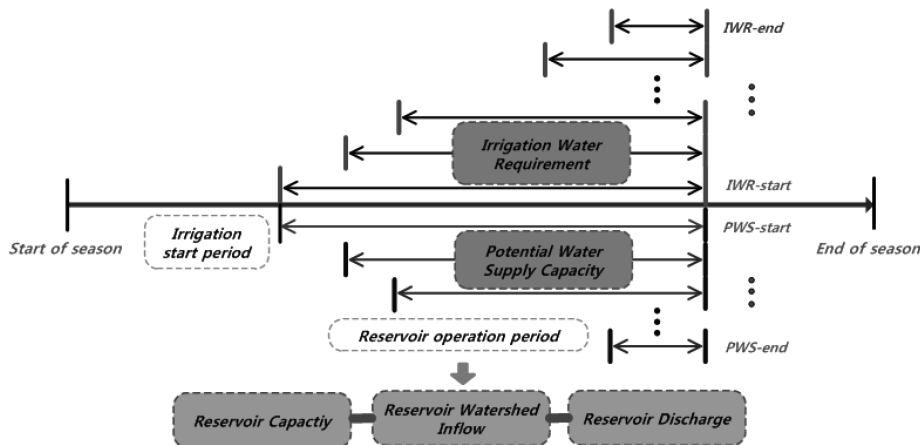


Fig. 1 Definition of water supply and demand in agricultural reservoir (Nam et al., 2012b)

식 (3)과 같다.

$$IVP = P_{Failure} (PWS_t - IWR_t < 0) \quad (3)$$

여기서, IVP 는 관개 취약 확률 (irrigation vulnerability probability)이다. t 시점의 관개 취약 확률은 향후 n 시점까지의 유입량과 필요수량의 누적 값을 활용하였으며, Fig. 1에 도시한 바와 같이 관개기 (4월 1일 ~ 9월 30일)기간 동안 시간의 경과에 따라 183일간의 일별 잔여 공급계획량과 수요예측량을 산정하였다.

2. 확률분포 및 신뢰성 해석 기법의 활용

지역수자원 물 공급 시스템의 용수공급 능력을 측정하는 척도로써 빈도기준의 신뢰도 (reliability)는 시스템의 목적을 만족하는 빈도 또는 확률 (Hashimoto et al., 1982), 즉 관개기간 저수지 운영상에서 계획된 용수공급량을 충족시키는 빈도를 의미하며, 위험도 및 취약도 (vulnerability)는 운영목표를 충족하지 못하는 빈도를 나타낸다.

본 연구에서는 X축을 잔여 공급계획량, Y축을 수요예측량으로 정의하고 두 지표간의 관계를 Fig. 2와 같이 도시하였다. 공급계획량과 수요예측량이 동일한 순간을 일점쇄선으로 도시하고, 이를 기준으로 위 영역은 공급 계획량이 부족한 물 공급 실패 영역, 아랫 영역은 공급계획량이 충분한 물 공급 성공 영역을 의미한다. 불규칙한 타원체의 실선은 공급계획량 발생확률 ($P_F(PWS)$)과 수요예측량의 발생확률 ($P_F(IWR)$)을 곱한 물 공급 상황에 대한 발생확률의 등치선으로써 안쪽 타원으로 갈수록 빈번하게 발생하는 사상이다. 그래프에 표시한 점들의 분포는 특정 시점의 공급가능량과 수요예측량으로서, 왼쪽 상단에 표시된 점들은 물 공급이 어려운 시점을 의미하며, 오른쪽 하단에 표시된 점들을 물 공급이 원활할 것으로 예상되는 시기이다.

물 공급 위험 영역의 발생확률은 공급계획량과 수요예측량의 확률 분포 곡선을 비교하여 공급보다 수요가 많은 구간의 면적을 이용하여 계산한다. 즉 Fig. 2의 왼쪽 상단에 표시한 물 공급 위험 영역은 공급계획량이 적게 발생하는 구간의 발생확률인 X축의 빗금 부분의 면적과 수요예측량이 높게 발생하는 구간의 발생확률인 Y축의 빗금 부분의 면적의 곱을 통해 발생확률이 산정된다. 수요예측량이 공급계획량을 초과하는 물 공급 위험 영역을 관개 취약 상태로 정의하였다.

농업용 저수지의 물 공급에 대한 기능수행상의 파괴 상태 (performance failure)인 관개 취약성은 공급계획량과 수요예측량의 확률분포로부터 두 인자에 대한 확률간의 차이로 표현된다. 물 공급의 성공과 실패는 확률분포의 합성곱 (convolution)을 이

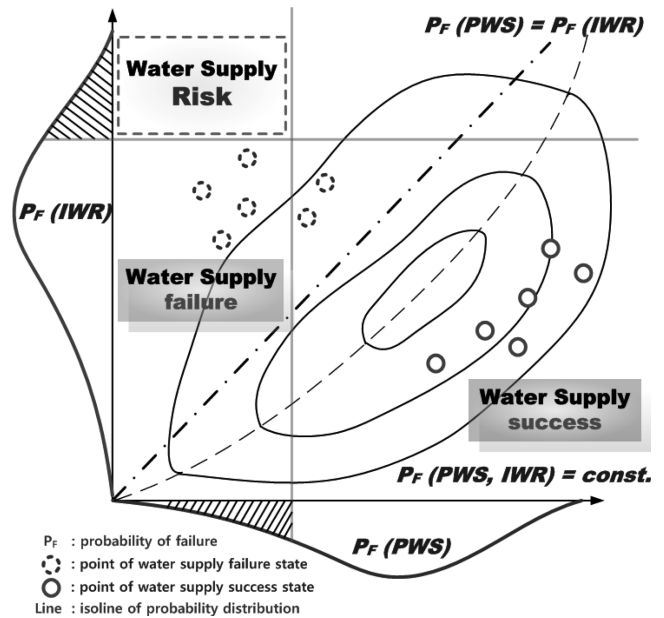


Fig. 2 Definition of irrigation risk and failure using probability distribution of irrigation water requirement and potential water supply

용한 신뢰성 해석 기법을 적용하였으며, 이상의 관계를 수식으로 표현하면 식 (4), 식 (5)와 같다.

$$P_F(IWR) > P_F(PWS) \quad (4)$$

$$P_{Failure} (PWS - IWR) = \int (\text{area of } < P_{PWS}) \times P_{IWR} \quad (5)$$

여기서, $P_F(IWR)$ 는 수요예측량의 확률분포, $P_F(PWS)$ 는 공급계획량의 확률분포를 의미하며, $P_{Failure}(PWS - IWR)$ 는 물 공급 파괴 확률으로써 관개 취약 확률 (IVP)을 정의하였다. 관개 취약 확률은 신뢰도 기준에 의한 이수 측면의 저수지 용수공급 능력 평가 지표로서 용수 공급에서 발현되는 취약도를 정량적으로 표현한다.

3. 관개 취약성 특성 곡선

농업용 저수지의 효율적인 관리는 용수공급의 탄력적 운영을 통하여 관개지역의 물수요를 중단없이 공급하는 계획 및 관리방안을 의미하며, 이수관리곡선 (operation rule curve)을 정의하여 객관적인 급수기준을 제시한다 (Kim et al., 1998b). 본 연구에서 제한한 공급계획량과 수요예측량의 확률분포 및 신뢰성 해석 기법을 적용하여 수치적으로 표현된 관개 취약 확률은 관개기간의 저수지 운영 기준으로서 활용 가능하다. 과거 기상자료로

부터 관개기간의 저수량 및 잔여 공급계획량, 잔여 수요예측량을 산정한 후 각각의 요소별 확률 분포로부터 일별 관개 취약 확률을 산정할 수 있다. 정략적으로 평가된 관개 취약성 특성 곡선은 단일 저수지별, 지역별로 관개면적, 유역면적 등을 고려하여 수위 및 저수량 기준이 아닌 이수 측면의 물 공급에 기초로 한 평가지표이다.

III. 적용 및 고찰

1. 대상지구 선정

본 연구에서는 한국농어촌공사가 관리하는 3,356개의 저수지 중 약 81 %를 차지하는 유역면적 500 ha 미만의 농업용수 공급을 목적으로 준공된 소규모 농업용 저수지를 대상으로 분석하였다. 대상지역은 Table 1에 도시한 바와 같이 설계빈도 10년 이하의 유역면적, 관개면적, 유효저수량이 유사한 송악, 신평, 탑곡, 유곡, 효천 저수지를 선정하였다. 유사한 규모를 갖는 저수지의 관개 취약성 곡선을 비교 분석함으로써 개별 저수지 운영 및 관리의 활용성을 검증하고자 한다.

2. 공급량 및 수요량 확률분포 및 신뢰성 해석 기법 적용

농업용 저수지의 용수공급능력 평가 요소로써 저수지의 유입량과 관개지구의 필요수량, 저수지 물수지 모의에 의한 월류량을 산정하기 위하여 39년간 (1973년~2011년) 기상관측소의 기상자료를 활용하였다. 기존 연구 (Nam et al., 2012a)에서 수행했던 신뢰성 해석 기법의 적용을 위하여 공급계획량과 수요예측량 차이를 물 공급 파괴에 대한 기능수행함수로 정의하였으며, 관개기 전 기간의 공급량 및 수요량 확률분포를 산정하여 일별 신뢰도 지수로부터 관개 취약성 평가를 수행하였다.

송악 저수지의 관개기 기간 동안 잔여 공급계획량과 수요예측량 차이로 정의한 물 공급 파괴에 대한 기능수행함수의 시계열 확률 분포를 Fig. 3과 같이 도시하였다. X축은 공급계획량과 수요예측량의 차이, 물 공급 파괴 상태를 의미하고 Y축은 관개 취약성 확률 (발생확률)로 정의하였으며, 관개기 (4월 1일~9월

30일)기간 동안 183일간의 일별 물 공급 파괴 함수 중 10일 간격으로 확률분포를 도시하였다. 관개 시작 후 시간이 경과됨에 따라 물 공급의 기능수행함수가 0보다 작은 면적, 즉 공급계획량이 수요예측량을 초과하는 확률이 작아지는 경향을 확인하였고, 기능수행함수의 분산 또한 감소하였다. 이와 같은 결과는 관개 초기에는 수요예측량에 비해서 공급계획량이 부족할 가능성이 높으며 그 양을 정확히 예측하기 어렵고, 관개 후기로 갈수록 수요예측량에 비해 확보된 공급가능량이 많을 확률이 높으며, 그 양을 관개 초기에 비해서는 상대적으로 정확하게 추정할 수 있다.

관개 취약 확률 분포에서 평균은 해당 시점에서 물 공급 가능 여부, 즉 물 공급 상황의 안전여부를 의미한다. 송악저수지의 경우 관개 초기에는 관개 취약 확률의 평균값이 음의 값을 나타냈다. 관개 초기에 평균적으로 8.2 만톤의 용수가 부족한 취약국면이며, 향후 관개가 진행됨에 따라 추가 용수공급계획을 고려해야 한다고 판단할 수 있다. 송악저수지의 관개 초기 공급가능 용수량은 95 % 신뢰구간에서 70.5 만톤 부족하거나 54.1 만톤이 남을 것으로 추정된다. 하지만 관개 후기로 갈수록 공급계획량이 수요예측량보다 많을 확률이 높아지며, 95 % 신뢰구간이 -6.7 ~ +52.9 만톤으로 상대적으로 신뢰구간이 짧아지는 경향이 있다. 송악저수지는 관개 시작 후 90일을 전후로 물 공급 상황이

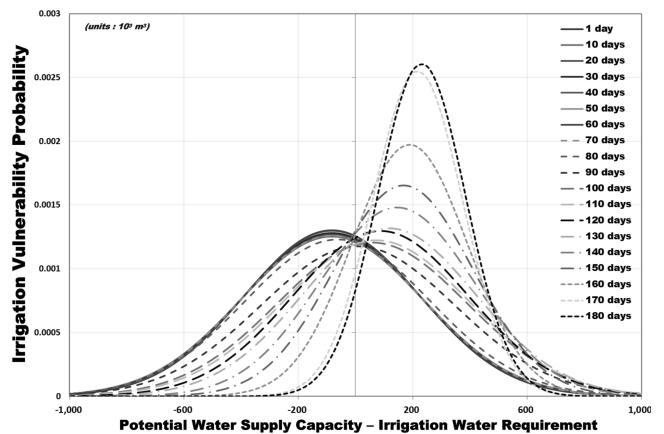


Fig. 3 Probability distribution of irrigation vulnerability during irrigation periods in Songak reservoir

Table 1 Characteristics for agricultural reservoir in the study area (Nam et al., 2012a)

Reservoir name	Effective storage capacity (10 ³ m ³)	Watershed area (ha)	Irrigated area (ha)	Frequency of drought (year)	Administrative district
Songak	463.0	254.0	161.0	3	Chungcheongnam-do
Shinpyeong	635.1	310.0	152.5	3	Jeollanam-do
Topgok	451.8	378.0	133.7	3	Gyeongsangnam-do
Yoogok	687.0	320.0	130.9	10	Jeollabuk-do
Hyocheon	615.0	230.0	106.7	10	Gyeongsangbuk-do

안전국면으로 전환되는 것으로 사료되며, 관개 초기에는 60 %의 높은 확률의 취약성을 보였지만 관개 종료 시기에 이르러서는 10 % 수준의 취약 확률을 보였다.

3. 관개 취약성 특성 곡선 산정 및 비교

공급계획량 및 수요예측량, 신뢰도 해석 기법을 활용하여 산정된 용수공급능력의 평가지표인 관개 취약 확률의 산정 결과는 Fig. 4와 같다. 관개가 진행될수록 잔여 수요예측량이 작아지므로 관개 취약 확률 또한 감소하지만 취약성의 변화 양상은 저수지별로 상이한 결과가 도출되었다. 송악 저수지의 경우, 관개 초기의 관개 취약 확률이 약 0.6으로 가장 높은 관개 취약도가 산정되었고 관개기가 진행되면서 취약확률이 낮아지는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 송악 저수지의 경우 관개기 초기의 관리가 중요하다는 결론을 도출할 수 있다. 신평, 탑곡 저수지의 경우, 관개 초기의 취약 확률이 약 0.2로 산정되었으며 6월 하순에 취약도가 높아지는 기간이 발생하였다. 유곡, 효천 저수지의 경우, 관개 초기의 취약 확률이 약 0.1로 가장 낮은 관개 취약 확률이 산정되었지만 6월 하순에서 7월 중순까지 관개 취약 확률이 높아지는 시기가 발생하였다. 송악 저수지를 제외한 신평, 탑곡, 유곡, 효천 저수지에서 관개기간 중 취약 확률이 높아지는 시기가 발생하였다. 취약 확률이 높아지는 시기는 집중 물 관리 기간으로 정의함으로써 저수지 운영 관리를 위한 기초자료로 활용가능하다. 관개 취약성 확률은 저수지의 용수공급능력에 영향을 미치는 관개면적, 유역면적, 저수용량, 생육시기 등의 요소들이 복합적으로 작용하여 산정된 지표로서 이수 측면에서 관개의 취약성을 분석할 수 있다.

관개 취약 확률의 결과 분석을 통한 관개 취약 시기는 Table 2와 같다. 관개 취약 확률은 확률론적 모델을 바탕으로 정량화된 수치를 제시함으로써 저수지의 설계 한발빈도와 객관적인 비교가 용이하도록 정의하였으며, 평균 관개 취약 확률 결과 유곡, 효천 저수지가 관개 취약 확률이 상대적으로 다른 저수지에 비해 낮게 산정되어 이수 측면의 물 공급 관점에서 다른 저수지에 비해 안전하다는 결론을 도출할 수 있다. 관개 취약 확률 결과는 저수지 설계 시점부터 현재까지 축적되는 자료를 활용하여 공급 가능량과 수요량의 변화를 반영한 지표로서 저수지의 이수 측면의 특성 지표로 활용 가능할 것으로 판단된다. 또한 Table 2에 도시한 바와 같이 일률적인 설계 한발빈도를 보완하여 단일 저수지간의 상대적인 비교가 가능하다.

관개 취약 확률 변화는 과거 축적된 기상자료를 활용하여 산정된 단일 저수지의 고유의 특성을 반영한 지표로서 효율적인 저수지의 운영 및 관리를 위한 관개 취약성 특성 곡선으로 정의할 수 있다. 관개 취약 특성 곡선은 시기별 저수지별로 상이한 차이를 보임으로써 향후 저수지 취약군의 분류에 활용 할 수 있

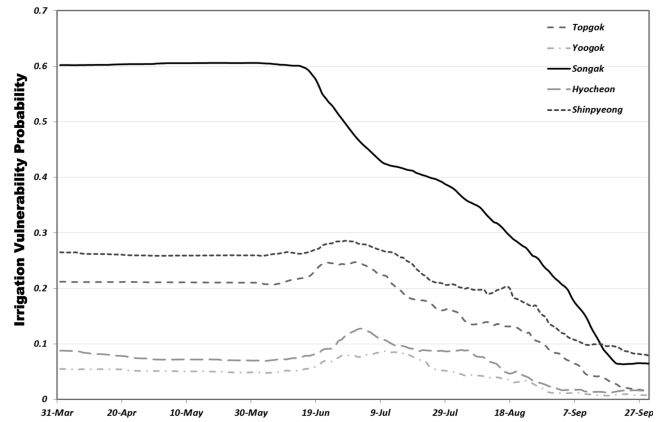


Fig. 4 Comparison of irrigation vulnerability probability

Table 2 Irrigation vulnerability assessment based on vulnerability probability

Reservoir name	Ranges of IVP	Irrigation vulnerability duration
Songak	0.063~0.606	-
Shinpyeong	0.078~0.285	L. Jun~F. Jul.
Topgok	0.012~0.247	L. Jun~F. Jul.
Yoogok	0.006~0.087	L. Jun~M. Jul.
Hyocheon	0.012~0.127	L. Jun~F. Jul.

※ F.: first part of a month, M.: middle part of a month, L.: last part of a month

을 것으로 판단된다. 또한 취약 확률이 높아지는 기간을 집중 물 관리 시기로써 정의할 수 있으며, 기존의 저수지 수위가 아닌 물 공급 또는 이수 관점에서 합리적 용수공급계획의 수립을 위한 의사결정지원 도구로써 활용가능 할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

농업용 저수지는 강수의 계절적 편차로 인한 한정된 수자원의 시간적, 공간적 편중을 극복하는 수단으로 안정적인 농업용수 공급 측면에서 효율적인 운영 및 관리가 요구된다. 농업용수의 공급 가능량 및 수요량은 수문 사상의 불확실성을 전제로 하고 있기 때문에 저수지의 용수공급능력 평가 또는 부족가능성에 대한 확률론적 접근 방법이 필요하다.

본 연구에서는 농업용 저수지의 용수공급 측면에서 관개 취약성을 평가하기 위한 설정 기준을 정립하기 위하여 관개기간의 공급계획량과 수요예측량의 확률분포, 신뢰성 해석을 활용한 농업용수의 용수공급능력 평가의 체계적인 접근법을 제시하였다. 관개 취약성 확률은 관개지역의 물 수요량 추정 혹은 저수지의 공급 가능량 추정을 동시에 고려하여 확률론적 방법에 기초한 관개 취약성을 추정함으로써 용수공급계획의 운영 및 관리 위한 용수공급에서 발현되는 취약도를 수치적으로 정의하였다. 유역면적, 관개면적, 유효저수량이 유사한 소규모 농업용 저수지인

송악, 신평, 탐곡, 유곡, 효천 저수지를 선정하였으며, 과거 축적된 기상자료를 활용하여 용수공급능력의 평가 요소인 저수지의 유입량, 관개지구의 필요수량, 저수지 물수지 모의를 수행하였다. 송악 저수지의 경우 관개기 초기의 관개 취약 확률이 약 0.6으로 가장 높은 관개 취약도가 산정되었고, 신평, 탐곡 저수지의 경우 약 0.2, 유곡, 효천 저수지는 약 0.1로 가장 낮은 관개 취약 확률을 나타내었다. 송악 저수지를 제외한 신평, 탐곡, 유곡, 효천 저수지는 6월 하순에서 7월 중순까지 관개 취약성 확률이 높아지는 시기가 발생하였다.

관개 취약성 확률은 이수 측면에서 저수지의 용수공급능력을 평가할 수 있으며, 취약성 확률 변화는 단일 저수지의 고유의 특성을 반영한 지표로써 효율적인 저수지의 운영 및 관리를 위한 관개 취약성 특성 곡선으로 활용가능하다고 사료된다. 관개 취약 특성 곡선은 시기별 저수지 취약군의 분류에 활용 할 수 있으며, 관개 취약 확률 변화는 취약도 확률이 높아지는 기간을 집중 물관리 시기로 정의함으로써 기존의 저수지 수위가 아닌 물 공급 또는 이수 관점에서 합리적 용수공급계획의 수립을 위한 의사결정지원 도구로써 활용가능 할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Ahn, B. I., Y. D. Jo, T. H. Kim and Y. D. Kwon, 2009. Analysis on the shortage of agricultural water supply under climate change: Application to Deage reservoir in Goseong Gun. *Korean Journal of Agricultural Economics* 50(2): 45-67 (in Korean).
- Cha, S. H. and K. B. Park, 2004. A study on estimate of evaluation indices of water supply capacity for multipurpose dem. *Journal of the Environmental Sciences* 13(3): 197-204 (in Korean).
- Hashimoto, T., J. R. Stedinger and D. P. Loucks, 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resources system performance evaluation. *Water Resources Research* 18(1): 14-20.
- Jang, M. W., H. W. Chung, J. Y. Choi, K. W. Park and S. J. Bae, 2004. Development of a single reservoir agricultural drought evaluation model for paddy. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 46(3): 17-30 (in Korean).
- Jee, H. K., 2011. Local balanced development for use of agricultural reservoir. *Magazine of Korea Water Resources Association* 44(9): 27-32 (in Korean).
- Kim, S. J., K. Y. Lee and S. J. Kang, 1998a. Statistical analysis of irrigation reservoir water supply index. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 40(4): 58-66 (in Korean).
- Kim, S. J., K. C. Park and H. S. Park, 2012. Estimation of available permit water for large scale agricultural reservoirs in Youngsan River basin. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(1): 93-97 (in Korean).
- Kim, T. C., J. P. Moon, J. W. Min and H. K. Lee, 1998b. Optimal flood control volume in the irrigation reservoir. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 40(2): 81-91 (in Korean).
- Lee, S. H. and T. U. Kang, 2006. An evaluation method of water supply reliability for a dam by firm yield analysis. *Journal of the Korean Water Resources Association* 39(5): 467-478 (in Korean).
- Moy, W. S., J. L. Cohon and C. S. Revelle, 1986. A programming model for analysis of the reliability, resilience, and vulnerability of a water supply reservoir. *Water Resources Research* 22(4): 489-498.
- Nam, W. H., T. G. Kim, J. Y. Choi and J. J. Lee, 2012a. Vulnerability assessment of water supply in agricultural reservoir utilizing probability distribution and reliability analysis methods. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(2): 37-46 (in Korean).
- Nam, W. H., T. G. Kim, J. Y. Choi and J. J. Lee, 2012b. Estimating vulnerable duration for irrigation with agricultural water supply and demand during residual periods. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 54(5): 123-128 (in Korean).
- Park, K. B., 2005. A study of reliability index correlation analysis in reservoir water-supply. *Journal of the Environmental Sciences* 14(3): 289-296 (in Korean).
- Shim, M. P., O. I. Kwon and H. K. Lee, 1995. Reservoir operation by variable restricted water level during flood period. *Journal of the Korean Water Resources Association* 28(6): 217-228 (in Korean).
- Shim, M. P., B. H. Lee and K. T. Kim, 1997. A study on the reliability analysis for water supply on reservoir system. *Journal of the Korean Water Resources Association* 30(5): 527-537 (in Korean).