

용수구역 물 관리를 위한 표준화 물수지 모형 개발

노재경¹ · 이재남^{2*} · 김용국²

Development of Standardized Water Balance Model for Applying Irrigation District in South Korea

Jaekyoung Noh¹ · Jaenam Lee^{2*} · Yongkuk Kim²

ABSTRACT

The objective of this study is to develop a standardized model for analyzing water balances in large scaled water basin by considering agricultural water districts, and to evaluate the hydrological feasibility of applying this model to several water districts such as Nonbul, Geumbok, Daejeon 1, Daejeon 2, and Cheonggang in Geum river basin. Ten types of stream network were considered in developed model. Using this model, streamflows were simulated by major stations and water balances were analyzed by water districts. Simulated streamflows and measured streamflows were compared at check stations such as Gapcheon and Bugang stations in which Nash and Schcliffe's model efficiencies were 0.633, 0.902, respectively. This results showed its applicabilities to national water resources plan, rural water development plan, and total maximum daily load plan in Korea.

Key words : agricultural water district, water balance, streamflow

1. 서 론

전국에 관개용 저수지는 18,000여 개소에 이르며, 효율적 물 관리를 위해 464개의 용수구역으로 분할하여 관리하고 있다. 이 중 소류지를 제외한 농어촌공사 관리의 저수지는 3,400여 개소로 용수구역별로 평균 7~8개소의 저수지가 있으며, 양수장도 3,300여 개소가 있다. 과학적 물 관리를 위해 50만m³ 이상의 저수지에 대해 수문관측을 추진하고 있으나 그 수는 863개소에 불과한 실정이며, 어느 용수구역은 규모가 큰 저수지가 전혀 없는 경우도 있다. 용수구역이 위치한 지역, 상·하류 위치에 따라 저수지, 양수장의 수와 분포는 매우 다양하다. 가뭄과 홍수에 대비한 과학적 수량, 수질 관리를 위해 용수구역별 물수지의 정확한 해석은 필수이지만 모든 저수지와 양수장을 고려하여 물수지를 분석하는 것은 매우 어려운 일이며, 자료가 수반되지도 않는 것이 현실이다.

여기서 용수구역별 물 관리를 위한 물수지를 분석하는 목적은 포장별, 지역별 물 관리를 위하기보다 전체 용수수급을 위한 계획수립에 있는 것으로 보았다. 수자원장기종합계획(건설교통부, 2006)에서는 중권역 단위로 농어촌공사 관리의 농업용저수지의 유효저수량을 모두 더한 값을 용수공급능력이 있는 것으로 하고 있다. 관개시스템 네트워크 모델링(박근애 등, 2006)에서는 저수지, 양수장, 취입보, 집수암거 등 수리시설물을 모두 고려하였다. 문장원 등(2008)은 취수, 배수 시설물을 반영한 유역 물수지 분석의 가능성을 검토하였다. 유주환(2005), 윤석영 등(1999)은 MODSIM을 이용한 물수지 분석의 방법을 제시하였고, 이광만 등(1998)은 Network Flow Model을 이용한 물수지 분석을 검토하였다. 박명기 등(1999)은 실시간 물수지 분석에 의한 유역의 물 배분에 대한 시도를 하였고, 추태호(2004)는 농업용수 회귀율 분석을 위해 물수지 분석을 하였다. 그러나 현실적으로 양수장, 취입보, 집수암거의 수혜지역을 모두 고려하여 상세하게 물수지를 분석하는 데는 자료의 한계가 있으며, 저수지를 모두 고려하는 것도 역시 자료의 한계가 있다. 용수구역의 위치에 따라 저수지, 하천의 규모와 수가 다양하게 구성되므로 오히려 일정 규모 이상 저수지의 저수량 변화를 고려하는 것이 농업 수자원 계획, 국가 수자원 계획, 오염총량관리계획 등을 위해서 보다 현실적이라 판단된다.

따라서 이 연구에서는 용수구역별로 일정 규모 이상의

¹ 충남대학교 농업생명과학대학 지역환경토목학과(Dept. of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

² 충남대학교 대학원 농공학과(Dept. of Agricultural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

* Corresponding author: 이재남

Tel.: +82-42-821-7867 Fax: +82-42-821-8877

E-mail : jnlee@cnu.ac.kr

2010년 4월 29일 투고

2010년 5월 23일 심사완료

2010년 6월 11일 게재확정

저수지를 고려하고, 다양한 여건에도 물수지를 분석할 수 있는 표준화된 일 단위의 모형을 구축하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 대상 용수구역 선정

464개의 용수구역에서 물이 사용되는 것은 농업용수 뿐만 아니라 생활, 공업용수까지 포함하여 하천 유량으로 나

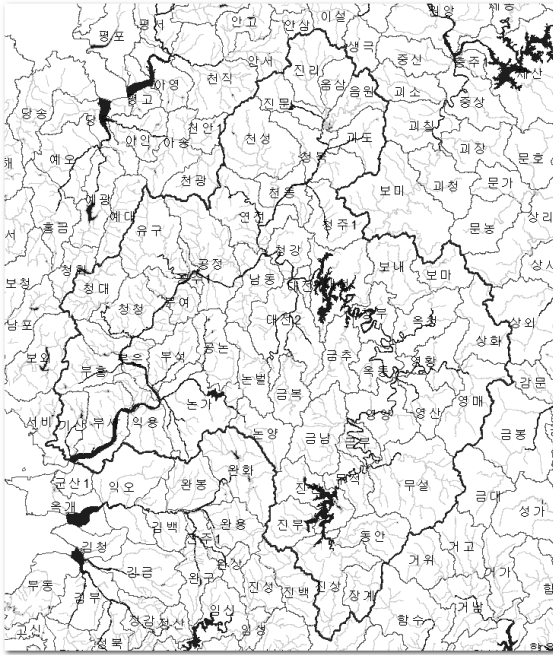


Fig. 1. Water use districts for managing agricultural water in Geum river basin

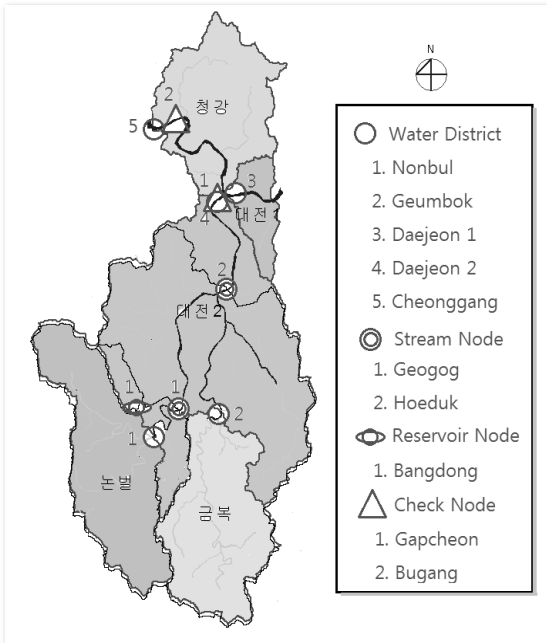


Fig. 2. Water use districts to be studied

타난다. 이 연구에서는 생·공용수의 회귀수까지 포함하여 하천유량을 분석할 수 있도록 금강수계(Fig. 1)의 금북, 논벌, 대전1, 대전2, 청강 등 5개 용수구역을 분석 대상으로 선정하였다(Fig. 2).

2. 하천망 구성 및 물수지 표준 모형 구축

하천을 따라 용수구역의 연계, 용수구역내의 저수지 위치에 따라 물수지 분석을 가능하게 하는 하천망의 구성을 Fig. 3과 같이 10개로 구분하였다. 또한 유역을 적절히 분할하여 모든 경우에서 물수지 분석을 가능하게 하였다.

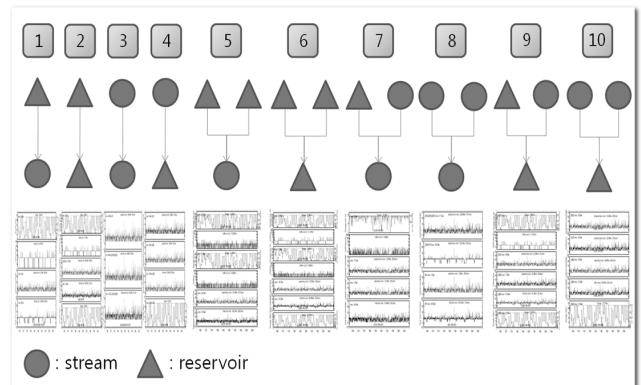


Fig. 3. Composition of stream and reservoir node for calculating streamflows.

Fig. 3의 각각의 경우에 하천유량은 다음 식(1)~식(10)과 같이 구성되며, 저수지의 저수량 변화는 식(11), (12)와 같다.

$$Q_{Sdown}(i) = SQ_{up}(i) + OV_{up}(i) + QL(i) \quad (1)$$

$$Q_{I down}(i) = SQ_{up}(i) + OV_{up}(i) + QL(i) \quad (2)$$

$$Q_{Sdown}(i) = QS_{up}(i) + QL(i) \quad (3)$$

$$Q_{I down}(i) = QS_{up}(i) + QL(i) \quad (4)$$

$$Q_{Sdown}(i) = SQ_{up1}(i) + OV_{up1}(i) + SQ_{up2}(i) + OV_{up2}(i) + QL(i) \quad (5)$$

$$Q_{I down}(i) = SQ_{up1}(i) + OV_{up1}(i) + SQ_{up2}(i) + OV_{up2}(i) + QL(i) \quad (6)$$

$$Q_{Sdown}(i) = SQ_{up}(i) + OV_{up}(i) + QS_{up}(i) + QL(i) \quad (7)$$

$$Q_{Sdown}(i) = QS_{up1}(i) + QS_{up2}(i) + QL(i) \quad (8)$$

$$Q_{I down}(i) = SQ_{up}(i) + OV_{up}(i) + QS_{up}(i) + QL(i) \quad (9)$$

$$Q_{I down}(i) = SQ_{up1}(i) + SQ_{up2}(i) + QL(i) \quad (10)$$

$$S(i) = S(i-1) + QI(i) - EW(i) - SQ(i) \quad (11)$$

$$OV(i) = S(i) - FS, \text{ if } H(i) > FH \quad (12)$$

여기서, (i)는 시간(일)을 나타내며, QI는 유입량, SQ는 방류량, OV는 월류량, QL은 상류에 위치한 저수지 또는 하천 유역을 제외한 지류 유입량, S는 저수량, EW는 저수면 증발량, FS는 만수위의 저수량, H는 저수위, FH는 만수

위를 나타내며, down는 하류, up은 상류를 나타낸다.

김현영(1988)은 관개용 저수지의 유입량을 탱크모형에 의해 추정하였고, 고익환 등(2002)은 실시간 물관리 운영을 위해 SSARR 모형의 적용성을 검토하였다. 노재경(2003)은 용수수요를 고려한 DAWAST 모형의 적용성을 평가하였다. 여기서 유역의 자연유량은 DAWAST 모형(노재경, 1991)에 의하며, 농업용수는 35%, 생공용수는 65%의 회귀수를 반영하여 하천유량을 모의하는 것으로 하였다(건설교통부, 2006). 농업용수는 논용수만 회귀하는 것으로 보며, 생육기별 소요담수심을 고려하고 수정 Penman 공식에 의한 증발산량 산정 방법을 반영하여 수요량을 일별로 추정하는 방법을 적용하였다(노재경, 2004; Noh and Garcia, 2007). 생활용수와 공업용수의 일별 수요량은 원단위 방법을 사용하였다.

3. 모형 적용

가. 사용자료

대청댐 조정지 방류량 자료가 1981년부터 생성되었기 때문에 수문, 기상자료를 1981년부터 사용하는 것으로 하고, 대전 기상관측소의 기상자료, 유역조사의 강우자료, 오염총량관리의 유량측정 자료, 대전하수처리의 방류수를 사용하는 것으로 하였다.

Montzka 등(2008)은 원격 토지피복 자료를 이용하여 중 규모 유역의 물수지 분석을 하였고, Ludwig 등(2003)등은 NOAA-AVHRR 영상정보에 의해 소유역의 토지피복을 추출하여 Danube 상류유역의 물수지를 분석하였다. Shalaby 등(2007)은 이집트 북서해안의 토지피복과 토지이용 변화 분석을 위해 원격탐사 기법을 적용하였다. 여기서는 LANDSAT 자료를 분석하여 논용수의 수요량 추정에 사용할 논을 추출하였다(Fig. 4). 추출된 용수구역, 유량계산 소유역별 논면적은 Table 1과 같다. 대전2 용수구역은 유량계산을 위해 방동, 괴곡, 회덕, 대전2 등 유역으로 분할하였다. 개발

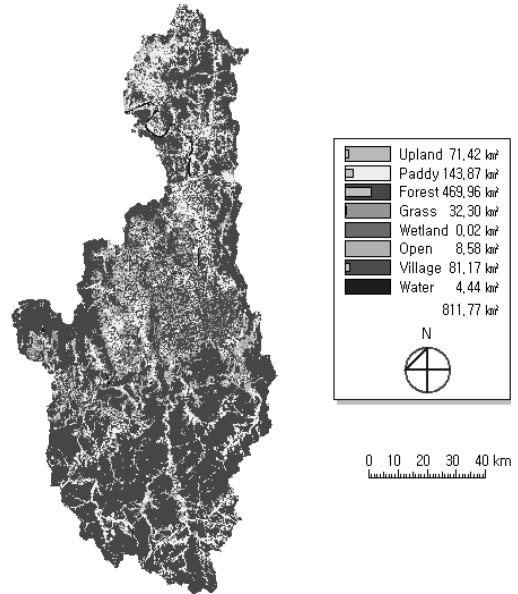


Fig. 4. Land use of study area.

에 따라 회덕의 논면적은 유성과 괴곡 사이의 논면적만을 반영하여 1,149ha로 하고, 대전2의 논면적은 0으로 하였다.

저수지는 총 저수량 100만m³ 이상의 저수지를 고려하는 것으로 하였으며, 대전2의 용수구역내에 총저수량 3,098천 m³, 유효저수량 3,067천m³, 유역면적 13.75km²의 방동저수지가 위치하고 있다.

나. 모형 구성

모형 구성을 위한 괴곡 지점의 유량은 식(7)의 경우로 식(13)과 같이 구성되며, 회덕 지점의 유량은 식(8)의 경우로 식(14)와 같이 구성된다. 대전2 지점은 갑천유역의 출구 지점으로 식(3)의 경우로 식(15)와 같이 구성되지만 회덕지점 직하류에서 하수처리 방류수가 유입되기 때문에 이를 고려하여 식(16)과 같이 구성하였다. 또한 대전1 지점도 식(3)의 경우로 식(17)과 같이 구성되며, 청강 지점의 유량도 식(8)의 경우로 식(18)과 같이 구성된다.

Table 1. Paddy area and watershed area of study districts

Name	Paddy area (ha)	Watershed area (km²)
Nonbul	2,038	156.97
Bangdong	221	13.75
Goegog	285	27.51
Geumbok	2,450	141.95
Hoeduk	3,849 (1,149)	252.89
Daejeon2	1,905 (0)	55.83
Daejeon1	697	33.00
Cheonggang	3,452	129.83

$$QS_{gg}(i) = SQ_{bd}(i) + OV_{bd}(i) + QS_{nb}(i) + QL(i) \quad (13)$$

$$QS_{hd}(i) = QS_{gg}(i) + QS_{gb}(i) + QL(i) \quad (14)$$

$$QS_{d2}(i) = QS_{hd}(i) + QL(i) \quad (15)$$

$$QS_{d2}(i) = QS_{hd}(i) + QW_{dj}(i) + QL(i) \quad (16)$$

$$QS_{d1}(i) = QS_{dc}(i) + QL(i) \quad (17)$$

$$QS_{cg}(i) = QS_{d1}(i) + QS_{d2}(i) + QL(i) \quad (18)$$

식에서, QW는 하수처리 방류수이며, gg는 괴곡, bd는 방동, nb는 논벌, hd는 회덕, gb는 금북, d2는 대전2, d1은 대전1, dc는 대청조정지댐 지점, cg는 청강 지점을 각각 나타낸다. 식(17)에서 대청조정지댐의 유량은 용수공급량을 제외한 하류 방류량을 말한다.

다. 모형 적용

단위유역 및 지류유역의 유량은 DAWAST 모형에 의해 일별로 모의하며, 유역내에 유량자료가 없기 때문에 대청댐 유입량 자료를 이용하여 매개변수 결정을 하였다.

결정된 매개변수를 적용하여 단위유역, 지류유역별로 유량을 모의하고, 식(13), (14), (16), (17), (18)을 각각 적용하여 괴곡, 회덕, 대전2, 대전1, 청강 지점의 유량을 각각 모의하고, 모의 결과의 점검 지점인 갑천, 부강 지점의 8일 간격의 측정 유량 자료를 대전2, 청강 지점의 모의 유량 자료와 비교, 평가하는 즉 표준화 물수지 모형의 검증 절차를 걸쳐 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. DAWAST 모형의 매개변수 결정

DAWAST 모형의 매개변수는 대청댐의 유입량 자료를 이용하여 UMAX 315 mm, LMAX 20 mm, FC 130 mm, CP 0.018, CE 0.007 등으로 결정하였다. 결정된 매개변수를 이용하여 보정기간을 1981년부터 1990년까지, 검정기간을 1991년부터 2000년까지 설정하여 일별로 유입량을 모의하였다. 그 결과 10일 자료의 등가선은 각각 Fig. 5, 6과 같이 매우 적합하게 나타났다. 일별 자료를 월별 자료로 갱신하여 비교한 결과는 각각 Fig. 7, 8과 같이 매우 양호하게 나타났다.

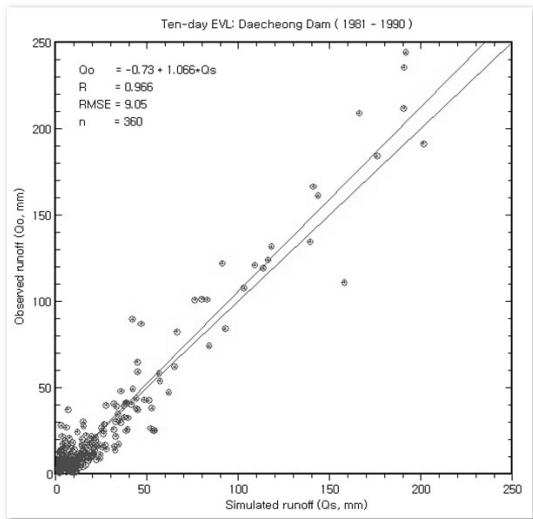


Fig. 5. Equal value line of ten days inflows to Daecheong dam in calibration period (1981-2000)

2. 용수구역별, 주요지점별 하천유량 모의

가. 논별 용수구역

유역면적 156.97 km²인 논별 용수구역의 유량을 1981년부

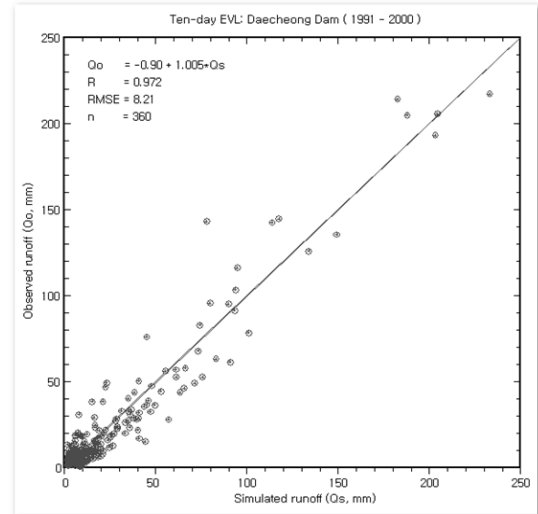


Fig. 6. Equal value line of ten days inflows to Daecheong dam in verification period (1991-2000)

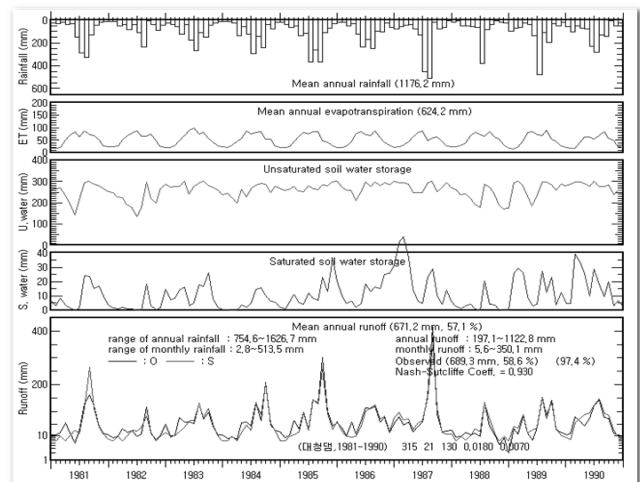


Fig. 7. Monthly inflows to Daecheong dam in calibration period (1981-2000)

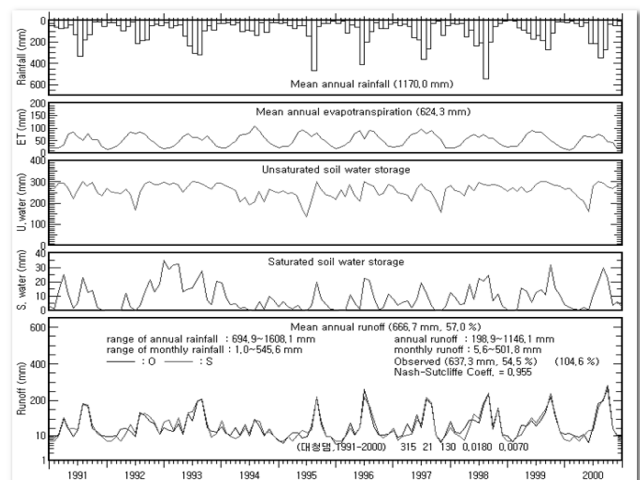


Fig. 8. Monthly inflows to Daecheong dam in verification period (1981-2000)

터 2009년까지 일별로 모의한 결과는 연평균하여 강우량은 1,349.3 mm, 유역증발산량은 611.5 mm, 수혜면적 2,038ha의 논 용수 회귀수가 없는 경우의 유출량은 756.0 mm, 유출률은 56.0 %, 논 용수 회귀수를 35% 적용한 경우의 유출량은 807.2 mm, 유출률은 59.8 %였다. 연강우량의 범위는 최대 2,053.7 mm, 최소 828.7 mm, 월강우량의 범위는 최대 688.9 mm, 최소 0.1 mm이었다. 연유출량의 범위는 최대 1,477.1 mm, 최소 302.5 mm, 월유출량의 범위는 최대 594.0 mm, 최소 5.6 mm이었다(Fig. 9).

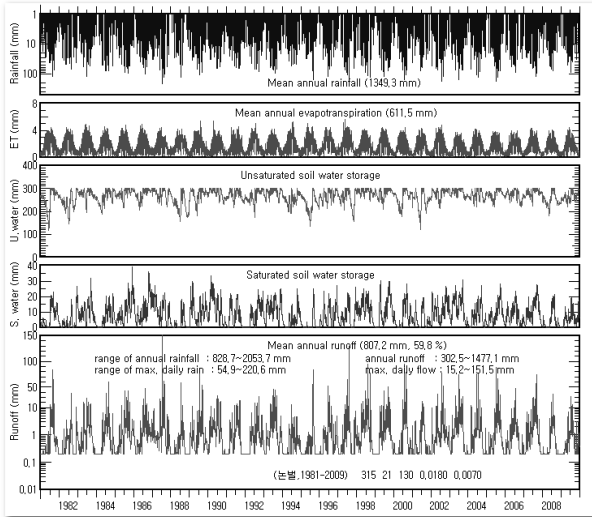


Fig. 9. Daily simulated streamflows in Nonbul water district

나. 방동 저수지

방동저수지는 유효저수량 306.7만 m³, 총저수량 309.8만 m³, 만수위 EL.100.50 m, 사수위 EL.87.00 m, 수혜면적

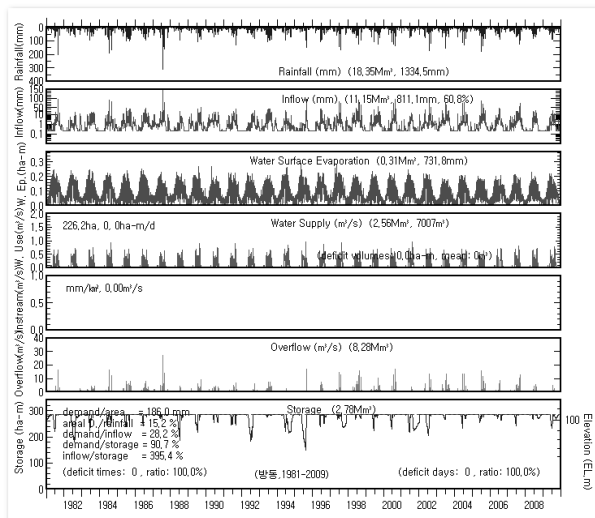


Fig. 10. Daily simulated water storages in Bangdong reservoir

226.2 ha, 유역면적 13.75 km²이다. 1981년부터 2009년까지 용수공급능력을 분석한 결과, 연평균하여 강수량은 1,835만 m³, 1,334.5 mm이었으며, 유입량은 1,115만 m³, 811.1 mm/day/km²이었고, 유출률은 60.8 %였다. 저수면 증발량은 31만 m³이었으며, 이를 저수면적으로 나누면 731.8 mm으로 강우량의 54.8 %에 이르렀다. 관개용수 공급량은 256만 m³, 일평균 7천 m³였고, 월류량은 828 만m³이었다. 종합하면 연평균하여 용수공급량/유역면적의 값은 186.0 mm, 단위유역 용수공급량/강수량 비율은 15.2 %, 용수공급량/유입량 비율은 28.2 %, 용수공급량/저수량 비율은 90.7 %, 유입량/저수량 비율은 395.4 %였다. 용수공급이 부족한 연도는 없었다(Fig. 10).

다. 괴곡 지점

유역면적 13.75 km²인 방동저수지의 방류량은 828만 m³으로 유효저수량의 293.5 %에 상당하였으며, 유역면적 157.0 km²인 논별지점의 유입량은 연평균 12,670만 m³, 유역면적 27.5 km²인 괴곡 지점의 지류유입량은 연평균 2,100만 m³, 총유입량은 15,606만 m³에 이르러 방동저수지의 방류량은 5.3 %, 상류유입량은 81.2 %, 지류유입량은 13.5 %를 차지하는 것으로 분석되었다(Fig. 11).

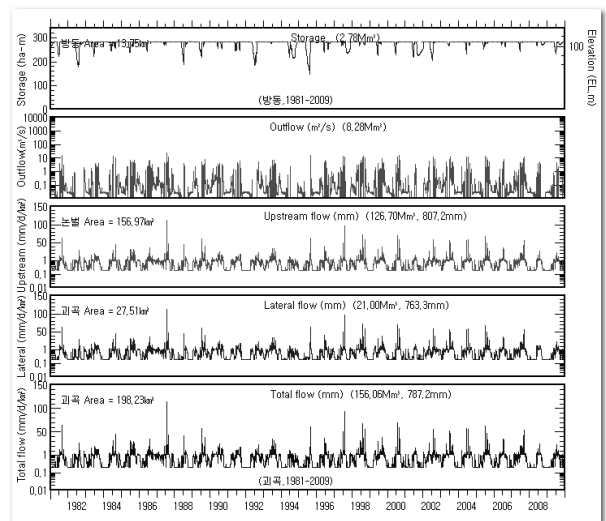


Fig. 11. Daily simulated streamflow at Geogog station

라. 금복 용수구역

유역면적 141.95 km²인 금복 용수구역의 유출량을 1981년부터 2009년까지 일별로 모의한 결과는 연평균하여 강수량은 1,336.0 mm, 유역증발산량은 610.5 mm, 수혜면적 2,450ha의 논용수의 회귀수를 고려하지 않는 경우의 유출량은 740.9 mm, 유출률은 55.5 %였고, 35%의 회귀수를 고려한 경우의 유출량은 808.7 mm, 유출률은 60.5 %였다. 연강우량의 범위는 최대 1,982.0 mm, 최소 796.8 mm, 월강우

량의 범위는 최대 628.1 mm이었고, 연유출량의 범위는 최대 1,414.8 mm, 최소 304.6 mm, 월유출량의 범위는 최대 537.5 mm, 최소 5.6 mm이었다(Fig. 12).

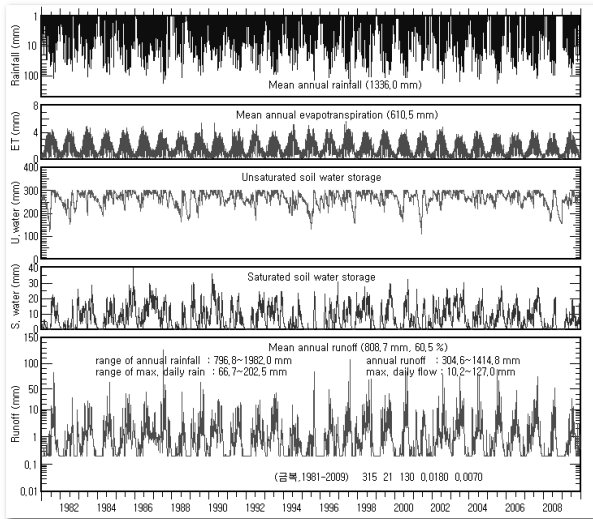


Fig. 12. Daily simulated streamflows in Geumbok water district

마. 회덕 지점

유역면적 198.2 km²인 괴곡지점의 유량은 연평균 15,606만 m³, 유역면적 142.0 km²인 금북 용수구역의 유량은 연평균 11,480만 m³, 유역면적 262.8 km²인 회덕 지점의 지류유입량은 연평균 20,435만 m³이었다. 따라서 총 유량은 47,520만 m³로 상류의 괴곡 지점의 유량은 32.8 %, 금북 용수구역의 유량은 24.2 %, 지류유입량은 43.0 %를 차지하는 것으로 분석되었다. 여기서 생공용수의 회귀수는 하수가 차집관거를 통해 처리장으로 유송되기 때문에 없는 것으로 처리하였다(Fig. 13).

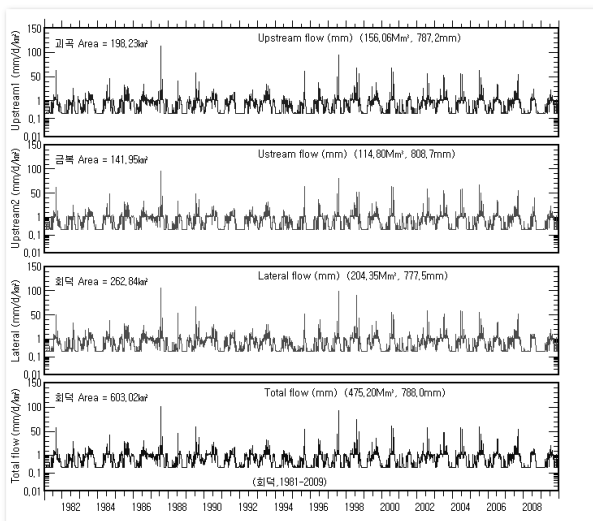


Fig. 13. Daily simulated streamflows at Hoeduk station

바. 대전2 용수구역

유역면적 603.0 km²인 회덕지점의 유량은 연평균 47,520만 m³, 유역면적 46.0 km²인 갑천(하구)지점의 지류유입량은 연평균 3,544만 m³, 하수처리 방류량은 23,861만 m³이었다. 따라서 총유량은 74,925백만 m³에 이르러 상류유입량은 63.4 %, 지류유입량은 4.7 %, 하수방류량은 31.8 %를 차지하는 것으로 분석되었다(Fig. 14).

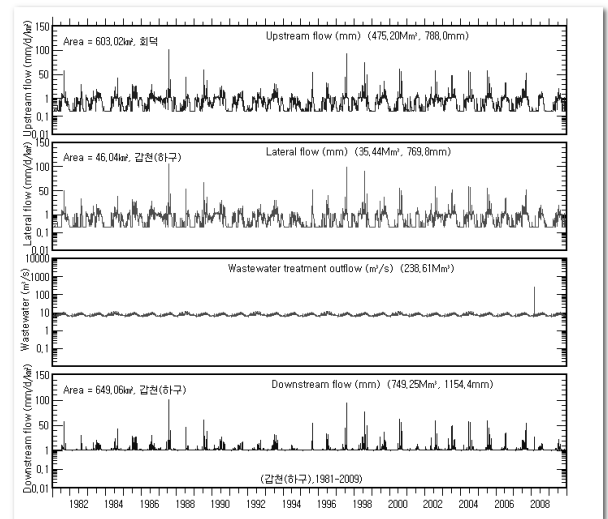


Fig. 14. Daily simulated streamflows in Daejeon 2 water district

사. 대전1 용수구역

유역면적 4,144.7 km²인 대청댐조정지의 방류량은 연평균 240,775만 m³, 유역면적 33.0 km²인 대전1 용수구역의 지류유입량은 연평균 2,616만 m³이었다. 따라서 총유량은 244,035만 m³에 이르러 대청댐 조정지 방류량은 98.7 %, 지류유입량은 1.1 %를 차지하는 것으로 분석되었다(Fig. 15).

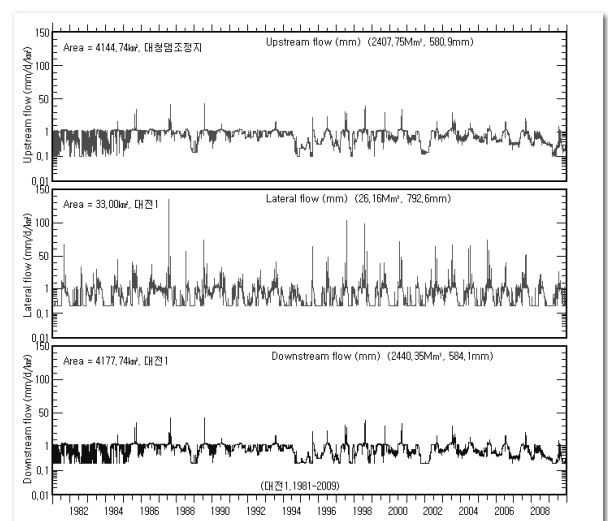


Fig. 15. Daily simulated streamflows in Daejeon1 water district

아. 청강 용수구역

유역면적 649.1 km²인 갑천(하구)지점의 유량은 연평균 74,925만 m³, 유역면적 4,177.7 km²인 대전1 용수구역 지점의 유량은 연평균 244,035만 m³, 유역면적 129.83 km²인 청강 용수구역의 지류유입량은 연평균 8,363만 m³으로 총유입량은 327,326만 m³이다. 따라서 상류의 갑천(하구) 지점 유량은 22.9 %, 대전1 지점 유량은 74.6 %, 지류유입량은 2.6 %를 차지하는 것으로 분석되었다(Fig. 16).

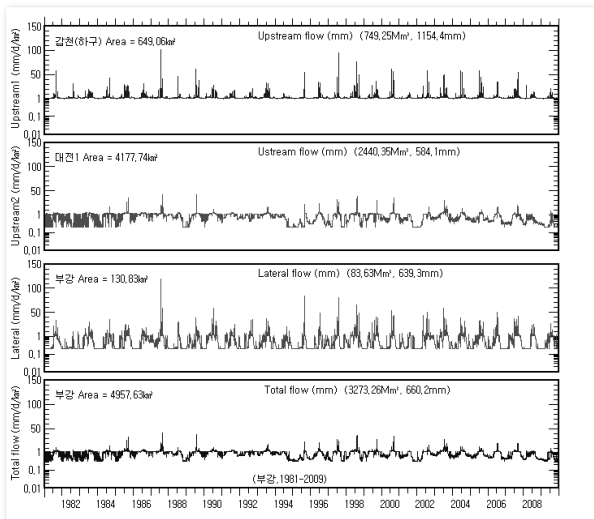


Fig. 16. Daily simulated streamflows in Cheonggang water district

3. 검증 지점 유량 비교

가. 갑천 지점

유역면적 649.06 km²인 갑천(하구) 유역의 유출량을 1981년부터 2009년까지 일별로 모의하여 2006년의 8일 간

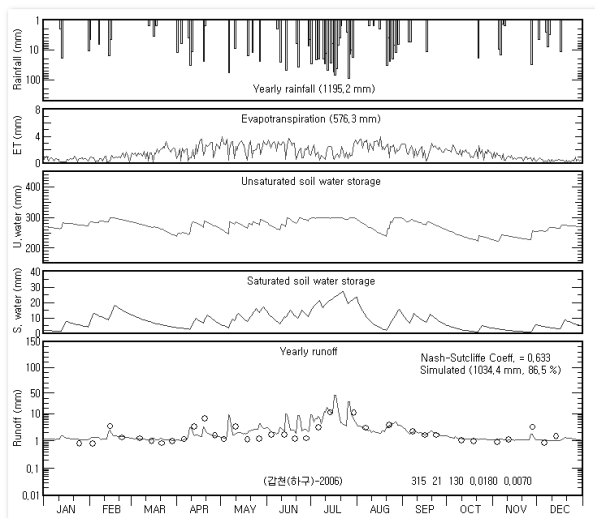


Fig. 17. Comparison of observed and simulated streamflows at Gapcheon station

격의 측정유량(<http://water.nier.go.kr/smat>)과 비교하면 Fig. 17과 같이 Nash-Schcliffe 모형효율 0.633으로 홍수기를 제외하고 매우 적합한 결과를 나타냈다. 참고로 모의 유량을 이용하여 유황을 분석한 결과 Fig. 18과 같이 연평균하여 풍수량은 2.4 mm/d/km², 18.149 m³/s, 평수량은 1.57 mm/d/km², 11.789 m³/s, 저수량은 1.22 mm/d/km², 9.155 m³/s, 갈수량은 1.07 mm/d/km², 8.038 m³/s였으며, 연 유출량은 749.10백만 m³이었다.

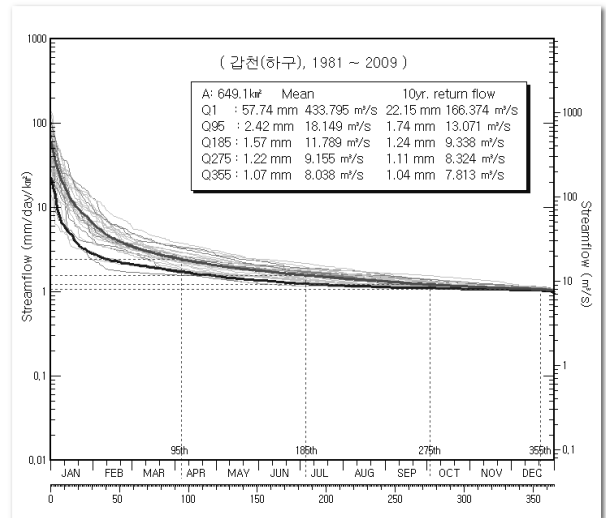


Fig. 18. Flow duration curves at Gapcheon station

나. 부강 지점

유역면적 4,957.63 km²인 부강 지점의 유출량을 1981년부터 2009년까지 일별로 모의하여 2006년의 8일 간의 측정유량(<http://water.nier.go.kr/smat>)과 비교하면 Fig. 19와 같이 Nash-Schcliffe 모형효율 0.902로 매우 적합한 결과를 나

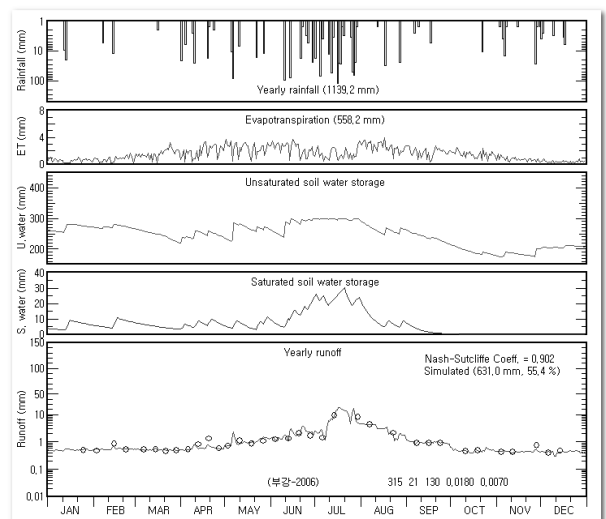


Fig. 19. Comparison of observed and simulated streamflows at Bugang station

타냈다. 참고로 모의 유량을 이용하여 유황을 분석한 결과 Fig. 20과 같이 연평균 풍수량은 1.9 mm/d/km², 110.110 m³/s, 평수량은 0.98 mm/d/km², 56.509 m³/s, 저수량은 0.61 mm/d/km², 34.903 m³/s, 갈수량은 0.44 mm/d/km², 25.485 m³/s였으며, 연 유출량은 3272.78백만 m³이었다.

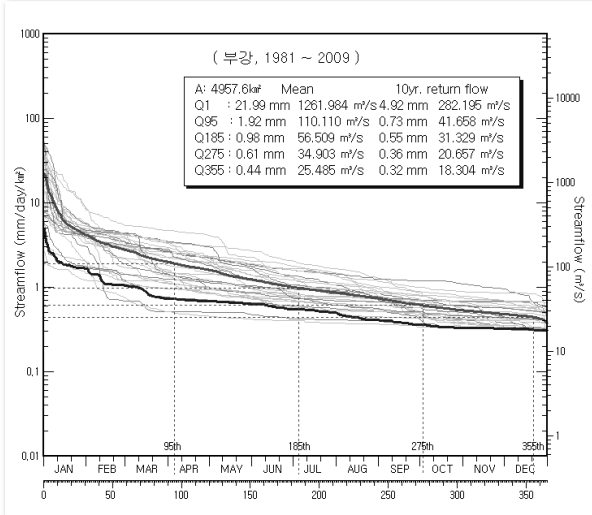


Fig. 20. Flow duration curves at Bugang station

IV. 결론

전국 464개의 용수구역을 이용하여 수계별, 권역별 물 수지를 분석할 수 있는 10 가지의 하천망을 고려한 표준화 물 수지 모형을 개발하여 논별, 금북, 대전1, 대전2, 청강 용수구역에 적용하여 갑천, 부강 지점의 측정유량 자료와 비교하여 검증한 결과는 다음과 같다.

첫째, 용수구역 자료를 이용하여 수계별, 권역별 물 수지 분석을 할 수 있는 기반을 마련하였다.

둘째, 개발된 모형을 적용하여 8일 간격의 유량자료와 비교한 결과 NS 모형효율이 갑천에서는 0.633, 부강에서는 0.902를 나타내 매우 양호한 결과를 보여 주었다.

위의 결과로부터 개발된 모형을 국가 수자원 종합계획, 농어촌 용수개발계획, 오염총량관리계획 등에 적용할 수 있다는 가능성을 확인하였다.

이 연구는 2008년도 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

참고문헌

1. 건설교통부, 한국수자원공사. 2006. 2020 수자원 장기종합 계획(수정본).
2. 고익환, 황만하, 맹승진, 박정인, 권기량. 2002. 실시간 물 관리 운영 시스템 개발(I)-유역유출 분석모형 부문. 대한

- 토목학회 학술발표회 논문집 289-292.
3. 김현영. 1988. 관개용 저수지의 일별 유입량과 방류량의 모의발생 선형 저수지 모형에 의한 유입량의 추정(I). 한국농공학회 논문집 30(1) : 50-62
4. 노재경. 2003. 용수 수요를 고려한 DAWAST 모형의 적용성 평가. 한국수자원학회 논문집 36(6) : 1097-1107.
5. 노재경. 2004. A system for estimating daily paddy irrigation water requirements in simulating daily streamflow. 한국농공학회논문집 46(7) : 71-80.
6. 노재경. 1991. 토양수분저류에 의한 일 유출량 유역 모형. 서울대학교 박사학위논문.
7. 문장원, 최시중, 강성규, 이동률. 2008. 실제 하천 취·배수 시설물을 반영한 유역의 물수지 분석. 대한토목학회 학술대회 논문집 2886-2889
8. 박근애, 박민지, 장중석, 김성준. 2006. AcrHydo를 이용한 GIS기반의 관개시스템 네트워크 모델링. 대한원격탐사학회 2006년도 춘계학술대회 논문집 53-57.
9. 박명기, 최영송, 안경수. 1999. 실시간 물수지 분석에 의한 유역 물 배분 모형개발. 대한토목학회지 논문집 47(6) : 44-49.
10. 유주환. 2005. 물공급 안전도평가에 MODSIM을 적용한 물수지 분석 방법 제시. 대한토목학회 논문집 5(B) : 9-17.
11. 윤석영, 유주환. 1999. MODSIM을 이용한 물수지 분석 시스템 구축. 한국수자원학회 학술발표회 논문집:418-423.
12. 이광만, 윤석영, 김현준. 1998. Network Flow Model을 이용한 유역 물수지 해석. 한국수자원학회 학술발표회 논문집 97-102.
13. 추태호. 2004. 물수지분석 기법에 의한 양수장 물리구역내 농업용수 회귀율 연구. 한국수자원학회 논문집 37(3) : 249-255.
14. Montzka, Carsten, Morton Canty, Ralf Kunkel, Gunter Menz, Harry Vereecken, and Frank Wendland. 2008. Modelling the water balance of a mesoscale catchment basin using remotely sensed land cover data, Journal of Hydrology 353 : 322-334.
15. Ludwig, Adel, Markus Probeck, and Wolfram Mauser. 2003. Mesoscale water balance modelling in the Upper Danube watershed using sub-scale land cover information derived from NOAA-AVHRR imagery and GIS-techniques, Physics and Chemistry of the Earth 28 : 1351-1364.
16. Noh, Jaekyoung and Luis A. Garcia. 2007. Hydrologic System for Simulating Reference Flows in the Geum River Basin's TMDL Practices. Hydrology Days 2007 : CD 20p. American Geophysical Union.
17. Shalaby, Adel and Ryutaro Tateishi. 2007. Remote sensing and GIS for applying and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. Applied Geography 27 : 28-41.