

유출해석 적용을 위한 농업용수 수요량의 적합성 평가



노재경
충남대학교 지역환경토목학과 교수
jknoh@cnu.ac.kr



이재남
충남대학교 지역환경토목학과 대학원
melody_jn@nate.com

1. 머리말

2012년 우리나라 국토면적은 100,188 km², 밭은 7,796 km²(7.8%), 논은 11,690 km²(11.7%), 산림은 64,216 km²(64.1%)에 이른다(<http://www.index.go.kr>). 농업용수는 전체 용수사용량의 47%에 이르는 것으로 보고되었으며(이, 2007; 장, 2007), 최근 수자원장기종합계획(국토부, 2011)에서는 62%에 이른다고 하였다. 여기서, 47%는 하천유지용수를 포함하여 계산한 수치이고, 62%는 포함하지 않은 것으로 전체 농업용수 사용량의 변화는 없는 것으로 나타났다. 이와같이 국가 물 관리에서 농업용수는 가장 큰 부분을 차지하기 때문에 보다 효율적 관리가 요구된다. 또한 농업용수 중에서 논용수가 대부분을 차지하고 있으며, 35%가 하천으로 회귀되는 것으로 보기 때문에 하천유량에 미치는 영향이 크다. 따라서 하천유량은 논에 수혜면적에 공급되는 농업용수 수요량으로부터 회귀되는 수량을 고려하여야 한다.

수리시설 중에서 저수지는 17,679개소에 수혜면적 486,406 ha이고, 양수장은 각각 6,314개소, 162,555 ha, 취입보 18,115 개소, 92,243 ha, 암거 2,828 개소, 14,378 ha, 관정 22,661 개소, 51,152 ha, 방조제 1,594 개소, 161,157 ha, 기타 326 개소, 19,145 ha에 이른다(농업생산기반통계연보, 2007). 저수지 수혜면적이 전체의 54.8%로 가장 넓으며, 양수장 18.3%, 방조제 18.2%, 취입보 10.4%, 관정 5.8%에 이르는 것으로 계산된다.

저수지, 양수장, 보 등에서 관개하는 용수량은 반드시 추정 수요량 만큼 공급하는 것은 아니다. 운영은 계획과 다르기 때문이다. 연 단위로 보면 비슷한 값이 나올 수 있지만, 일 단위로 비교할 때는 간단관개 등의 운영 등으로 많은 차이가 있을 수 있다. 그러나 수요량의 다소간 회귀수량이 하천유량으로 반영하는 것으로 해석하는 것을 감안하면 수요량과 실적량을 비교하여 얼마나 다르게 나타나는지 알 필요가 있다.

여기서는 저수지, 담수호로 구분하여 논 용수 수요량

을 산정하고, 저수지와 담수호의 물수지 등으로부터 적합성을 판단하고자 하였다.

2. 논 용수 수요량

논에서 벼가 필요로 하는 수량은 식(1)과 같이 증발산량(ET)과 침투량(I)을 더한 감수심에서 유효우량(Re)를 뺀 값이며, 증발산량은 식(1)의 잠재증발산량(ETo)에 작물계수를 곱해 구하며, 잠재증발산량은 태양복사량(Rn, mm/day)과 풍속함수(f)와 포화증기압과 실제증기압의 차이(ea-ed)의 온도기증값(W)과 기상조건 조정값(C)에 의해 산정하는 수정 Penman 법에 의하며, 현재 우리나라에서 논 증발산량을 추정하는 표준 방법이다. 여기서, 침투량을 3~5 mm/일로 처리하고, 시설관리 손실율을 15%, 재배관리 손실율을 20%로 반영한다. 논 용수심(D)은 식(3)과 같이 유효우량(Re)과 관개수량(Req)에 의해 증가하고 소비수량(U)에 의해 감소하며, 저수지로부터 공급되는 관개수량은 식(4)와 같이 수심으로 계산되며, 여기에 수해면적을 곱하여 필요수량을 산정한다(Noh, 2004).

또한 담수심은 60~80 mm를 유지하는 것으로 하며, 여기서는 60 mm를 적용하는 것으로 하였다. 묘대기, 씨레질, 이앙용수, 중간낙수 등을 모두 고려하고, 유효우량을 반영하여 일별 담수심 변화를 유지하여 전체 용수량을 산정하는 것으로 하였다.

$$Req(t) = ET(t) + I(t) - Re(t) \dots\dots\dots (1)$$

$$ETo = C [W \cdot Rn + (1-W) \cdot f(u) \cdot (ea-ed)] \dots (2)$$

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

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

3. 계룡저수지 운영

계룡저수지는 1964년에 준공되었고, 총저수량 341.3만 m³, 수해면적 450.2 ha, 인가면적 582.5 ha에 이른다. 계룡저수지의 유역면적은 15.74 km², 논이 22%, 산림이 71%를 차지한다(Fig. 1). 2011년 득높이기한 저수지로 기상자료는 대전 기상청의 자료를 사용하고, 계룡저수지의 저수율 자료(<http://rims.ekr.or.kr>)는 1991년부터 2010년까지 사용하며 이로부터 저수량변화를 계산하였다(Fig. 2).

만수위 EL. 59.00 m, 사수위 EL. 47.00 m, 유역면적 15.7 km²인 계룡 저수지에 대해 1991년부터 2010년까지 용수공급능력을 분석한 결과 수해면적이 490 ha이었을 때 저수량 변화의 이수안전도가 적합하였다.

저수지 물수지는 연평균하여 강수량은 2,031만 m³, 유입량은 1,167만 m³, 유출률은 57.4 %, 저수면 증발량은 43만 m³, 관개용수 공급량은 533만 m³, 월류량은

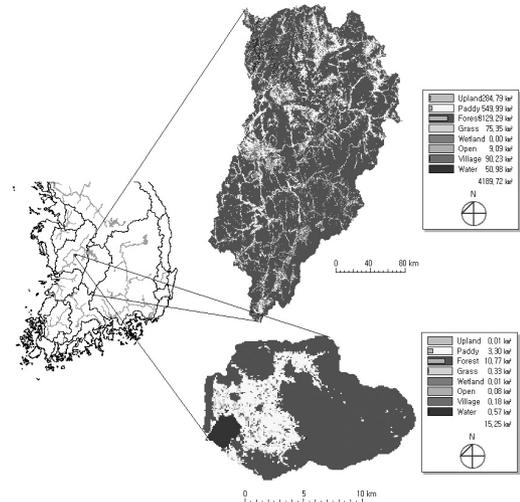


Fig. 1. Site of Geryong reservoir and its land use.

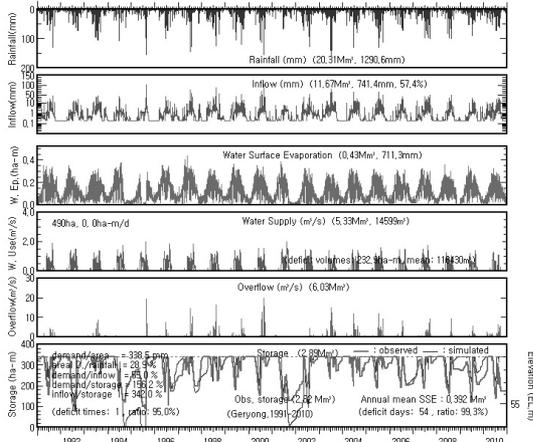


Fig. 2. Comparison of observed and simulated daily water storages of Geryong reservoir.

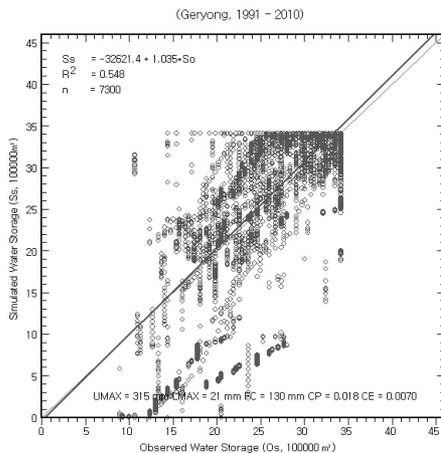


Fig. 3. Comparison of observed and simulated daily water storages of Geryong reservoir.

603만 m³, 평균저수량은 289만 m³, 저수율은 84.6%였다. 이 때 관측, 모의 저수량을 등가선으로 비교한 결과는 Fig. 3과 같으며, 결정계수 R²는 0.548로 다소 낮게 나타났으나 등가선 중심으로 고르게 분포되었다.

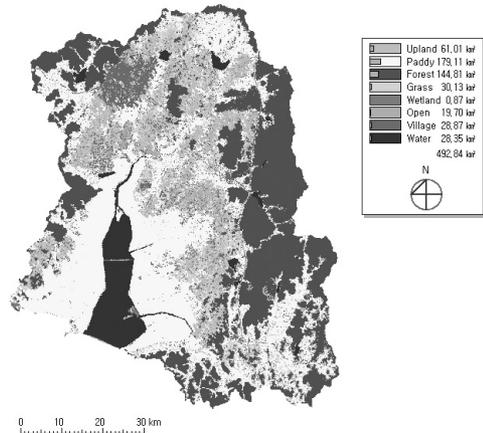


Fig. 4. Land use of Ganweol estuary reservoir.

4. 간월호 담수호 운영

간월호는 유역면적 487.7 km², 총저수량 1억2,364만 m³, 유효저수량 5,072만 m³, 수혜면적 6,446 ha에 이른다. 2007년부터 농어촌공사가 관리하고 있으며, 지산, 간월, 석포, 궁리, 사기 등 5개 양수장이 가동되고 있다. 간월호 유역의 토지이용은 밭이 61.01 km²로 전체의 12.4%, 논이 179.11 km²로 전체의 36.3%, 삼림이 144.81 km²로 전체의 29.4%, 초지가 30.13 km²로 전체의 6.1%, 습지가 0.87 km²로 전체의 0.2%, 나지가 19.70 km²로 전체의 4.0%, 주거지가 28.87 km²로 전체의 5.9%, 수역이 28.35 km²로 전체의 5.8%를 차지하고 있다(Fig. 4).

6개소 양수실적 자료를 수요량과 비교하였으며(예: Fig. 5, 지산), 전체 수혜면적 6,648 ha에 대해 일별 농업수 수요량을 추정하여 담수호의 저수량 변화를 모의하였다. 추정된 일별 농업수요량을 공급하면서 내수위가 사수위(EL. -3.90m)와 관리수위(EL. -1.70m) 사이로

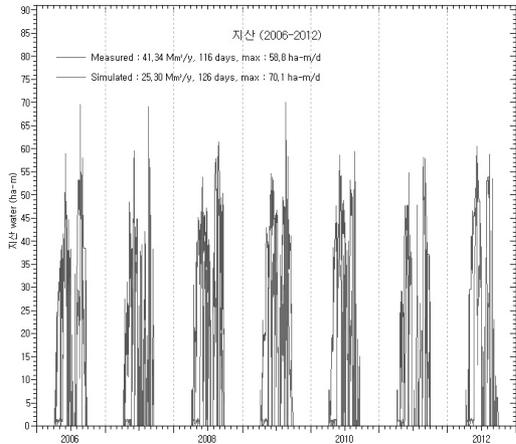


Fig. 5. Comparison of daily pumping irrigation water and estimated paddy water at Jisan pumping station.

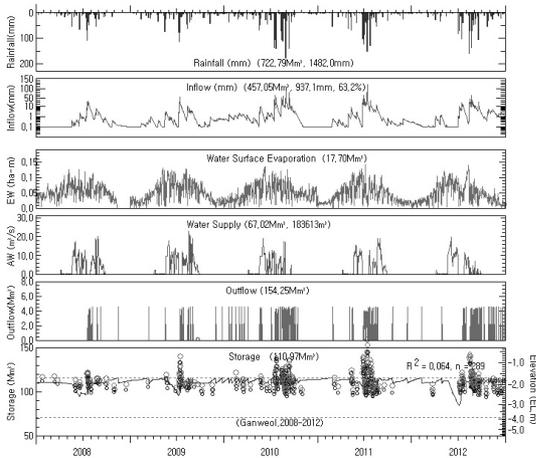


Fig. 6. Comparison of daily water storages in Ganweol estuary reservoir.

관리하며, 내수위가 관리수위를 초과할 때는 배수갑문을 열어 방류를 실시하는 것으로 모의하였다. 방류량은 방류실적 자료를 이용하여 유도한 식(5)의 공식에 의해 계산하였고, 배수갑문 조작실적 자료로부터 모의 일 지

수량을 관측 일 저수량과 비교하여 모형을 검증한 결과 Fig. 6과 같이 양호한 것으로 나타났다.

$$Q = 1000 \times (1524.3 + 3255.9 \times (h + 3)) \quad (5)$$

여기서, Q는 방류량(m³), h는 담수호 수위(EL,m)이다.

5. 부사호 담수호 운영

부사호 유역은 유역면적 126.3 km²이며, 토지이용은 밭이 23.18 km²(18.3%), 논이 28.47 km²(22.5%), 보령댐 유역은 유역면적 161.9 km²이며, 토지이용은 밭이 9.37 km²(5.8%), 논이 18.81 km²(11.6%), 보령댐 유역을 포함한 당초의 부사호 유역은 유역면적 288.1 km²이었으며, 토지이용은 밭이 32.56 km²(11.3%), 논이 47.28 km²(16.4%) 등을 차지하고 있다(Fig. 7).

부사호로부터 관개되는 수혜면적은 남포지구 489 ha, 부사지구 656 ha, 배후지역 480 ha, 기타 275 ha 등 총 1,900 ha에 이른다. 부사호는 소항, 증산 양수장이 있으며, 소항 양수장은 남포지구를, 증산 양수장은 부사지구를 담당하고 있다. 부사지구 수혜면적은 남포지구 수혜면적을 제외한 면적이며 1,411 ha에 이른다. 2009년부터 2011년까지 소항, 증산 양수장의 일별 양수 실적을 일별 논용수 수요량과 비교하였다(Fig. 8). 양수 실적은 부사지구 연평균 1,373만 m³, 남포지구 717만 m³로 나타났으며, 추정 수요량 1,575만 m³, 546만 m³과 비교되었으며, 월별로 비교한 결과 상대오차 30%이하는 각각 28%, 33%로 나타났다. 결론하면 부사호 양수장의 취수량은 논 관개용수 수요량에 다소 적합하지 않았던 것으로 나타났다.

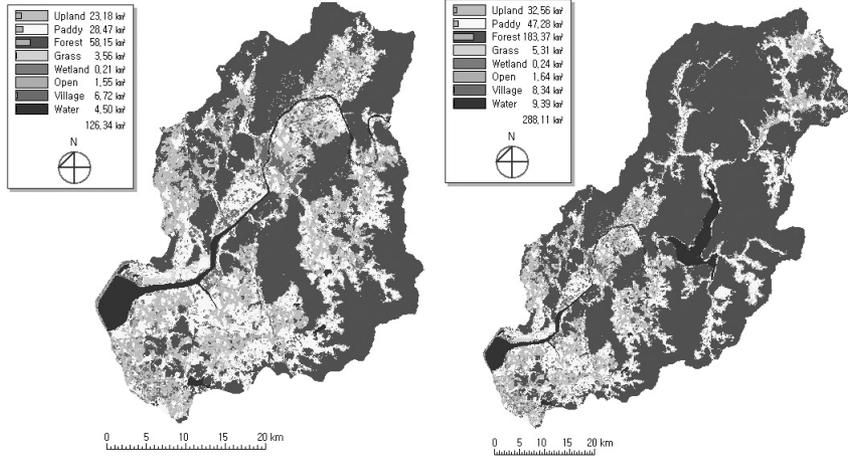


Fig. 7. Land uses of Busa estuary reservoir.

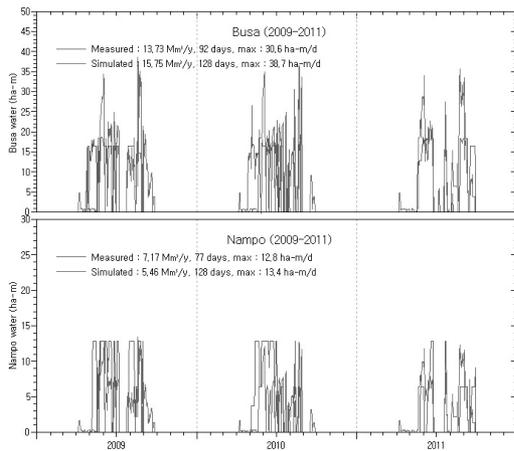


Fig. 8. Daily comparison between estimated paddy irrigation water and pumped water at Busa pumping station (2009-2011).

부사호 저수위를 모의한 결과는 2009년부터 2011년까지 보령댐 방류 실적, 상류 웅천천에서 공업용수 취수, 부사호의 농업용수 공급 등을 고려했을 때, 부사호의 개문 관리수위는 10~4월에는 EL.0.4 m, 나머지 기간은 EL.-0.5 m 인 것으로 나타났고, 관개용수 회귀수

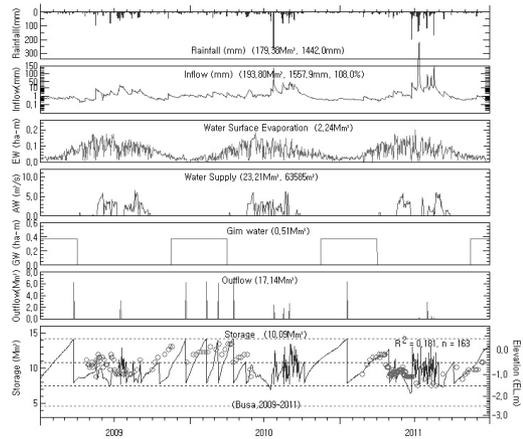


Fig. 9. Daily comparison between observed and simulated water storages in Busa estuary reservoir (2009-2011).

는 6월 초까지 0%, 나머지 기간은 35%이었고, 관개용수의 추가 취수량은 없는 것으로 나타났으며, 상류 웅천천에서 서해화력 및 보령화력의 공업용수 취수량은 13,000 m³/일인 것으로 결정하여, 이로부터 장기간 모의 운영의 기초자료를 제공할 수 있었다.

6. 맺음말

논 용수를 일별로 추정하여 간월호, 부사호 양수장의 양수실적과 비교하였고, 계룡 저수지, 간월호, 부사호에서 논 용수를 공급하면서 저수량 변화를 모의한 결과 관측자료와 비교적 가깝게 나타나 추정된 논용수 수요량의 적합성을 인정하였다. 따라서 하천유량을 모의할 때 논 용수로부터 회귀되는 수량을 반영하는 것이 합리적이라 평가를 하며, 세심하고 지속적인 모니터링에 의해 회귀수의 기작을 여러 지역의 현황과 여건에 부합되게 밝혀야 할 것이다.

참고문헌

1. 국토해양부, 2011. 수자원장기종합계획(2011-2020).
2. 이근후, 2007. 농업용수 수요량 산정 방법과 개선 방안. 한국농공학회지 49(3), 4-14.
3. 장중석, 2007. 국가 수자원계획에서의 농업용수 수요전망. 한국농공학회지 49(3), 20-27.
4. Allen, R. G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설기술혁신사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

기획: 맹승진 maeng@chungbuk.ac.kr