유역외 보의 연계운영에 의한 유역배율이 작은 저수지의 유입량 확보 가능성

Securing Inflows to Reservoir with Low Ratio of Watershed to Paddy Field Areas by Operating Outside Diversion Weir

노재경^{*,†}

Noh, Jackyoung

ABSTRACT

This study was performed to ascertain the possibility of securing inflows to reservoir with low ratio of watershed to paddy field areas by outside diversion weir. The case of Maengdong reservoir and Samryong diversion weir was selected. Most of inflows to Maengdong reservoir with watershed area of 7.06 km² and total storage capacity of 1,269×10⁴ m³ are filled with intake water from outside Samryong diversion weir. Only using water storage data in Maengdong reservoir from 1991 to 2009, the range of water intake in Samryong diversion weir to Maengdong reservoir was optimized to 0.135~30 mm/d, from which water intake to Maengdong reservoir was 1,672.9×10⁴ m³ (70.1 %) and downstream outflow to Weonnam reservoir was 714.4×10⁴ m³ (29.9 %). The parameters of DAWAST model for reservoir inflow were determined to UMAX of 313.8 mm, LMAX 20.3 mm, FC 136.8 mm, CP 0.018, and CE 0.007. Inflows to Maengdong reservoir were 427.1×10⁴ m³ (20.3 %) from inside watershed, and 1,672.9×10⁴ m³ (79.7 %) from outside. Paddy irrigation water requirements were estimated to 1,549×10⁴ m³ on annual average. Operation rule curve was drawn by using daily inflow and irrigation requirement data. By securing the amount of inflow to Maengdong reservoir to about 80 % from outside Samryong diversion weir, water supply capacity for irrigation of 1,549×10⁴ m³/yr was analyzed to be enough. Additional water supplies for instream flow were analyzed to 1,412 m³/d in normal reservoir operation, 36,000 m³/d in withdrawal limit operation by operation rule curve from October to March of non irrigation period.

Keywords: Reservoir; outside inflow; range of water intake; irrigation water supply capacity

1. 서 론

최근 4대강 사업 (MLTM, 2009)에서 96개 저수지의 독 높이기로 2.5억 m³의 저수량을 추가 확보하고, 연평균 3.4억 m³의 하천유지유량을 공급하는 것으로 계획하였다. 하천유량은 상류 저수지에 의해 영향을 받기 때문에 하천과 저수지를 유기적으로 운영해야 한다. 더구나 저수지에 의해 하천유량이 차단된다는 지적을 받아 온 것을 생각할 때 저수지 독 높이기 사업에 의해 하천유지유량을 저수지로부터 공급하는 것은 사회, 자연환경에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다. Wurbs (2005)는 미 텍사스주의 수자원의 이용성 및 신뢰성을 평가하기 위해 WRAP (Water Rights Analysis Package) 모형을 개발하였고,

23개 하천유역의 입력 DB를 구축하였으며, 하천유량과 저수지 저수량의 합리적 용수배분의 기반을 마련하였다. McMahon et al. (2007)은 25년 이상의 연속자료를 가진 세계 729 개 하천의 월, 연 유출량 자료로 각 하천의 가상저수지의 용량을 SPA (Sequent Peak Algorithm) 방법, 거동분석 및 Gould-Dincer Gamma 법에 의해 계산하였고, 월 유출량 자료로 87~96 %의 변이를 갖는 저수용량-공급량 관계를 개발하였으며, 이론적 Gould-Dincer Gamma법이 관계식을 유도하는데 적합하다고 하였다. Batalla et al. (2004)은 스페인 북동부의 Ebro 강과 지류에 위치한 187개의 댐으로 인한 하천유출량의 영향을 분석하였으며, 댐으로 인해 연유출량은 영향이 없었으나 일유출량은 홍수기에는 감소하고, 관개기에는 증가하고, 관개기의 월유출량이 가장 크게 영향을 미친다고 하였다. Haddeland et al. (2006)은 콜로라도강과 메콩강 유역에 대해 20년간 모의한 결과 관개용수요량은 각각 연 10 km³, 13.4 km³이었고, 하천유량은 각각 37 %, 2.3 % 감소하고, 연평균 표면온도는 두 유역에서 0.04 °C 감소하고, 관개기 3개월에 최대 2.1 °C 감소하고, 실제 물 이용량은 각각 8.3, 12.4 km³로 모의하였다.

* 충남대학교 지역환경토목학과

† Corresponding author Tel.: +82-42-821-5796

Fax: +82-42-821-8877

E-mail: jknoh@cnu.ac.kr

2010년 8월 19일 투고

2010년 12월 28일 심사완료

2011년 1월 3일 게재확정

맹동지, 장찬지, 오택지, 경천지, 담양호 등은 유역면적의 수혜면적에 대한 배율(유역배율)이 작아 유역외로부터 유입량을 보충하고 있다. 간접유역으로부터 유입량을 확보하여 이들 저수지의 유역배율은 각각 0.53, 1.08, 0.44, 0.89, 0.93에서 3.47, 7.48, 14.72, 1.26, 1.29로 개선되었다. 통상 유역배율이 3~4는 돼야 안정적으로 관개용수를 공급할 수 있으나 경천지, 담양호 등은 여전히 유입량의 확보가 충분하지 못할 것으로 유추할 수 있다. 보통 유역외에 보를 설치하여 평수기에 취수하여 유입량을 보충하며, 여기서는 맹동지의 간접유역인 삼용보의 취수량을 분석하여 유역배율이 작은 저수지의 유입량을 확보할 수 있는 가능성을 확인하는 것으로 하였다.

충북 음성에 위치한 맹동지는 유역면적이 706 ha이고, 수혜면적이 1,338.5 ha로 유역배율이 0.53에 불과하고, 총저수량은 1,269만 m^3 로 많아 대부분의 유입량을 맹동지 유역 밖에 위치한 유역면적 3,945 ha인 삼용보에서 취수하여 관개용수로 공급하고 있다. 그러나 삼용보의 하류에 총저수량 879만 m^3 , 유역면적 7,600 ha, 수혜면적 852.1 ha인 원남지가 위치하고 삼용보의 유역면적이 원남지 유역면적의 52 %를 차지하고 있어, 삼용보에서 맹동지로의 취수는 맹동지와 원남지의 용수공급능력에 모두 영향을 미쳐 면밀한 검토가 필요하다.

맹동지와 원남지의 두 개 저수지의 운영 효율을 높이기 위해서는 무엇보다 삼용보의 유입량을 얼마나 정확하게 모의하는가가 가장 중요하고, 홍수시 맹동지와 원남지의 무효방류량을 줄일 수 있도록 삼용보의 취수관리가 되어야 할 것이다. Noh (2010a)는 유역외의 금천보로부터 충북 옥천 장찬지로 얼마나 유입되는지 분석하기 위해 장찬지의 수혜면적에 공급하는 관개용수량과 저수량 변화의 물수지에 의한 방법을 제시하였다. 또한 Noh (2004)는 논용수 수요량을 일별로 추정하는 방법을 제시하였고, 이를 이용하여 상류 저수지군의 증고 시나리오에 의한 논산천의 유허개선 효과 (Noh, 2009), 용수구역별 저수지로부터 관개용수를 비롯한 각종 용수를 공급하는 다양한 물수지 해석을 실시하였다 (Noh et al, 2010).

생공용수는 연중 고르게 사용되고 관개용수는 생육시기별로 다양하게 사용되는 점에서 다목적댐과 관개용 저수지의 용수공급의 양상이 다르다. 다목적댐에 적용한 예로 Choi et al. (2000)은 물수지 분석과 댐 연계운영을 조합한 혼합정수프로그램 (MIP)에 의해 낙동강 수계에 적용한 결과 기존 방법보다 물배분과 관리에 효율적인 것으로 나타났다. Yi and Song (2002)은 1963~1997 년의 35 년의 자료로 모의기법과 최적화기법에 의해 용담댐의 연 용수공급능력은 95 % 신뢰도에서 각각 648.7백만 m^3 , 680.1백만 m^3 로 분석하였다. Kang and Park (2005)은 SCE-UA법과 다중 목적함수를 적용하여 저수지 최적운영 모형을 개발하여 섬진강댐의 하류 용수 증가에 따른 공

급가능성을 분석하였다. 관개용 저수지에 적용한 예로 Ahn et al. (2002)는 천이확률행렬법, 모의방법 및 선형계획법에 의해 성주댐의 용수공급능력을 분석한 결과 모의방법이 합리적이라 하였고, 연간 용수공급량은 신뢰도 95 %, 90 %에서 각각 55.18 백만 m^3 , 63.7백만 m^3 로 분석하였다.

이 연구에서는 맹동지의 직접유역의 유입량과 간접유역에 위치한 삼용보에서 취수하여 맹동지로 유입되는 수량을 포함한 전체 유입량을 분석한 후 확보한 유입량으로 관개용수를 공급할 수 있는 능력이 적절한 것인가 평가하고자 하였다.

II. 연구자료 및 방법

1. 연구지역

연구지역은 Fig. 1과 같으며, 맹동지의 동쪽 방향의 유역 밖에 위치한 삼용보에서 많은 유량을 취수하고 터널을 통해 맹동지로 송수한다. 터널의 규격은 $R=1.8$ m의 마제형이며, 홍수기에 맹동저수지에서 월류가 발생하지 않을 정도로 관리자가 현장을 방문하여 삼용보에서 취수가 이루어진다. Table 1은 연구지역에 위치한 맹동, 원남저수지와 삼용보의 제원이다.

유역면적 7.06 km^2 인 맹동저수지 유역의 토지이용은 밭이 0.82 km^2 로 전체의 11.6 %, 논이 0.15 km^2 로 전체의 2.2 %, 삼림이 5.41 km^2 로 전체의 76.6 %, 초지가 0.24 km^2 로 전체의 3.4 %, 수역이 0.44 km^2 로 전체의 6.2 %를 차지하는 것으로 나타났다. 유역면적 39.45 km^2 인 삼용보 유역의 토지이용은 밭이 7.99 km^2 로 전체의 20.4 %, 논이 3.39 km^2 로 전체의 8.7 %, 삼림이 25.20 km^2 로 전체의 64.3 %, 초지가 2.13 km^2 로 전체의 5.4 %, 나지가 0.04 km^2 로 전체의 0.1 %, 주거지가 0.39 km^2 로 전체의 1.0 %, 수역이 0.05 km^2 로 전체의 0.1 %를 차지하는 것으로 나타났다.

2. 연구자료

농업기반시설 홈페이지의 농업용수관리 그래픽보기에서 맹동지의 유효저수율을 1991년부터 2009년까지 수집하여 일별 저

Table 1 Characteristics of reservoir and weir in the study area

Reservoir name	Total storage capacity ($10^4 m^3$)	Effective storage capacity ($10^4 m^3$)	Watershed area (ha)	Irrigated area (ha)	Full water level (EL.m)
Maengdong	1,269	1,227	706	1,338.5	125.0
Samryong	-	-	3,945	33.7	125.5
Weonnam	879	869	7,600	852.1	115.7

Fig. 1 Study area including Maengdong and Weonnam reservoir watershed

Fig. 2 An example on meteorological data at Cheonju (2008)

수량으로 환산하여 모의 저수량과 비교하는데 사용한다.

강우량은 유역조사의 자료를 1966년부터 사용하며, 최근의 자료는 인근 기상청의 자료를 사용하는 것을 기본으로 한다. 기상 자료는 Fig. 2와 같은 기상청의 청주관측소 자료를 적용한다.

3. 연구방법

연구지역의 하천유량, 저수지 유입량 및 보의 취수량 자료가

Fig. 3 Flow of this study

전혀 없고, 저수지의 저수량 자료만 있는 상태이다. 유역배율이 0.53에 불과한 맹동지의 유입량을 유역외의 삼용보에서 확보 가능량을 분석하기 위해 Fig. 3과 같은 순서로 연구를 수행하였다. 유입량을 모의하고, 관개용수 공급량을 추정하여 맹동지의 저수량 변화를 모의한다. 모의 결과를 관측치와 비교하여 오차가 최소로 되는 유입량 매개변수를 결정한다. 결정된 매개변수로 직접유역과 간접유역의 유입량을 각각 모의하고, 삼용보의 유입량 매개변수 결정 과정에서 정해진 적정 취수범위를 적용하여 총 유입량을 계산한다. 확보된 유입량으로 관개용수를 적절히 공급할 수 있는지 평가한다.

가. 저수지 유입량

Kim and Park (1988)은 관개저수지의 유입량을 탱크모형에 의해 모의하였고, Noh et al. (2010)은 용수구역별 물수지 표

Fig. 4 Configuration of DAWAST model for simulating inflows to Maengdong reservoir and Samryong diversion weir

준화 모형에서 저수지 유입량을 DAWAST 모형에 의해 모의하였다. 이 연구에서는 Fig. 1의 DAWAST 모형에 의해 삼용보, 맹동지의 유입량을 모의하는 것으로 하였다. DAWAST 모형 (Noh, 1991; Noh, 2003)은 우리 고유의 기상, 지상자료를 이용하여 개발한 개념적 집중형 일 유출 모형이다. 토양층을 불포화층과 포화층으로 구분하여 토양수분저류능의 일별 물수지에 의해 일 강우, 증발자료를 입력하여 불포화층의 높이 (UMAX), 포화층의 높이 (LMAX), 포장용수량 높이 (FC), 침투투수계수 (CP), 유역증발산계수 (CE) 등 5개 매개변수를 조정하여 일 유출을 모의한다 (Fig. 1).

삼용보의 취수량을 포함하여 맹동지의 유입량을 모의하고 논에 관개용수를 공급할 때 맹동지의 저수량 변화를 모의하여 관측 저수량과의 오차가 최소가 되도록 삼용보 및 맹동지 유입량의 매개변수를 Nelder and Mead (1965)의 제약조건 없는 Simplex 방법에 의해 결정한다.

나. 논 관개 용수량

관개용수 수요량은 단일저수지의 수혜면적에 뿐만 아니라 광역의 지역에 대해서도 효율적 수자원 관리를 위해 필수이다. 좁은 지역에서 실험한 예로 Sohn et al. (2004)은 경북농업기술원 답작 실험포장에서 25 m×80 m의 포장을 8 m×80 m의 3구역으로 나누어 극천수, 천수 및 심수관개 등 3가지 담수심 처리를 하여 2001년부터 2003년까지 3개년 동안 생육기간의 물수지를 분석한 결과, 2001년에 천수관개량이 513.6 mm로

심수관개에 비해 17.7 %가 절약되고, 2002년에 381.1 mm로 25.7 %, 2003년에 226.6 mm로 46.6 %가 절약되며, 관개기간 중 강우량이 각각 499.8 mm, 869.6 mm, 1,028.3 mm로 강우량이 증가할수록 관개량과 관개회수가 줄어든다고 하였다. Ahn and Lee (1990)는 밀양 제대천 유역의 1,441 ha의 논에서 1986년, 1987년 2개년에 걸쳐 대상 지역을 6개 구역으로 나누어 물수지를 조사 분석한 결과, 산간 경사부 답에는 지표수 유입량 5.4 mm/일로 평야부의 16.7 mm/일의 약 1/3에 불과하였고, 지표수 유입량은 영양생장기와 등숙기에 각각 평균 15.5 mm/일, 10.4 mm/일로 계획용수량의 13.3 mm/일, 9.2 mm/일 보다 많았으나 생식생장기에는 12.5 mm/일로 계획용수량 14.0 mm/일 보다 많았다. Ahn and Lee (1990)는 밀양 제대천 유역의 1,441 ha의 논에서 1986년, 1987년 2개년에 걸쳐 관개용수의 반복이용을 조사하였으며, 가능율은 평야부에서 55~70 %, 경사부 답지대에서 15~35 %, 평균 48.3 %이었고, 실제 반복이용율은 평야부에서 21.97 %, 경사부 답지대에서 4.29 %, 평균 17.43 %이었다. 광역의 실험 예로 Lee et al. (1990)은 관개조직 모의조직 모형을 개발하여 반월지구에 적용하여 포장관개효율은 9.8 %, 조직효율은 2.1 %의 개선 효과가 있다고 하였다. Wriedt et al. (2009)는 EPIC모형을 이용하여 지역별 통계, 작물재배면적, 토양, 토지이용, 기후 등 자료로 8년간 10×10 km의 셀별로 유럽의 관개용수 수요량을 추정된 결과 최소 덴마크의 53 mm/년, 최대 스페인의 1,120 mm/년의 범위를 나타냈다.

이 연구에서는 식 (1)의 수정 Penman 방법 (Doorenbos and Pruitt, 1977)의 증발산량 (ET)과 침투량 (I)을 더한 감수심에서 유효유량 (Re)을 뺀 값으로 식 (2)와 같이 논 용수 수요량을 추정하였다. 증발산량은 식 (1)의 잠재증발산량 (ETo)에 작물계수를 곱해 구한다. 잠재증발산량은 태양복사량 (Rn, mm/일)과 풍속함수 (f)와 포화증기압과 실제증기압의 차이 (ea-ed)의 온도증가 (W)와 기상조건 조정값 (C)에 의해 산정하는 수정 Penman 법에 의하며, 현재 우리나라에서 논 의 증발산량을 추정하는 표준 방법이다.

한편, 논 의 담수심 (D)은 식 (3)과 같이 유효유량 (Re)과 관개수량 (Req)에 의해 증가하고 소비수량 (U)에 의해 감소한다. 이로부터 저수지로부터 공급되는 관개수량은 식 (4)와 같이 계산된다 (Noh, 2004). 생육시기별 담수심을 유지하는데 소요하는 일별 관개용수 공급량을 추정하며, 이의 35 %가 농업용수 회귀수로서 하천유출량에 포함되는 것으로 한다 (MOCT, 2006). Kim et al. (2007)은 1996~1997년, 2001~2002년의 4년 동안 수원과 여주에서 10일 간격으로 논 의 담수심을 측정하고 모의한 결과 Nash and Sutcliffe 모형효율이 0.76으로 높은 결과를 제시하였다.

$$ET_o = C[W \cdot R_n + (1-W) \cdot f(u) \cdot (ea-ed)] \quad (1)$$

$$Req(t) = ET(t) + I(t) - Re(t) \quad (2)$$

$$D(t) = D(t-1) + Re(t) + Req(t) - U(t) \quad (3)$$

$$Req(t) = D(t) - D(t-1) - Re(t) + U(t) \quad (4)$$

다. 맹동지로의 삼용보의 적정 취수량

삼용보에서 취수한 기록, 취수의 관리규정이 없는 상태에서 비가 내려 하천유량이 일정 이상일 때 맹동지에서 월류로 인한 손실이 최소가 되도록 하는 관행을 참고하여 적정 취수 범위를 구하는 것으로 하였다.

우선 삼용보의 취수범위의 하한값으로 다목적댐 유입량의 평균 갈수량인 0.2 mm (Noh, 2010b)로 정하고 맹동지 저수량 오차가 최소가 되는 상한값을 찾는다. 다음에 상한값을 고정시키고 저수량 오차가 최소가 되는 하한값의 범위를 반복하여 찾는 방법을 선택하였다.

맹동지의 저수량 오차를 계산하는 절차는 Fig. 3과 같다. 삼용보 유입량을 추정하여 삼용보의 취수량과 맹동지의 자체유입량을 더해 맹동지 유입량으로 한다. 또한 맹동지로부터 1,338.5 ha의 논 관개용수 수요량을 추정하고, 맹동지의 저수량을 모의하여 관측 저수량과 오차의 합을 계산한다. 이 때 유입량 모형

Fig. 5 Procedure for estimating the amount of water intake in Samryong diversion weir

의 매개변수는 디폴트 값을 사용한다.

위의 절차에 의해 삼용보의 취수범위를 결정한 후 식 (5)의 목적함수로 맹동지의 저수량 자료를 이용하여 유입량 모형의 매개변수를 결정한다. 식에서 O_s 는 관측저수량, S_s 는 모의저수량, $nyear$ 는 분석 연수이다.

$$Objective\ function = \min \frac{1}{nyear} \frac{1}{365} \sum (O_s - S_s) \quad (5)$$

라. 맹동지 관개용수 공급 능력

이 연구에서는 모의방법에 의하는 것으로 하였다. 맹동지로부터 1,338.5 ha의 수혜지역에 관개용수만을 공급하는 것이 현재 상태의 저수지 운영 조건이다. 저수량은 식 (6)과 같이 유입량에 의해 증가하고, 저수면 증발량과 방류량에 의해 감소하며, 하천유지유량의 공급은 없고, 기타용수의 공급도 없는 것으로 한다. 하천유지유량의 공급이 있는 경우는 방류량에 포함하여 해석할 수 있다. 유입량은 식 (7)과 같이 자체유역의 유입량과 삼용보에서 취수한 수량으로 구성한다. 또한 저수위가 만수위를 초과하면 식 (8)과 같이 월류량이 발생하는 것으로 구성한다.

$$Smd(i) = Smd(i-1) + QImt(i) - EWmd(i) - SQmd(i) \quad (6)$$

$$QImt(i) = QImd(i) + QTsr(i) \quad (7)$$

$$OVmd(i) = Smd(i) - FSmd, \text{ if } Hmd(i) > FHmd \quad (8)$$

여기서, (i)는 시간 (일)을 나타내며, S는 저수량, QI는 유입량, EW는 저수면 증발량, SQ는 방류량, QT는 유역의 취수량, OV는 월류량, FS는 만수위의 저수량, H는 저수위, FH는 만수위를 나타내며, md는 댕동지, sr은 삼용보 지점을 나타내며, mt는 간접유역과 자체유역을 포함한 댕동지를 의미한다.

삼용보의 적정 운영에 의해 댕동지의 유입량을 확보하고, 수해면적의 관개용수 수요량을 공급할 때 유역배율이 작은 댕동지의 용수공급능력이 적절한 지 분석하는 것으로 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 삼용보에서 댕동지로의 적정 취수량 결정

유출량을 강우량의 단위와 같은 유출심으로 표현하면 유역면적에 상관없이 유량의 크기를 쉽게 판단 할 수 있다. 우리나라 하천의 갈수량을 다목적댐의 유입량 자료로 분석하면 0.1~0.2 mm/일로 나타나고 있다 (Noh, 2010b). 이 자료를 참고하여 Table 2와 같이 취수 범위의 하한값을 0.2 mm/일로 설정했을 때 상한값이 30 mm/일인 경우가 댕동지의 저수량 오차가 최소이었다. 또한 Table 3과 같이 취수 범위의 상한값을 Table 2에서 정한 30 mm/일로 설정했을 때 하한값이 0.15 mm/일인 경우가 댕동지의 저수량 오차가 최소이었다. 여기서, 대청댐 유입량 자료로 결정한 DAWAST 모형 (Noh et.al, 2010a)의 매개변수를 디폴트 값으로 적용하였다. 우선 삼용보 유입량을 모의하여 취수량을 정하고, 댕동지 유입량을 자체유입량과 삼

용보 취수량을 더한 값으로 하였다. 또한 댕동지로부터 논 관개용수 수요량을 공급할 때 저수량 변화를 관측 저수량과 비교하여 연평균 오차합이 최소가 되는 삼용보의 취수 범위를 결정하였다.

Fig. 6은 삼용보의 취수범위와 댕동지의 저수량 오차의 관계를 나타낸 것으로 함수식의 미분 값이 영인 삼용보의 취수 범

Fig. 6 Relationship between lower value of water intake range in Samryong diversion weir and annual mean sum of Maengdong reservoir water storages error

Table 2 Mean sum of Maengdong reservoir water storages error by ranges of water intake in Samryong diversion weir with lower limit value of 0.2 mm fixed

Case No.	Range of water intake in Samryong weir		Water transfer to Maengdong r.	Samryong outflow	Maengdong overflow	Maengdong storage error
	(mm/d)	(m³/s)	(10⁴ m³)	(10⁴ m³)	(10⁴ m³)	(10⁴ m³)
1	0.2~10	0.09~4.57	1010.3	1879.5	55	402.8
2	0.2~20	0.09~9.13	1523.3	1366.6	402	129.3
3	0.2~30	0.09~13.70	1850.5	1038.9	733	73.9
4	0.2~40	0.09~18.26	2037.5	852.3	912	81.2
5	0.2~50	0.09~22.83	2188.7	701.2	1062	87.2

Table 3 Mean sum of Maengdong reservoir water storages error by ranges of water intake in Samryong diversion weir with upper limit value of 30 mm fixed

Case No.	Range of water intake in Samryong weir		Water transfer to Maengdong r.	Samryong outflow	Maengdong overflow	Maengdong storage error
	(mm/d)	(m³/s)	(10⁴ m³)	(10⁴ m³)	(10⁴ m³)	(10⁴ m³)
1	0.1~30	0.05~13.70	1993.1	896.3	874	70.2
2	0.15~30	0.07~13.70	1921.8	967.6	803	68.9
3	0.2~30	0.09~13.70	1850.5	1038.9	733	73.9
4	0.25~30	0.11~13.70	1805.1	1084.3	688	78.6
5	0.5~30	0.23~13.70	1615.5	1273.9	500	106.6

위는 0.135~30 mm/일로 나타났다. 이 취수 범위로 삼용보에서 맹동지로 취수한 수량과 하류 방류량을 구분하면 Fig. 5와 같다. 맹동지로의 취수량은 1,943.2만 m³, 하류 방류량은 946.2만 m³로 분석돼 맹동지로의 취수량은 전체의 67.3 %, 하류 방류량은 32.7 %를 차지하였다. 1999년부터 2005년까지 맹동지의 모의 저수량을 관측 저수량과 비교한 결과는 Fig.

Fig. 7 Water allocation in Samryong diversion weir to Maengdong reservoir water and downstream outflow at water intake range of 0.135~30 mm/d

Fig. 8 Comparison of observed and simulated daily water storages in Maengdong reservoir for calibration periods in time of water intake range of 0.135~30 mm/d in Samryong diversin weir

8과 같으며, 매우 양호한 적합성을 나타냈다. 따라서 삼용보에서의 맹동지로의 적정 취수 범위를 0.135~30 mm/일로 결정하였다.

2. 맹동지 유입량 모의

저수량 자료가 비교적 양호하다고 인정된 보정기간을 1999년

Fig. 9 Parameter optimization for Maengdong reservoir inflow by minimizing sum of error between observed and simulated water storages in time of water intake range of 0.135~30 mm/d in Samryong diversion weir

Fig. 10 Comparison of observed and simulated daily water storages in Maengdong reservoir for all periods in time of water intake range of 0.135~30 mm/d in Samryong diversion weir

부터 2005년까지로 선정하여 1에서 결정한 삼용보의 취수 범위로 맹동지의 유입량을 모의하였다. 또한 맹동지로부터 논 관개 용수량을 공급하면서 저수량 오차를 최소로 하는 DAWAST 모형의 매개변수를 새롭게 결정한 결과는 Fig. 9와 같으며, UMAX 313.8 mm, LMAX 20.3 mm, FC 136.8 mm, CP 0.018, CE 0.007로 나타났다. Fig. 10은 저수량 자료가 있는 1991년부터 2009년까지 전기간의 모의 저수량을 관측 저수량과 비교한 것으로 매우 적합하게 나타났다. 보정기간의 저수량 등가선 비교는 Fig. 11과 같으며, 검정기간을 전기간으로 한 저수량 등가선 비교는 Fig. 12와 같이 관측, 모의 저수량 분포가 45°선을 기준으로 고르게 나타나 결정된 유입량 매개변수의 적합성을 인정하였다.

Fig. 11 Comparison of observed and simulated daily equal value water storages in Maengdong reservoir for calibration periods in time of water intake range of 0.135~30 mm/d in Samryong diversion weir

결정된 매개변수로 1966년부터 2009년까지 삼용보의 유입량 (2,387.3만 m³/년)을 모의하여 삼용보에서 맹동지로 0.135~30 mm/일의 취수범위로 취수한 양과 하류 방류량으로 유입량을 배분한 결과는 Fig. 13과 같이 맹동지로 1,672.9만 m³/년 (70.1 %), 하류로 714.4만 m³/년 (29.9 %)에 이르렀다. 한편 맹동지의 유입량을 모의한 결과는 Fig. 14와 같이 자체유역으로부터 427.1만 m³/년 (20.3 %), 삼용보로부터 1,672.9 m³/년 (79.7 %)로 총 2,100.0만 m³/년에 이르렀다. 이를 요약한 결과는 Table 4와 같으며, 맹동지의 유입량/강우량의 비율은 자체유역으로부터 50.9 %, 유역외를 포함하면 맹동지 유역면적 기준으로 250.2 %, 삼용보 포함 유역면적 기준으로 39.0 %에 이르렀다.

Fig. 12 Comparison of observed and simulated daily equal value water storages in Maengdong reservoir for all periods in time of water intake range of 0.135~30 mm/d in Samryong diversion weir

Table 4 Annual summary of simulation of inflow to Maengdong reservoir

Reservoir or diversion dam	Rainfall		Inflow		Inflow/Rainfall
	(mm)	(10 ⁴ m ³)	(mm)	(10 ⁴ m ³)	(%)
Maengdong inside	1,188.5	839.1	605.0	427.1	50.9
Samryong	1,151.4	4,542.2	605.1	2,387.1	52.6
Maengdong outside	-	-	424.1 (70.1%)	1,672.9	-
Maengdong total	1,170.0	5,381.3	2,974.1	2,100.0	250.2 (39.0)

Fig. 13 Water allocation in Samryong diversion weir to Maengdong reservoir water and downstream outflow at water intake range of 0.135~30 mm/d (1966~2009)

Fig. 14 Simulated monthly inflows to Maengdong reservoir from inside and outside watersheds for all periods in case of water intake range of 0.135~30 mm/d in Samryong diversion weir

3. 맹동지 관개용수 공급 능력

맹동지 자체유역의 427.1만 $\text{m}^3/\text{년}$ (20.3 %)과 삼용보에서 취수한 1,672.9 $\text{m}^3/\text{년}$ (79.7 %)을 포함하여 총 2,100.0만 $\text{m}^3/\text{년}$ 의 유입량을 확보하였으며, 1,338.5 ha의 논에 관개용수를

Fig. 15 Estimating daily irrigation requirements to 1,338.5 ha from Maengdong reservoir from 1966 to 2009

Fig. 16 Drawing operation rule curve from Maengdong reservoir using inflow and irrigation requirement data from 1966 to 2009

공급할 수 있는 지 분석하였다.

관개용수 공급량을 식 (4)에 의해 일별로 모의하였으며, Fig. 15와 같이 4월 24만 m^3 , 5월 259만 m^3 , 6월 250만 m^3 , 7월 411만 m^3 , 8월 450만 m^3 , 9월 145만 m^3 등 총 1,549만 $\text{m}^3/\text{년}$ 에 이르렀다.

Senga (1989)는 일본에서 이수관리곡선을 제안하였으며, Kim 등 (1992)은 해당지의 이수관리곡선을 작성한 바 있다. 이 연구에서 산정한 맹동지의 유입량과 관개용수 공급량 자료를 이용

하여 Fig. 16과 같이 이수관리곡선을 작성하였으며, 연말 저수율을 90 % 이상 확보하기 위해서는 8월 중순부터 관개용수 공급을 제한해야 하는 결과로 나타났다. 그림에서 0으로 표기된 곡선은 기준 저수관리곡선, 5~50으로 표기된 곡선은 방류제한 저수관리곡선이다.

편의상 초기수위는 만수위인 EL. 125.0 m로, 홍수기를 초기 (6.21.~7.21.), 중기 (7.21.~8.20.), 말기 (8.21.~9.20.)로 구분하여 홍수제한수위를 각각 EL. 122.0 m, 123.0 m, 124.0 m로 설정하였다. 또한 하천유지용수를 10월에서 3월까지 비관개기에 이수안전도 90 %에 이르는 양을 공급하는 것으로 하였으며, 정상운영한 경우는 1,412 m³/일, 방류제한 운영한 경우는 36,100 m³/일에 공급할 수 있는 것으로 분석되었다.

이수관리곡선을 적용하지 않고 정상운영한 경우와 이수관리곡선을 적용하여 방류제한 운영한 경우의 저수량 변화를 모의하여 비교한 결과는 Fig. 17과 같다. 정상운영인 경우 연평균 관개용수 공급량은 1,537만 m³, 하천유지용수 공급량은 26만 m³, 용수부족량은 174만 m³, 저수량은 868만 m³, 이수안전도는 90.9 %이었고, 방류제한운영인 경우 연평균 관개용수 공급량은 1,300만 m³, 하천유지용수 공급량은 505만 m³, 용수부족량은 없었고, 저수량은 688만 m³, 이수안전도는 90.9 %이었다.

결과적으로 삼용보에서 총 유입량의 80 % 정도를 취수하여 확보한 유입량으로 1,338.5 ha의 논에 관개용수를 충분히 공급할 수 있었고, 이수관리곡선에 의해 운영하는 경우 10월에서 3월까지 추가로 36,000 m³/일의 하천유지용수를 공급할 수 있는 것으로 분석되었다.

Fig. 17 Drawing operation rule curve from Maengdong reservoir using inflow and irrigation requirement data from 1966 to 2009

IV. 결 론

유역면적 706 ha, 총저수량 1,269만 m³인 충북 음성에 위치한 땡동지는 1,338.5 ha의 수혜면적을 갖는 유역배율이 0.53에 불과한 저수지이다. 유역 밖에 위치한 유역면적 3,945 ha의 삼용보의 연계운영에 의해 땡동지 유입량의 확보 가능성과 관개용수 공급능력을 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 땡동지의 저수량 자료를 이용하여 삼용보의 최적 취수범위를 결정한 결과 0.135~30 mm/일로 나타났으며, 삼용보의 유입량 (2,387.3만 m³/년)은 땡동지로 1,672.9만 m³/년 (70.1 %), 삼용보 하류로 714.4만 m³/년 (29.9 %)으로 배분되었다.

둘째, 땡동지의 저수량 오차가 최소가 되는 DAWAST 모형의 매개변수는 UMAX 313.8 mm, LMAX 20.3 mm, FC 136.8 mm, CP 0.018, CE 0.007로 나타났으며, 땡동지의 유입량은 자체유역으로부터 427.1만 m³/년 (20.3 %), 삼용보로부터 1,672.9만 m³/년 (79.7 %)로 총 2,100.0만 m³/년에 이르렀다. 땡동지의 유입량/강우량의 비율은 자체유역으로부터 50.9 %, 유역외를 포함하면 땡동지 유역면적 기준으로 250.2 %, 삼용보 포함 유역면적 기준으로 39.0 %에 이르렀다.

셋째, 관개용수 공급량을 일별로 모의한 결과 4월 24만 m³, 5월 259만 m³, 6월 250만 m³, 7월 411만 m³, 8월 450만 m³, 9월 145만 m³ 등 총 1,549만 m³/년에 이르렀다. 일별 유입량, 관개용수 공급량 자료를 이용하여 땡동지의 이수관리곡선을 작성하였으며, 연말 저수율을 90 % 이상 확보하기 위해서는 8월 중순부터 용수공급 제한이 필요한 것으로 분석되었다.

넷째, 초기수위를 만수위인 EL. 125.0 m로, 홍수기를 초기 (6.21.~7.21.), 중기 (7.21.~8.20.), 말기 (8.21.~9.20.)로 구분하여 홍수제한수위를 각각 EL. 122.0 m, 123.0 m, 124.0 m로 설정하고, 하천유지용수를 10월에서 3월까지 비관개기에 이수안전도 90 %에 이르는 양을 공급하는 것으로 할 때 정상운영한 경우는 1,412 m³/일, 방류제한 운영한 경우는 36,100 m³/일을 관개용수 외에 추가로 공급할 수 있는 것으로 분석되었다.

다섯째, 이수관리곡선을 적용하지 않고 정상운영한 경우 연평균 관개용수 공급량은 1,537만 m³, 하천유지용수 공급량은 26만 m³, 용수부족량은 174만 m³, 저수량은 868만 m³, 이수안전도는 90.9 %이었고, 이수관리곡선에 의해 방류제한운영한 경우 연평균 관개용수 공급량은 1,300만 m³, 하천유지용수 공급량은 505만 m³, 용수부족량은 없었고, 저수량은 688만 m³, 이수안전도는 90.9 %이었다.

결과적으로 땡동지는 삼용보 유입량의 70 % 정도를 땡동지

로 취수하여 확보한 총 2,100.0만 m^3 /년의 유입량으로 1,338.5 ha의 논에 1,537만 m^3 /년의 관개용수를 충분히 공급할 수 있었고, 이수관리곡선에 의해 운영하는 경우 10월에서 3월까지 추가로 36,000 m^3 /일의 하천유지용수를 공급할 수 있는 것으로 분석되었다.

REFERENCES

- Ahn, S. S., S. D. Jeong, and J. S. Lee, 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, S. Y. and K. H. Lee, 1990. Water balance on paddy fields in Jedae Cheon basin. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 32(3): 56-66 (in Korean).
- Ahn, S. Y. and K. H. Lee, 1991. Repeated use of irrigation water for paddy fields in Jedae Cheon basin. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 33(3): 63-72 (in Korean).
- Batalla, R. J., C. M. Gómez, and G. M. Kondolf, 2004. Reservoir-induced hydrological changes in the Ebro river basin (NE Spain). *Journal of Hydrology* 290: 117-136.
- Choi, Y. S., K. S. Ahn, and M. K. Park, 2000. Development of optimal reservoir system operation model for water supply by applying MIP technique and reappraisal of water supply capability of Nakdong river basin. *Journal of Korea Water Resources Association* 33(4): 147-159 (in Korean).
- Doorenbos, J. and W. O. Pruitt, 1977. *Guidelines for Predicting Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Rome.
- Haddeland I., D. P. Lettenmaier, and T. Skaugen, 2006. Effects of irrigation on the water and energy balances of the Colorado and Mekong river basins. *Journal of Hydrology* 324: 210-223.
- Kang, M. G. and S. W. Park, 2005. Assessment of additional water supply capacity using a reservoir optimal operation model. *Journal of Korea Water Resources Association* 38(11): 937-946 (in Korean).
- Kim, H. Y. and S. W. Park, 1988. Simulating daily inflow and release rates for irrigation reservoirs (III). *Journal of Korean Agricultural Engineers* 30(3): 95-105 (in Korean).
- Kim, S. J., G. A. Park, and H. J. Kwon, 2007. Evaluation of paddy water storage dynamics during flood period in South Korea. *KSCE Journal of Civil Engineering* 11(5): 269-276.
- Kim, T. C., J. K. Noh, S. K. Park. 1992. Operation rule of irrigation reservoir. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*: 34(1): 33-49 (in Korean).
- Lee, N. H., H. W. Chung, and S. W. Park, 1990. Simulating daily operational characteristics of irrigation systems. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers* 32(3): 67-78 (in Korean).
- McMahon, T. A., R. M. Vogel, G. G. S. Pegram, M. C. Peel, and D. Etkin, 2007. Global streamflows - Part 2: Reservoir storage-yield performance. *Journal of Hydrology* 347: 260-271.
- Ministry of Construction and Transportation (MOCT), 2006. *2020 Water Vision (Modified)*. (in Korean).
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), 2009. *Master plan for 4 Major Rivers Restoration Project*. (in Korean).
- Nelder, J. A. and R. Mead, 1965. A simplex method for functional minimization. *The Computer Journal* 9: 308-313.
- Noh, J. K., 1991. A conceptual watershed model for daily streamflow based on soil water storage. Ph. D. dissertation, Seoul, Korea: Seoul National University. (in Korean).
- Noh, J. K., 2003. Applicability of the DAWAST considered return flows. *Journal of the Korean Water Resources Association* 39(11): 1095-1105. (in Korean).
- Noh, J. K., 2004. A system for estimating daily paddy irrigation water requirements in simulating daily streamflow. *Journal of Korean Agricultural Engineers* 46(7): 71-80. (in Korean).
- Noh, J. K., 2009. Increasing instreamflow in Nonsancheon by water storage securing scenario of upstream reservoirs. *Journal of Agricultural Science* 36(1): 99-109, Chungnam National University. (in Korean).
- Noh, J. K., J. N. Lee, and Y. K. Kim, 2010. Development of standardized water balance model for

- applying irrigation district in South Korea. *Journal of Agricultural Science* 37(1): 105-112, Chungnam National University. (in Korean).
22. Noh, J. K., 2010a. Estimation of inflows to Jangchan reservoir from outside watershed by minimizing resevoir water storage errors. *Journal of Korean Agricultural Engineers* 52(5): 61-68 (in Korean).
23. Noh, J. K., 2010b. How much flows in streams of New Zealand?. *Magazine of Korea Water Resources Association* 43(1): 16-23. (in Korean).
24. Senga, Y. 1989. *Soft Science of Water Resources*. pp. 45-75. Rokudowu Publishing (in Japanese).
25. Sohn, S. H., K. J. Park, and S. O. Chung, 2004. Analysis of water balance for ponding depth treatment in paddy fields. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 46(4): 13-21 (in Korean).
26. Wriedt, G., M. V. Velde, A. Aloe, and F. Bouraoui, 2009. Estimating irrigation water requirements in Europe. *Journal of Hydrology* 373: 527-544.
27. Wurbs, R. A. 2005. Modeling river/reservoir system management, water alocation, and supply reliability. *Journal of Hydrology* 300: 100-113.
28. Yi, J. E. and J. W. Song, 2002. Evaluation of water supply capacity for multi-purpose dam using optimization and simulation techniques. *Journal of Korean Society of Civil Engineers* 22(6B): 811-818 (in Korean).