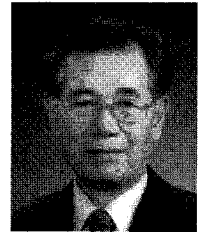


## 농업용수 수요량 산정 방법과 개선 방안

이 근 후

경상대학교 지역환경개발공학과 명예교수



### 1. 농업용수 수요량 산정의 의의

물 수요 산정은 효과적인 수자원계획과 관리에 있어 필수적 요소이다. 기존 공급체계의 평가는 물론, 신규 수자원을 반드시 개발해야 하는지, 그 시기는 언제인지 등을 결정하는데 있어 중요한 역할을 한다. 수요량 산정은 수요와 공급의 균형을 유지하는데 필요한 최적 관리 방법을 구분해 내는데 있어서도 크게 기여할 수 있다.

최근에는 신규 수자원 개발과 공급에 필요한 비용이 급등하고 있고, 취수에 따른 물 생태계의 변화에 따른 부정적 영향에 대한 인식 또한 급속하게 증대하고 있다. 이에 따라 정확한 미래 물 수요 산정의 중요성과 공공 계획에서의 역할에 대한 인식이 더욱 확산되고 있다. 건설교통부에서 발표한 최근의 수자원장기종합계획(2006~2020)에 의하면 수요관리정책의 강화, 수자원의 효율적 관리, 지속가능한 수자원의 이용 등을 위하여 수요관리 목표 설정, 정책의 실효성 강화, 수자원 개발 중심에서 효율적인 활용으로 정책 전환 등으로 기본 방향을 잡고 있다. 따라서 과거의 공급위주 정책에서 탈피하여 수요관리로의 전환을 선언하고 있다.

농업용수의 경우에도 물 수요 산정은 매우 중요하다. 물을 사용하는 각 부문 간의 경쟁이 심화되고 있는 현실에서 정확한 수요의 판단은 또 다른 의미에서 중요하다. 농업부문에서 요구하는 수요량의 타당성이 인정될 때 정부의 개발 투자가 이루어질 수 있기 때문이다.

농업용수의 비중을 가늠하는 수자원 이용량의 변화를 보면 1965년 총 이용량의 88%를 차지하던 것이 점점 감소하여 2003년 현재 전체이용량 337억 m<sup>3</sup> 중 47%인 160억 m<sup>3</sup>를 사용하고 있는 것으로 나타나 있다. 유지용수와 생활용수의 급증으로 상대적으로 농업용수의 사용비율이 감소한 것이다. 논 용수, 밭 용수 그리고 축산용수를 포함하는 농업용수의 수요는 2003년 기준수요 기준을 159억6천5백만 m<sup>3</sup>로 했을 때 2020년에는 155억 8천3백만 m<sup>3</sup>로 수요량이 감소되는 것으로 추정하고 있다. 이는 기준년도인 2003년에 비해 6억1천만 m<sup>3</sup> 정도가 감소한 셈이다.

앞으로 농업용수의 관리 정책의 수립과 추진에 있어 이 값이 기본적인 지표로 사용될 것이기 때문에 매우 중요하다. 그러나 이 산정 값 들이 현실을 그대로 반영하는 수치일 때 수자원 계획의 유용성이 인정 될 수 있을 것이다. 수요량 및 사용량의 추정 방법이 이론적으로나 현실적으로 타당할 때 추정치의 신뢰성이 생기는 것이고, 그것을 기초로 수립된 정책의 정당성이 확보 될 수 있을 것이기 때문이다.

수자원 계획에서는 반드시 경제, 사회, 환경, 물 수요에 대한 정치적 영향 등에 대하여 고려해야 한다. 쉽게 말하자면 미래의 물 수요는 지역의 인구, 산업 활동의 성장 또는 감퇴, 기술의 변화, 법률의 변경, 물 값 부과, 기후 및 경관의 선택에 따른 야외 물 사용량의 변화 등의 함수이다. 농업용수의 수요량 역시 지역적인 기상현상, 작물의 종류, 토양 및 영농방식, 경지면적의 변화 추이 등 많은 요소들을

고려하여 산정해야 한다. 그러나 이들 요소들은 시간과 지역 환경에 따라 많은 차이가 있기 때문에 지역여건과 작물 및 토양 특성을 고려하여 수요량을 합리적으로 산정하기가 쉽지 않다.

또한 농업용수는 생활용수나 공업용수 등과는 다른 특성을 지니고 있어 수요량 산정에 있어서도 어려움이 따른다. 농업용수는 이용 면에서 계절적 변동이 매우 심하고 각 작물의 생육기간이 한정되어 용수이용의 집중도가 높고, 지역의 기상, 토양, 작물의 종류 및 생육조건 등 많은 인자들이 수요 및 공급에 변수로 작용하기 때문에 다른 부문의 용수 이용에 비하여 소비구조가 매우 복잡하다. 또한 재이용이 많아 공급과 소비량 산정에 대한 개념상 특별한 고려가 많이 필요하며 유효 강우량이 많아 강우의 직접 이용 정도에 따라 용수 수급에 커다란 변화가 발생한다. 또한 수리권으로 표현되는 집단적 이용으로 공공성이 강하다.

따라서 앞으로도 농업용수 개발 정책의 타당성 검토는 지속적으로 이루어져야 한다. 이를 위해서는 정확하고 신뢰성이 있는 수요량의 산정이 전제가 되어야 할 것이다. 다행이 수자원장기종합계획에서는 매 5년마다 계획을 수정 보완토록 하고 있다. 농업용수 부문에서도 지속적인 조사 연구를 통해 정확한 수요량 추정에 만전을 기하여야 할 필요성이 크다.

본 논설에서는 일반적인 물 수요 산정에 대한 전반적인 이해를 돕기 위해 각 종 물수요 산정 모형의 종류와 기본 이론에 대하여 살펴보고, 우리나라에서 사용되고 있는 농업용수 수요량 산정 모형들을 소개코자 한다. 그리고 이들 모형들이 안고 있는 문제점들을 적시하고, 문제점을 개선하기 위한 방안들을 생각해 보기로 한다. 다만 농업용수에는 논 용수, 밭 용수, 축산용수, 하천유지용수 등이 포함되나 여기에서는 논 용수와 밭 용수 수요량 산정에 대하여서만 논하기로 한다.

## 2. 농업용수 수요량 산정 모형

### 가. 물 수요량 산정 모형의 종류

농업용수 수요량 산정은 국가 수자원계획의 일환으로 이루어진다. 따라서 농업용수도 일반적인 물 수요량 산정 방법이나 계획수립 방법에 대한 이해를 바탕으로, 생활용수나 공업용수 부문과 이론적, 기술적 정합성과 타당성을 전

제로 하여 산정할 필요가 있다. 다만, 그런 가운데에서도 농업용수의 특성을 살려야함은 물론이다. 이를 위해 일반적인 수자원 계획에서 사용되는 물 수요 산정 방법에 대한 이해가 필요하다.

성공적인 물수요 산정은 물 수요에 영향을 미치는 요인이 무엇인가에 대한 이해, 필수적으로 필요한 자료의 획득 가능성, 물 수요 안정성과 이것이 과거에 끼친 영향, 그리고 이들 영향이 미래에는 어떻게 변화할 것인가 등 여러 요소들에 의해 이루어진다. 자료수집과 분석형태의 결정은 신뢰성 있는 모형개발에 있어 매우 중요하다. 산정모형의 종류는 주로 유용한 자료의 존재유무, 모형의 주사용 목적 등에 따라 구분한다. 모형의 복잡성은 모형에 필요한 입력 자료의 상세한 정도에 따른다. 그러나 더 복잡한 모형이 항상 더 적절한 모인 것은 아니다. 만일 자료가 제한적인 경우에는 복잡한 모형이 정당화될 수 없다. 미국 수공협회(AWWA: American Water Works Association)가 2001년 발표한 몇 가지 물수요 산정모형에 대해 요약해보면 다음과 같다.

가장 일반적인 형태의 물 수요 모형은 미래 물 수요를 일련의 설명 가능한 변량들과 연관 짓는 것이다. 일단 적정한 자료 수집이 완료되면 모형의 교정과 검증절차의 완성을 위하여 산정방법과 산정 시간 간격을 선정해야만 한다. 설명 가능한 변수들은 과거 물수요 관측 자료와 몇 가지 독립 변수들과를 연관시켜 모형을 교정하는데 도움이 된다. 일단 모형이 교정되면 이모형을 미래의 물 수요를 산정하는데 사용할 수 있다.

물 수요모형은 다양한 산정 시간 간격을 사용할 수 있다. 즉, 장기(연간 혹은 10년 단위), 중기(월간 혹은 연간), 그리고 단기(시간별, 일별, 주별) 등이 그것이다. 장기 산정모형은 일반적으로 10년 혹은 그 이상의 미래에 대한 산정에 초점을 맞춘 것이다. 이모형은 관리자들이 인구 변화, 가격구조, 기후변화 등의 변수들을 고려함에 따른 장기적인 기반이나 공급량의 변동을 결정하는데 도움이 된다. 이들 산정 값들이 미래의 관리업무에 매우 중요한 반면, 그 같은 산정들은 불확정성이 매우 높다. 물론, 산정기간이 길수록(예컨대 30년 또는 40년) 산정 값이나 추정 변수의 정밀도가 떨어지는 경향이 있다. 10년 단위 장기모형에 의한 장기 산정과는 달리 단기모형은 전형적으로 1년 미

만의 기간에 대해 추정한다. 이들 모형은 기후변화, 계획에 따른 계절별 운용, 재정상황의 변동에 따른 영향을 평가할 수 있다. 단기 모형은 때로는 매우 정확하지만 불의의 기후 변화나 사회적 요인의 변동에 의해 그렇지 않을 수도 있다. 장기모형이건 단기모형이건 물 수요에 미치는 영향인자들은 서로 비슷하다. 이들 인자들은 설명 가능한 변수라 부르기도 하며 인구, 경제, 기술, 기후 물 값, 보전계획 등을 포함하고 있다.

원단위방법(per capita method)은 장차 증가가 예상되는 물수요 산정에 가장 보편적으로 사용되는 방법이다. 대부분의 용도모형(utility models)들은 각기 목적에 맞는 산정모형 개발을 위한 기초로서 원단위방법을 사용한다. 원단위 모형은 용도와 개인당 또는 가구당 물 사용량 조사 자료를 사용하여 개발되었다. 다른 변량들에 대한 정보는 조사의 상세도나 응답자 수에 따라 정해진다. 현재 또는 과거의 수요량을 사용하여 원단위 소비수량을 추정하며, 장래의 총 물수요량은 원단위 소비수량을 산정 인구수에 곱하여 결정한다. 요구되는 정밀도의 정도에 따라 용도별 모형들에는 도시의 지역구분(예: 주거지역, 상업지역, 산업지역)이나 토지이용형태를 포함시킬 수 있다.

지난 수십 년 동안, 용도모형들은 단순한 외삽법(extrapolation method)에 의존하여 작성하였다. 원단위 모형처럼 필요한 자료는 현재 또는 과거의 물수요량 자료, 인구, 인구 산정 등이다. 이 자료들은 연별 혹은 월별 소비수량의 형태로 산포도를 작성하고, 대표 경향선을 그려 직선의 경사도를 결정하며, 인구와 물 수요량간의 잠재적 상관관계를 분석한다. 결정된 직선 경사도를 사용하여 직선을 투사시키거나 연장하여 보다 더 장기간에 걸친 상관관계를 개발한다. 본질적으로 과거의 수요량 증가율을 단순히 미래에 대하여 적용한 것이라 할 수 있다.

계량경제학적모형(econometric model)에서 주제에 들어맞는 특정 자료가 필요한 것처럼, 토지이용모형은 토지이용관련 인자들과 물 수요에 초점을 맞춘 것이다. 이모형에는 토지이용형태(주거지역 혹은 상업지역), 도시개발 관련 정책, 특정 토지이용형태의 특성 등이 포함된다. 때로는 계량경제학적 모형과 토지이용 모형에 각기 사용되는 변수들을 자료집약적, 다변수 모형인 통합모형에 합할 수도 있다. 이모형의 대표적인 예는 미공병단에서 개발한 IWR-

MAIN을 들 수 있다. 계량경제학적모형들은 물 수요에 가장 큰 유발요인이 무엇인지를 결정한다. 계량경제학적모형들은 물 수요와 관련이 있는 경제변수들에 따라 그 형태가 결정되며, 종종 다변량회귀분석에 의해 계산을 행한다. 계량경제학적변량에는 고용, 물 값, 가구당 수입 등이 포함된다.

다변량 통합모형(Multivariate-Integrated Regression Model)에는 모든 분야, 즉 사회, 경제, 환경, 공간 등으로부터의 정보들이 포함된다. 단기모형에는 동절기 물 수요량, 온도, 강수량, 물 값, 기타 조직관련 변량 등이 독립변수로 사용된다. 장기모형에서는 부가적 가구별 특성, 예를 들어 수입, 가족 수, 집의 연령, 가구밀도(단위면적당 가구 수) 등이 사용된다. 이들 변량들은 연간 또는 십년 단위로 변동하는 경향이 큰 반면, 단기 모형에서는 단기간에 변동하는 변량자료들을 고려하게 된다. 대부분의 장기 물 수요 모형에서는 상당수의 표준변량 즉, 인구, 경제, 기술, 기후, 물 값, 보전, 주거특성, 토지이용 등을 고려하고 있다.

가장 널리 사용되는 두 가지의 물 수요 산정모형은 원단위수요량 산정모형과 계량경제학적모형이다. 원단위모형은 연간 1인당 총 소비수량을 계산하여 예측 인구수에 적용하는 것이다. 이 방법은 주로 생활용수 수요추정에 사용되는 방법으로 매우 단순한 방법이지만 물 공급에 대한 영향과 수요량을 계산하는 데에는 충분하다. 이에 비하여 계량경제학적 모형은 물 수요 계산 인자로서 부과금액, 개인별 수입 등을 사용한다.

#### 나. 농업용수 수요량 산정의 기본 원리

현재 사용되고 있는 농업용수 수요량 산정 모형은 기본적으로 원단위방법에 속한다고 볼 수 있다. 농업용수에 포함되는 논 용수나 밭 용수 모두 단위면적당 수요량을 추정하여 이를 경지 면적에 곱함으로써 총 수요량을 추정하기 때문이다. 농업용수의 수요량은 다음과 같이 산정한다.

$$\text{농업용수 수요량} = (\text{논용수 수요량} + \text{밭용수 수요량}) \times \text{경지 면적} + \text{축산용수 수요량}$$

##### 1) 논용수 수요량의 산정

기본적으로 필요한 자료는 작물 생산을 위한 조용수량자료이다. 조용수량이란 작물 수확량을 현저하게 감소시키지 않는 범위에서 필요한 작물의 증발산량을 충족시킬 수 있도

록, 자연 강우에 추가하여 공급되어야 하는 수량을 말한다.

지금까지 필요수량은 1)장기 관측자료, 혹은 2)수치모형에 의해 추정해 왔다. 일반적으로 장기 관측 자료라 함은 20년에서 30년 정도의 장기간 관측 자료를 말하나 그러한 관측 자료 데이터베이스는 많지 않다. 또한 있다하여도 이들 데이터베이스를 다른 지역에 전용하기도 쉽지 않기 때문에 관개조직의 설계나 소비수량 추정에 이들 자료를 이용하는데 있어 제한이 따를 수밖에 없다. 이러한 이유들로 인해, 수치모형들이 개발되었으며 이들 모형은 광범위한 종류의 작물과 재배조건에 따른 필요수량 추정에 사용되고 있다. 수치모형은 통계학적 방법 또는 작물의 수분 흡수 또는 소비를 지배하는 물리법칙에 기반을 둔 것으로 우리나라에서는 이 방법에 따르고 있다. 이광야(2000)에 의하면 수리답에 대한 논용수 수요량은 그림 1와 같이 산정한다.

농업생산기반정비사업계획설계기준(관개편)에서는 벼의 증발산량, 침투량, 유효우량, 재배관리 용수량과 시설관리 용수량 등을 고려하여 논용수 수요량을 산정토록 하고 있다. 논 용수 수요량은 강우, 경작상태, 작물의 종류 등을 고려하여 10년빈도 한발년에 필요한 조용수량으로 한다. 논은 용수 공급 여부에 따라 수리답과 수리불안전답으로 구분한다.

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

$$\text{조용수량} = \text{순용수량} + \text{시설관리용수량}$$

여기서 순용수량을 산정할 때 재배관리 용수는 영농방식에 따라 달리 적용하며, 조용수량을 산정하기 위한 시설관리 용수량은 용수손실에 배분관리 손실을 더하여 계산한다. 한편, 영농방식에 따라 이앙재배와 직파재배로 구분하며 직파재배는 건답직파재배와 담수직파재배로 세분한다.

○증발산량

벼의 증발산량은 답면의 수면증발량과 벼의 엽면증발량의 합으로 구성되며 작물의 종류, 작부시기, 기상 등 여러 요인에 의해 변화한다. 실제의 증발산량은 여러 요인에 의해 정량화하기 어려우며, 일반적으로 잠재증발산량을 산정한 후 작물계수를 적용하여 실제 증발산량에 가깝게 조정한다.

벼의 증발산량에 관한 연구는 오래전부터 수행되어 왔으며 1960년대 이후 Llaney-Criddle 식을 사용해 오다가, 1980년대 후반부터는 FAO의 수정 Penman 식을 사용하게 되었다. 작물계수는 지역별, 품종별, 생육 시기별, 잠재증발산량 추정 방식별로 다르나, Penman식을 사용하는 경우 평균적으로 4월 하순의 0.56에서 8월 상순의 1.58 사이에서 변한다. '농지개량사업계획설계기준(관개편, 1998)'이나 '한국의 작물 소비수량 산정(정하우 외, 2005)'를 참고하면 구체적인 경우의 작물계수 값을 알 수 있다.

○침투량

논에서의 침투량은 벼의 뿌리 아래 하층 토양으로 강하하는 물의 양이다. 이 양은 최종적으로 지하수로 남겨나 일부는 회귀수로 다시 이용되기도 한다. 침투량은 재배방식과 물관리 방법에 따라 크게 변하는 포장의 수리조건 및 토

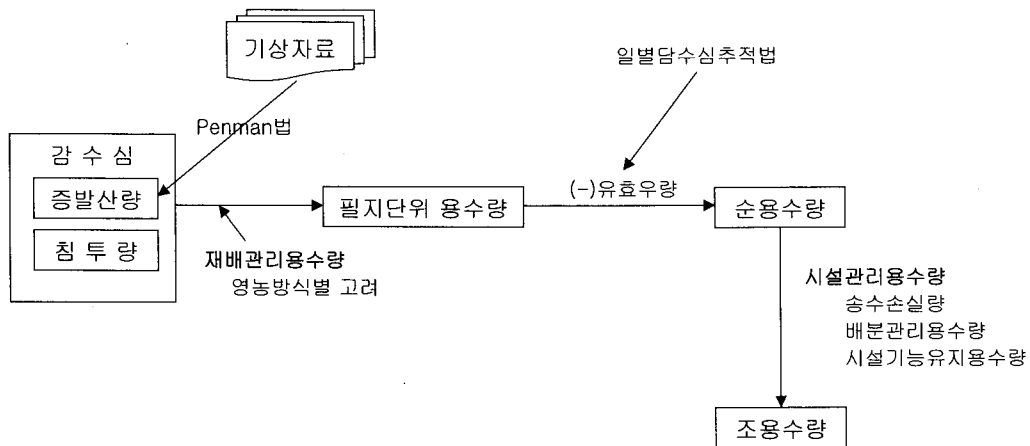


그림 1 논용수 수요량 산정 흐름도

양조건에 따라 달라진다.

전국의 지역별 침투량에 관한 자료는 여러 가지가 있겠으나, 농업진흥공사에서 농업용수개발사업 시 측정한 침투량 자료(1970~1998)을 조사하여 면단위로 1,767개 소구역별로 정리한 '농업용수 수요량 산정 시스템 개발(이광야, 2000)' 부록 편을 참고할 수 있다.

○논의 유효수량

작물 생육기간 중 논에 내리는 강우는 그 양에 따라 일부 또는 전부가 남아 작물생육에 이용되는데 이와 같이 작물생육에 이용되는 강우를 유효수량이라 한다. 유효수량은 강우량, 강우강도, 지세, 토성, 토양의 함수량 등에 영향을 받는다. 그러나 담수 재배의 논에서는 최대 물꼬 높이, 생육시기별 물 관리 방법 등에 의해 그 양이 결정 된다. 유효수량의 산정은 평균개념의 수요량을 산정할 수 없고 10년 빈도의 가뭄년을 기준으로 산정한다. 유효수량은 최대 담수심에 그날의 소비수량을 더한 양보다 클 수는 없으며, 강우량이 5.0 mm이하인 경우는 무효강우로 본다.

○재배관리용수량

논에서 작물생육을 위해 소비되는 수량에는 증발산량과 침투량 뿐만아니라 여러 가지 재배방법에 따른 관리수량이 필요하다. 담수심을 일정하게 유지시키고, 중간낙수 후 재관개 또는 간단관개, 기상·수온변화에 대응, 저온시기의 심수, 고온시기의 내리흐림 관개, 약제 살포시의 담수심 변화 등을 위하여 소비되는 용수이다. 따라서 이양재배 및 직파재배에 따른 재배관리 용수량을 논 용수 수요량에 반영해야 한다.

○시설관리용수량

송수손실수량, 배분관리용수량 및 시설유지용수량으로 구분된다. 여기서 송수손실수량은 포장의 입지조건, 수로의 길이 및 형식 등을 고려하고 배분관리용수량은 수로형식, 관리조직, 관리체계, 시설장치화의 정도, 논 분산정도 등과 함께 시설정비수준과 관리수준을 고려하여야 한다. 또한 시설유지수량은 비관개기에 수로의 기능을 유지·보전하기 위한 수량이다.

시설관리용수량은 상기한바와 같이 매우 복잡한 요인들에 의해 결정되며 영향요인들도 시간적·변화가 따르기 때문에 그 산정이 매우 어려운 측면이 있다. 장기간에 걸쳐 시간적, 공간적 제 조건별로 관측, 조사를 실시하여 정확한

값을 산정할 필요가 있다. 우리나라의 경우 연구가 매우 미흡한 실정이다. 참고로 이광야(2000)는 송수손실율이 2001년 23.4%에서 2011년에는 21.9%로 감소할 것으로 추정한다.

2) 발용수 수요량 산정

밭은 논에 비해 작물의 종류가 많고 밭토양 내의 물소비 기구가 복잡하여 합리적인 용수수급계획을 세우기가 어렵다. 또한 현재까지 농업용수의 개발이 논 수리시설과 유지 관리에 국한되어 발용수 개발이 거의 이루어지지 않았다. 과거의 무관심으로 인해 밭에 필요한 용수 추정은 논에 비해 연구사례가 적고 명확한 산정 방법의 기준도 없는 실정이다. 이용직(2003)에 의하면 발용수는 그림 2에서 보는 바와 같이 기상인자를 이용하여 잠재증발산량 산정하고 토양내의 수분추적에 의한 물수지에 의해 유효수량과 관개필요수량을 산정한다. 여기에 관개효율을 적용하여 조용수량을 산정한다. 밭의 필요수량은 증발산량과 유효수량은 고려하고 침투량은 토양의 자연적인 현상으로 고려하지 않는다. 여기서 밭의 필요수량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{순용수량} = \text{증발산량} - \text{유효수량}$$

$$\text{조용수량} = \text{순용수량} + \text{손실수량}$$

조용수량 및 순용수량 산정 시 증발산량은 Penman-Monteith법을 사용한다. 이때 작물계수는 우리나라에서 각 작물별로 체계적으로 시험한 값이 적기 때문에 FAO추천 값을 사용하는 경우가 많다. 유효수량은 토양의 유효수분량을 고려한 일별 토양 수분추적법으로 산정한다. 강우로 인해 토양으로 침투되는 우량인 잠재유효수량은 SCS방법에 따라 토양을 4개의 그룹으로 나누어 선행강우조건에 따라 유출량을 구하고 강우량으로부터 지표유출량을 제외한 값을 침투량으로 사용할 수 있다. 이때 일강우량이 5.0 mm이하인 경우에는 밭의 용수에 기여하지 않는 것으로 간주하여 밭 토양수분 물수지를 수행한다.

밭에 필요한 용수량은 작물이 생리적으로 요구하는 수분 보급량 이외에 필요수량으로 재배관리용수, 기상재해방지용수, 관리작업의 생력화용수 등이 있으므로 이들도 추가 적용하는 것이 좋다. 또한 밭의 손실수량은 노지재배에 의해 스프링클러로 공급되는 것으로 간주하여 포장내의 적용

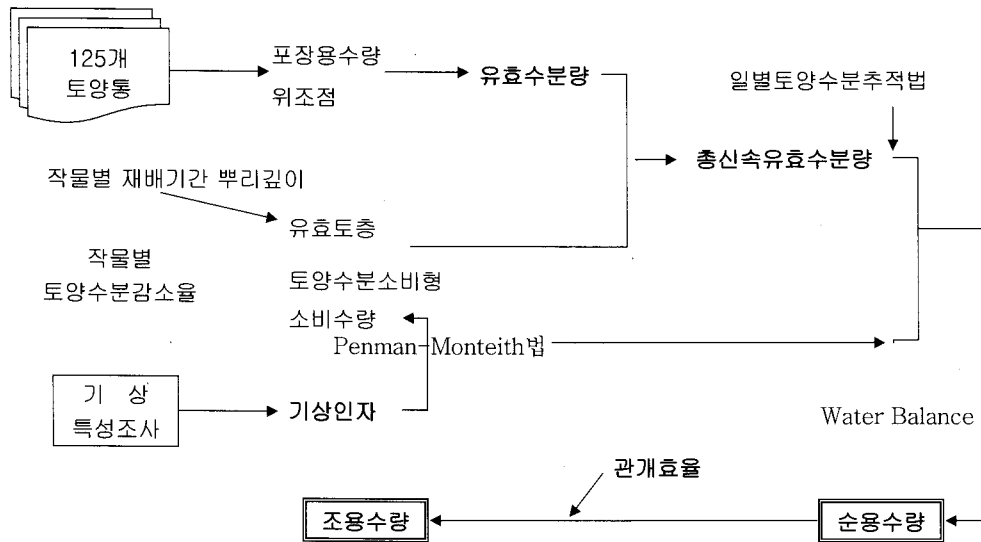


그림 2 발용수량 산정 흐름도

효율과 송수중의 손실을 고려한 관개효율에 의하여 산정한다.

발용수 수요량의 경우도 논용수와 마찬가지로 관개전에서는 조용수량에 기대년도의 관개전의 면적을 곱하고, 비관개전의 경우 순용수량에 면적을 곱하여 수요량을 산정한다. 다. 농촌용수 수요량 조사에서의 농업용수 수요량 산정 '98 물 관리 종합대책 중 물 수요량추정 및 용수공급방안을 10대 과제로 선정하여 추진키로 하였다. 이 때 농촌용수는 농림부와 농어촌진흥공사가 주관하여 산정키로 하였으며, 농촌용수의 산정 범위는 농업용수와 축산용수로 결정하였다. 농촌용수수요량조사(농림부, 농어촌진흥공사 1999)는 이 과제의 보고서이다. 농업용수 수요량에 대한 방법론과 실제의 상황을 정리한 것으로 농업용수 분야에서 중요한 의미를 갖는다. 이 조사에서는 각종 관련 용어들을 정리하여 통일적 개념으로 사용케 하였고, 전국적인 조사 과정을 거쳐 다음과 같은 기본방향에 따라 수요량을 산정하였다.

- 용수구역을 설정하여 이를 단위로 농업용수량을 산정한다. 총 수요량은 각 용수구역의 수요량을 합한 것으로 한다. 용수구역은 총 513개 구역으로서 종합이용계획 수립을 위한 463개 구역과 농촌용수구역에서 제외된 52개 지역(서울특별시, 광역시 및 기타 시·군)을 모두 포함한 것이다.
- 기본용수구역의 기초자료는 면단위를 기본으로 하며 이를 위해 515개 기본용수구역을 1,767개의 소단위

용수구역으로 세분하였다.

- 수요량은 용수구역별, 시·도별, 수계별로 산정할 수 있도록 기본 자료를 데이터베이스화하였다.
- 용수 수요량추정은 1997년을 기준으로 산정하고 목표연도별 용수수요량은 2001년부터 5년 단위로 추정하였다.
- 농 용수 수요량 산정을 위한 염수면증발량은 수정 Penman 식을, 그리고 밭 용수량에 대해서는 Penman-Monteith 식을 적용하였다.
- 수리답과 관개전은 10년빈도 조용수량, 수리불안전답과 비관개전은 10년빈도 순용수량을 농업용수 수요량으로 산정하였으며 축산용수는 축종별 일일 물소비량을 원단위로 적용하였다.
- 침투량, 영농방식 및 손실수량 등 수요량 산정에 필요한 요소는 용수구역의 기본단위인 면단위로 적용하였다.
- 발용수 수요량 산정을 위한 밭작물재배형태는 노지재배 작부체계로 수요량을 산정하였다.

라. 수자원장기종합계획에서의 농업용수 수요량 산정

1965년 우리나라 최초의 수자원장기종합개발계획이 수립된 이래 초기에는 매 10년 그리고 최근에는 매 5년마다 보완 작업을 거쳐 왔다. 가장 최근에 보완 된 것은 2006년에 수립된 수자원장기종합개발계획(2006~2020)이다. 농업용수 수요량 추정은 그 방법에 있어 많은 변천을 겪어

표 1 농업용수 산정방법들의 비교

계획년도 및 문헌	산정방법 및 기준
수자원장기종합계획 (1990. 5)	농업용수 : 논용수 수요량 + 밭용수 수요량 논용수 : 수계별 단위용수량 적용, 통일벼의 식부면적비를 고려 논면적을 이양재배면적으로 산정 [관개담면적] × [농업용수필요수량(원단위)] + [수리불안전담면적] × [관개담 원단위의 70%] 밭용수 : 전관개용수 필요수량(550mm)을 적용 [관개전(과수원)면적] × [관개전 원단위] 수리담 : 조용수량, 수리불안전담 : 순용수량 밭용수 : 농촌용수구역별 수요량 산정
수자원장기종합계획 (2001. 7)	농업용수 : 논용수 수요량 + 밭용수 수요량 + 축산용수 수요량 논용수 : 농촌용수구역별 수요량 산정, 영농방식별 식부면적 고려 수리담(이양재배+직파재배) +수리불안전담 관개전+비관개전 관개전 : 조용수량, 비관개전 : 순용수량 축산용수 : 사육두수 × 가축두당 물수요량(ℓ/두/일)

자료: 이용직(2002), 농업용수 수요현황과 예측기법

왔는데 1996년에 수립된 수자원장기종합계획과 2001년에 수립된 수자원장기종합계획에서의 농업용수 산정방법을 비교하여 보면 많은 차이가 있음을 알 수 있다.

1996년 계획에서는 농업용수 범위에 논 용수와 밭 용수만이 포함되어있으나 2001년 계획에는 축산용수 수요량이 추가되었다. 논 용수의 경우 수리안전담에 이양재배만이 계상되어 있었으나 2001년에는 이양재배와 직파재배로 나누어 산정하고, 2006년에는 직파재배도 담수직파재배와 건담직파재배로 나누어 산정토록 하고 있다. 또한 밭 용수의 경우 관개전은 밭 기반정비구역, 과수원, 시설용수 등으로 세분하여 반영토록하고 있다.

2006년 계획에서 크게 달라진 점은 수요량 추정에 있어 새로운 시나리오 개념이 도입되었다는 것이다. 생활용수를 비롯한 모든 부문의 물 수요를 고수요, 기준수요, 저수요로 나누어 산정한 것이다. 농업용수의 경우 고수요는 식량안보를 위해 논 면적을 최대로 유지하는 것으로 하여 2013년의 경지면적 소요량이 1,773천 ha(논: 1,100천ha, 밭: 673천ha)한 것이다. 기준수요는 현재의 농업환경을 고려한 계획을 반영한 것으로 농업농촌종합대책(농림부, 2004)에세 제시한 2013년 경지면적 1,731천 ha(논: 1,058천ha, 밭: 673천ha)을 적용토록 하였다. 저수요는 쌀 수입개방에 따른 논 면적 감소를 반영한 것으로 농업전망 2005(2005, KERI) 추정치를 적용한 것이다. 이에 따라 2013년 경지면적 1,638천 ha(논: 1,004천ha, 밭:

634천ha)로 추정하여 물 수요를 산정하였다.

### 3. 우리나라 농업용수 수요량 산정 모형의 문제점과 개선방안

현재 적용 중인 농업용수 수요량 산정 방법에 대한 문제점과 개선 방향에 대해서는 산발적인 연구나 논설이 있으나 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 이루어진 이용직(2003)의 연구에서 비교적 상세하게 잘 다루고 있다. 여기에서는 상기 논문에서 적시한 문제점과 개선방향을 중심으로 기술코자 한다.

#### 가. 수요량 산정에 사용되는 각종 용어의 정의 통일

수요량 산정과 관련된 각 기관 또는 연구자들 사이에 통용되고 있는 용어들이 난립하여 개념상의 혼란을 초래하고 있다. 예를 들어 '수요량'이라는 용어는 '사용량', '이용량', '공급량' 등 다양하게 사용됨으로서 사용자의 혼란은 물론 기관 간, 연구자간 의사소통에 문제를 야기 시킬 수 있다. 이러한 현상은 농촌용수 수요량 조사보고서, 수자원장기종합계획(2001) 등에서 발견되고 있다.

여기서 주목해야 할 점은 수요량은 10년 빈도 가뭄 시로 정의되어 있는 반면에 이용량 및 공급량에 있어서는 기준이 제시되어 있지 않으며, 특히 수요량과 이용량, 공급량을 확실히 다른 개념으로 정의하고 있다. 또한 용수량의 정의도 공급이나 사용가능성에는 상관없이 10년 빈도 가뭄 시

경지에서 필요한 수량 전체를 의미한다는 것이 명시되어 있다.

한편 수자원종합계획에서는 용수수요량, 용수이용량 및 용수 공급량에 대한 명확한 정의가 제시되지 않고 사용되고 있으며, 특히 용수수요량과 용수이용량이 같은 개념으로 사용되고 있다. 이는 용수수요량의 산정 시, 용수공급능력을 감안한 산정 즉, 실 사용량을 근거로 산정하였기 때문인 것으로 생각된다. 이는 농촌용수 조사 시 사용한 농업용수수요량의 개념과는 크게 다른 것임에도 불구하고 수량 조사보고서의 결과를 그대로 인용하였다는 문제점이 제시되고 있다. 즉, 수요량의 산정에 있어 생활 및 공업용수의 수량과는 다른 정의의 농업용수수요량이 그대로 적용되고 있는 것이다. 어떠한 형태로든 동일 개념에 대한 용어는 한가지로 통일하도록 해야 할 것이다. 참고로 농촌용수수요량조사 종합보고서(1999. 농림부, 농어촌진흥공사) 정의한 각종 용어들 중 혼동되어 사용되기 쉬운 몇 가지를 간추려 소개한다.

- 농촌용수구역 : 농지·농촌의 취락 기타 용수계획의 수립이 필요하다고 인정하는 농촌지역과 관련된 소규모의 유역과 소하천으로서 수질의 관리 및 보전이 필요하다고 인정되는 유역(농어촌발전특별조치법 시행령 제53조)
- 농촌용수 : 농촌지역에 필요한 생활용수, 농업용수, 공업용수와 환경오염방지를 위한 용수로 정의(농어촌발전특별조치법 제2조 8항)됨
- 농업용수수요량 : 논·밭의 작물생육에 필요한 용수, 농약·비료살포 등 영농작업을 위한 영농용수 등 농업활동에 필요한 수량으로서 유효수량이 제외된 10년 빈도 가뭄 시 경지에서 필요로 하는 수량
- 소비수량 : 포장에서 증발산량과 침투량으로 소비되는 수량에 포장 물 관리와 재배관리용수량을 고려한 수량
- 순용수량 : 순전히 경지 안에서 관개 용수량으로 소비 수량에 유효수량을 제외한 수량
- 조용수량 : 순용수량에 용수원으로부터 경지까지 물을 끌어 오는 도중에 손실되는 물관리에서 손실되는 제반 관리 손실 수량을 더한 수량
- 공급량 : 자연 상태에서 공급되는 수량(유효수량 등)을 제외하고 물 부족이 발생할 때 수리시설물에서 공

급하는 수량

- 농업용수이용량 : 농업용수 수요량에 자연 상태에서 공급되는 유효수량을 더한 수량으로 경지에서 이용되는 수량

나. 논 용수 수요량 부문

- 1) 논 용수 단위면적당 수요량 문제
- 시설능력별 수요량 산정 필요

현재 농촌용수 수요량 조사 시 적용한 방법은 천수답이든 수리안전답이든 모든 논에서 10년 빈도 한발 시에 작물 재배에 최적의 필요수량을 수요로 간주하고 있다. 이는 관개시설도 없는 천수답에서도 10년 빈도 수리안전답과 동일하게 물을 사용한다는 것으로서 실제 사용수량과 관계가 없는 이상적인 수요를 반영한 것이다. 따라서 수리시설의 공급능력을 감안한 수요량 산정을 해줄 필요가 있으며, 실제 가뭄시의 절수관개 등을 반영하여 내한능력별로 차등을 줄 필요가 있다.

○ 수확량 증가에 따른 용수수요 변화

쌀 수확량은 지금까지 지속적인 증가 추세를 보여 왔다. 이러한 추세는 최근 20년간 매년 20%정도의 증가를 보이고 있다. 작물의 경우 수확량 증가는 필연적으로 증발산량의 증가를 의미하며 이는 결국 단위면적당의 용수수요를 증대 시킨다. 현재 적용하고 있는 수요량 추정방식은 이 같은 사실을 반영하지 못하고 증발산량을 고정하여 적용시키고 있다.

○ 시설관리용수량의 적정성

현행 방법은 시설관리용수량으로 송수 손실량과 배분 관리 손실량을 적용하고 있다. 이중 손수 손실은 수로의 구조물화에 따른 변화를 반영하여 용수로에 있어서 흙수로와 구조물의 비율을 반영하고 있다. 여기에서 송수 손실량 12.7%는 설계기준에서 제시한 값인데 이는 평상시의 손실량이다. 농업용수의 경우 평상시와 가뭄시의 운용방식이 달라 시설관리 용수량도 달라지는데 이러한 사실이 반영되어 있지 못하고 있다. 한편 수자원 장기종합개발사업에서는 수로 구조물화 및 자동 물 관리 시스템으로 수리답 물수요 130억m<sup>3</sup>의 7.5%에 해당하는 양을 시설관리용수량에서 절감하는 것으로 되어 있는데 이는 지나치게 높은 양이다.



2) 전체 답/수리답 면적 추정

가) 전체 논 면적 적용

2006년에 채용된 논 면적은 시나리오에 따라 다르나, 각각의 논 면적 전체에 비 재배가 이루어지는 것은 아니다. 1981년도에는 논 면적의 92.7%만이 비 재배를 하였으며, 1991년도에는 90.4%, 그리고 2021년까지도 약 91%만이 비 재배를 할 것으로 추정되고 있다. 비 재배를 하지 않은 논 면적에 대해서는 채소, 화훼 등 원예작물을 재배하는 곳이 많으며, 이 경우 용수수요량이 크게 차이가 난다. 또한 쌀 생산량의 과다에 따라 휴경이 권장되면 2021년까지 약 2~3% 정도의 면적이 휴경상태를 유지할 것으로 추정되어 용수 수요의 감소가 예상된다.

나) 수리답을 적용

현행 용수 수요량 예측에서는 1997년 현재의 수리답을 76%에서 2011년까지 90%로 제고될 것으로 산정하였는데 이는 정부의 농촌정비사업 중장기발전계획의 목표치를 그대로 수용하여 적용한 결과이다. 그러나 이같은 목표치가 그대로 달성될지는 여러 가지 사회경제적 여건상 의문시되고 있다.

다) 직파재배 논 면적

직파재배는 이앙재배의 경우보다 건답직파일 때 10%, 답수직파일 때 30% 정도의 용수수요가 증가한다고 할 때 용수 수요예측의 주요 인자이다. 직파재배면적의 증가를 농촌용수 수요량 조사 보고서에서는 1997년 117천 ha에서 2011년 532천 ha로 증가할 것으로 예측하고 있다. 그것은 농촌진흥청 농업과학원 자료를 이용하여 직파재배에 적합한 토성 및 배수조건에 따른 직파적지를 구분하여 이를 목표연도의 직파재배면적으로 추정하였다. 하지만 실제로 1998년과 1999년에는 직파재배면적이 감소하여 1999년에는 약 70천 ha로 전체 비 재배면적의 6.6%에 불과하였다. 그럼으로 단순히 정부의 계획과 수치만을 반영하여 예측하는 것은 비현실적일 수도 있다. 따라서 장차 직파면적의 추정방법에 대한 재검토가 필요한 것이다.

다. 밭 용수수요량 부문

1) 비관개전에 대한 용수 수요량

현행 방법은 논 용수산정과 유사한 방법으로 관개전을 제외한 전체 밭면적에 순용수량을 적용하는 방법이며, 앞

에서 언급한 논 용수의 시설능력에 따른 고려와 마찬가지로 문제가 발생한다. 즉, 관개시설이 없는 밭에서 가뭄시 평균 312 mm/년의 풍부한 물을 사용한다는 전제로 수요를 산정하는 모순이 발생한다. 그러므로 비관개전의 용수 수요량에 대한 새로운 방식의 산정기법이 필요하다.

2) 관개전 대상면적

현행은 밭기반정비대상지구만 관개전으로 간주하여 산정하고 있는바 2000년 현재의 밭기반정비사업 면적은 47천ha에 불과하다. 반면 채소, 화훼, 과수 등 원예작물의 논 재배면적만도 2000년도에 92천ha에 달하고 있으며, 169천 ha에 달하는 과수원의 경우도 대부분 관개를 실시하고 있음에도 불구하고 관개시설이 없는 밭에서의 작물의 경우와 동일하게 취급하고 있다.

현재 딸기, 참외 등 과일작물의 상당수가 비닐하우스에서 재배되어 별도로 용수를 공급하고 있는 등 관개전으로 고려할 수 있는 밭이 많으며, 논과 밭으로 활용하는 경우도 대부분 비닐하우스에서 재배되고 있으므로 이에 대한 반영 및 과수에 대한 관개량의 반영이 필요하다.

3) 전체 밭 면적 및 재배작물

전체 밭의 면적도 논 면적의 예측과 마찬가지로 정책목표를 적용함으로써 2004년도 75만 ha로 조정되고 그 이후에는 75만 ha가 계속 유지되는 것으로 하고 있다. 그러나 밭 면적이 급격하게 감소하고 있으며 2001년도에는 이미 71만 ha로 감소하고 있는데 정책목표만을 적용해야 하는지 검토해 볼 필요가 있다.

또한 경지의 이용률이 미반영 되어 있는 점도 문제이다. 최근의 경지 이용률을 보면 논 이용률이 이모작 등으로 인해 108%, 밭 이용률은 작부체계의 편성에 따라 115%에 이르고 있으나 이에 대한 반영이 되지 않고 있다.

라. 모형의 다양화 모색

일반적으로 물 수요 모형들은 단순하고 유연한 형태로 통합될 수도 있고, 지역, 인구, 혹은 장소 별로 분할 될 수도 있다. 모형은 또한 사용 자료의 시간단위, 모형화과정의 복잡성 등에 따라 다양하다. 따라서 농업용수 수요량 산정은 새로운 관점에서 기존 형태의 모형과는 다른 모형도 개발할 필요성이 있다. 물 수요를 구성하는 각급 인자들의 정

확한 정의와 매개변수 값들의 조정 등이 그것이다. 물론 현행 산정 모형의 정확도와 신뢰도를 향상시키는 연구가 지속적으로 필요하다는 전제하에서의 이야기이다.

여기에 더하여 지금까지는 개발을 염두에 둔 수요량 추정에서 중점을 두었기 때문에, 수요량의 시간에 따른 변화를 추구하는 동적 모형(dynamic-model)보다는 특정 조건하의 정지된 시점에 대한 수요량을 산정코자하는 정적 모형(static model)의 개발과 이용에 치중하였다. 그러나 물 수요 관리를 위해서는 동적 모형이 적합한 경우가 많으므로 이에 대한 연구 또한 필요하다. 단기 모형(short-term model)이나 장기 모형(long-term model)이 구분되어 있지 않고, 모형의 형식도 수치모형(numerical model)에 국한되어 있다. 현장의 관측 자료를 기초로 한 보다 현실모사적인 산정 모형의 개발로 농업용수 수요에 대한 다양한 측면의 탐구가 가능토록 하기 위하여 동적 모형이나 장기, 단기 모형 등 목적에 알맞은 다양한 형태의 수요량 산정 모형들을 개발해야 할 것이다.

#### 마. 수요량 산정 요소의 현장 관측과 수집

만약 어떤 특정 작물이 동일한 장소에서 반복적으로 재배되었고, 공급된 관개량에 대한 장기 관측 자료가 잘 보관되어 있다면 이 자료는 미래의 물 수요를 예측하는데 유용하게 이용될 수 있다. 장기 관측 자료를 이용하면 장기 평균치는 물론이고, 극치들의 계산에도 사용할 수 있다. 그러나 문제는 그러한 양질의 관측 자료가 매우 드물다는데 있다. 충분한 정도의 정확도를 가진 극치의 예측에는 20~30년 정도의 관측치를 사용하는 것이 바람직한 것으로 알려져 있다.

관측치를 이용하는데 있어 또 다른 문제점은 이 자료를 관측한 지역에서만 사용할 수 있다는 제한이 따른다는 점이다. 기후, 토양, 위치, 연중 생육기간 등 관개 필요수량에 미치는 여러 요소들이 달라짐에 따라 관개 필요수량에 어떤 영향이 미치게 되는지를 알 수가 없다는 것이다. 따라서 이 방법이 비록 한 가지 작물은 동일 장소에서 계속적으로 재배하는 경우에는 매우 정확한 산정결과를 기대할 수 있겠지만, 이 자료를 다른 작물이나 다른 장소에 적용했을 경우 정확한 산정을 기대하기 어렵게 된다.

결국 관측 자료를 이용하여 장래의 물수요를 산정코자하

는 경우, 지역적으로 광범위하고 다양한 위치, 장기간 관측, 다양한 작물의 다양한 생육기간 등에 대응하는 체계적 자료 집적이 필수적이다. 이를 위해서는 단일 연구자나 기관 단독의 자료획득은 그 이용성이 떨어지므로, 계획적으로 다양한 물수요 주체들이 협의하여 장기간에 걸쳐 자료를 집적해야 될 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 건설교통부, 2001, 수자원장기종합계획(2001~2020)
2. 건설교통부, 2006, 수자원장기종합계획(2006~2020)
3. 농림부, 농어촌진흥공사, 1999, 농업·농촌용수 종합이용계획, 농림부, 농어촌진흥공사
4. 노재경, 2003, 일별 농업용수 수요량 추정모형 개발, 21C 프론티어연구개발사업
5. 이광야, 2000, 농업용수 수요량 산정 시스템 개발, 박사학위 논문; 건국대학교 대학원
6. 이용직, 2002, 농업용수 수요현황과 예측기법, 2002 수공 연구소 공동세미나 발표자료.
7. 이용직, 2003, 농업용수수요예측기법개발, 프론티어21사업 발표자료.
8. 이용직, 2005, 논관개용수량 산정을 위한 실증적 연구, 박사학위논문; 건국대학교 대학원
9. 이주용, 김선주, 김필식, 2005, 농업용수산정기법을 이용한 K-WEAP의 적용, 2005년 한국농공학회 학술발표회 논문집
10. 정하우 외, 2005, 한국의 작물 소비수량 산정, 서울대학교 농업생명과학대학
11. AWWA. 2001. Water Resources Planning: Manual of Water Supply Practices. M50, ed. Denver, CO: American Water Works Association.
12. Davis, William Y., 2003, Water Demand Forecast Methodology for California Water Planning Areas, Work-plan and Model Review, Report Submitted to California Bay-Delta Authority.
13. Jain, A. and Ormsbee, L.E. 2002. Short-term Water Demand Forecasting Modeling Techniques—Conventional Versus AI, Journal AWWA, 94 (7)
14. Kameenui, Ani E., 2003. Water Demand Forecasting in the Puger Sound Region: Short term and Long-term models, MS Thesis, Graduate School of University of Washington.
15. The National Academy of Sciences. 2002. Re-

gression Models of Water Use. Estimating Water Use in the United States: A New Paradigm for the nation Water-Use Information Program. Available: <http://www.nap.edu/openbook/0309084830/html/100.html>

16. U.S. Army Corps of Engineers. 1988. IWR-MAIN Water Use Forecasting System. V. 5.1 (June). Carbondale, IL: Planning and Management Consultants, Ltd.