농업용 저수지 공급량과 수요량의 확률분포 및 신뢰성 해석 기법을 활용한 물 공급 취약성 평가

Vulnerability Assessment of Water Supply in Agricultural Reservoir Utilizing Probability Distribution and Reliability Analysis Methods

남원호* · 김태곤* · 최진용**† · 이정재***

Nam, Won-Ho · Kim, Taegon · Choi, Jin-Yong · Lee, Jeongjae

ABSTRACT

The change of rainfall pattern and hydrologic factors due to climate change increases the occurrence probability of agricultural reservoir water shortage. Water supply assessment of reservoir is usually performed current reservoir level compared to historical water levels or the simulation of reservoir operation based on the water budget analysis. Since each reservoir has the native property for watershed, irrigation district and irrigation water requirement, it is necessary to improve the assessment methods of agricultural reservoir water capability about water resources system. This study proposed a practical methods that water supply vulnerability assessment for an agricultural reservoir based on a concept of probabilistic reliability. The vulnerability assessment of water supply is calculated from probability distribution of water demand condition and water supply condition that influences on water resources management and reservoir operations. The water supply vulnerability indices are estimated to evaluate the performance of water supply on agricultural reservoir system, and thus it is recommended a more objective method to evaluate water supply reliability.

Keywords: Reliability analysis; probability distribution; vulnerability assessment; agricultural water; water supply; agricultural reservoir

1. 서 론

1960년대 이후 수자원의 안정적 확보와 공급을 목적으로 농업용 저수지가 건설되었고, 전국에 약 18,000 여개가 축조되어 지역 환경 보전 및 벼 재배를 위한 지역 용수 공급에 기여하고 있다. 농업용 저수지는 농업용수를 공급하는 단일 목적으로 축조되어 수자원의 시간적, 공간적인 편중을 극복하는 방법으로 홍수기의 풍부한 수량을 저류한 후 관개기 혹은 갈수기에 이용하는 수단으로서 농업용 저수지의 역할은 중요하다 (Ahn et al., 2002; Ahn et al., 2004; Kim et al., 2005). 하지만 농업용 저수지 가운데 약 90 %는 1970년 이전에 건설되어 대부분 노후화된 실정이며, 약 93 % 이상의 저수지는 관개면적 100 ha 미만의 소규모 저수지이다 (Yoo and Park, 2007). 이렇게 노후화된 소규모

농업용 저수지들은 가뭄 및 홍수 등의 재해에 효과적으로 대응하지 못하고, 특히 봄철 가뭄으로 인하여 관개기 이전에 충분한 용수를 확보하지 못하는 경우에는 농업용수 공급의 어려움을 초래할 수 있다. 이러한 상황에서 농업 수자원의 합리적 이용을 위하여 농업용 저수지의 체계적이고 효율적인 운영이 부각되고 있다 (Nam et al., 2011). 이를 위해서 저수지의 수요 및 공급 양상을 파악하여 합리적인 용수공급능력 평가방안이 필수적으로 선행되어야 한다.

농업용 저수지는 일반적으로 비관개기와 관개기로 구분하여 서로 다른 운영 지침을 사용하고 있으며, 비관개기에는 저수지의 담수에 치중하고 관개기간에는 농업용수를 공급하는 것을 목적으로 한다. 농업용수의 물관리 효율성을 평가하기 위해서는 비관개기에서 관개기로 전환되는 시점에서 향후 용수공급량과 수요량을 정확하게 파악하는 것이 중요하며, 합리적인 저수지 운영 방안 수립을 위해서는 작물의 생육시기별 필요수량을 산정하고 저수지의 방류량을 결정하는 운영 기준이 필요하다 (Ahn et al., 2002). 그러나 기상학적·지형학적 특성에 따라 단일 저수지별로 공급량 및 수요량 값이 상이하며, 기상·수문 현상의 불확실성(uncertainty)으로 인해 과거 농업용 저수지의 운영은 관행적 경험에 의존하여 수행되었다. 따라서 농업용 저수지의 운영을 위한

* 서울대학교 생태조경·지역시스템공학부

** 서울대학교 조경·지역시스템공학부 부교수, 농업생명과학연구원

*** 서울대학교 조경·지역시스템공학부 교수, 농업생명과학연구원

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

Fax: +82-2-873-2087

E-mail: iamchoi@snu.ac.kr

2012년 2월 1일 투고

2012년 2월 22일 심사완료

2012년 2월 27일 게재확정

합리적인 농업용수 수급계획 방안이 요구되었으며, 저수지의 운영 기준 설계 및 용수공급 평가방안의 개발 등 농업용 저수지 물 공급 시스템과 관련하여 종합적인 검토를 위한 연구가 수행된 바 있다.

국내외 저수지의 저류용량과 용수공급능력 결정에 관한 연구는 과거의 유입량 기록이 장래에도 반복되어 발생한다는 가정 하에 유입량 기록이나 추정치를 근거로 수행되었다 (Ahn et al., 2002). 저수지의 용수공급능력 평가에 관한 연구는 Kim et al. (1998)은 저수지의 저류량과 강수량의 확률통계적인 해석을 통해 관개용 저수지의 용수공급능력을 정량적으로 수치화하였고, Ahn et al. (2002)은 소규모 저수지의 저류량과 용수공급능력 결정을 위해 천이확률행렬법 및 모의발생방법, 최적화기법을 활용하여 적정 용수공급량을 산정하였다. Park et al. (2002)은 저수지 물공급에 대한 신뢰도, 복원도, 부족심도 등 용수공급의 부족 상황을 나타낼 수 있는 평가지수를 활용하여 저수지의 물 공급 설계상의 위험도를 표현하였으며, Lee et al. (2006)은 가뭄기간에 저수지의 용수공급능력을 모니터링 할 수 있는 물공급능력지수를 개발하여, 극심한 기상조건하에서 저수지의 수요량에 대한 용수의 공급 가능 여부를 평가하였다.

과거 농업용 저수지의 설계 방법은 기왕의 수문사상을 통계학적으로 분석하여 설계빈도에 따른 계획용수량을 결정하는 확률론적 방법을 사용하였지만 (Kim et al., 1995; Shim et al., 1997; Lee and Kang, 2006), 기후변화로 인한 가뭄 및 홍수 등의 수문사상 변화에 대응하지 못하고 (Lee et al., 2006), 용수 수요의 증가, 수자원 개발의 한계 등 수자원 시스템이 가지고 있는 용수공급능력의 취약성이 증대 되고 있다. 따라서 농업용 저수지의 물 공급에 기여하는 공급량과 수요량의 특성 및 불확실성을 분석하고, 이들의 확률분포를 이용하여 물 공급 시스템의 취약성을 파악하는 확률론적 방법, 즉 신뢰도 해석 기법의 적용이 필요하다.

신뢰도 해석 기법은 과거 수공구조물의 위험도 분석에 관한 연구에 적용되었으며, 주로 하수관망이나 도시유역 우수관거의 안전도 및 위험도 해석에 관한 연구들이 수행되었다 (Kim et al., 1993; Kim et al., 1995). 최근에는 수자원 시스템에 대한 수문학적 사상의 영향을 평가하고, 시스템의 주요변수를 결정하는 수문학적 설계에도 적용되고 있으며, Shim et al. (1997)은 추계학적 모의발생기법 및 신뢰도 분석을 활용하여 저수지의 최적 운영을 위한 신뢰도, 복원도, 취약도 등의 평가지표를 산정하였다. Kim and Park (2000)은 소규모 저수지의 설계 재현기간에 따른 위험도와 초기 저수지 수위와의 관계를 설정하기 위하여 신뢰도 분석기법을 적용하였으며, Lee and Kang (2006)은 확률론적 신뢰도를 이용하여 보장 공급량의 안전도 분석에 의한 댐의 물 공급 안전도 평가를 수행하였다. 앞서 검토된 기존의 선행 연구들

은 소규모 농업용 저수지의 용수공급능력을 평가하기에는 관계기와 비관계기로 구분되는 운영상의 특성을 반영하지 못하고, 시간이 흐름에 따라 기상자료와 공급량 자료가 축적되는 기간에 비하여 축적된 자료를 단기적으로 결과에 반영할 수 없는 한계가 있기 때문에, 농업용 저수지 용수공급능력의 안정성 평가 및 취약성 기준에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 농업 수자원 시스템에서 주요한 용수공급시설인 농업용 저수지의 용수공급능력과 수요량을 고려하여 저수지의 물 공급 취약성을 판단하였다. 농업용 저수지의 이수안전도와 물 공급 취약성의 관계를 설정하기 위하여 신뢰도 해석 기법을 적용하였으며, 물 공급 취약성 지표의 제시를 통해 용수공급 상황을 파악함으로써 적정 관개용수 공급의 가능 여부를 판단할 수 있는 객관적 근거를 제시하고자 한다. 이를 통해 농업용 저수지의 효율적인 운영 및 안정적인 농업용수 공급 계획의 의사결정지원을 위한 기초 자료를 구축하고, 재현기간별 농업용 저수지의 이수안전도를 판단할 수 있는 기준을 제시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 신뢰도 해석 기법

공학적인 설계에 사용되고 있는 신뢰도 해석 기법은 통계학적인 방법으로서 구조물의 안전여부를 판단하는데 사용되었으며 (Plate and Duckstein, 1998; Yang et al., 1999), 최근에는 수자원 시스템에 대한 수문학적 사상의 영향을 평가하고 시스템의 주요 변수를 결정하거나 저수지의 안정성 평가에 관한 연구에 활용되고 있다 (Kim et al., 1993; Kim and Park, 2000; Ostfeld et al., 2002; Park, 2005).

공학시스템에서 위험도란 시스템이 설계된 기능을 수행하지 못할 확률을 의미하며 (Kim et al., 1993), 시스템 파괴의 개념은 일반적으로 시스템에 작용하는 하중 (Load, L)이 시스템의 저항 능력 (Resistance capacity, R)을 초과하는 것으로 정의한다. 따라서 시스템의 위험도 R_s 는 다음과 같이 정의된다.

$$R_s = 1 - R_t = P_r (L > R)$$

여기서 $P_r(x)$ 는 사건 x 가 발생할 확률이며, R_t 은 시스템의 신뢰도이다.

시스템의 위험도를 산정하기 위한 방법은 시스템의 기본변량을 하중과 저항에 연관시킨 기능수행함수 (performance function) Z 를 이용하여, 음의 값이 시스템의 파괴를 나타내도록 기능수행함수를 정의할 수 있으며, 파괴확률 (시스템의 위험도)은 다음과 같이 정의된다.

$$R_s = P_r (Z < 0) = \int_0^\infty \int_0^l f_{R,L}(r,l) \cdot dr \cdot dl$$

여기서 $f_{R,L}(r,l)$ 은 R 과 L 의 결합 확률밀도 함수 (joint probability density function)이다. 공학시스템의 설계에 대한 확률분포 (probability distribution)는 기능수행함수, Z 로 가정할 수 있으며, 만일 저항능력 R 이 하중 L 에 통계학적으로 독립이라면, 기능수행함수를 사용하여 신뢰도는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$P_f = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta), \quad \beta = \frac{\mu_z}{(\text{Var}(Z))^{1/2}}$$

여기서, β 는 신뢰도 지수 (reliability index)이며, μ_z 는 평균, $\text{Var}(Z)$ 는 분산이다. Fig. 1에 도시한 바와 같이 β 는 시스템의 평균

Fig. 1 Probabilistic concept of reliability index (Yang et al., 1999)

상태로부터 시스템 파괴수준 (failure level)까지 거리에 대한 표준편차의 비로 정의되므로, β 에 대한 확률이 시스템의 신뢰도로 채택된다 (Kim, 1997; Yang et al., 1999).

Fig. 2 Schematic diagram of the vulnerability assessment of water supply in agricultural reservoir

2. 공급량과 수요량 확률분포함수

과거 저수지의 용수공급능력 평가에 적용된 방법들은 조사단계에 따라 상이하며, 평가기준과 방법에 대한 일관성이 부족하기 때문에 개별 저수지에 대하여 용수공급 측면의 평가에 대한 상대적인 비교가 어렵다. 또한 평가 기준은 기록상 나타난 최악의 갈수 상황 시 공급이 가능한 보장공급량 기준과 전체 계획기간 중에서 일정기간 동안 용수공급의 제한을 수용하여 평가하는 신뢰도 기준으로 구분 할 수 있다 (Ahn et al., 2002). 이러한 확률론적 방법의 경우 시스템 요소의 분산 특성을 고려하지 않고 대푯값으로 결정하게 되지만, 확률론적 방법은 발생확률의 밀도에 따라서 발생가능성을 예측하게 된다 (Suh et al., 2008). 저수지의 물 공급 시스템에서 수요량 및 공급량의 경우 기상학적 특성 및 지형학적 특성 등 여러 요인에 의해 변동되므로, 본 연구에서는 농업용 저수지의 용수공급능력 평가 방법으로 불확실성을 포함하는 저수지의 공급량과 관개지구의 수요량을 확률적인 개념으로 접근하였다.

농업용 저수지의 물 공급 능력에 대한 취약성 산정의 기본과정은 저수지의 용수공급능력을 입력과 출력에 대한 매개변수를 가지는 하나의 시스템으로 가정하고, Fig. 2에 도시한 바와 같이 (a) 기상자료 및 저수지, 관개지구 특성 자료를 활용하여, (b) 저수지 용수공급에 대한 요소를 결정하고, (c) 신뢰성 해석 기법을 활용하여 확률분포함수 및 물 공급 파괴에 대한 기능수행함수를

정의한 후, (d) 기능수행함수로부터 물 공급 파괴에 관한 기준을 적용하여 취약성 평가를 수행하게 된다. 본 연구에서는 저수지 용수공급에 영향을 미치는 요소로 유역의 공급량과 관개지구의 수요량을 선정하였으며, Fig. 3에서 도시한 바와 같이 공급 가능량의 경우 현재의 저수량과 관개기간 동안의 저수지 유입량의 합과 자연 월류되는 양의 차이로 정의하였고, 수요량의 경우 관개기간 동안의 작물의 필요수량으로 정의하여, 공급가능량과 수요량의 확률분포함수를 산정하였다.

3. 신뢰성 해석 기법을 활용한 안전도 모델

농업용 저수지 용수공급의 취약성을 평가하기 위해서는 우선 저수지 물 공급 시스템에 작용하는 하중 (L)과 저항능력 (R)을 결정하여야 한다. 본 연구에서는 Fig. 3에 도시한 바와 같이 저수지의 공급량을 저항능력, 관개지구의 수요량을 하중으로 정의하였으며, Fig. 4와 같이 공급량 자료는 Tank 모형을 이용하여 유역의 유출량을 사용하였고, 수요량 자료의 경우 작물의 증발산량 및 논 물수지 모형을 이용한 관개지구의 필요수량을 사용하였다.

확률분포가 정확하게 알려지지 않은 자연적인 시스템이나 변량들의 확률변수에 대해서는 일반적으로 정규분포로 가정하게 되며, 정규분포는 통계적으로 서로 독립인 확률 변수들의 확률곱(convolution)으로 정의되는 새로운 확률변수의 확률분포가 되는

Fig. 3 Definition of load and resistance elements for agricultural reservoir water supply based on reliability analysis

Fig. 4 Process of the vulnerability assessment of water supply in agricultural reservoir based on reliability analysis

성질이 있다 (Kim, 1997; Suh et al., 2008). 따라서 Fig. 5에 도시한 바와 같이, 공급량과 수요량의 확률분포가 평균과 표준편차에 의해 모든 통계적인 특성이 결정되는 정규분포라는 전제하에 공급량 확률분포함수와 수요량 확률분포함수의 확률곱으로 정의되는 저수지 물 공급의 파괴에 대한 기능수행함수로부터 취약성 평가를 수행하였다.

4. 물 공급 취약성 평가 모델

신뢰성 해석 기법은 입력과 출력에 대한 매개변수를 가지는 하나의 시스템을 구성하고, 이 시스템의 기능수행함수에 영향을 미치는 인자들의 불확실성을 파악하여 시스템에 대한 위험도를 산정한다 (Kim and Park, 2000). 또한 시스템의 파괴에 대한 개념은 일반적으로 시스템에 작용하는 부하, L 이 시스템의 저항능력, R 을 초과하는 것으로 정의된다 (Yang et al., 1999).

농업용 저수지의 물 공급 시스템의 취약성을 평가하기 위해

서는 우선 물 공급 파괴에 대한 정의가 필요하다. 본 연구에서는 수요량과 공급량을 하중과 저항능력에 연관시킨 물 공급 시스템의 기능수행함수를 이용하여 음의 값이 물 공급 시스템의 파괴를 나타내도록 정의하였으며, 파괴확률 (P_f)을 의미하는 간접적인 지표인 위험도 지수를 저수지 물 공급의 취약성으로 정의하였다. 즉, 물 공급의 파괴란 관개지역의 수요량 ($P_f(IWR)$)이 유역의 저수지에서 공급 가능한 가용용수량 ($P_f(PWS)$)을 초과하는 경우, 농업용 저수지 물 공급에 대한 기능수행상의 파괴 (performance failure, $P_f(IWR) > P_f(PWS)$)로 정의하였다.

III. 적용 및 고찰

1. 대상지구 선정

본 연구에서는 유역면적 500 ha 미만의 소규모 농업용 저수지를 대상으로 설계빈도 10년 이하의 수문이 없는 자연 월류식

Fig. 5 Schematic representation of the reliability concept and of the procedure of calculating reliability analysis

Table 1 Characteristics for agricultural reservoir in the study area

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
Yoogok	687.0	320.0	130.9	10	Jeollabuk-do
Topgok	451.8	378.0	133.7	3	Gyeongsangnam-do
Hyocheon	615.0	230.0	106.7	10	Gyeongsangbuk-do

저수지를 선정하였으며, 선정된 대상저수지의 특성은 Table 1과 같다. 본 연구에서 제한한 물 공급 취약성 지표와 기존 저수지의 한발빈도 (frequency of drought)와 비교를 통해 객관성 및 적정성을 검증하고자 한다.

2. 공급량 및 수요량 산정

일반적인 농업용 저수지의 용수공급능력 평가는 공간적으로 소규모 유역 단위의 가용수량과 수요량의 비교에 의해 수행되기 때문에, 기본적으로 유역의 유출량 및 용수공급시설에 의한 공급량, 관개지구의 용수 수요량 파악이 중요하다. 본 연구에서는 저수지의 유입량과 관개지구의 필요수량, 저수지 물수지 모의에 의한 월류량을 산정하기 위하여 39년간 (1973년~2011년) 기상 관측소의 기상자료를 활용하였다. 저수지의 유입량은 강우-유출 모형인 Tank 모형을 사용하였고, 관개지구의 필요수량은 FAO (Food and Agricultural Organization)의 Modified-Penman (Doorenbos and Pruitt, 1977)식과 작물계수를 적용하여 작물의 소비수량을 산정하고 침투량, 수로손실 및 관리손실을 반영하여 수요량을 산정하였다. 저수지의 월류량은 저수지 물수지 모의

를 통하여 저수지 유입량으로부터 수위가 만수위 시 자연 월류하는 양으로 산정하였다. 공급 가능량은 관개기 직전 (3월 31일)의 저수지 저수량과 관개기간 (4월 1일~9월 30일) 유입량의 합과 저수지 월류량의 차이로 정의하였고, 수요량의 경우 관개기간 논벼 필요수량의 합을 사용하였다. Fig. 6은 대상지구 가운데 송악 저수지의 유입량과 월류량, 필요수량의 시계열 변화를 나타낸 것이다.

3. 신뢰성 해석기법을 이용한 물 공급 파괴 확률분포 함수 산정

농업용 저수지 물 공급 시스템에 대한 파괴의 기준을 결정하기 위해서는 용수 공급 가능량에 대한 기능수행함수를 산정해야 한다. 본 연구에서는 공급 가능량과 수요량의 차이를 물 공급 파괴에 대한 기능수행함수로 정의하였으며, 요소별 확률분포함수의 확률곱을 통해 농업용 저수지의 적정 기능 수행에 대한 신뢰성 해석을 수행하였다. Table 2의 (A), (B)는 대상 저수지의 관개기 직전 저수량 및 관개기간 유입량과 월류량의 차이에 의해 산정한 공급 가능량과 관개기 필요수량의 확률분포함수에 대한 평

Fig. 6 Comparison of watershed inflow and irrigation water requirement in Songak reservoir

Table 2 Probability distribution characteristics of water supply failure

Reservoir name	Songak	Shinpyeong	Yoogok	Topgok	Hyocheon
A. Potential water supply capacity	1,241 (183)	1,509 (220)	1,451 (206)	1,371 (176)	1,150 (154)
B. Irrigation water requirement	1,323 (260)	1,304 (241)	961 (306)	1,138 (232)	824 (185)
C. Water supply failure (Potential water supply capacity - Irrigation water requirement)	- 82 (318)	205 (326)	490 (306)	233 (291)	326 (241)

unit : average (10^3 m^3), standard deviation

균과 표준편차를 나타내며, 요소별 확률분포함수를 정규분포로 가정하고 신뢰성 해석기법을 활용하여 Table 2의 (C), Fig. 7 (a)~Fig. 7 (c)와 같이 물 공급 파괴에 대한 기능수행함수를 산정하였다.

4. 물 공급 취약성 분석

농업용 저수지의 물 공급 시스템에서 파괴는 전체 공급 가능량이 용수 수요량을 충족시키지 못하는 경우로 정의하였으며, 기능수행 평가지표로서 사용되는 신뢰도 지수로부터 취약성 평가를 수행하였다. 공급량과 수요량의 확률분포함수를 활용하여 산정한 파괴에 대한 기능수행함수로부터 물 공급 파괴 기준을 적용한 결과는 Table 3과 같다. 송악 저수지와 신평 저수지, 탑곡 저수지의 경우 신뢰도 지수는 -0.259, 0.628, 0.799로 산정되었고 이는 물 공급 시스템의 파괴 확률 0.602, 0.265, 0.212에 해당된다.

유곡 저수지와 효천 저수지의 경우 신뢰도 지수는 1.599, 1.354로 산정되었고, 물 공급 파괴 확률은 0.055, 0.089로 산정되어 송악, 신평, 탑곡 저수지보다 낮은 값을 나타내었다. 결과적으로 송악, 신평, 탑곡 저수지는 유곡, 효천 저수지와 비교하여 물 공급에 대한 취약성이 높다고 판단할 수 있다. 본 연구에서 제안한 물 공급 취약성은 빈도 개념을 내포한 파괴확률의 역수로 정의함으로써 송악, 신평, 탑곡 저수지의 경우 설계빈도인 3년 한발 빈도와 유사한 값을 나타냈으며, 유곡, 효천 저수지의 경우 설계 빈도인 10년 한발 빈도와 근사한 값을 나타내었다.

농업용 저수지의 물 공급 취약성 지표는 확률적 모델을 바탕으로 정량화된 수치를 제시함으로써 객관적이고 상대적인 비교가 가능하며, 설계시점의 자료만을 이용하는 것이 아니라 축적되는 자료를 활용하여 공급 가능량과 수요량의 변화를 반영한 결과를 도출할 수 있다는 점에서 설계빈도와는 차별화된 지표로 활용 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 7 (a) Reliability analysis based on performance function in Songak reservoir

Fig. 7 (b) Reliability analysis based on performance function in Shinpyeong reservoir

Fig. 7 (c) Reliability analysis based on performance function in Hyochon reservoir

Table 3 Vulnerability assessment of water supply based on reliability index and vulnerability probability

Reservoir name	Reliability index	Vulnerability probability	Vulnerability index
Songak	- 0.259	0.602	1.7
Shinpyeong	0.628	0.265	3.8
Yoogok	1.599	0.055	18.2
Topgok	0.799	0.212	4.7
Hyocheon	1.354	0.089	11.3

IV. 결 론

농업 수자원의 안정적 확보와 공급을 목적으로 축조된 우리나라의 소규모 농업용 저수지는 계절별 저수량의 변동이 심하고, 가뭄 또는 집중호우 등의 재해에 취약하여 농업용수 공급의 어려움이 발생한다. 과거 일반적인 농업용 저수지의 운영은 기상 및 수문현상의 불확실성으로 인해 관행적 경험에 의존하여 수행되었으며, 따라서 농업용 저수지의 합리적인 운영 및 용수공급능력 평가 방안에 대한 필요성이 증대되었다. 본 연구에서는 농업 수자원 시스템에서 주요한 용수공급시설인 농업용 저수지의 공급량과 관개지구의 수요량의 확률통계적인 해석을 통해 저수지의 용수공급능력을 정량적으로 수치화하였고, 신뢰성 해석 기법을 활용하여 저수지의 물 공급 취약성을 계산하였다.

농업용 저수지의 물 공급 시스템에서 파괴는 전체 공급 가능량이 용수 수요량을 충족시키지 못하는 경우로 정의하였으며, 공급량과 수요량의 확률분포함수를 활용하여 산정한 파괴에 대한 기능수행함수로부터 물 공급 파괴 기준을 적용하였다. 물 공급 취약성 지표는 빈도 개념을 내포한 파괴확률의 역수로 정의함으로써, 기존 설계빈도와 비교하여 객관성 및 적정성을 검증하였다. 송악 저수지와 신평 저수지, 탁곡 저수지의 경우 물 공급 시스템의 파괴 확률은 0.602, 0.265, 0.212로 산정되었고 설계빈도인 3년 한발 빈도와 유사한 값을 나타냈으며, 유곡 저수지와 효천 저수지의 경우 물 공급 파괴 확률은 0.055, 0.089로 산정되어 설계빈도인 10년 한발 빈도와 근사한 값을 나타내었다. 물 공급 취약성 지표의 제시를 통해 현재의 용수공급 상황을 파악하고 저수지의 물 공급 설계상의 위험도 및 적정한 관개용수 공급의 가능 여부를 판단할 수 있는 객관적 근거로 활용 가능하다고 판단하였다.

본 연구의 결과는 농업용 저수지의 효율적인 운영 및 안정적인 농업용수 공급 계획의 의사결정지원을 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 향후 연구에서는 실시간 수위 자료를 활용하여 물 공급 계획시점의 공급 가능성 및 물 공급 기간 중 저수지 운영평가 및 운영기준 개선 방안 개발로 발전할 수 있으며, 기후변화에 따른 확률분포함수의 변화 및 이수 안전도

변화 평가와 같이 변화하는 환경에 대응하여 농업용 저수지가 갖는 기능성의 변화를 평가할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 농림수산물부 생명산업기술개발사업 기획과제인 “농업생산기반시설 통합 관리시스템 개발” 연구비지원 (과제번호 : 311009-3)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Ahn, S. S., S. D. Jeong, J. S. Lee, K. D. Yoon and I. S. Chang, 2002. A Study on the Determination of Water Storage-Supply Capacity of Agricultural Reservoir. *Journal of the Environmental Sciences* 11(12): 1217-1226 (in Korean).
- Ahn, T. J., D. H. Cho, S. H. Lee, G. W. Choi and Y. N. Yoon, 2004. Evaluation of the Effective Storage of Existing Agricultural Reservoir. *Journal of the Korean Water Resources Association* 37(5): 353-361 (in Korean).
- Doorenbos, J. and W. O. Pruitt, 1977. *Guidelines for Predicting Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, FAO, Rome.
- Kim, J. T., K. W. Park and U. J. Ju, 2005. Reservoir Water Monitoring System with Automatic Level Meter. *Korea National Committee on Irrigation and Drainage* 12(1): 60-68 (in Korean).
- Kim, M. M., W. H. Lee and W. C. Cho, 1993. Reliability Analysis of Storm Sewer System by AFOSM Method. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 13(2): 201-209 (in Korean).
- Kim, M. M., W. C. Cho and J. H. Heo, 1995. Analyses of Uncertainty and Risk-Safety Factor Curve of Storm Sewer System. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 15(5): 1323-1332 (in Korean).
- Kim, M. M., 1997. Reliability Analysis of Storm Sewer in Urban Area. *Korea National Committee on Irrigation and Drainage* 4(2): 10-24 (in Korean).
- Kim, M. M. and C. E. Park, 2000. A Study on the Risk Assessment of Small Reservoirs using Reliability Analysis Methods. *Journal of the Korean Water Resources Association* 33(1): 15-30 (in Korean).
- Kim, S. J., K. Y. Lee and S. J. Kang, 1998. Statistical Analysis of Irrigation Reservoir Water Supply Index.

- Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 40(4): 58-66 (in Korean).
10. Lee, D. R., J. W. Moon, D. H. Lee and J. H. Ahn, 2006. Development of Water Supply Capacity Index to Monitor Droughts in a Reservoir. *Journal of the Korean Water Resources Association* 39(3): 199-241 (in Korean).
11. 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).
12. Nam, W. H., J. Y. Choi, S. G. Choi, M. W. Jang, N. H. Lee and K. D. Ko, 2011. A Survey on Irrigation Timing and Water Saving Strategies of Agricultural Reservoirs. *Korea National Committee on Irrigation and Drainage* 18(1): 81-93 (in Korean).
13. Ostfeld, A., D. Kogan and U. Shamir, 2002. Reliability Simulation of Water Distribution Systems—Single and Multiquality. *Urban Water* 4: 53-61.
14. Park, K. B., 2005. A Study of Reliability Index Correlation Analysis in Reservoir Water-supply. *Journal of Environmental Sciences* 14(3): 289-296 (in Korean).
15. Park, M. K., J. H. Kim and K. S. Jung, 2002. A Study of Optimal Operation Policy using Risk Evaluation Criteria(I). *Journal of the Korean Water Resources Association* 35(1): 37-49 (in Korean).
16. Plate, E. J. and L. Duckstein, 1998. Reliability-based Design Concepts in Hydraulic Engineering. *Water Resources Bulletin* 24(2): 235-245.
17. 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).
18. Suh, K., T. G. Kim and J. J. Lee, 2008. Reliability Analysis for Price Forecasting of Chinese Cabbage. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 50(3): 71-79 (in Korean).
19. Yang, Y. S., Y. S. Suh and J. O. Lee, 1999. *Structural Reliability Analysis Methods*. Seoul National University Press.
20. Yoo, C. S. and H. K. Park, 2007. Analysis of Morphological Characteristics of Farm Dams in Korea. *The Korean Geographic Society* 42(6): 940-954 (in Korean).