

# WARES(WATER Requirements Estimating System)에 의한 농업용수 수요량 산정

노 재 경  
충남대 생물자원공학부



우리나라의 수량과 수질의 관리를 위해서는 상류와 하류의 유출 상황을 파악하는 것이 가장 중요하다. 어느 임의 지점의 유출량은 생활용수, 공업용수, 농업용수 등 유역 상류의 각종 용수의 수요가 반영돼 나타난 결과라고 할 수 있다. 이 중에서 농업용수의 변화는 생활용수, 공업용수에 비해 변화폭이 크고 다양하게 나타난다. 그러나 현재 사용하고 있는 대다수의 유출모형은 용수수요를 고려하지 못하고 있는 상태이다.

우리나라의 유역에서 논이 차지하는 비중은 전국토의 11% 정도에 이르며, 논이 저류능력을 고려할 때 농업용수가 유출에 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다. 따라서 농업용수 수요량을 다양하고 쉽게 추정할 수 있는 프로그램을 개발, 이용하여 농업용수 수요량을 추정하여 유출 모의에 적용함으로써 보다 현상에 적합한 유출량을 생산하는 것이 중요하다.

따라서, 본고에서는 하천 상류와 하류의 유출량 모의를 위해 사용될 농업용수 수요량을 손쉽게 추정할 수 있도록 개발된 WARES(WATER Requirements Estimating System)에 대해 소개하고자 한다.

## 1. WARES 소개

개발될 농업용수 수요량 추정 시스템인 WARES는 수자원 운영에 적용할 수 있도록 하고, 실무자가 사용할 수 있도록 하고, 수계단위 운영에 적용하기 위해 유역크기가

큰 소유역에 적용할 수 있도록 개발하였다. 수계단위의 수자원 운영에서 큰 부분을 차지하고 있는 다목적댐에서 실무적으로 농업용수를 조절하는 것은 극히 제한적이다.

따라서 농업용수 수요량은 댐 운영에 적용하는 것보다는 하천 상류와 하류의 유출량 모의에 적용할 수 있도록 하였다. 특히, 본고에서는 금강수계의 12개 소유역의 농업용수 수요량을 추정 할 수 있는 체계를 예를 들어 서술하고자 한다.

## 2. 개발 방법

### 가. 논 용수량 산정 방법

논의 용수 수요량은 벼의 증발산량과 침투량 및 유효우량을 고려하여 산정한다. 증발산량은 일조, 온도, 습도, 바람 등 기상 조건에 따라 변화하고, 침투량은 재배토양의 토성, 지하수위 등에 의해 영향을 받으며, 유효우량은 강우량에 의해 결정된다. 또한, 논이 필요수량은 재배관리 용수량과 시설관리 용수량을 고려한다. 논 용수량은 감수심에서 유효우량을 고려하여 순용수량을 산정하고 손실율을 적용하여 조용수량을 산정한다.

$$\text{순용수량} = \text{증발산량} + \text{침투량} - \text{유효우량}$$

$$\text{조용수량} = \text{순용수량} / (1 - \text{손실율})$$

현재 사용되고 있는 증발산량 공식은 Doorenbos & Pruitt(FAO-24, 1977)의 Penman 수정공식이다. Penman 식은 기상자료를 이용하여 일 단위의 잠재증발산량을 산정

할 수 있어 관계계획 수립에 많이 이용되고 있다.

$$ET_o = C [W \cdot Rn + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)] \quad (1)$$

여기서,  $ET_o$ 는 잠재증발산량 (mm/day),  $W$ 는 기온과 관련된 가중계수,  $Rn$ 은 순일사량 (mm/day),  $f(u)$ 는 풍속 함수,  $e_a - e_d$ 는 평균기온에서 포화수증기압과 공기의 평균 실제수증기압과의 차,  $C$ 는 주야의 기상조건에 따른 효과를 보정하기 위한 조정계수이다.

논벼의 경우 필지의 필요수량은 식 (2)와 같다(농업생산 기반정보사업계획설계기준, 관계편, 1998).

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

여기서,  $Req$ 는 답의 필요수량,  $ET$ 는 증발산량,  $I$ 는 일 침투량,  $Re$ 는 유효우량이다. 시간 단위  $t$ 는 물꼬높이가 보통 60~80 mm이고 유효우량은 이 담수심에 기여하는 정도를 나타내므로 일 단위로 논에서의 저류수심을 추적해 가면서 계산한다.

일 강우량이 물꼬높이 이상이 되면 유효우량은 물꼬까지의 강우량이 되나 전일의 담수심이 물꼬높이를 유지하고 있으면 유효우량은 0이다. 따라서 일별 담수심의 변화는 식 (3)의 단일 필지에서의 물수지 식을 이용한다. 그러므로 유효우량은 식 (4)과 같이 나타낼 수 있다. 그러나 실제 논에서 담수심의 변화는 당일의 강우량과 필요수량 및 담수심의 관계에서 구해야 하며 이는 가정된 물꼬높이  $D_{max}$  및 상시관리 담수심  $D_{min}$ 에 의해 제한된다.

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

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

여기서,  $D$ 는 담수심 (mm),  $Re$ 는 유효우량 (mm),  $Req$ 는 관개량 (mm),  $U$ 는 소비수량으로서 실제증발산량 (mm)과 침투량 (mm/day)의 합이며,  $t$ 는 시간 (일)침자이다.

이앙재배에서 재배관리 용수량을 구성하는 요소는 묘대 기간, 이앙일수, 본답기간 등이 있다. 묘대기간은 45일, 이앙일수는 15~20일 정도이며, 대체로 벼 재배기간은 묘대기간을 포함하여 4월 초순에서 9월 중순까지이다. 또한 무효분얼기에는 중간낙수를 해주며 생육시기별로 소요 담수

심이 다르다.

#### 나. 자료수집

논 용수 수요량 추정에 필요한 자료는 일조시간, 평균온도, 상대습도, 평균풍속, 강우량, 증발량 자료 등 기상자료와 해당 구역별 경지면적 자료이다. 대부분 기상자료는 기상청의 모든 관측소에서 관측되고 있으나 증발량 자료는 전국에서 21개소에 불과하다. 따라서 기상자료를 이용하여 일 증발량을 추정하여 사용한다.

#### 다. 시스템 설계

사용자가 쉽게 사용할 수 있고, 유출 해석에 쉽게 활용될 수 있도록 가능한 단순하게 구성하고, 기능은 최대한으로 하는 것을 목표로 비주얼 프로그램의 윈도우 환경으로 한다. 또한, 자료의 입출력 관리, 모의 발생, 모의 결과 분석 등의 기능을 부여하여 입출력 자료를 관리하고 농업용수량을 쉽게 추정하고, 추정결과를 쉽게 평가할 수 있도록 한다.

#### 라. 시스템 구축

비주얼 베이직으로 작성하며, 표와 그림을 충분히 나타낼 수 있게 하여 입력 자료와 모의 결과를 쉽게 파악할 수 있도록 한다. 또한, 시스템의 유지관리를 원활히 하기 위해 가능한 프로그램을 모듈화 하도록 한다.

#### 마. 시스템 적용 예

구축된 시스템을 금강의 12개 소유역에 적용하여 일별로 농업용수 수요량을 추정하여 유출해석에 사용할 수 있도록 한다.

### 3. WARES(WATER Requirements Estimating System)

#### 가. 자료수집

기상자료는 해당 구역 인근에 위치한 기상청의 기상자료를 수집하였다. 수집한 기상자료는 일 강우량, 일 증발량, 일조시간, 평균온도, 상대습도, 평균풍속 등이다.

일 증발량 추정은 노(2002)가 기상자료를 이용한 일 증발량 추정방법을 제시하여 실용화 수준의 결과를 얻었다. 여기에서도 동일한 방법으로 일 증발량을 추정하여 사용하였다.

소유역별 경지면적 추정은 본 시스템의 적용 예인 금강

수계에서 각 소유역로 행정구역도를 참조하여 시군 단위로 조사돼 있는 경지면적을 면적비율로 배분하였다.

나. 시스템 설계

시스템의 편의성과 확장성을 고려하고, 구조는 단순하고 기능은 최대가 되도록 설계하였다. 또한 그림과 표를 충분히 활용토록 설계하였다. 따라서 킷치박스와 그리드를 겹쳐 나타내 구조를 단순하게 하였고(그림 5 참조), 여기에 모든 그림과 표를 나타내도록 하였다.

그림 1은 콤보박스를 이용하여 소유역을 선택하도록 설계한 것인데 타 수계로의 확장성을 고려하여 수계 선택의 콤보박스를 넣었다. 수계를 선택하면 소유역 선택 콤보박스에 해당 수계의 소유역이 올라오도록 코딩을 하여 주고, 이에 따라 DB의 자료 조회가 이루어지도록 함으로써 타 수계로의 확장도 쉽게 이루어 질 수 있다.

그림 2는 논 용수 수요량을 추정하기 위해 입력 화면을 설계한 것이다. 소유역을 선택하면 해당 소유역의 자료가 자동으로 입력되도록 하여 입력의 편의를 도모하였으며, 다른 값을 입력하고 싶으면 직접 입력하면 된다.

관개개시일은 못자리용수 공급 시작일이며, 관개면적, 침투량, 손실을 등을 입력하여야 한다.

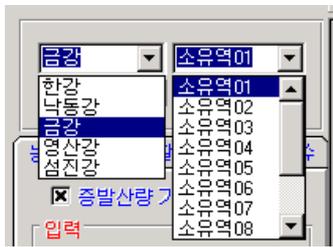


그림 1 소유역 선택 설계

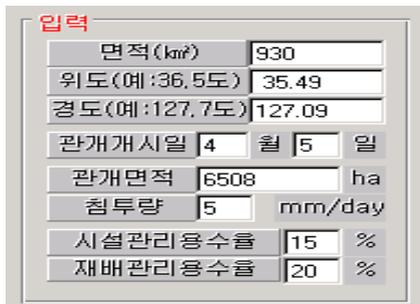


그림 2 논용수 입력 설계

위도와 경도를 이용하여 소유역에서 가장 가까운 기상관측소를 찾는다. 증발산량 계산에 필요한 일조시간, 온도, 습도, 풍속, 증발량 등 자료는 인근의 기상관측소의 값을 사용하게 된다.

그림 3은 모의를 위해 논의 담수심이 60 mm인지 80 mm인지, 유효우량을 고려할 것인지 안 할 것인지, 관측 증발량을 사용할 것인지 추정 증발량을 사용할 것인지 선택하여 모의를 할 수 있도록 설계한 것이다.

3가지 조합으로부터 경우 수는 모두 12가지이지만 증발량은 어느 것을 선택하든지 경우를 구분하지 않았다. 따라서 경우 수는 담수심 선택과 유효우량을 고려하는 경우와 안하는 경우 등 모두 4가지가 된다.

모의 결과를 알기 쉽게 보여주기 위해 다양한 그림과 표를 구성하였다. 그림 4는 이를 설계한 것이며, 단추 [전체년] 는 모의 시작년부터 끝년까지 기간에 상관없이 그림으로 보여줄 수 있도록 한 것이며, 단추 [S] 는 모의한 논 용수 수요량을 일년 단위로 시작년부터 끝년까지 중첩하여 보여주도록 하였다. 또한, 패널 [L] 은 3개의 콤보박스에 시작년부터 끝년까지 연도를 나타내도록 한다.



그림 3 모의 선택설계

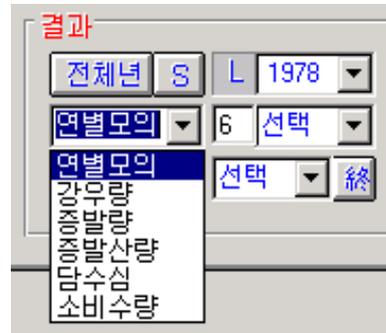


그림 4 모의 결과 설계

1978 을 선택하면 일년 단위로 해당 년의 모의 결과를 그림으로 나타낸다. 콤보박스 **연별모의** 는 강우량, 증발량, 증발산량, 담수심, 소비수량의 결과를 전체년에 대해 월별로 그림과 표로 나타내도록 하였다. 연별모의는 일년 단위로 모의 결과를 종합하여 나타낸다. **6 선택** 는 앞의 텍스트박스안의 6은 월을 선택하고 콤보박스는 년을 선택하여 해당월에 대해 일별로 모의결과를 표로 나타내도록 하였다. 하단의 **선택** 는 4월에서 9월까지 증발량과 증발산량을 연단위로 비교하도록 하였다. 이와 같이 다양한 분석을 할 수 있도록 설계하여 모의한 논 용수 수요량의 특성을 충분히 파악할 수 있도록 하였다.

다. 시스템 구축

비주얼베이직 6.0을 이용하여 프로그램하였으며, 그림 5는 구축한 프로그램의 윈도우이다. 좌측에 모든 선택을 관리할 수 있도록 하였으며, 이곳에 소유역을 선택하고 기간을 입력하고 프레임 안에 모든 입력과 모의 선택, 모의결과 분석을 할 수 있도록 하였다. 그림이 나타난 부분은 픽처박스이며 이곳에 모든 형태의 그림을 나타내게 되며, 또한 표

를 나타낼 수 있도록 그리드가 중첩되어 있다.

시스템의 구축 내용을 금강수계의 용담댐 유역에 적용한 예로 살펴보았다. 용담댐 지점의 유역은 진안군, 장수군, 무주군의 전체 면적 195,440 ha중에서 92,908 ha를 차지하며, 논은 6,508 ha, 밭은 5,037 ha로 조사되었다. 이로부터 논 전체에 대해 관개를 실시하는 것으로 하여 관개면적은 6,508 ha로 하였다.

수정 Penman법을 적용하는데는 기상자료가 필요하고, 전국에 19개소 관측소만이 Penman법을 적용할 수 있는 계수가 준비돼 있다. 용담댐 유역에서 Penman식을 적용할 수 있는 인근 기상관측소는 전주관측소이다. 따라서 전주 지방의 일별 평균온도, 일조시간, 상대습도, 평균풍속, 강우량 자료를 수집하였으며, 강우량 자료는 용담댐 유역 내의 모든 우량관측소의 자료를 이용한 티센면적 강우량을 계산하였고, 일 증발량 자료는 1991년 이후 관측이 중단되어 기상자료를 이용한 추정식으로 모의하여 사용하였다. 분석기간은 1971년부터 2000년까지 30년으로 하였다.

몇 가지 적용 예를 살펴봄으로써 시스템의 구축 내용을 살펴보기로 하였다. 그림 6은 전기간에 대해 논 용수 수요

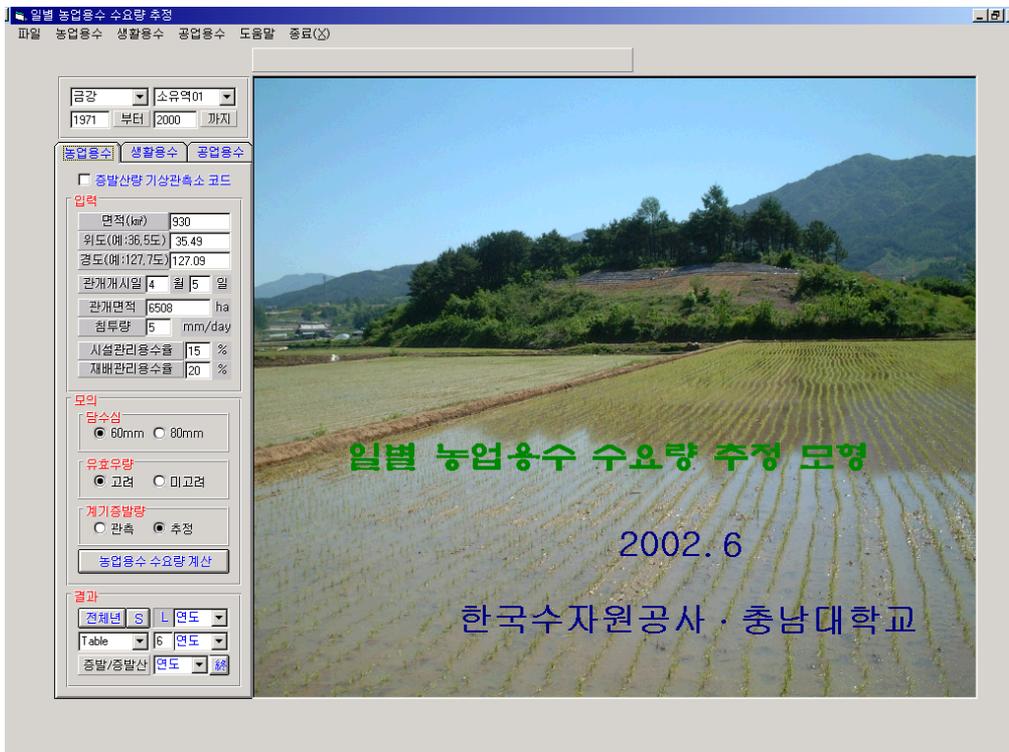


그림 5 농업용수 수요량 추정 모형 윈도우

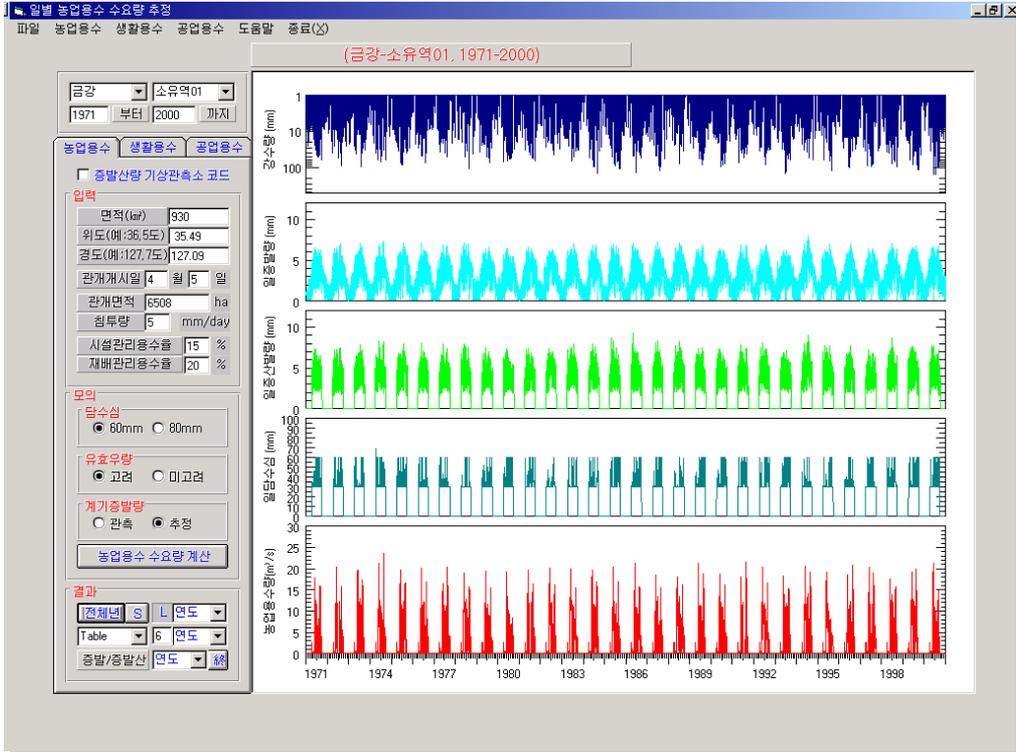


그림 6 는 용수 수요량 모의 결과(소유역 1, 1971~2000)

량을 모의한 결과를 일별로 나타낸 것이다. 강우량, 증발량, 증발산량, 담수심도 함께 나타내어 이들의 영향을 파악할 수 있도록 하였다.

그림 7은 전기간에 대해 모의한 논 용수 수요량을 일년 단위로 중첩하여 나타냄으로써 수요패턴을 파악할 수 있도록 하였다. 여기서 담수심의 변화도 함께 나타내었다.

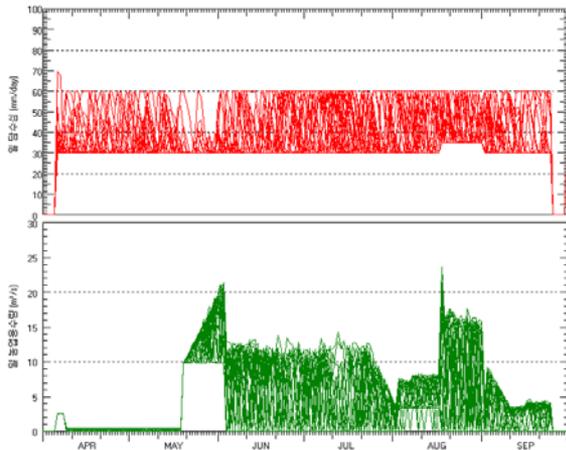


그림 7 는 용수 수요량 중첩(용담댐 구역)

그림 8은 논 용수 수요량의 모의 예를 보여주고 있으며, 1978년 용담댐 구역에서는 연강수량 1174.2 mm, 연 증발량 1108.4 mm, 연 증발산량 853.8 mm, 평균담수심 35.5 mm, 논 용수 수요량 62.8백만 m<sup>3</sup>을 보여주었다. 논 용수 수요는 4월에서 9월까지 이루어지며, 이 기간동안 논 용수는 평균 1일에 36만 m<sup>3</sup>이 필요하며, 1일 평균 증발

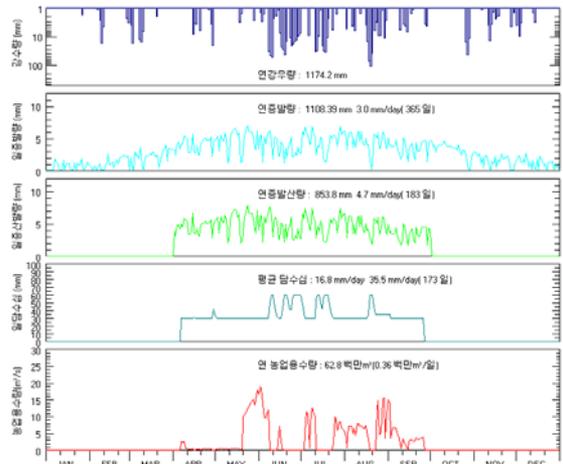


그림 8 는 용수 수요량 모의 예(1978)

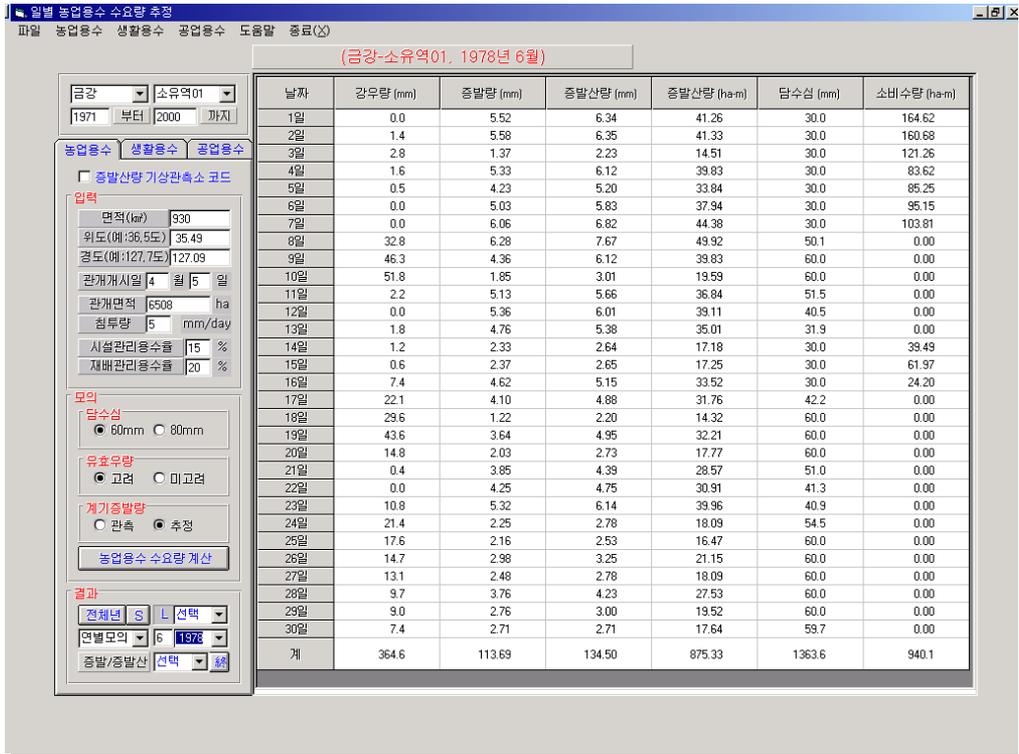


그림 9 모의 논 용수 수요량 표 출력 예 (용담댐 유역, 1978.6)

산량은 4.7 mm이었다.

그림 9는 용담댐 유역에서 1978년 6월의 논 용수 수요량 변화를 일별로 나타낸 예이다. 이와 같이 전기간에 대해 월별로 일 자료를 상세하게 살펴볼 수 있도록 하였다.

그림 10은 논 용수 수요량의 월 변화를 나타낸 것으로 위 그림은 중첩하여 나타내 평균적인 수요패턴을 파악할 수

있도록 하였고, 아래 그림은 전기간에 대해 변화를 나타내었다. 또한, 이를 표로 볼 수 있도록 하여 이해를 쉽게 하였다. 강우량, 증발량, 증발산량, 담수심 변화도 이와 같이 나타내었다.

그림 11은 용담댐 유역의 1978년에 대해 증발량 변화를 증발산량 변화와 일별로 함께 나타내어 비교한 예이다. 증

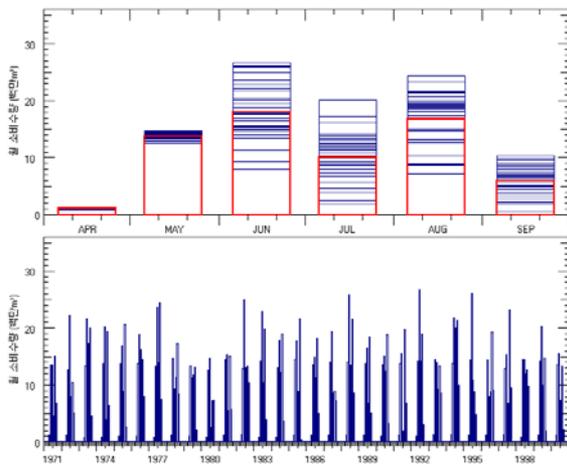


그림 10 논 용수 수요량 월 변화 예

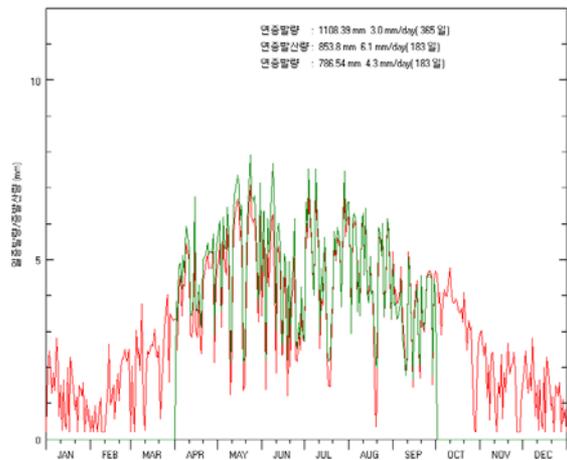


그림 11 증발량과 증발산량 비교 예

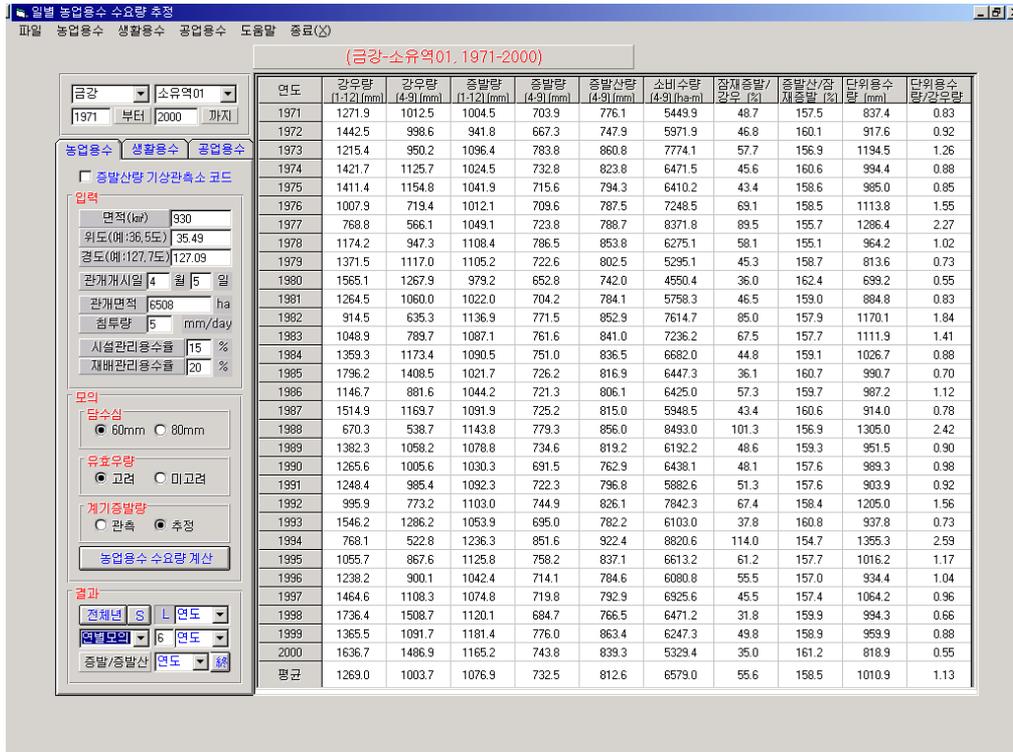


그림 12 모의 결과 연별 종합

발산량이 발생한 기간(183일)에 대해 살펴보면 증발량은 786.5 mm이었으나 증발산량은 853.8 mm에 이르렀다. 일 평균으로는 증발량은 4.3 mm, 증발산량은 6.1 mm이었다. 여기서 눈여겨 보아야 하는 것은 증발량과 증발산량 변화 양상이 거의 일치하고 있는 점이다. 이로부터 Penman 공식을 사용하여 증발산량을 계산하지 않더라도 직접 증발량 자료로부터 증발산량을 계산할 수 있는 가능성이 있다는 것을 알 수 있다. 이것이 실용화 수준의 결과가 도출된다면 우리나라에서 Penman 공식을 적용하는데 19개 기상관측소에 국한돼 있는데 전국 기상청 관측소가 80여 개소에 이르는 점을 감안하면 Penman 공식 적용의 제한을 많이 해소할 수 있을 것이다.

그림 12는 모의한 논 용수 수요량을 연별로 종합한 것이다. 1971년부터 2000년까지 연평균하여 4월에서 9월까지 강우량은 1003.7 mm, 증발량 732.5 mm, 증발산량 812.6 mm, 논 용수 수요량 65.8백만 m<sup>3</sup>을 나타냈다. 또한 강우량 대 잠재증발량 비율은 55.6%, 잠재증발량 대 잠재증발산량 비율은 158.5%, 논 용수량을 관개면적으로 나눈 단위용수량은 1,010.9 mm, 강우량 대 단위용수량은

1.13을 보여주었다. 이상 살펴봄으로써 논 용수량은 강우량의 대략 1.13배가 필요하다는 것을 알 수 있다.

이상과 같이 논 용수 수요량을 모의한 결과를 여러 가지 과정을 거쳐 살펴 본 후 담수심을 60 mm, 80 mm로 한 경우와, 유효우량을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우 총 4가지의 논 용수 수요량을 일별로 엑셀파일로 출력할 수 있게 하여 유출해석에 논 용수 수요량을 쉽게 반영하도록 하였다. 만약 유출에 적용하여 결과가 좋지 않다면 침투량, 손실을 등을 변화시켜 적용하는 과정을 반복하여 수행할 수 있다.

라. 시스템 적용

그림 13과 같은 금강의 12개 소유역에 WARES를 적용하여 일별 농업용수 수요량을 추정하였다. 분석기간은 1983년~2002년인 20년으로 하였다. 농업용수 수요량은 논에 공급한 것만 회귀되는 것으로 보아 논에 관개된 것만을 추정하였다. 추정의 경우수는 담수심을 60 mm, 80 mm로 한 경우와, 유효우량을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우 총 4가지가 있으며, 여기서는 담수심을 60 mm로

표 1 일별 농업용수 수요량 (m<sup>3</sup>/s)

년	월	일	소유역 1	소유역 2	소유역 3	소유역 4	소유역 5	소유역 6	소유역 7	소유역 8	소유역 9	소유역 10	소유역 11	소유역 12
1983	7	18	11.104	3.107	2.407	2.477	6.881	8.649	33.308	5.192	21.643	12.290	22.889	24.063
1983	7	19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1983	7	20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1983	7	21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1983	7	22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1983	7	23	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1983	7	24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1983	7	25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1983	7	26	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	33.636	0.000	0.000	5.738	0.000	0.000
1983	7	27	7.141	1.709	3.426	0.398	2.225	2.183	30.599	0.754	11.337	11.292	4.205	10.370
1983	7	28	6.279	3.215	3.404	4.412	9.698	0.406	13.382	0.000	6.516	7.478	10.333	13.483
1983	7	29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1983	7	30	1.864	1.426	0.000	0.000	0.000	0.000	15.495	1.371	0.000	0.000	0.000	0.000
1983	7	31	4.930	2.524	1.293	2.410	8.890	2.721	17.512	3.207	0.000	0.000	0.000	0.000
1983	8	1	3.913	2.024	2.143	2.778	6.592	4.963	16.051	2.940	9.426	0.000	0.000	0.000
1983	8	2	3.988	2.042	2.162	2.778	7.104	5.165	16.190	2.965	11.071	4.798	7.693	6.876
1983	8	3	7.395	3.786	4.009	5.196	13.287	9.579	30.023	5.499	20.531	11.080	15.105	15.880
1983	8	4	7.189	3.681	3.897	5.052	12.917	9.313	29.188	5.346	19.960	10.772	14.685	15.438
1983	8	5	7.262	3.718	3.937	5.103	13.047	9.406	29.482	5.399	20.160	10.880	14.833	15.593
1983	8	6	7.252	3.713	3.931	5.096	13.030	9.394	29.442	5.392	20.133	10.866	14.812	15.572
1983	8	7	7.252	1.769	3.931	5.096	13.030	9.394	29.442	5.367	20.133	10.866	14.813	15.573
1983	8	8	3.390	2.030	2.304	4.301	9.973	4.391	17.747	2.520	15.072	10.572	14.911	15.676
1983	8	9	3.580	2.392	1.838	2.382	6.090	4.391	0.000	2.520	9.410	0.000	0.000	0.000
1983	8	10	6.852	3.342	2.977	2.382	6.090	4.391	13.761	2.520	9.410	5.079	6.923	7.279
1983	8	11	3.785	2.875	2.559	4.451	12.624	4.391	13.761	2.520	9.410	5.079	6.923	7.279

표 2 년별 농업용수 수요량 (백만 m<sup>3</sup>)

년도	소유역 1	소유역 2	소유역 3	소유역 4	소유역 5	소유역 6	소유역 7	소유역 8	소유역 9	소유역 10	소유역 11	소유역 12
1983	73.258	36.749	38.267	45.858	114.902	85.922	272.941	45.469	179.740	101.220	141.008	149.817
1984	66.922	34.760	37.274	47.176	115.640	88.617	275.449	47.346	189.230	105.654	144.398	147.065
1985	66.836	33.574	35.620	47.761	124.112	90.306	290.310	50.217	209.709	108.659	147.162	147.670
1986	68.789	38.079	36.744	45.791	114.592	80.240	265.173	42.103	178.262	97.857	135.778	138.176
1987	59.511	30.690	32.439	41.821	102.638	70.693	222.540	36.789	151.352	86.776	117.460	126.257
1988	91.586	45.803	48.158	57.121	146.052	106.125	331.414	54.475	223.651	128.897	178.221	188.244
1989	65.946	37.513	38.834	51.801	126.063	89.542	283.186	49.216	187.737	115.533	145.789	157.414
1990	66.742	35.367	38.178	46.751	116.470	85.038	249.086	46.864	176.647	108.778	139.143	157.206
1991	61.728	31.810	37.316	46.825	121.493	90.095	287.705	52.345	195.193	110.677	148.827	151.596
1992	83.588	42.722	45.636	57.357	144.301	103.114	303.417	55.415	209.218	118.138	167.337	176.737
1993	59.731	32.331	36.004	47.908	123.237	81.763	268.891	47.501	175.274	96.001	130.653	133.139
1994	97.600	49.551	50.667	67.341	176.233	121.960	362.009	67.037	246.597	141.574	185.157	197.486
1995	70.572	37.083	40.242	53.059	128.823	94.910	291.134	54.711	202.792	109.453	154.976	172.827
1996	47.255	33.309	34.493	50.747	126.948	90.175	293.264	52.628	202.668	103.094	147.968	159.335
1997	74.149	38.908	40.969	56.458	141.256	95.863	311.299	56.917	213.235	111.781	155.389	169.096
1998	64.167	35.988	37.253	46.164	121.327	85.182	275.993	47.609	177.333	95.972	128.896	135.942
1999	98.679	34.720	41.682	48.463	130.975	104.827	342.874	62.472	243.249	121.651	174.942	185.534
2000	82.937	30.851	34.507	45.089	116.139	77.656	259.234	44.140	182.872	92.351	135.058	144.730
2001	84.374	44.297	43.703	59.546	153.230	109.711	345.870	62.478	228.725	125.398	172.200	187.231
2002	78.860	40.223	43.140	57.701	148.605	118.544	358.889	67.540	254.787	134.399	188.423	199.316
평균	73.16	37.22	39.56	51.04	129.65	93.51	294.53	52.16	201.41	110.69	151.94	161.24

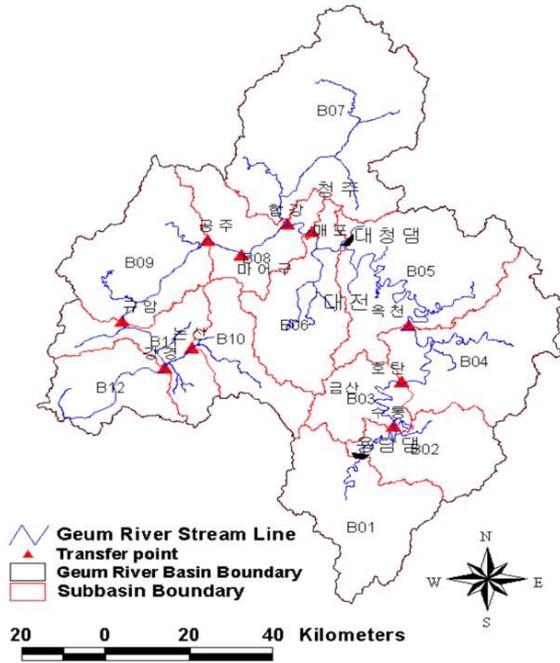


그림 13 금강 소유역 분할도

로 하고 유효우량을 고려한 경우 추정된 것을 우선 제공하였다. 또한, 침투량은 5 mm로 가정하였고, 시설관리용수를 15%, 재배관리용수를 20%로 적용하였다.

소유역별 논 면적을 적용하여 표 1과 같은 엑셀의 형식으로 1983년 1월 1일부터 2002년 12월 31일까지 일별로 추정된 농업용수 수요량을 제공하였다. 표 2는 분석기간 동안 추정된 연도별 농업용수 수요량을 종합한 것이다. 이상 제공한 농업용수 수요량이 유출해석에서 만족될 때까지 개발된 시스템을 이용하여 조건을 다르게 하여 쉽고 빠르게 농업용수 수요량을 반복 추정할 수 있도록 WARES를 개발 하였다.

#### 4. 기대효과 및 향후 계획

WARES는 수자원 관리 실무자 및 타 연구에서 활용할

수 있도록 개발하였다. WARES을 이용하여 추정된 일별 농업용수 수요량은 유출해석에서 그대로 사용되기 때문에 이 분야에서는 상당히 유용한 시스템이라고 할 수 있다.

논 용수 수요량을 모의한 결과가 직접 사용되는 것은 일 단위의 유출해석이다. 우리나라의 유출반응이 논 관개와 밀접하게 관련하여 일어나는 현상이라는 점을 고려할 때 논 용수 수요량을 고려한 유출해석의 의의는 매우 크다고 할 수 있다. 또한, WARES를 활용하여 단위 유역별 물수지 분석시 적용할 수 있을 것으로 판단한다.

WARES에는 일 농업용수 수요량 산정 모듈만이 있으나 향후 WARES의 개선을 통해 일 생활 및 공업용수 수요량 산정 모듈이 추가 되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

본고는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 1-6-2)에 의해 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. 건설교통부, 1997, 수자원 계획의 최적화 연구(I)
2. 건설교통부·한국수자원공사, 2000, 수자원장기종합계획 보고서
3. 노재경, 2002, 기상자료를 이용한 일 증발량 추정, 한국수자원학회 학술발표회 논문집
4. 농림부, 1998, 농업생산기반정비사업계획설계기준, 관개편
5. 농림부·농어촌진흥공사, 1999, 농촌용수 수요량 조사 종합 보고서
6. 농업진흥공사, 1989, 소비수량 산정방법 실용화 연구
7. FAO, 1977, Crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 24
8. FAO, 1998, Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56