

도시 하천유지유량 공급의 저수지 운영 방법

노재경^{1*} · 이재남²

¹충남대학교 지역환경토목학과, ²충남대학교 대학원 농공학과

Operation rule curve for supplying urban instream flow from reservoir

Jackyoung Noh^{1*}, Jaenam Lee²

¹Dept. of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Dept. of Agricultural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Received on 14 February 2011, revised on 6 March 2011, accepted on 9 March 2011

Abstract : To provide the operation rule curve for supplying instream flow to urban stream from reservoir, the Soho reservoir with watershed area of 7.4 km² and total water storage of 2.58 Mm³ was planned at the headwaters of the Daejeoncheon. Daily streamflow was simulated and using the simulated streamflow and desired instream flow, the operation rule curve by Senga method was drawn and evaluated through reservoir operation. Senga method is derived by accumulating the differences between streamflow and desired instream flow adversely. Water storages were simulated on a daily basis to supply urban instream flow from Soho reservoir, but the amount of supplying instream flow to urban stream was not nearly increased comparing with that of normal operation that does not used the rule curve. Thereafter the new simulation-based operation rule curve was derived and applied to supply instream flow from Soho reservoir. In normal operation, the amount of instream flow was shown to 15,000 m³/d, but it was increased to 27,700 m³/d in withdrawal limited operation using the new derived rule curve, in which the applicability of this rule curve was proved. Also comparing with the flow duration curves at station just before urban Daejeoncheon stream without and with upstream Soho reservoir, the 95th flow was decreased from 1.64 mm/d to 1.51 mm/d, and the 355th flow was increased from 0.17 mm/d to 0.30 mm/d. Monthly streamflows during October to March were increased from 10.6~24.1 mm to 24.1~34.0 mm with the increasing rate of 141~227%.

Key words : Reservoir plan, Operation rule curve, Urban stream, Instream flow

I. 서론

최근 하천 건전화가 심해지고 있다. 특히 도시하천은 하천유량이 크게 감소하였다. 2010년 국회입법사무처는 도시유역의 물순환 변화요인으로 불투수면적 증가, 과도한 지하수 사용, 하수도 차집, 하천 취수량 증대 및 산림에 의한 증발산량 증가 등을 지적하고, 현재 분류 하천수 취수에 의한 상류 공급, 하수처리 방류수 공급, 지하철 용출수 공급, 농업용 저수지 활용 등의 물순환 건전화 방안이 이용되고 있다고 보고하였다. 또한 도시 물순환 건전화를 위해 단기적으로 환경개선용수에 대한 인식 제고, 하수처리 수

질기준 강화, 분류식 하수정비 확대, 농업용 저수지 활용 등을, 장기적으로 건전화 영향평가제도 도입, 불투수면적의 제도적 관리, 지하수 관리 체계 강화, 기존연구사례 활용 등을 고려해야 한다고 하였다(Kim, 2010).

대전시는 유등천의 한밭대교 인근에 145 m의 취수여울과 가압 펌프장을 설치하고 펌프장에서 끌어올린 물과 대청댐 원수를 8.7 km 상류인 대전천의 옥계교로 흘러보내 대전천 수심을 10~30 cm로 유지하도록 했으나, 취수여울에 장기간 저류돼 썩은 물이 대전천에 흐르면서 악취가 발생하는 등 많은 문제를 야기하였다(Lee, 2008). 도시 건전화로 인한 유량감소로 차집 후에도 잔류 유량의 수질이 개선되지 않아 문제가 된 사례로 아직도 취수여울을 정상 운영하지 못하고 있다. 또한 하수처리수의 이용은 아직 질소, 인 등의 수질이 갈수기 하천수질에 악영향을 미쳐 고도처

*Corresponding author: Tel: +82-42-821-5796

E-mail address: jknoh@cnu.ac.kr

리가 필요한 상태이다.

적극적인 방법으로 저수지의 활용을 들 수 있으며, 자체 유역 또는 인근 유역의 저수지 용수를 이용할 수 있다. 4대 강 살리기에서 96개 저수지의 뚝 높이기에 의해 저수량을 확보하여 2.5억 m³/년의 하천유지유량을 공급하는 방안을 제시하였다(MLTM, 2009). 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 등(2007)은 25년 이상의 연속자료를 가진 세계 729개 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, 관계식을 유도하는데 이론적 Gould-Dincer Gamma법이 적합하다고 하였다.

저수지 운영은 홍수조절과 용수공급을 위해 적절하게 이뤄져야 한다. Wei와 Hsu (2009)는 다목적 저수지군의 실시간 홍수조절을 위해 나무형의 최적 방류 기준을 설정하였으며, 2004년의 Aere, Haima, Nock-ten 등 태풍에 대해 대만의 Tanshui 강 저수지 군에 적용한 결과 기존 방법에 비해 침투유량 감소, 목표 저수량 달성 등에서 우수하다고 하였다. Chang 등(2010)은 제약조건이 있는 유전자 알고리즘(CGA)의 최적 저수지 운영 방법을 제안하여 대만의 Shihmen 저수지와 하류하천에 적용한 결과 인간을 위한 용수부족을 적게 하고 자연을 위한 생태유량을 증가시키는 효과를 보여주었다. Ngo 등(2007)은 최적화와 모의 방법을 병합하여 베트남의 Hoa Binh 저수지의 홍수조절과 발전, 갈수기의 수위확보를 위한 운영 전략을 수립하였다. Kim 등(2008)은 AR(1) 모형을 이용하여 100년 이상의 유입량 자료를 생성하고, 다목적 유전자 알고리즘(NSGA-II)의 다목적 목적함수를 사용하여 소양강댐의 확률 저수량을 예측하는 운영률을 제시하였다. Akbari 등(2011)은 퍼지상태 추계학적 DP(FSDP)와 다기준 의사결정(MCDM)을 병합하여 다목적 저수지의 운영률을 개발하여 유입량의 불확실성과 변수와 목적함수의 부정확성을 반영하였으며, 이란의 Karoon 1 저수지에 적용하여 실제 저수지 운영의 여러 가지 불확실성을 표현하였다. Afshar 등(2011)은 저수지군의 운영률을 개발하기 위해 HBMO(꿀벌 최적 교집)

알고리즘을 개선하였으며, 용수공급과 발전의 다목적 저수지군의 방류량과 저류량 균형 함수를 결정하는데 사용하였다.

이수관리곡선은 일본의 관개용 저수지의 이수관리를 위해 제시한 방법(Senga, 1989)으로 관개기말부터 거꾸로 하천유량과 관개 필요수량을 비교하여 부족수량을 누가시켜 작성된 곡선이다. 주로 관개용수 공급을 위해 작성하였으나 타 용수를 위해서도 작성할 수 있으며, 우리나라 다목적댐의 시기별 확보수위도 이 방법에 의해 계산하고 있다. Kim 등(1992)은 예당저수지의 이수관리곡선을 작성하였고, Kim 등(2003)은 이수관리곡선에 의해 순환관개모형을 개발하여 동화댐 수해지역에 적용하였다. Lee와 Noh(2010)은 이수관리곡선에 의해 백곡지의 하천유지유량 공급량을 분석하였다. Noh(2009a)는 논산천의 상류에 위치한 탐정, 대둔, 계룡, 갑천저수지 등의 증고 시나리오에 따른 논산관측소 지점의 하천유지유량 증가효과를 분석하였다. 아직 하천유지유량 만을 공급하는 저수지는 찾아보기 힘들며, 그 용수이용 패턴도 관개용수와 다르다. 또한 이수관리곡선은 용수공급에 지장이 없도록 저수량이 확보돼 있어야 한다. Senga의 이수관리곡선은 주로 관개용 저수지에 활용되었으며, 관개기 전에는 저수량이 확보돼 있어야 하는데 일본은 8월 중에 관개기가 끝나기 때문에 저수량을 확보하는데 거의 문제가 발생하지 않지만 우리나라의 일부 저수지는 관개기가 끝나기 전에 관개공급에 제한을 두어야 저수량이 확보된다(Noh, 2011). 또한 일정기간 하천유지유량을 공급하는 경우에도 이와같은 문제가 야기될 수 있다. 따라서 새로운 방법의 이수관리곡선의 마련이 절실히 요구되고 있다.

이 연구에서는 도시 하천유지유량을 공급하는 저수지가 없는 실정이기 때문에 도심하천인 대전천 상류에 신규저수지를 계획하여 하천유지유량 공급의 이수관리곡선을 작성하여 그 적용성을 평가하고, 적합하지 않는 경우 새로운 방법의 이수관리곡선을 마련하는 대안을 모색해 보고자 한다.

II. 연구자료 및 방법

1. 연구자료

가. 대상지역

유등천과 대전천의 합류점(④지점, DJ)을 중점으로 하

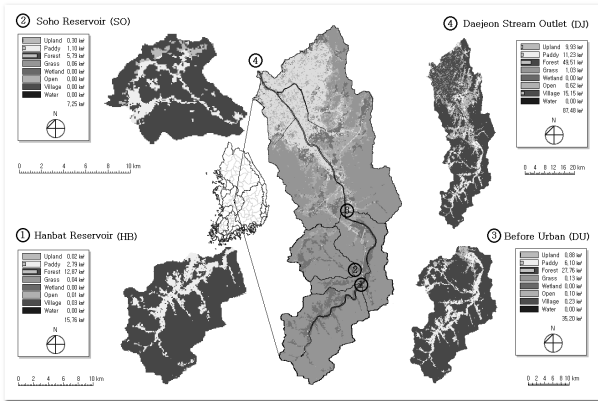


Fig. 1. Site of study area.

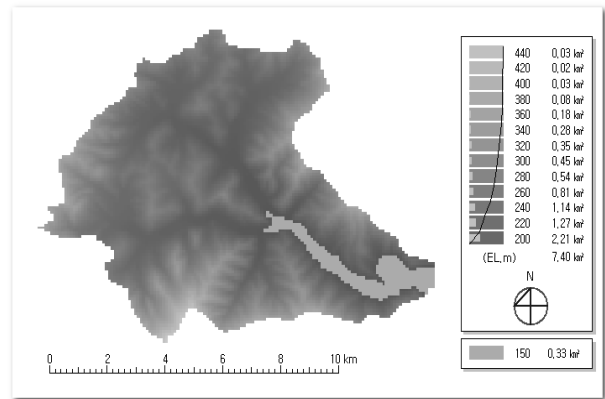


Fig. 3. DEM of Soho reservoir.

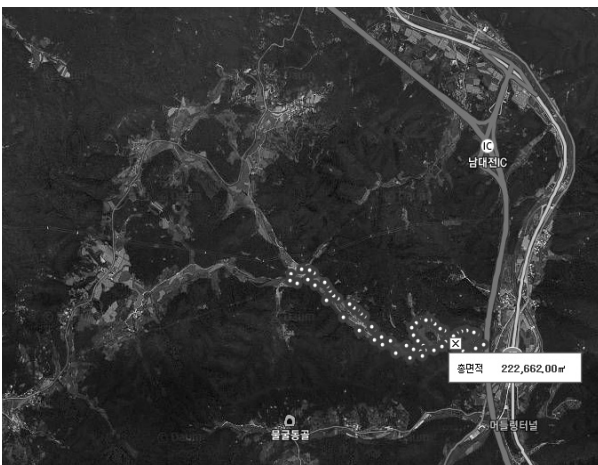


Fig. 2. Site of Soho reservoir.

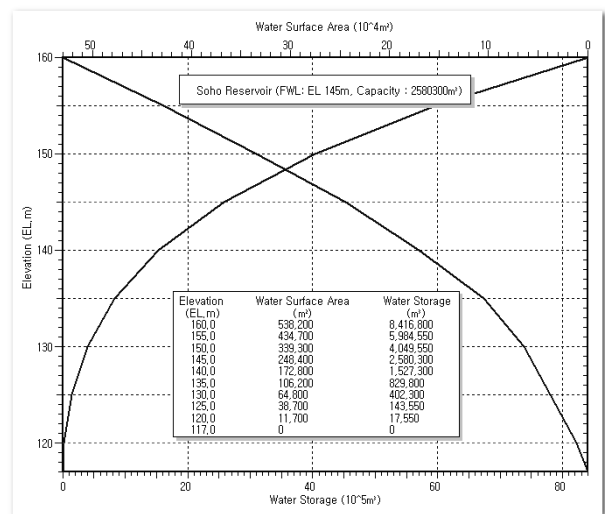


Fig. 4. Area capacity curve of Soho reservoir.

는 상류유역이 대상지역(Fig. 1)이며, 상류의 삼괴동 본류 지점에 한밭 저수지 적지(①지점, HB)가 위치하며, 지류의 소호동 지점에 소호 저수지 적지(②지점, SO)가 위치하고, 산내 지점에서 도시화 구간(③지점, DU)이 시작돼 이 지점부터 도시지역의 유량이 모두 차집되는 것으로 가정한다. 저수지의 명칭은 모두 가칭이다. 여기서 단순화를 위해 소호 저수지만을 대상으로 한다.

나. 소호 저수지의 위치와 규모

Noh(2009b)는 대전천 상류에 한밭, 소호 저수지의 적지를 제시하였다. 소호저수지에 대해 스카이뷰 사진(<http://www.daum.net>)에서 위치를 확인하고, 30×30 m의 DEM으로부터 표고별 저수면적, 저수량 곡선을 추출한 것은 각각 Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4와 같다. DEM 자료는 실제 측량자료와 다를 수 있기 때문에 정밀한 분석을 위해서는 측량을 실시해야 한다.

다. 수문기상자료

1966년부터 2010년까지 수문, 기상자료를 사용하며, 2001까지는 유역조사 자료를 기본으로 사용하고, 2002년부터는 대전기상청의 자료를 사용한다. 대청댐 유입량 자료를 이용해 유출모형의 매개변수를 결정하고, 유역내의 유량관측자료가 없기 때문에 비록 하루에 위치하지만 신뢰성이 있다고 판단된 오염총량 관리지점인 갑천A 지점에서 2004년부터 8일 간격으로 측정된 유량자료(<http://water.nier.go.kr/smat>)를 이용하여 모형을 검증한다.

2. 연구방법

가. 유출모형

저수지 유입량, 하천유량의 모의를 위해 용수수요를 고려한 DAWAST 모형(Noh, 2003)을 적용하고, 논용수량의

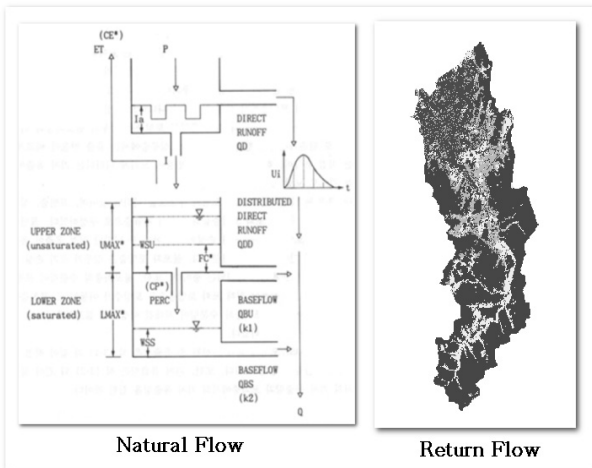


Fig. 5. Model configuration for generating streamflow.

일별 수요량은 일별로 추정(Noh, 2004)하여 35%를 회귀수로 반영한다(MOCT, 2006). DAWAST 모형은 우리 고유의 기상, 지상자료를 이용하여 개발한 개념적 집중형 일 유출 모형이며, 토양층을 불포화층과 포화층으로 구분하여 물수지에 의해 토양수분저류능을 일별로 나타내, 이를 근거로 일 강우, 증발자료를 입력하여 불포화층의 높이(UMAX), 포화층의 높이(LMAX), 포장용수량 높이(FC), 심층투수계수(CP), 유역증발산계수(CE) 등 6개 매개변수를 조정하여 일 유출을 모의한다(Noh, 1991). Fig. 5는 유역의 자연유량은 DAWAST 모형에 의해 모의하고, 토지이용분석에 의한 용도별 용수수요량에서 회귀되는 회귀수량을 더해 하천유량을 구성하는 것을 나타내고 있다.

나. 이수관리곡선 작성

소호 저수지로부터 하천유지유량 만을 공급하는 경우에 이수관리곡선을 작성한다. 이 때 소호저수지의 규모를 만수위 EL, 145 m의 총저수량 258만 m³인 경우로 한다. 하천유지유량 공급은 연중 공급, 일정기간 공급 등 다양하다. 여기서는 갈수기인 10월부터 3월까지 공급하는 것으로 단순화한다.

이수관리곡선은 하천유량과 용수수요량의 차이를 거꾸로 누가시켜 얻은 곡선이다. 농업용수는 관개기말을 시점으로 거꾸로 계산하며, 다른 용수는 용수수요가 끝나는 시점을 기준으로 해야 하나 편의상 연말이나 관개기말을 기준으로 한다. 필요저수량(V)은 저수지 유입량(QI)에서 관개용수량(Req)과 하천유지유량(Qm)을 공급하고 남은 값이 양이면 감소하고, 음이면 증가하며, 이를 거꾸로 누가한

값이 시기별 확보 저수량이 된다. 또한 필요저수량이 0 보다 적으면 0으로 한다.

$$V(t) = V(t+1) - (QI(t) - Req(t) - Qm(t)) \quad (1)$$

$$\text{if } V(t) < 0 \text{ then } V(t) = 0 \quad (2)$$

또한 용수 수요량을 제한하여 공급량을 새롭게 산정하여 작성한 것은 방류제한곡선이 되며, 5~50%까지 5% 간격으로 방류제한곡선을 작성한다. 예로 방류제한 5%이면 용수 수요량의 95%를 공급하는 것이며, 저수량이 이수관리곡선 이하로 내려오면 해당 방류제한을 만큼 방류를 제한하여 용수를 절약한다. 여기서 50% 이상의 방류제한은 50%로 한다.

다. 상류 저수지 운영에 따른 하류 하천유량

표준화 물수지 모형(Noh 등, 2010)에서 하천망에 따라 하천유량을 10가지 공식으로 표현하였으며, 대전천의 도심 직전 지점의 유량은 소호 저수지가 각각 있는 경우 식(3)에 의해 계산되며, 저수지의 저수량은 식(4)와 같이 표현된다.

$$Qdu(i) = SQso(i) + OVso(i) + QLdu(i) \quad (3)$$

$$S(i) = S(i-1) + QI(i) - EW(i) - SQ(i) \quad (4)$$

$$OV(i) = S(i) - FS, \text{ if } H(i) > FH \quad (5)$$

여기서, (i)는 시간(일)을 나타내며, QI는 유입량, SQ는 방류량, OV는 월류량, QL은 상류에 위치한 상류 저수지 유역을 제외한 지류 유입량, S는 저수량, EW는 저수면 증발량, FS는 만수위의 저수량, H는 저수위, FH는 만수위를 나타내며, du는 대전천의 도심 직전 지점, so는 소호 저수지를 나타낸다.

라. 새로운 이수관리곡선 작성

본 연구에서 제시하는 새로운 방법의 이수관리곡선은 저수량 모의를 기반으로 한다. 저수량 모의 결과는 장기간의 저수지의 유입량과 각종 용수 공급량의 변화, 그리고 시기별 저수량 확보 등 모든 것을 반영하여 나타내는 것이므로 보다 합리적 방법이라 판단한다.

우선 이수안전도에 이르는 용수공급량을 결정한 후 30년 이상의 장기간 일별 저수량 모의 결과로부터 일별로 10~

30년의 해당 재현기간의 저수량을 산정하여 이를 연결한 곡선을 기준저수량 곡선으로 한다. 다음에 일별 용수공급량을 5%씩 증가시키면서 위의 똑같은 절차에 의해 구한 곡선이 방류제한곡선이 된다. 이와 같이 작성한 이수관리곡선에서 일별로 각 저수량이 위치한 방류제한곡선에 따라 용수공급을 제한하는 운영을 실시함으로써 저수량 고갈의 위험을 경감시키며 원활한 이수관리를 하도록 하는 방법이 될 수 있다.

III. 결과 및 고찰

가. 유출모형의 검증

대청댐 유입량 자료를 이용하여 DAWAST 모형의 매개변수를 결정된 결과는 문헌(Noh, 2010)과 같으며, 결정된 매개변수는 UMAX 315 mm, LMAX 20 mm, FC 130 mm, CP 0.018, CE 0.007 등이다.

결정된 매개변수를 갑천A 지점 유역에 적용하여 일별로 유출량을 모의하여 8일 간격으로 측정된 유량과 비교한 결과는 Fig. 6과 같으며, 2004년부터 2009년까지 연 유출률 90.0%를 나타냈으며, Nash and Sutcliffe의 모형효율은 0.941로 모의 결과가 사용할 수준이라 평가하였고, 분석기간 동안 소호저수지의 유입량과 대전천 도심직전의 지점 유출량을 모의하는데 결정된 매개변수를 적용하는 것으로 하

였다. 갑천A 지점의 유출률이 90%로 높은 것은 대전 하수처리장 방류수가 포함되었기 때문이다. 현재 하수처리 방류수는 7~9 m³/s에 이른다.

나. Senga 방법의 이수관리곡선

이수관리곡선(Senga, 1989)은 연말이나 용수공급기간의 말부터 필요수량을 거꾸로 누적한 값으로 최대값을 확보저수량이라 할 수 있다. 여기서는 편의상 연말부터 거꾸로 계산하였으며, 만수위 EL. 145 m, 총 저수량 258만 m³인 소호저수지에 대해 10월부터 3월까지 2.9만 m³/일의 하천유지유량을 공급할 때 이수관리곡선의 최대저수량은 Fig. 7과 같이 249만 m³으로 총 저수량에 근접하게 나타났다.

이와같이 작성한 이수관리곡선을 이용하여 10월부터 3월까지 2.9만 m³/일의 하천유지유량을 공급한 결과 저수량은 Fig. 8과 같이 나타났으며, 정상 운영하면 45개년 중 44개년에서 용수부족이 발생하여 이수안전도는 2.2%에 불과하였고 방류제한 운영하면 용수부족은 38개년에서 발생하여 이수안전도는 15.6%에 불과한 것으로 나타났다.

따라서 저수량을 일별로 모의하여 이수안전도 90%에 이르는 하천유지유량을 결정한 결과 1.5만 m³/일이었으며, 이 경우 이수관리곡선을 작성한 결과는 Fig. 9와 같이 나타났고, 10월부터 3월까지 1.5만 m³/일의 하천유지유량을 공급한 결과 저수량은 Fig. 10과 같이 나타났으며, 정상 운영하면 45개년 중 4개년에서 용수부족이 발생하여 이수안전도는 91.1%에 이르렀고 방류제한 운영하면 용수부족은 발

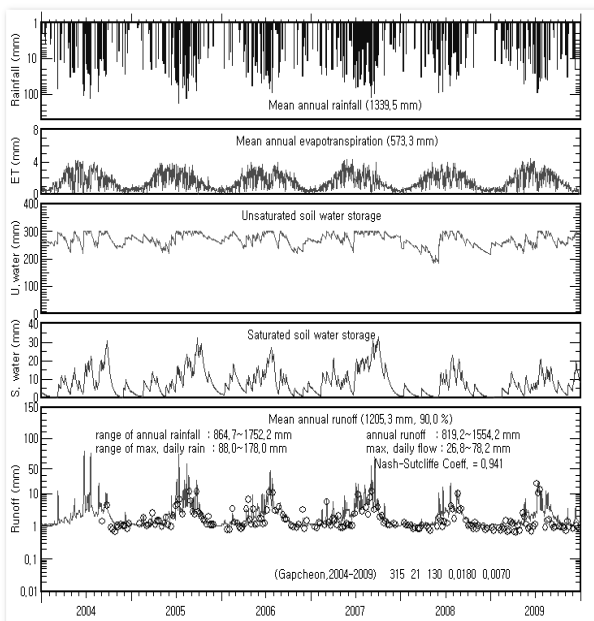


Fig. 6. Comparison of observed and simulated daily streamflows at Gapcheon A station.

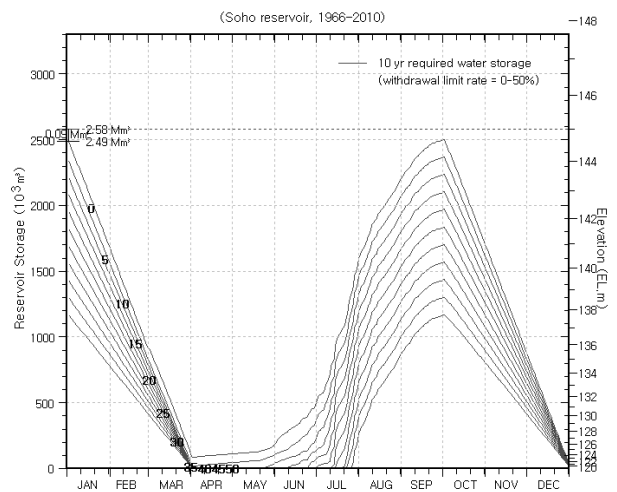


Fig. 7. Operation rule curve in time of supplying instream flow of 29,000 m³/d from October to March from Soho reservoir with full water level of EL. 145 m and total water storage of 2.58 Mm³ by Senga's method.

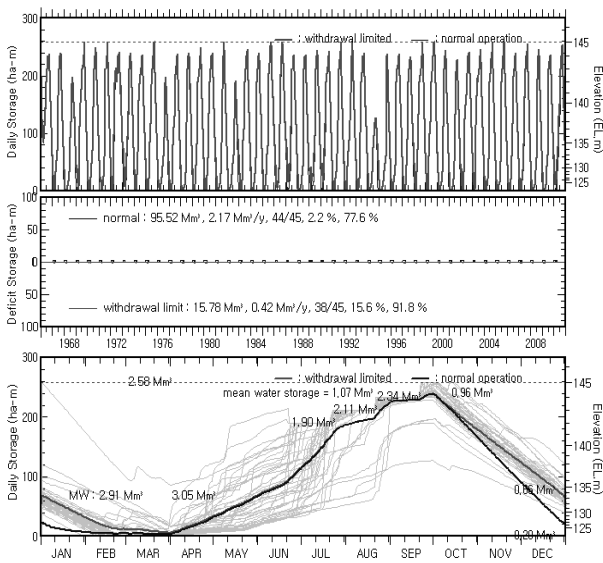


Fig. 8. Daily water storages in time of supplying instream flow of 29,000 m³/d from October to March from Soho reservoir with full water level of EL. 145 m and total water storage of 2.58 Mm³ by normal and withdrawal limited operations using Senga's operation rule curve.

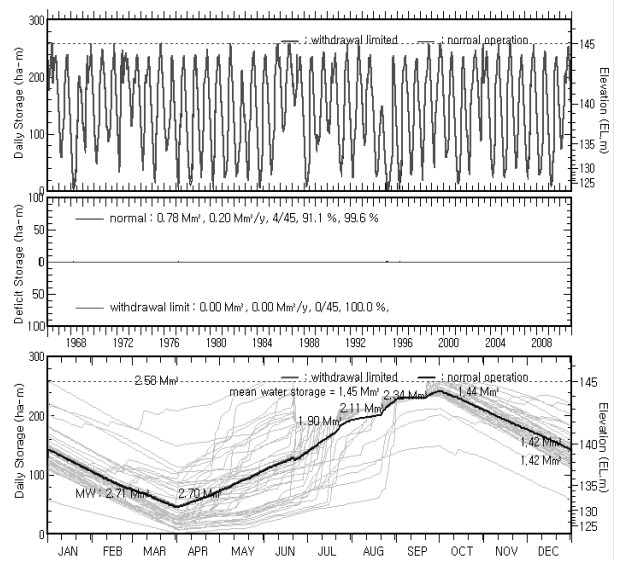


Fig. 10. Daily water storages in time of supplying instream flow of 15,000 m³/d from October to March from Soho reservoir with full water level of EL. 145 m and total water storage of 2.58 Mm³ by normal and withdrawal limited operations using Senga's operation rule curve.

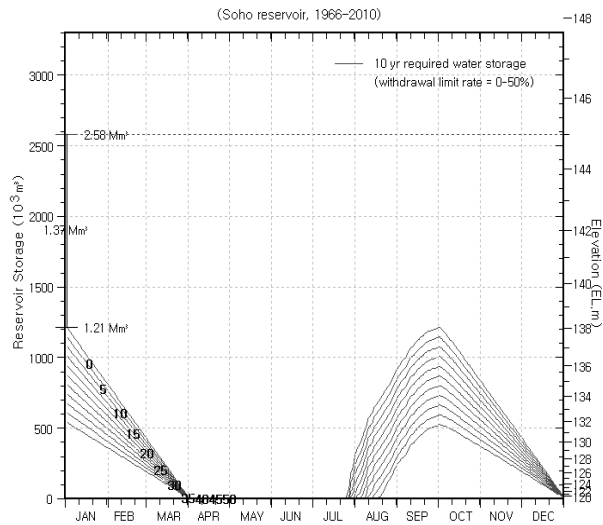


Fig. 9. Operation rule curve in time of supplying instream flow of 15,000 m³/d from October to March from Soho reservoir with full water level of EL. 145 m and total water storage of 2.58 Mm³ by Senga's method.

생하지 않았다. 또한 모의 저수량 자료로부터 정상 운영과 방류제한 운영의 결과가 거의 일치되게 나타나 차이를 확인할 수 없었다. 즉, 이수관리곡선의 효과가 전혀 나타나지 않았다. Fig. 9에서 기준저수량 곡선이 홍수기 제한수위 이하로 나타나 자연스럽게 홍수기 제한수위를 적용하는 것으로 되지만 이수관리의 효율성을 판단해야 한다.

물론 하천유지용수의 공급기간 말인 3월말부터 거꾸로 하여 이수관리곡선을 작성하면 다르게 나타날 것이지만 여기서는 생략하였다.

다. 새로운 이수관리곡선

Senga의 이수관리곡선 운영의 효과가 전혀 나타나지 않았기 때문에 저수량 모의 기반의 새로운 방법의 이수관리곡선을 작성하여 적용하는 것으로 하였다.

이수안전도를 90%로 정하여 만수위 EL. 145 m, 총 저수량 258만 m³인 소호저수지에 대해 10월부터 3월까지 일별 저수량 모의 결과로부터 1.5만 m³/일의 하천유지유량을 공급할 수 있는 것으로 분석되었다. 이로부터 새로운 방법의 이수관리곡선은 Fig. 11과 같이 작성되었다. 여기서 홍수기에 홍수제한수위를 두는 것으로 하였으며, 편의상 6월 21일부터 7월 20일까지는 EL. 142 m, 7월 21일부터 8월 20일까지 EL. 143 m, 8월 21일부터 9월 20일까지 EL. 144 m로 설정하였다.

이와같이 작성한 이수관리곡선을 이용하여 10월부터 3월까지 1.5만 m³/일의 하천유지유량을 공급한 결과 저수량은 Fig. 12와 같이 나타났으며, 정상 운영하면 45개년 중 4개년에서 용수부족이 발생하여 이수안전도는 91.1%이었고 방류제한 운영하면 용수부족은 발생하지 않았다. 또한 모의

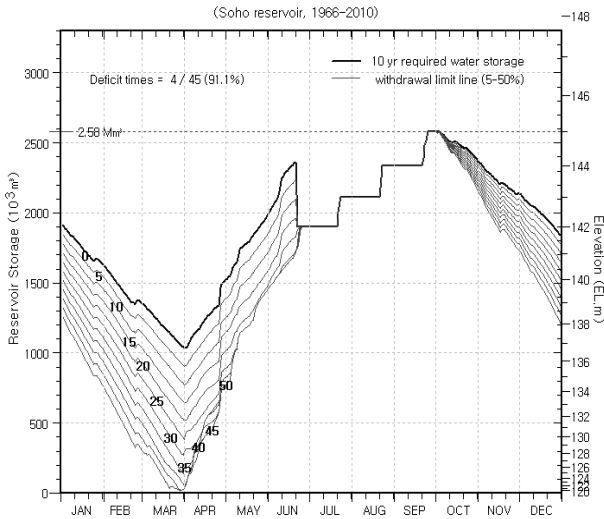


Fig. 11. Operation rule curve in time of supplying instream flow of 15,000 m³/d from October to March from Soho reservoir with full water level of EL. 145 m and total water storage of 2.58 Mm³ by new method.

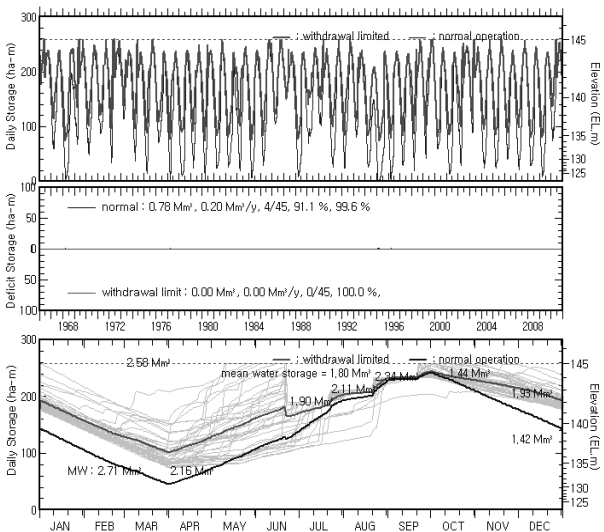


Fig. 12. Daily water storages in time of supplying instream flow of 15,000 m³/d from October to March from Soho reservoir with full water level of EL. 145 m and total water storage of 2.58 Mm³ by normal and withdrawal limited operations using new operation rule curve.

저수량 자료는 정상 운영과 방류제한 운영의 결과가 크게 차이 나는 것으로 나타나 이수관리곡선에 의한 방류제한 운영의 효과가 뚜렷하게 나타났다.

한편 Fig. 13은 방류제한 운영에 의한 모의결과로부터 이수안전도가 90%에 이르는 하천유지유량 공급량을 결정한 결과로 2.77만 m³/일에 이르는 것으로 분석되었다. 이로 부터 새로운 이수관리곡선에 의해 방류제한 운영 효과를

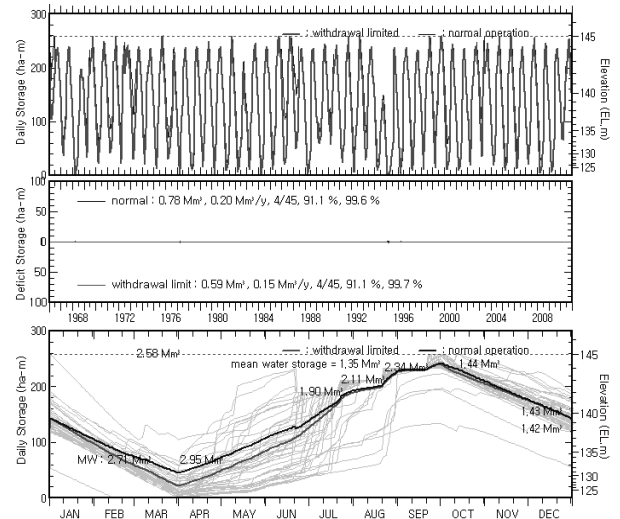


Fig. 13. Daily water storages in time of supplying instream flow of 15,000 m³/d for normal and 27,700 m³/d for withdrawal limited from October to March from Soho reservoir with full water level of EL. 145 m and total water storage of 2.58 Mm³ by normal and withdrawal limited operations using new operation rule curve.

Table 1. Applicabilities of reservoir operation rule curves by Senga and this study.

Item	Senga's method	This study
Uniqueness	X	O
Securability	X	O
Applicability in flood season	X	O
Effectiveness	X	O

확실하게 분석할 수 있었으며, 새로운 이수관리곡선의 활용성을 기대하게 되었다.

라. Senga 방법과 본 연구 방법의 이수관리곡선 비교

Senga의 필요수량 역누가법과 본 연구의 저수량 기반 방법에 의한 이수관리곡선을 작성하여 운영한 결과로부터 특성을 Table 1과 같이 일관성, 확보성, 적용성, 효율성의 면을 비교하였다. Senga 방법은 이수관리곡선을 작성하는데 일관성이 부족하였고, 작성된 이수관리곡선의 저수량이 너무 적게 나타나 저수량 확보에 불안정하고, 홍수기에 적용할 수 없었고, 이수관리곡선을 활용하여 용수를 절약하는 효과가 전혀 나타나지 않았다. 반면에 본 연구의 방법은 이수관리곡선이 하나로 일관되게 작성되었고, 시기별 저수량이 적절하게 확보되었고, 홍수기 운영에도 지장이 없도록 작성되었다. 또한 이수관리곡선을 적용하지 않는 정상

운영시 1.5만 m³/일을 공급할 수 있는 것과 비교하여 이수 관리곡선을 활용하여 저수량이 부족할 때 용수공급을 제한 운영시 평상시에 2.77만 m³/일의 하천유지유량을 공급할 수 있는 것으로 나타나 용수절약 및 용수공급의 효과가 확실하게 나타났다.

마. 하루 도심직전 지점의 하천 유황 비교

하류의 도심 직전의 지점에서 상류에 저수지가 없는 경우 일 유출량을 모의하여 유황을 분석하였고, 소호저수지가 있는 경우 새로운 이수관리곡선에 의해 하천유지유량을 10월에서 3월까지 Fig. 13과 같이 27,700 m³/일씩 공급할

때 식(3)에 의해 일 유출량을 모의하여 유황을 분석하고 비교하였다.

Fig. 14는 상류에 소호저수지가 없는 경우 대전천 도심 직전의 지점에서 DAWAST 모형에 의해 일 유출량을 모의하여 월별로 나타난 수문곡선이며, Fig. 15는 이를 이용한 유황곡선을 작성한 것이다. 또한 상류에 소호저수지가 있는 경우의 수문곡선은 Fig. 16과 같으며, 총저수량 258만 m³, 유역면적 7.4 km²인 소호저수지의 연평균 저수량은 130만 m³이었고, 방류량은 562만 m³이었고, 유역면적 27.8 km²인 도심 직전 지점의 지류유입량은 연평균 2,170만 m³, 총유입량은 2,734만 m³에 이르러 저수지의 방류량

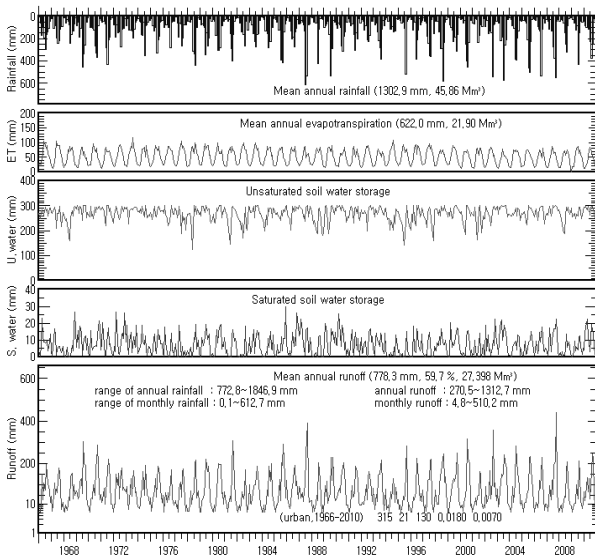


Fig. 14. Monthly representation of daily streamflow at station just before urban district in Daejeoncheon.

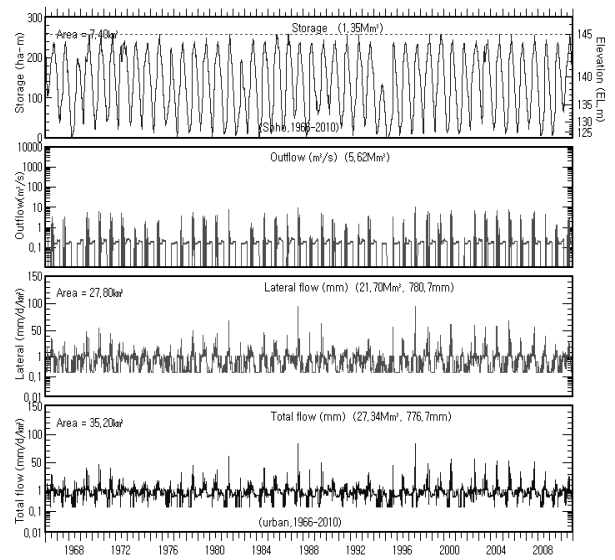


Fig. 16. Daily streamflows at station just before urban district in Daejeoncheon with upstream Soho reservoir.

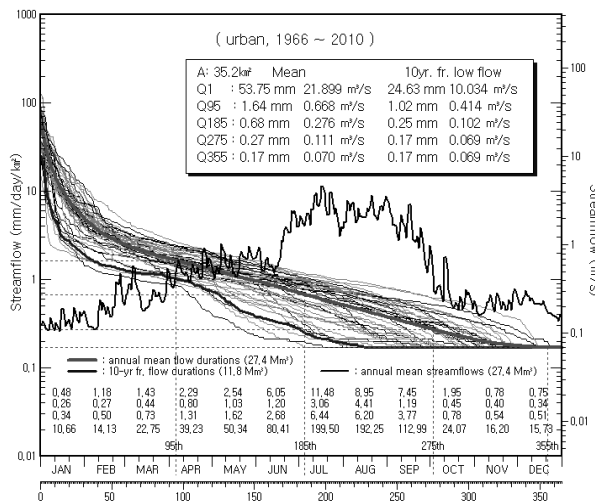


Fig. 15. Flow duration curves at station just before urban district in Daejeoncheon without upstream reservoir.

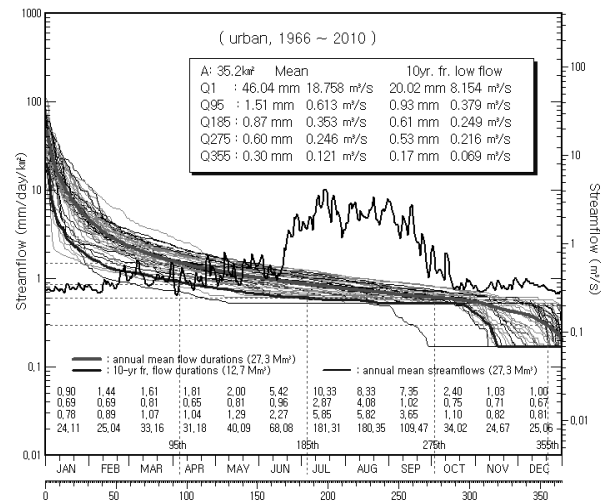


Fig. 17. Flow duration curves at station just before urban district in Daejeoncheon with upstream Soho reservoir.

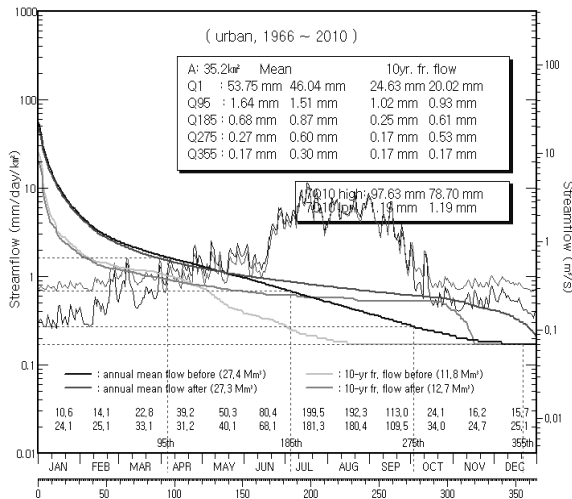


Fig. 18. Comparison of flow duration curves at station just before urban district in Daejeoncheon with and without upstream Soho reservoir.

은 20.6%, 지류유입량은 79.4%를 차지하는 것으로 분석되었다. Fig. 17은 이를 이용하여 작성한 유황곡선이다.

종합하여 Fig. 18에 대전천 상류에 소호저수지가 없는 경우와 있는 경우 도심 직전 지점에서의 유황을 비교하였으며, 저수지가 있는 경우 풍수기에는 유량이 감소하고, 평갈수기에는 유량이 증가해 나타난 것을 확인할 수 있다. 이것이 바로 저수지의 효과라 할 수 있으며, 평균하여 풍수량은 1.64 mm/일에서 1.51 mm/일로 감소하였고, 갈수량은 0.17 mm/일에서 0.30 mm/일로 증가하였다. 하천유지유량을 공급한 10월부터 3월까지 월 유출량을 비교하면 저수지가 없는 경우는 10.6~24.1 mm 이었는데 저수지가 있는 경우는 24.1~34.0 mm로 증가하여 141~227%의 증가율을 나타냈다. 이로부터 하천유지유량 공급을 위해 새롭게 작성한 이수관리곡선의 활용성을 확인하였다.

IV. 결론

대전천 도심하천의 평갈수기 유지유량의 확보를 위해 상류에 유역면적 7.4 km², 총저수량 258만 m³인 소호 저수지를 계획하고, 이수관리곡선을 작성하여 하천유지유량만을 공급하는 저수지 운영을 실시한 후 하루 도심 직전의 유황을 분석하여 그 효용성을 평가한 결과는 다음과 같다.

첫째, 환경부에서 관리하는 갑천 A 지점의 2004년부터 2009년까지 8일 간격의 유량자료로 유출 모형을 검증한 결과 Nash-Sutcliffe 모형효율이 0.941로 높게 나타나 일 유

출 모의 결과의 적용성을 확인하였다.

둘째, Senga가 제시한 하천유량과 용수수요량의 차이의 역누가법에 의해 작성한 이수관리곡선을 이용하여 저수지 운영한 결과 이용하지 않은 경우와 뚜렷한 차이를 확인할 수 없었다.

셋째, 본 연구에서 새롭게 제시한 저수량 모의 기반의 이수관리곡선을 이용하여 저수지를 운영한 결과, 이용하지 않은 경우는 하천유지유량을 일 15,000 m³을 공급하는데 비하여 이용하는 경우는 일 27,700 m³까지 공급할 수 있는 것으로 분석돼 이수관리곡선의 활용성을 확실하게 입증하였다.

넷째, 상류에 저수지가 없는 경우와 있는 경우 도심 직전 지점에서의 유황을 비교한 결과 평균하여 풍수량은 1.64 mm/일에서 1.51 mm/일로 감소하였고, 갈수량은 0.17 mm/일에서 0.30 mm/일로 증가하였다. 하천유지유량을 공급한 10월부터 3월까지 월 유출량은 저수지가 없는 경우는 10.6~24.1 mm, 있는 경우는 24.1~34.0 mm로 141~227%의 증가율을 나타냈다.

참고문헌

1. Akbari M, Afshar A, Mousavi SJ. 2011. Stochastic multi-objective reservoir operation under imprecise objectives: multicriteria decision-making approach. *Journal of Hydroinformatics* 13(1): 110-120. IWA Publishing.
2. Afshar A, Shafii M, Haddad OB. 2011. Optimizing multi-reservoir operation rules: an improved HBMO approach. *Journal of Hydroinformatics* 13(1): 121-139. IWA Publishing.
3. Chang LC, Chang FJ, Wang KW, Dai SY. 2010. Constrained genetic algorithms for optimizing multi-use reservoir operation. *Journal of Hydrology* 390(1-2): 66-74.
4. Kim T, Heo JH, Bae DH, Kim JH. 2008. Single-reservoir operating rules for a year using multiobjective genetic algorithm. *Journal of Hydroinformatics* 10(2): 163-179.
5. Kim TC, Noh JK, Park SK. 1992. Operation rule of irrigation reservoir. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*: 34(1): 33-49. [in Korean]
6. Kim TC, Lee JM, Lee DJ. 2003. A rotational irrigation scheduling for an irrigated paddy blocks with operation rule curve. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 45(5): 67-77. [in Korean]
7. Kim SU. 2010. Measures on restoring water cycles for protecting drying up urban stream. Report on Current Issues No. 101. 44 pp. National Assembly Research Service. Accessed in <http://www.nars.go.kr> on 7 January 2011. NARS Publication. ISSN 2005-3215. [in Korean]

8. Lee SU. 2008. Adverse effect on securing instream flow for Daejeoncheon stream. Newspaper of *Chungcheon Today*. 2008.11.27. p. 4. [in Korean]
9. Lee JN, Noh JK. 2010. Evaluation of supplying instream flow by operation rule curve for heightening irrigation reservoir. *Journal of Agricultural Science* 37(3): 481-490. Chungnam National University. [in Korean]
10. McMahon TA, Vogel RM, Pegram GGS, Peel MC, Etkin D. 2007. Global streamflows - Part 2: Reservoir storage-yield performance. *Journal of Hydrology* 347: 260-271.
11. MOCT (Ministry of Construction and Transportation), KOWACO (Korean Water Corporation). 2006. *2020 Water Vision(Modified)*. [in Korean]
12. MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2009. *Master Plan for 4 Major Rivers Restoration Project*. 400 pp. [in Korean]
13. Ngo LL, Madsen H, Rosbjerg D. 2007. Simulation and optimization modelling approach for operation of the Hoa Binh reservoir, Vietnam. *Journal of Hydrology* 336(3-4): 269-281.
14. Noh JK. 1991. A conceptual watershed model for daily streamflow based on soil water storage. Ph. D. dissertation, Seoul National Univ., Seoul, Korea. [in Korean]
15. Noh JK. 2003. Applicability of the DAWAST considered return flows. *Journal of the Korean Water Resources Association* 39(11): 1095-1105. [in Korean]
16. Noh JK. 2004. A system for estimating daily paddy irrigation water requirements in simulating daily streamflow. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers* 46(7): 71-80.
17. Noh JK. 2009a. Increasing instreamflow in Nonsancheon by water storage securing scenario of upstream reservoirs. *Journal of Agricultural Science* 36(1): 99-109. [in Korean]
18. Noh JK. 2009b. Increasing effect of urban instream flow in Daejeon' Three Streams by operating upstream reservoirs. *Proceedings in 2009 Annual Meeting of Korean Water Resources Association*, CD.
19. Noh JK, Lee JN, Kim YK. 2010. Development of standardized water balance model for applying irrigation district in South Korea. *Journal of Agricultural Science* 37(1): 105-112. [in Korean]
20. Noh JK. 2011. Securing inflows to reservoir with low ratio of watershed to paddy field areas by operating outside diversion weir. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(1): 17-28. [in Korean]
21. Senga Y. 1989. *Soft Science of Water Resources*. pp. 45-75. Rokudowu Publishing. [in Japanese]
22. Wei CC, Hsu NS. 2009. Optimal tree-based release rules for real-time flood control operations on a multipurpose multireservoir system. *Journal of Hydrology* 365(3-4): 213-224.
23. Wurbs RA. 2005. Modeling river/reservoir system management, water allocation, and supply reliability. *Journal of Hydrology* 300: 100-113.