

농업용수 추정방법의 재고찰

◦ 김남원¹⁾, 이동률²⁾, 홍일표³⁾

1. 서 론

농업용수는 1990년 현재 전체 용수수요중 약 54%를 차지하고 있음으로 인해 수자원 계획 및 평가시 필요한 용수수요중에서 중요한 요소임은 사실이라고 할 수 있으나, 농업용수 추정의 개념이 혼재해 있고 또한 추정방법이 다양함으로 인하여 수자원 관련 실무자들이 많은 혼란과 어려움을 겪고 있다고 할 수 있다.

농업용수의 추정개념은 2가지로 대별될 수 있다. 하나는 물 관리 측면에서 농업용수의 추정이다. 이는 기존의 수자원을 효율적으로 활용한다는 개념에서 출발한다. 여기서 물관리란 작물의 생산성을 극대화 하기 위해 적절한 시기에 적절한 양의 물을 취수, 도수, 제수, 분수하고 농지로 부터 과잉수를 억제하는 등의 효율적인 수자원의 운영에 관점을 둔 것이라고 할 수 있다(이남호, 1988). 다른 하나는 수자원 계획 및 수자원의 평가 측면에서의 농업용수 추정이다. 이는 사회적, 경제적 그리고 수문 기상학적인 측면을 고려하여 안정적으로 작물의 생산성을 제고하기 위하여 수자원을 개발하거나 그 적정성을 판단하는 것이라고 할 수 있다. 그러나 양 개념의 농업용수 추정방법이 완전히 다르다는 것은 아니고 다만 그 기준이 다르다는 것이다. 실례로, 전자의 경우에서의 농업용수의 추정은 해마다 다를 수 있으나, 후자의 경우는 특정한 한발을 기준으로 용수를 추정한다.

본 연구의 목적은 현재까지 우리나라에서 수자원 계획이나 평가시에 주로 이용되고 있는 농업용수 추정방법의 문제점을 논리적으로 고찰하고, 혼재해 있는 농업용수의 추정개념을 정립하는 것이다. 또한 대안적인 방법을 제시하고 우리가 장래를 대비한다는 측면에서 가상의 시나리오를 작성하여, 21세기 농업용수의 상한계를 추정하는 것이다. 여기에서는 수리안전답에 한정하여 수자원계획 및 평가시에 농업용수 추정 개념 즉 수요량과 순물소모량 개념을 정립하고, 농업용수 추정방법에 대한 문제점 및 그 대응책을 모색한 후 가상의 시나리오에 의해 21세기 우리나라 농업용수를 추정하였다.

2. 농업용수 수요량과 순물소모량 개념의 차이와 적용 대상.

농업용수 수요량이란 말 그대로 농업, 즉 논과 밭에 작물을 재배할 때 필요한 용수량이라 할 수 있으나, 농업은 물 순환과정 중의 물을 그대로 이용하기 때문에 실제로는 작물 재배에 필요한 용수량에서 강우에 의해 충당되는 양을 뺀 용수량으로 정의 할 수 있다.

순물소모량은 2가지로 정의할 수 있다. 하나는 수원에서 공급된 수요량 중 하천으로 회귀된 물을 뺀 양으로 정의할 수 있으며, 다른 하나는 건설부, 산업기지 개발공사(1977)에서와 같이 '물 사용으로 인하여 증가된 물 소모량'으로 정의할 수 있다. 이 두 정의는 하천수에 의해 정의

1), 3) 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원

2) 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원

된다는 측면에서는 같으나 실제로는 많은 차이를 나타낸다고 할 수 있다. 전자의 경우는 댐, 펌프 등에 의해 수요량 만큼 농지에 관개한 후 하천으로 되돌아 오지 않은 물을 순물소모량으로 보는 것으로, 일반적으로 수자원 실무에서와 같이 '수요량의 65%가 순물소모량이다' 라는 논리를 낳았다고 할 수 있다(하천정비기본계획보고서 참조). 그러나 후자의 경우는 농지개발로 인하여 더 소모된 물을 순물소모량으로 보는 것으로 농지에 이용되는 유효유량 그리고 물을 가둠으로 인해 더 침투되는 양까지도 고려하는 개념이라 할 수 있으며, 최근 수자원장기종합계획(1990-2011)에서 이용된 바 있다. 그러나 순물소모량에 대한 두 정의중 실무적인 정의는 실제로 물 관리 측면에서 타당한 정의라고 할 수 있으며, 후자인 경우는 수자원 평가란 측면에서 더 타당한 정의라고 판단된다.

이상에서와 같이 농업용수 수요량과 순물소모량은 커다란 차이가 있고 따라서 두 개념의 적용 대상이 다르다고 할 수 있다. 농업용수 수요량은 상류에서 하류의 농지로 필요한 용수량을 보낼 때, 또는 농지에서 얼마만큼의 물이 필요한가를 계산할 때 사용되는 용수라 할 수 있어 수자원 개발시에만 적용할 수 있는 개념이라 할 수 있다. 한편 순물소모량은 물의 회귀수까지 고려하기 때문에 물 수급의 평가란 측면과 수자원 계획에서 주로 이용할 수 있는 개념이라고 할 수 있다. 다시 말하면 수요량이 공급측면의 개념이라면, 순물소모량은 하류에서의 수혜측면의 개념이라는 것이 두 개념의 분명한 차이라 할 수 있다. 따라서 농업용수 수요량이 얼마다라는 말은 사실상 용수개발시에만 이용할 수 있는 말이라 할 수 있다.

3. 농업용수 수요량 추정방법

농업용수 수요량 추정방법은 농업진흥공사(1989)에 의해서 잘 정립된 바 있으나 이는 농업용 저수지의 내용적을 결정하는 방법이며, 수자원 계획과 같은 형태로는 농수산부와 농업진흥공사(1983)에서 이용한 바 있다. 그러나 두 방법은 사실상 같은 개념이라고 할 수 있다. 수리안 전담에서의 추정 절차를 살펴보면 다음과 같다.

- 1단계) 소비수량 = 수답증발산 + 침투량
- 2단계) 순용수량 = 소비수량 - 유효우량
- 3단계) 조용수량 = 순용수량 / (1 - 관리 용수율)
- 4단계) 10년 한발빈도의 조용수량

4. 순물소모량 추정방법

물 수급 평가시의 순물소모량은 앞에서 이미 정의된 것과 같으며, 이를 다시 해석하면 하류의 자연유량은 이미 강우, 증발산 그리고 침투량 등에 의해 이루어진 결과치이고 농지개발후에 하류하천의 유량은 관개로 인해 변화된 침투량과 증발산 만큼 공급한 후에 초래된 결과치라고 할 수 있기 때문에 순물소모량은 자연상태의 하천유량과 관개후의 하천유량의 차이라고 설명할 수 있다. 따라서 순물소모량의 추정방법은 이러한 개념적인 모형에 근거하여 그 절차가 개발되었다고 할 수 있다. 건설부, 산업기지개발공사(1977)에서는 자연상태를 초원이라고 가정하고 경지내 물 수요량에 자연상태의 물 수요량을 감하여 산정하였으며, 이러한 방법을 일명 NEDECO 방법이라 하며 다음과 같은 기본식을 가진다.(NEDECO, 1976)

$$Def = Ai(Cu + Li - En) \quad (1)$$

여기서 Def는 순물소모량, Ai는 관개면적, Cu는 답내 증발산, Li는 답내 침투량, 그리고 En은 실제 증발산량이다.

본 연구에서는 NEDECO방법에서 이용하고 있는 대부분의 가정이 현실적으로 타당하다고 받아

들였으나 농지로 개발된 후에는 저류기능을 가지고 있다는 점을 고려하고 농지에서 물이 필요한 경우와 필요없는 경우로 나누어 다음과 같이 수정하였다.

· 농지에서 물이 필요한 경우 ($Er < Cu + Li$)

$$Def = Ai(Cu + \phi Li - En - \Delta S) \quad (2)$$

· 농지에서 물이 필요없는 경우 ($Er > Cu + Li$)

$$Def = 0 \quad (3)$$

여기서 Er 은 유효우량, ϕ 는 회귀율, S 는 저류량의 변화량이다.

이렇게 수정된 식은 식(1)과 큰 차이는 없으나 물이 필요없는 경우만이 확연히 다르다고 할 수 있다.

5. 매개 변수추정 및 문제점

농업용수 수요량이든 순물소모량이든 모두 증발산과 침투량에 깊은 관련이 있으나 사실상 이를 검증할 수 있는 정교한 방안을 마련할 수 없는 것이 우선적인 문제이며 또한 우리의 현실이라고 할 수 있다. 여기에서는 농업용수 추정절차에 포함된 각 매개 변수추정에 관하여 현실적인 측면에서 고찰하고자 한다.

5.1 기준작물 증발산과 작물계수.

최근 잠재 증발산 개념보다는 기준작물 증발산의 개념이 증발산 추정에 더욱 명확한 근거를 가지고 있음이 밝혀 졌기 때문에(Cuenca and Nicholson:1982, 건설부 :1990 참조) 증발산 추정시 기준작물 증발산 개념을 도입하는 것에 대해서는 재론할 여지가 없다고 본다. 기준작물 증발산을 이용하여 특정한 작물의 증발산은 다음과 같은 관계로 추정된다.

$$E_{cp} = K_r * E_o \quad (4)$$

여기서 E_{cp} 는 특정한 작물의 잠재 증발산(벼의 경우는 Cu), E_o 는 기준작물 증발산, K_r 는 특정작물의 작물 계수이다.

단 기준 작물 증발산 추정 공식이 국내에 도입된 것 만으로 SCS Blaney-Criddle, FAO-Penman, Penman-Montheith 등 여러가지가 있기 때문에 실무자들이나 사용자들은 그 선택에 있어 매우 큰 혼란을 겪는 것이 사실이라 할 수 있다. 그러나 분명한 것은 우리나라의 기준작물이 없기 때문에 발생하는 현상이라고 할 수 있다. 과거 농업부분에서 주로 이용하던 방법은 주로 SCS Blaney- Criddle 공식이라고 할 수 있으며, 국내의 경우는 주로 이 공식을 이용한 작물계수에 대하여 연구되었고 또한 사용되었다고 할 수 있으나, 이 공식은 기준작물 증발산 공식이 아니기 때문에 여기에서 이용하는 계수는 작물 계수라기 보다는 보정계수라는 표현이 적당할 것으로 판단되며(건설부, 1990 참조), 또한 최소 계산시간이 월이라는 한계가 있다. Penman-Montheith 공식은 건설부, 산업기지 개발공사(1977)에서 이미 사용된 바 있으며, 이에 대한 작물 계수를 제시한 바 있으나 이 또한 작물 계수라기 보다는 보정계수라는 표현이 적당할 것이다. 이 공식은 각 물리적 변수를 실제에 가깝게 모식할 수 있고 따라서 공식자체로 벼의 증발산을 추정할 수 있기 때문이다. 한편 최근 농업진흥공사(1989)는 FAO-Penman 공식을 국내에 적용할 수 있는 방안을 제시하였으며, 벼증발산 실측치를 이용하여 작물계수를 제시한 바 있다. 각 방법의 정확성

은 FAO의 결과를 간접적인 평가 기준으로 볼 경우, 하절기를 대상으로 Penman 방법은 약 10%의 오차, Blaney - Criddle방법은 약 25%의 오차가 발생하며 게다가 1개월 이상의 시간구간에 적용해야 한다(Doorenbos and Pruitt, 1984). 따라서 기준작물 증발산공식의 국내 도입에 대해서 심도있는 연구가 선행되어야 할 것이나, Penman 공식의 이용이 촉구된다고 할 수 있다.

표 1. 작물 계수의 비교.

| 구 분 | 6월 | | | 7월 | | | 8월 | | | 9월 | | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| | 상 | 중 | 하 | 상 | 중 | 하 | 상 | 중 | 하 | 상 | 중 | 하 |
| 김시원, 엄태영 (1971) | - | 0.89 | 0.91 | 0.95 | 1.06 | 1.18 | 1.30 | 1.32 | 1.22 | 1.11 | 0.96 | - |
| 김시원등(1981) | - | 0.89 | 0.97 | 1.11 | 1.27 | 1.38 | 1.46 | 1.51 | 1.44 | 1.27 | 1.11 | - |
| 북 부 | 1.00 | 1.22 | 1.39 | 1.50 | 1.56 | 1.58 | 1.56 | 1.51 | 1.42 | 1.31 | - | - |
| 중 부 | 1.07 | 1.24 | 1.39 | 1.50 | 1.59 | 1.65 | 1.68 | 1.68 | 1.66 | 1.60 | - | - |
| 남 부 | 1.10 | 1.27 | 1.41 | 1.52 | 1.60 | 1.66 | 1.68 | 1.68 | 1.65 | 1.60 | 1.55 | - |

주) 기상관측별 북, 중, 남부로 나눈 자세한 사항은 농진공(1989)참조.

그러나 공정한 비교라고는 할 수 없으나 표 1에서보는 바와 같이 작물계수의 형태 및 그 값은 천차만별이라고 할 수 있어, 정확히 어떤 것을 사용해야 할지 명확하지 않다. Doorenbos와 Pruitt(1984)에 의하면 벼 작물계수의 최대치가 1.35로 보고하고 있으나(캘리포니아와 아시아 건조기간에 바람이 셀 때임), 표 1과 같이 김시원과 엄태영(1971)의 경우만 제외하고 매우 큰 값을 제시하고 있다. 물론 과거와는 달리 생산성이 높은 신품종이 개발되고, 또한 다른 수답재 배력을 현재는 가지고 있다 할지라도 상기 표에 제시된 작물 계수는 너무나도 큰 계수라고 말할 수 있다. 이는 과거 Penman 방법에 의한 증발산이 잠재 증발산으로 사용된 바 있음을 감안하면, 이를 쉽게 유추할 수 있을 것이다. 따라서 수답증발산을 산정할 때 작물계수가 매우 중요함을 고려하면 현재의 작물 계수는 재 검토되어야 할 것이다.

5.2 관리용수율

관리용수율이란 농업진흥공사(1989)에 의하면 시설관리 용수수율과 재배관리 용수율을 합한 것으로 정의하고 있다. 이는 안정된 송수와 배수 등을 위한 시설관리 용수량과 용수 조작등에 따른 재배 관리용수량 등을 농업용수 산정시에 순용수량과 함께 고려해야 실제로 취수되고 있는 용수를 산정할 수 있다는 것이다. 다시 말하면 관리 용수량이 소비수량에 추가해서 취수해야 할 수량으로 정의되기 때문에 관리용수율이란 조용수량 산정시 순용수량에서 더해줘야 할 관리용수량을 비율로 나타낸 것이라 할 수 있다.

이에 대한 국내 연구는 유감스럽게도 매우 미미한 듯하며(이기춘 등, 1982참조), 계획이나 설 계목적으로 개략적인 값인 20%가 주로 사용되었다(농진공, 1983). 그러나, 농업진흥공사(1989)는 이 값을 '관리용수량의 현실성을 도외시한 것'이라고 신랄하게 비평하였으며, 관리용수율로 30-40%를 제시한 바 있다. 이는 과거 건설부, 산업기지개발공사(1977)에서 이용한 바 있는 와계 닝겐 농과대학의 연구결과인 30%와 거의 비슷하며 농진공(1989)의 비교대상인 탕천, 중천의 결과인 30-43%와 유사하여 타당하다 할 수 있으나, 실제적으로 국내에서 실험한 것이 아니기 때문에 명확히 밝힐 수 없다. 다만 이를 이용하고 실제 물 수급을 평가하는 입장에서 보면 20%와 30-40% 차이는 농업용수 수요 및 순물소모량 추정에 지대한 영향을 미치기 때문에 빠른 시일내 공신력있는 결과가 도출되어야 할 것이다.

5.3 유효수량 그리고 못자리와 이앙 용수량.

여기서의 유효수량은 수문학 분야에서 주로 이용하는 유효수량의 개념과는 다르다. 농업진흥공사(1989)에 의하면, 유효수량이란 관개 기간중에 경지에 내린 강우중 경지에서 이용되는 수량으로 정의되며, 계산시에는 답에서의 허용담수심을 50mm로 가정하고 전일 담수심에서 당일의 강수량 및 필요수량 그리고 전일 담수심을 가감하여 유효수량을 계산한다.

한편 못자리 용수량은 못자리면적을 전체 관개면적의 5%로 하여 약 140mm를 주로 이용하며 침투량을 고려하여 산정한다. 또한 이앙 용수량은 이앙면적을 본답면적의 95%로 하여 약 140mm로 하고 침투량과 유효수량을 고려하여 산정한다.

5.4 실제 증발산의 추정에 대한 토의

이상 기술한 것이 농업용수 수요량과 순물소모량 추정시 공히 이용되는 것이라면 실제 증발산은 순물소모량에만 관계되고 또한 평가시에만 이용할 수 있는 것이라고 할 수 있다. 실제 증발산(E_a)을 추정할 수 있는 일반적인 식은 다음과 같다.

$$E_a = K_s * E_{cp} \quad (5)$$

여기서 K_s 는 저항계수로 주로 토양의 수분, 토양의 성질, 그리고 기상학적 조건, 작물 성장상태 등에 좌우되는 아주 복잡한 계수라 할 수 있다.

따라서 실제 증발산을 추정하기란 매우 어렵기 때문에 일반적으로 실제 증발산에 영향을 많이 주는 토양수분의 함수에 의거한 수문모형에 의존하여 결정한다. 그러나 수문모형은 이를 구축하는 연구자나 사용자에 따라 크게 좌우되며, 특히 토양수분 계산모형의 경우는 더욱 주관적이라 할 수 있다(개념적 모형에 한정함). 이들 관계에 대한 자세한 것은 건설부(1990)을 참조할 수 있다.

소위 NEDECO모형에서는 실제 증발산을 추정하기 위해 자연상태를 초원으로 가정하고 뿌리지대를 600mm로 하고 최대 토양수분(field capacity)과 위조점(wilting point)사이의 토양수분을 200mm로 보았으며, 실제증발산은 토양수분이 0일때 잠재증발산의 10%, 140mm이상일 때 잠재증발산이 되도록 하는 저항계수 모형을 구축하였다. 이 모형은 일종에 Thornthwaite와 Mather(1955)의 관계와 유사한 선형적인 모형이라고 할 수 있으나 비선형을 일부 고려했다는 것이 이색적이라 할 수 있다.

아무튼 실제 증발산을 추정하기 위해서는 모형을 이용할 수 밖에 없으며, 계산자의 주관적 모형이 개진될 개연성이 크기 때문에 실제증발산의 추정은 약간씩 차이가 있을 수 있다. 게다가 실제 유역에서의 실제 증발산의 추정은 연속적인 모의로 검증이 될 수 있으나, 유역내 일부 논과 밭은 이를 검증할 수 없다는 것이다. 따라서, NEDECO모형에서는 매년 모의 초기, 즉 4월 초에 100mm로 가정하고 있으나, 이 또한 실험에 의하지 않았기 때문에 주관적인 가정이 사용자에게 의해 개진될 수 있다.

따라서 실제증발산을 추정하는 경우에는 식생의 가정, 증발산과 토양수분의 관계, 모형의 초기치 등에 의해 다르게 추정될 수 있기 때문에 실제증발산 추정에 대한 연구가 필요하다 할 수 있다.

5.5 기타 순물소모량 추정에 필요한 변수에 대하여

순물소모량 계산에 중요한 변수중에 하나는 침투량과 관리용수량의 회귀율과 회귀기간이라고 할 수 있다. 즉 침투된 수량과 관리용수량중 얼마나 다시 회귀하고 나머지는 지하수에 기여하느냐는 것이다. 그러나 불행하게도 여기에 대한 문헌은 본 연구에서는 입수치 못하였고, 다

만 어림셈으로 NEDECO 모형에서는 침투량의 약 50%, 관리용수량의 70%가 하천으로 회귀한다고 가정하고 있으며, 이양기간은 수요량이 순물소모량이란 개념하에 회귀수를 전혀 고려하지 않고, 이 기간의 물이 본답기간 부터 회귀한다는 논리로 회귀기간을 약 10일로 보았다. 따라서 이에 대한 연구가 필요하나 현재로서는 이 가정이 비현실적이라고 할 수 없기 때문에 이를 이용할 수 밖에 없는 실정이라고 할 수 있다. 수답재배력에 따른 순물소모량의 자세한 계산은 NEDECO 보고서를 참조하여야 한다.

6. 한발 빈도에 대하여

물관리 측면과 계획 및 평가 측면이 명확히 다른 것중에 하나가 이 부분이라 할 수 있다. 그러나 농업용수 안전공급측면, 즉 농업용수 수요 측면에서는 용수 한발빈도를 명확하게 정의하고 있으나 평가측면 즉 순물소모량 측면에서는 매우 불명확하다. 농업용수 안전공급을 위해서는 농진공(1989)에 따르면 10년 한발을 기준으로 삼는다. 그러나 평가측면에서는 이에 대한 문헌을 찾을 수 없었으며, 단지 NEDECO의 경우 특정 한발년을 기준으로 하여 순물소모량을 추정하였을 뿐이다. 이렇게 특정년을 기준으로 하여 순물소모량을 추정하는 NEDECO절차는 주관적인 견해에 따라 선정되는 기준년이 다를 수 있는 개연성이 있을 뿐 아니라, 상류유역에서 매우 중요한 순별 순물소모량에 대한 기준이 애매할 수 있기 때문에 매우 주관적이라 할 수 있다. 그러나 공급측면에서 10년빈도를 수리안전답의 기준으로 보았다면, 평가측면에서도 즉, 순물소모량도 10년빈도를 중심으로 해석해야 할 것이다. 여기서 중요하게 고려해야 할 사항으로 수요량이든 순물소모량이든 순별 또는 월별로 해석할 때는 누가곡선개념을 이용하든가 아니면 무차원 평균누가곡선을 이용해야 할 것이다.

7. 21세기 농업용수 추정

현재 우리나라 농업은 산업화, 도시화에 따른 농촌인구의 감소와 노령화, 농지감소와 이 용구조의 변화 등 사회적, 영농과학적으로 여러가지 문제점을 나타내고 있고 국제적인 조류에 영향을 크게 받고 있다. 따라서 21세기의 농업용수를 추정하고 전망한다는 것은 거의 불가능하다고 할 수 있으나, 여기에서는 농업용수 추정방법의 정립이란 측면과 장래 우리 농업을 위한 농업용수를 개략적으로 준비한다는 측면에서 대상 기준년인 2011-2041년을 중심으로 농업용수의 수요량과 순물소모량을 추정하였다.

7.1 가상의 시나리오

농업용수의 수요 및 순물소모량 추정에 있어 중요한 요소는 기상조건, 수답재배력, 경지면적이 중요한 요소라고 할 수 있으나 급변하는 농업 내·외적인 여러가지의 요인으로 이들 요소를 정확히 예측한다는 것은 매우 어렵다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 경지면적의 경우 농림수산부와 농어촌 진흥공사(1992)의 통계자료를 이용하고, 농림수산부(1992), 농촌경제연구원(1992)의 장래 전망치, 그리고 농업형태가 우리나라와 비슷한 일본과 대만의 현재까지의 경지면적의 형태변화를 감안하여 답면적은 1991년 현재 133만 ha에서 2011년에 약 122만 ha, 2041년에 약 115만 ha로 줄어 들고, 발면적도 209만 ha에서 각각 178만, 157만 ha로 줄어 들 것이라는 시나리오를 작성하였다. 여기서 답 면적의 경우 현재의 수리답면적의 증가 경향을 수리안전답의 증가 경향으로 보았으며, 발면적인 경우는 과수원이 증가 경향이 관개전의 증가 경향으로 보아 시나리오를 작성하였다.

한편 수답재배력인 경우는 21세기 유전공학의 발달을 유추할 수 없기 때문에 현재의 수답재배력이 목표년한까지 유지될 것이라는 시나리오를 작성하였으며, 따라서 수답재배력은 전국을 중북부, 남부로 나누어 제시된 농업진흥공사(1989)의 재배력을 이용하였다. 이외에 수리시설별 현

황은 현재의 전체 경지 면적당 수리시설의 백분율이 장래에도 일정하게 유지된다는 시나리오를 작성하였다.

또 다른 중요한 요소는 기후의 변화이다. 이 기후 변화는 증발량과 매우 상관성이 높기 때문에 농업용수 추정에서는 매우 중요하게 고려되어야 한다. 특히 김승 등(1993)에서와 같이 기온 상승이 전망되는 경우 증발산의 증가를 고려할 수 있다. 이는 Blaney -Criddle공식이 기온의 함수로 이루어져 있음을 감안할 경우 쉽게 유추할 수 있다. 그러나 이러한 변화가 국내 전체적으로 분명히 보고된 것이 아니고, 또한 기후변화를 대비하여 농업용수를 추정할 수 있는 방법이 연구된 바 없기 때문에 여기에서는 목표년도 까지 기후변화가 없다라는 가정을 도입하였다. (수자원공사, 1993)

7.2 농업용수 수요 및 순물소모량 추정절차와 자료 그리고 기타 변수.

상기 시나리오를 이용하여, 2011년부터 2041년까지 우리나라의 수요량과 순물소모량을 추정하기 위해서 단위면적당 수요량 및 순물소모량개념을 이용하였으며, 기상청 산하 72개 기상관측소의 1960년부터 1991년까지의 기상자료를 이용하였다.

수리안전답에서 수요량과 순물소모량에 설정된 변수를 살펴보면, 침투량은 전국을 공히 5mm/day로 일정하게 보았으며, 증발산공식은 FAO-Penman방법을 이용하였고, 관리용수율은 21세기의 물관리가 매우 효율적일 것을 감안하여 20%로 하였다. 그러나 이때 작물계수는 5.1에서 살펴본 바와 같이 매우 크기 때문에 농업진흥공사(1989)의 작물계수에서 전기간에 걸쳐 0.2를 빼어 계산하였다. 순물소모량 계산은 침투량의 50%, 관리용수량의 70%가 회귀되는 것으로 하였으며, 4.에서 기술한 기본식을 제외한 나머지 절차는 NEDECO절차와 같다.

7.3 단위면적당 수요량과 순물소모량 그리고 순별 시간적 분포.

이상의 절차를 이용하여 기상관측소별로 수요량과 순물소모량을 일별로 모의하였으나, 계획 및 평가에 이용할 수 있는 고정된 단위 용수량이 필요하였다. 따라서 본 연구에서는 6.에서 언급한 바와 같이 10년 한발을 기준으로 단위면적당 용수량을 산정하였다. 여기에 사용된 분포는 Log Pearson Type III 이다. 이상과 같은 절차로 산정된 각 기상관측소별 단위면적당 수요량과 순물소모량은 표 2와 같다.

표 2에서 알 수 있는 것과 같이 각 기상관측소별로 단위용수량이 약간의 차이가 있음을 알 수 있다. 물론 농업진흥공사(1989)에서 수답재배력에 따라 지역을 구분한 남부와 중북부의 경우는 다를 수 있으나, 이와 같이 차이가 나타난다는 것은 유역 전체에 단위 용수량을 이용하는 관행이 잘못되었음을 단적으로 나타낸다고 할 수 있으며, 또한 침투량이 지역별로 다름을 고려하면 실제 농업용수 추정은 해당 기상관측소의 영향을 충분히 고려하여야 할 것이다.

한편 목표 대상기간의 전체 농업용수 수요를 추정하기 위해서는 수리불안전답과 관개전의 단위 용수량 또한 필요하다. 계획 및 평가 목적으로 이를 추정하는 방법을 명확히 정의할 수 없었기 때문에 수자원장기종합계획(1991-2011)에서와 같이 수리불안전답은 수리 안전답의 70%, 관개전은 550mm를 수요량으로 가정하였으며, 순물소모량인 경우는 국제식량농업기구(1971)에서와 같이 한발 빈도를 5년으로 설정하여 추정하였다.

농업용수는 생·공 용수 등과 같이 일정하게 그 수요가 필요한 것은 아니기 때문에 순별 수요량 및 순물소모량이 필요하다. 특히 댐 상류유역에서의 물 수급 평가시에서는 물 수지가 순별 또는 일별로 이루어지기 때문에 더욱 중요하다고 말할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 분석기간의 평균 무차원 누가 곡선의 개념을 이용하여 우리나라의 계절별 농업용수의 수요량 및 순물소모량의 특성을 고찰하였다.

실례로 그림 1과 2는 서울 기상관측소에 대한 순별 수요량과 순물소모량과 순별 무차원 곡선

표 2 기상관측소별 연간 단위용수량(mm)

| 지명 | 수요량 | 순물소모량 | 지명 | 수요량 | 순물소모량 |
|-----|--------|--------|----|--------|-------|
| 속대촌 | 845.3 | 581.5 | 삼척 | 1346.6 | 903.6 |
| 대평 | 944.4 | 646.7 | 계곡 | 1249.6 | 790.5 |
| 수강 | 1142.0 | 737.0 | 중부 | 1268.6 | 773.1 |
| 가곡 | 992.2 | 671.5 | 보문 | 1161.8 | 701.3 |
| 소양 | 1192.2 | 750.4 | 수안 | 1382.5 | 859.9 |
| 인안 | 1151.9 | 694.7 | 대양 | 1281.2 | 763.3 |
| 두문 | 1150.6 | 715.4 | 부안 | 1493.6 | 940.5 |
| 인원 | 1171.2 | 767.7 | 부안 | 1113.7 | 693.5 |
| 신원 | 1124.3 | 769.4 | 인원 | 949.0 | 569.1 |
| 신산 | 1000.2 | 593.8 | 신원 | 1134.2 | 607.7 |
| 신산 | 1217.0 | 804.0 | 신원 | 1114.8 | 636.1 |
| 신원 | 1026.7 | 632.0 | 신원 | 1310.3 | 724.1 |
| 신원 | 1003.1 | 621.9 | 신원 | 1355.6 | 744.5 |
| 신원 | 854.9 | 486.8 | 신원 | 1268.0 | 709.6 |
| 신원 | 1134.9 | 693.4 | 신원 | 1563.4 | 867.6 |
| 신원 | 1241.0 | 766.6 | 신원 | 1405.0 | 797.3 |
| 신원 | 1089.1 | 620.1 | 신원 | 1066.4 | 652.6 |
| 신원 | 830.1 | 498.5 | 신원 | 986.6 | 619.1 |
| 신원 | 1079.6 | 628.5 | 신원 | 1348.5 | 893.4 |
| 신원 | 1201.0 | 686.0 | 신원 | 1169.8 | 729.7 |
| 신원 | 1054.5 | 564.3 | 신원 | 1328.5 | 867.6 |
| 신원 | 1502.2 | 1011.0 | 신원 | 1181.7 | 743.7 |
| 신원 | 1157.8 | 633.0 | 신원 | 1031.6 | 616.7 |
| 신원 | 958.0 | 484.5 | 신원 | 1156.1 | 660.8 |
| 신원 | 1197.7 | 685.4 | 신원 | 1187.2 | 654.3 |
| 신원 | 990.4 | 533.5 | 신원 | 1064.0 | 589.0 |
| 신원 | 1478.2 | 896.1 | 신원 | 1013.4 | 543.9 |
| 신원 | 1486.0 | 923.0 | 신원 | 881.2 | 519.7 |
| 신원 | 1188.9 | 726.7 | 신원 | 1082.2 | 651.3 |
| 신원 | 1279.1 | 773.3 | 신원 | 965.3 | 574.5 |
| 신원 | 1140.5 | 723.5 | 신원 | 984.7 | 576.5 |
| 신원 | 1139.1 | 709.7 | | | |

주) 상기표는 침투량을 5mm/day로 가정한것임.

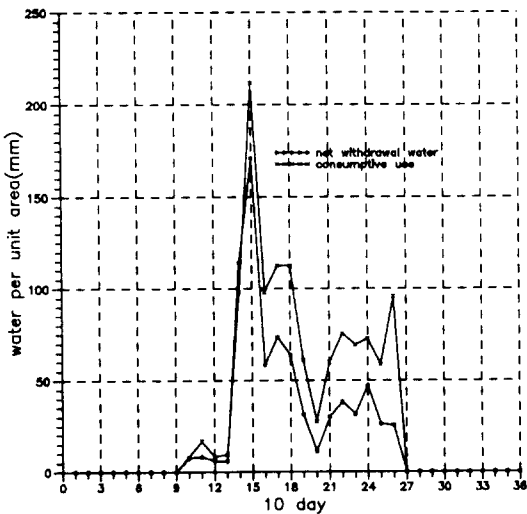


그림 1. 단위용수량의 시간적 분포

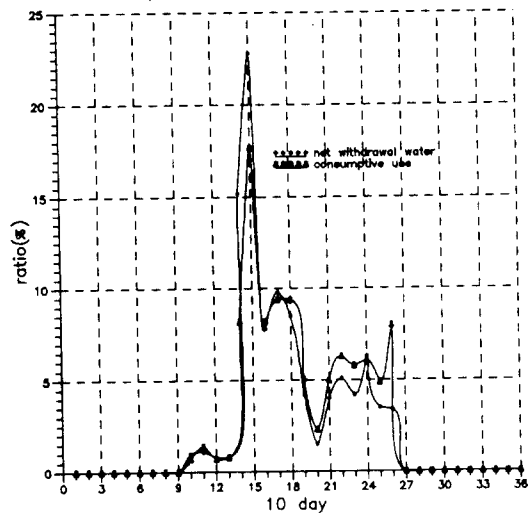


그림 2. 무차원 용수량의 시간적 분포

을 나타내고 있다. 순물소모량인 경우 수리시설에 따라 계절별 변화가 다르기 때문에 여기에서는 비교를 위해서 보·펌프인 경우를 예로 들었다.

그림 1과 2에서 알 수 있는 것은 5월 하순에 최대 단위용수량을 나타낸다는 것과 수요량과 순물소모량의 순별 시간적 분포형태 및 그 특성이 매우 다르기 때문에 연구 또는 사업 목적별로 수요량과 순물소모량을 구분하여 분석하는 것이 타당함을 알 수 있다.

7.4 결과 및 토의

이상과 같은 절차로 우리나라 전체 (제주도 포함) 농업용수 수요량과 순물소모량을 목표 년도별로 추정한 결과, 수요량인 경우 2011년에 148.7억톤, 2041년에 149.8억톤으로 전망되며, 순물소모량은 2011년에 84.5억톤, 2041년에 86.0억톤으로 전망된다. 한편 수리안전답에 대하여 살펴보면, 목표 대상기간동안 수요량은 118.8 ~ 122.8억톤으로 분석되었으며, 순물소모량은 71.4 ~ 73.8억톤으로 분석되어, 순물소모량에 대한 수요량의 비는 약 60.1%로 나타났다. 나머지 수리불안전답과 관개전에 대한 것은 수요량이 단순한 가정에 의한 것이기 때문에 분석에서 제외한다.

이 결과는 분석대상 년도가 2011년 이후이기 때문에 여러가지 가정이 전제되어 있다는 것을 다시 한번 부언하며, 현재의 수리답이 장래에 수리안전답으로 변한다는 확실한 가정을 한 것이기 때문에 전망된 수요량 및 순물소모량은 장래를 위해 대비해야 할 최대치로 간주해야 할 것으로 본다. 그러나 본 연구에서 이용한 절차와 단위용수량 그리고 시간적 분포는 실험에 의하여 새로운 방법이 제시되기 전에는 현재 이용할 수 있는 절차 및 값이라고 할 수 있다.

8. 결 론

본 연구에서는 현재 수자원 실무에서 수자원 계획이나 평가시에 주로 이용되고 있는 농업용수 추정방법의 문제점을 논리적으로 고찰하고, 혼재해 있는 농업용수추정개념을 정립하였으며, 대안적인 방법을 제시한다는 측면에서 2011~2041년을 기준으로 농업용수의 상한계를 추정하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 수요량은 공급측면의 개념이며, 순물소모량은 하류의 물 평가측면의 개념으로 그 적용 대상이 분명히 다르기 때문에 분석목적에 따라 다르게 적용하여야 한다. 또한 농업용수는 수요량이든 순물소모량이든 시간적 분포를 가지고 있기 때문에 연간의 단위용수량을 적용하는 것은 비교목적외의 의미가 없다.

둘째, 농업용수 추정에 대한 제반 절차를 논리적으로 고찰하여 정립하였으며, 관련된 매개변수의 문제점을 제시하였다. 한편으로는 순물소모량 산정방법을 수정 제시하였다.

셋째, 실무의 편리를 위해서 단위용수량을 기상관측소별로 제시하였으나, 침투량을 일정하게 고정하였기 때문에 단순한 비교 목적으로 이용될 수 있으리라 판단된다.

넷째, 시간적 분포특성으로 인하여 수요량과 순물소모량의 순별비교에 무리가 있기 때문에 연단위로 단순히 비교한다면 순물소모량에 대한 수요량의 비는 약 60.1%이다.

다섯째, 2011년 이후의 농업용수 수요량은 최대 약 150억톤, 순물소모량은 최대 약 86억톤으로 전망된다.

수자원 계획이나 물 수급의 평가시에 많은 수자원 기술자들이 농업용수 추정에 대한 혼란을 가지고 있고 여러가지의 변형된 방법이 혼재해 있어 본 연구에서는 이를 정립할 목적으로 농업용수의 추정방법에 대해서 정리하여 보았다. 차제에 농업용수 추정에 대한 많은 연구로 여기서 고찰한 여러 변수들이 정립되기를 희망하며, 수자원 실무자들이 본 연구의 결과를 혼란없이 활용할 수 있기를 바란다.

참 고 문 헌

1. 건설부(1990) '수자원 관리기법개발 연구조사 보고서'
2. 건설부산업기지, 개발공사(1977) '낙동강 유역하구 조사', 기술보고서 제 1부
3. 국제연합식량농업기구, 한국 수자원공사(1971) '국제 연합 개발 계획기구 낙동강 유역 조사 사업', 제 9권, 농업조사 제 2편.
4. 김승, 정성원, 김현준(1993) '기후변화가 수문과 수자원에 미치는 영향', 기후변화가 한반도에 미치는 영향에 관한 심포지움, 해양, 수문분과, 한국과학 기술연구원.
5. 김시원, 엄태영(1971) '농업용수 필요수량 산정에 관한 제언' 한국 수문학회지, Vol. 4, No.2, PP. 72-85.
6. 김시원, 오완석, 김선주(1981) '수답 품종간의 필요수량 차이에 관한 연구', 한국 농공학회지, Vol. 23, No.2, PP. 35- 44.
7. 농림수산부, 농어촌 진흥공사(1990) '서해안 개발과 이용에 관한 연구'.
8. 농림수산부(1992) '제 7차 경제 사회 발전 5개년 계획 농어촌 발전 부분 계획(1992-1996)'
9. 농림수산부, 농어촌진흥공사(1992) '농업기반조성사업통계연보'
10. 농수산부, 농업진흥공사(1983) '농업용수 안전 공급계획(1982-2001)'
11. 농업진흥공사(1989) '농어촌 용수 이용 합리화 계획'
12. 농업진흥공사(1989) '소비수량 산정방법 실용화 연구'
13. 이기춘, 구자웅, 김재영, 이재영, 서원명(1982) '관개용 수로의 수로 손실을 산정에 관한 연구', 전북대학교 농대 논문집, 제 13호, PP.159-167
14. 이남호 (1988) '관개지구 물 관리조직의 일별 모의 조작', 박사학위논문, 서울대학교 대학원.
15. 한국 농촌 경제 연구원(1992) '21세기를 향한 한국농업의 발전방향'
16. 한국수자원공사(1990) '수자원 장기종합계획(1991-2011)', 한국건설기술연구원.
17. 한국수자원공사(1993) '21세기를 바라보는 수자원 전망', 한국건설기술연구원.
18. Cuenca, R.H. and Nicholson, M.T.(1982) 'Application of Penman Equation Wind Function', Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 108, No. IRI, PP.13-23.
19. Doorenbos, J. and Pruitt, W. O(1984) 'Guidelines for Predicting Crop Water Requirements', FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
20. Ministry of Construction, NEDECO(1976) 'Nakdong River Basin Delta Study' Water Management and Water Balance Computation.
21. Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R.(1955) 'The Water Balance', Publ. in Climatology, 8(1), Lab. of Climat., Centeron, N.J.