

하천 물환경 개선을 위한 농업용수 관리방안 연구(Ⅱ)
A Practical Research of Agricultural Water
Management for Improvement of Water
Environment in the River (Ⅱ)

분과위원장 : 박 승 우

(서울대학교 농업생명과학대학 교수)

간 사 : 서 영 제

(농어촌진흥공사 조사설계처 부장)

(총리실 수질개선기획단 파견근무)

연 구 원 : 박 창 언

(신구전문대학 토목과 교수)

1. 서론

물을 취급함에 있어 모든 환경, 특히 하천을 떠나서는 생각할 수 없고 따라서 물은 흙과 식물 및 광물, 유기체 등과 함께 어울려 존재함을 우리는 잘 알고 있다.

모든 생물체가 물을 근본으로 하듯이 물 자체는 생명체가 없다손 치더라도 물은 유기 및 무기물을 다량 포함하고 있으며 생물의 성장을 위한 중간매체로서 촉매작용을 하고 있음으로 실제로 생명체를 지니고 있다고 해도 과언이 아니다.

따라서 우리는 태어나서부터 물을 여러 방면으로 이용하고 있다. 예를 들면 음료수, 세탁, 목욕, 화장실, 소방수 등의 생활용수(municipal water), 논이나 밭에서 이용되는 관개용수(irrigation water), 공장에서 이용되는 공업용수(industrial water), 자연적인 하천과 경관을 보존하기 위한 환경용수, 또는 지역적으로 필요한 지역용수 등이 있다. 이와같은 용수는 자연 하천을 직접 이용하는 경우도 있지만 대부분 인간의 기술을 이용하여 보(洑)나 수로 등을 만들어 하천으로부터 물을 導水하거나 저수지를 축조하므로써 가능하다.

이와같이 인간생활에 직접적으로 필요한 대부분의 용수는 하천수에 의존하고 있으며 최근 환경에 대한 사람들의 인식이 높아지면서 가장 먼저 하천 수질악화가 모든 국민들의 여론 대상이 되고 있는 실정이다.

특히 그 중에서도 본 연구에 범주에 속하는 하천환경 개선을 위한 농업용수관리 방안은 하천의 수질악화가 산업화, 인구집중화 현상에 기인한 것도 사실이지만 비점오염원에 대한 영향도 무시할 수 없으므로 이를 줄이는 방향으로 농약 및 비료 사용량을 줄이기 위한 농업용수 물관리를

생각하게 된 것이다.

특히 반수생 식물로 분류되는 벼는 다량의 물을 필요로 하므로 이에 대한 구체적인 용수수급 관리만 잘하면 우리나라 하천 수질환경 개선에 크게 기여할 것으로 사료된다.

2. 농업용수의 종류 및 기능

농업용수는 특히 농업생산을 위한 목적 뿐만 아니라 수계별, 지역별로 지역용수로서 농촌용수, 경관유지, 위락, 생물보전, 지하수 함양 등과 같이 여러 방면의 역할을 하고 있으므로 이와같은 점을 중시하여 농업용수를 관리하므로서 하천의 물환경 개선을 위한 목적을 달성할 수 있다.

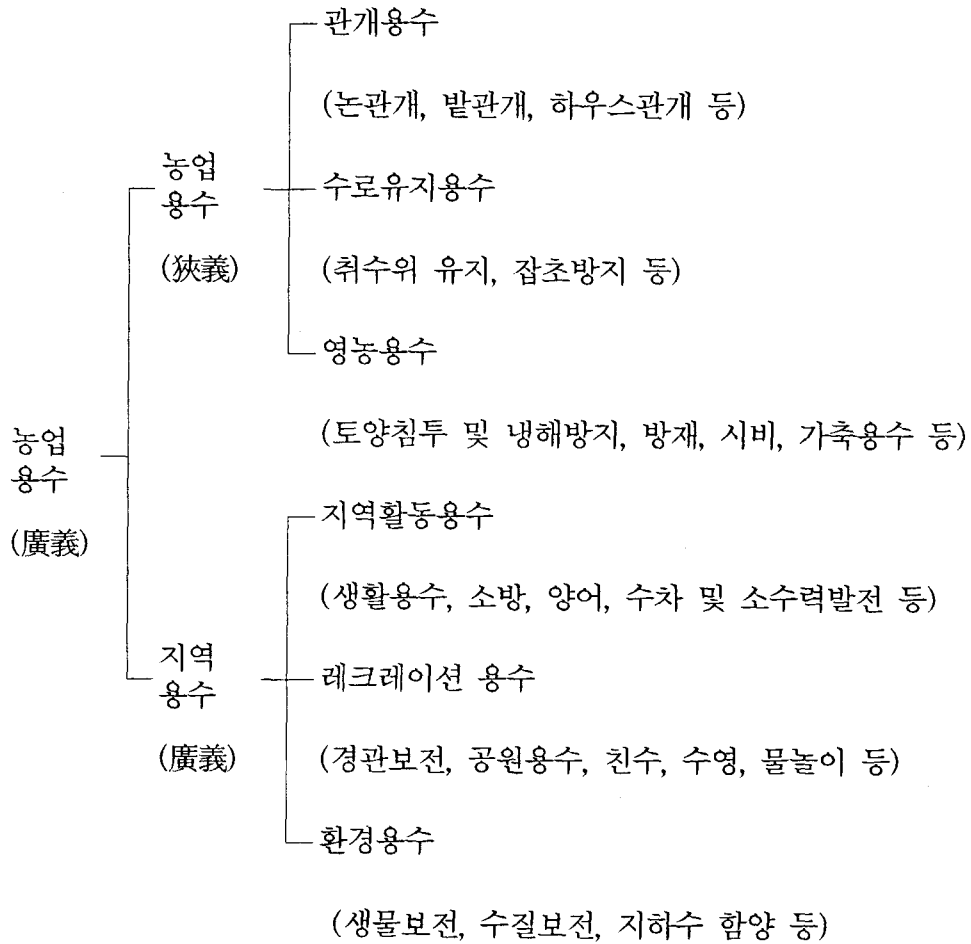
농업용수와 지역용수와 차이는 아래 <표 1>에서 보는 바와 같다. 즉 광의(廣義)의 농업용수는 협의(狹義)의 농업용수와 지역용수로 나눌 수 있다. 또 협의의 농업용수는 관개용수, 수로유지용수, 영농용수 등으로 나눌 수 있으며 이는 농업생산과 직접 관련된 용수이다. 이에 반하여 지역용수는 지역활동을 위하여 필요한 용수로서 레크레이션 용수, 환경용수 등으로서 지역사회와 2차적인 자연의 건전한 유지와 보전에 필요한 용수를 말한다.

3. 논의 관개조직과 용수량

3.1 논의 관개조직

논의 관개는 주로 벼를 재배하는 것으로서 수로 등 인공적인 시설을

<표 1> 농업용수의 분류



건설하여 도수하므로써 가능하다. 분할된 필지별 필요한 물을 공급하는 것이 관개의 목적인 바 각 필지별 여러가지의 수원에서 취수하여 독립적인 수로에서 물을 이용하지 않고 일반적으로 어느 범위에서 물을 취수하여 공통된 수로를 통하여 분배하므로써 각 필지에 용수를 공급한다.

이와같이 수원에서 각 논 필지까지 물이 이용되는 체계를 논 관개조직

(paddy irrigation system)이라 하며 그 구조는 수원 취수시설, 송수시설, 분수시설, 포장배분시설 등의 수리시설로 나눌 수 있다. 그리고 포장의 취수시설(field inlet)은 논 포장자체의 일부로 취급될 수 있으며 경우에 따라서 댐 등의 수원저수지 및 방류수를 취수지점까지 인수하는데 필요한 시설을 모두 말할 수 있다.

하나의 관개조직 규모를 살펴보면 우리나라와 일본에서는 논면적이 2~3ha에서 數萬ha가 있으며 세계적으로는 數10만ha의 대규모 경지도 있다. 어떤 경우에도 각각의 논 높이(일필 표고)에 따라 하나의 용수로로 공유할 수도 있으며 또는 하나의 취수지점에서 분기되어 각각의 용수로로 통하여 여러 곳의 논필지로 배분하는 경우도 있고 먼거리의 용수공급을 위하여 계단식 논을 조직적으로 만들어 내리흐림식으로 관개하기도 한다.

또 지하수나 인근의 하천 및 호소 등에서 소형양수장 등 개인적인 장치를 이용하여 개별로 취수하여 논에 물을 공급할 경우 상기와 같이 계층적 구성은 필요 없다.

3.2 논 용수량의 기준

논관개를 할 경우 어느 정도의 물이 필요한지 매우 중요하다. 이와 같이 논관개에 필요한 물을 논용수량(paddy water requirement)이라 한다.

논용수량을 정하는 데는 어떤 기준에 대한 개념적 정립이 필요하다. 그 중 하나는 관개조직과 관련된 것으로서 논 한필지당 필요수량이 기초가 되며 여기에 용수를 송수, 배분하는데 필요한 수량을 조직상 필요한 수량으로 규정할 수 있다.

또 計劃용수량(designed water requirement)과 실지 供給용수량(actual water requirement)사이에는 다소 차이점이 있다. 「계획용수량」은 논 관개조직(시설)을 계획·설계하기 위하여 필요한 중요한 제원(용수로, 저수지의 규모 등)을 결정하는데 기초가 되므로 관개기전 해당기간에 예상·산정할 수 있는 필요수량을 「계획용수량」이라 한다. 이에 반하여 「실제용수량」은 실지로 관개를 위하여 취수하여 용수배분된 실적용수량을 말한다.

계획용수량을 산정하는 경우 보통 계획을 전제로 하므로 「갈수의 정도」를 정하지만 강우 등 기상조건 및 각종 수원의 이용가능량 등과 관련된 조건을 감안하여 기준이 되는 해를 정한다. 이것을 「계획기준년(reference year for design)」이라 하며 우리나라의 논관개 계획편람에서는 「10년에 1회 발생하는 정도의 갈수년」을 선택하고 있다.

3.3 논 용수량의 산정

논용수량 산정에 필요한 것은 보통 「계획」을 세울때로서 그 산정 방법은 국가별로 그리고 시대별로 다소 차이가 있지만 기본적인 부분은 크게 다를 바 없다. 현재 우리나라에서 논용수량 산정방법에 대한 계획용수량 산정의 기본은 다음과 같다.

3.3.1 시기구분

논용수량 산정은 묘대기, 초기용수기, 본답기등 관개시기를 구분하여 산정하는 것이 일반적이다. 묘대기는 묘를 육성하기 위하여 논의

일부에 필요한 용수를 산정하는 것을 말한다. 수량도 매우 적고 또 최근에는 기계로 이앙하는 방법에 따라 육묘시설등이 논 이외에서 육성하는 경우도 있어 논용수량의 일부분으로서 묘대용수는 그리 중요하지 않다.

초기용수기는 논에서 특별히 필요한 재배 초기단계를 말한다. 대부분의 논에서는 아직까지도 이앙을 주로 하므로서 이앙을 위한 경운 및 쓰레용수 그리고 이앙용수가 이때 필요하며 직파재배의 경우 전답직파는 초기관개수라 하기도 한다.

이앙 및 직파재배에서는 파종후 생육기를 본답기라 하며 이 시기는 벼의 생육단계를 세분하여 재배농가에서는 가끔 단수를 실시하나 용수공급 계획시는 이를 무시한다.

3.3.2 초기용수량

수확한후 약 6개월 휴경후 경작을 위해서는 논에는 다량의 물과 함께 트랙트로 경운하여 토양을 부드럽게 하고 논표면을 균등하게 하여 벼를 심을 수 있도록 쓰레질을 한다. 그 후 논에 담수를 시작하여 침투 손실이 적게 조절하고 또 토양 중의 비료성분 효과가 충분히 발휘하도록 물관리를 한다. 쓰레질은 표층 토양의 경우 경운·쇄토하여 물이 포화되도록 한 다음 일정한 담수(10cm정도)를 위하여 비교적 단시간에 다량의 물이 필요하다.

이와같이 쓰레질 용수는 토양의 조건 및 환경과 작업직전의 지하수위 및 토양의 수분함유량에 따라 좌우되므로 일반적으로 수심으로 나타내면 100~180mm가 필요하다. 지하수위가 다소 높은 습지의 경우 80~120cm, 지하수위가 낮은 투수성이 강한 토양의 경우 150~250cm정도이다.

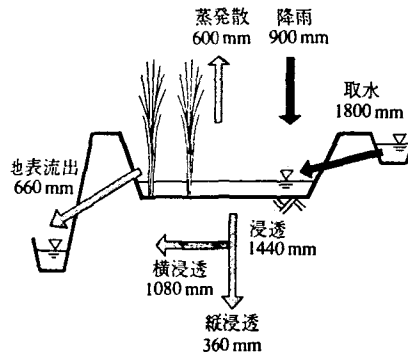
이 수량은 각 논에서 본답기에 필요한 수량과 비교하면 다소 많은 양이므로 지구내 전체 일시에 쓰레질을 하지 않고 일정하게 구역을 분할하여 순차적으로 실시하여 필요수량이 일시에 다량 소비되는 것을 예방할 수 있다. 쓰레질이 끝난 논에서는 일반적으로 본답기의 용수만 필요하게 된다. 지구내 일정한 면적을 나누어 쓰레질 하는 경우를 「등면적 쓰레질」이라 하며 이 경우 지구내 쓰레질 최종일은 취수량이 최대가 된다. 지구내 쓰레질 기간 중 취수량을 일정하게 하여 면적을 조정하는 방법을 「등수량 쓰레질」방법이라 하며 이 2가지 방법에 대한 총 필요수량을 비교하면 전자의 경우가 다소 적어 보통 이 방법을 선호하고 있다. 실제로 각 논마다 대부분의 경작자가 쓰레질을 하기 위하여 가족들이 모두 쉬는날을 택하므로 최근에는 휴일날 취수량이 증대되는 경향이 있다.

논에 직접 벼를 파종하는 직파재배의 경우(direct sowing) 쓰레질을 하지 않고 파종하는 「건답직파」와 쓰레질을 하고 난 후 파종하는 「답수직파」가 있다. 또 세계적으로 살펴 보면 쓰레질을 하지 않고 답수하여 파종하는(미국식 방법)과 쓰레질을 하고 답수하여 파종하는 (말레이시아)방법이 있다. 이와 같이 초기의 답수방법에 따라 본답기와 비교하여 다량의 물이 필요하므로 이 수량은 재배방법, 답수방법, 토양조건, 지하수조건 등에 따라 큰 차이가 있다.

3.3.3 본답기 용수량

본답기 용수량 산정에 기본이 되는 것은 논외 포장에서 필요한 용수량이며 이것은 포장에서 물의 수요와 공급의 관계로부터 「물수지(water budget, water balance)」하므로 산정할 수 있다. 본답기 1필지에서 필요한 물을 물수지를 통하여 나타내면 <그림 1>과 같다. 상기 그림

은 용·배수로에 인접해 있는 독립적인 포장에서의 취수·배수가 행해지는 논을 나타낸 것이다.



<그림 1> 논지의 물수지 개념도

논의 포장을 중심으로 유·출입하는 수량을 정리해 보면 유입하는 수량은 강수(precipitation)와 취수(intake)가 있고, 유출하는 수량은 수면과 표토면으로부터 증발(evaporation)과 벼의 증산량(transpiration), 그리고 답면의 침투량(percolation), 배수로를 통한 유출량(surface runoff)으로 구성되어 있다. 침투수는 인접한 배수로를 통한 수량(횡침투·수평침투)과 수직으로 침투하여 지하수와 합류하는 수량(종침투, 강하침투)으로 나눌 수 있다. 또 지하수가 논지 포장에서 용출하는 경우도 있으나 이 양은 침투량에 가감하여 계산할 수 있다. 논지 포장에서 저류량의 변화(보통 담수심으로 표현)를 일정기간 동안 「물수지 방정식」으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{강수량} + \text{취수량} = \text{증발산량} + \text{침투량} + \text{지표배수량} + \text{저류량 변화} \quad (1)$$

3.3.4 증발산량과 침투량

논의 본답기 필요수량은 벼 생육에 알맞는 조건을 조성하기 위해 결정되며 일반적으로 담수심과 토양의 수분을 조절하기 위해서 필요한 수량, 즉 작물의 소비수량으로 규정할 수 있으며 이 수량은 작물의 증발산량과 토양의 침투량이다.

증발산량은 토양의 침투성과 배수로 수위 및 지하수위 등 논 포장의 수리학적 특성에 따라 결정된다. 따라서 이 수량은 담수심의 변화 및 토양의 건조상태에 따라 시기적으로 그 변화량이 크다. 대부분의 논에서는 1일 10~30mm정도 범위이나 하천 주변의 충적층 토양일 경우 100mm정도의 논도 있다. 벼 수확량 관점에서 보면 논외 침투량이 10~15mm/일정도가 적절하나 노양조건과 지하수위 등 논외 물리적 특성이 각각 달라 재배방식과 시비방법, 용수원의 안전성에 따라 필요수량을 결정한다.

용수량계획 측면에서는 증발산량과 침투량을 분리하여 고려할 필요가 없고 양자를 합하여 「담수심」(증발산·침투량)으로 나타낼 수 있으며 실측치를 기초로 추정할 수 있는 방법으로는 조사단계에서 침투량 등은 실측하고 증발산량은 기상자료를 이용하여 추정하여 설계하는 것이 상례이다.

3.3.5 순용수량

포장에서 적당한 물환경을 유지하기 위하여 필요한 수량이 있다. 예를 들어 벼의 고온장애(hot weather damage)가 있을 경우 온도조절의 목적으로 내리흘림식(flow-through irrigation) 관개가 필요하다. 또 약재를 살포시 담수를 일시 배수할 필요가 있으며 그 후 다시 담수시 별도의 용수가 필요하다. 이와 같은 경우는 재배관리상 필요한 용수를 생

각할 수 있고 이를 최근 「재배관리용수량 lot management water requirement」이라 한다. 또 저온장애(cool weather damage)가 일어 날 경우 담수심을 단시일에 증가하여야 하므로 이를 위해 재배관리용수량을 고려하여야 한다. 재배관리용수량은 또 논에서 물관리에 대한 인력절감을 위해서도 필요한 수량이 있으므로 용수량 계획 측면에서 다소 고려하기가 어려운 점도 있다.

이와같이 논에서의 필요수량 중 어떤 부분은 강우를 직접 이용할 수도 있으므로 이를 「유효우량 effective rainfall」이라 한다. 포장에서 실제로 강우를 저류하여 유효하게 이용되는 수량은 강우강도와 지속시간, 비의 생육과 관련된 담수심 및 물관리 상황 등 여러가지 요인이 있다. 따라서 강우를 고려할 경우 지구내 전체 필요수량이 감소할 수 있으므로 용수계획을 위해서는 논에서의 강우유효 조건을 결정하여 산정하여야 한다. 현재 우리나라에서 적용하고 있는 1일 유효우량은 60mm정도이며 일본의 경우 5~80mm강우 범위에서 80%를 유효우량으로 규정하고 있다.

논에서 필요한 용수수요량에 유효우량을 제외한 수량을 「순용수량 net water requirement」이라 한다. 즉

$$\text{논 필요수량} = \text{증발산량} + \text{침투량} + \text{재배관리용수량} \quad (2)$$

$$\text{순용수량} = \text{논필요수량} - \text{유효우량} \quad (3)$$

3.3.6 지구용수량과 광역용수량

논에 순용수량을 공급하기 위한 어느 한 지구에 필요한 용수량을 「조용수량 gross water requirement」이라 한다. 어느 한 지구의 용수공급을 위하여 순용수량에 (시설관리용수량 canal system management)이 필요하게 된다. 시설관리수량은 주로 용수로 등 송·배

수시설의 누수와 증발에 의해 손실되는 수량(송수손실수량)과 부족분이 없이 용수를 송·배수하는데 필요한 여분의 용수(配水관리 용수량)로 구성된다. 전자는 콘크리트 등으로 포장되지 않은 수로(unlined canal)에서 송수량의 10~20%, 콘크리트 수로(concrete canal)와 관수로(pipe canal)에서는 5~10% 정도로 고려한다. 또 송·배수 시설의 기능을 유지하기 위하여 비관개기에 송수할 필요가 있을 경우 「시설기능 유지용수량」이라 하며 또 이 수량은 앞절에서 언급한 「지역용수」로 구분할 수 있다.

만약 지구내 이용가능한 보조수원이 있을 경우 주 수원공의 취수량을 줄일 수 있으며 경우에 따라 저수지의 용량을 줄일 수도 있다. 지구내 이용 가능한 보조수원은 예를 들면 지하수의 양수 및 용출수, 소하천에서의 취수량, 논에서 배수되는 수량을 재이용 할 수 있는 수량(반복용수 re-use 또는 환원용수)도 있다.

$$\text{조용수량} = \text{순용수량} + \text{시설관리용수량} \quad (4)$$

$$\text{시설관리용수량} = \text{송수손실수량} + \text{配水관리수량(시설기능유지용수량)} \quad (5)$$

$$\text{지구용수량(필요취수량)} = \text{조용수량} - \text{지구내이용가능량} \quad (6)$$

$$\text{지구내 이용가능량} = \text{보조수원량} + \text{반복이용량} \quad (7)$$

용수공급 지구내 취수하여 포장에 공급되는 물은 증발산으로 소비되고 지하수로 침투되며 또 배수로와 하천 등으로 환원되어 유출되며 이 수량을 「환원수량 recycling irrigation」이라 하고 이는 어느 한 지구의 환원수(return flow)가 하류의 다른 지구에 재이용될 수 있다. 이와같은 반복되는 용수를 「광역용수량」이라 하며 이를 고려한 용수량 산정방법을 특별히 CB법(critical block method)이라 한다.

4. 농업용수 물관리 개선방안

이상으로 상기에서 논의 용수량 종류 및 그 산정방법 등에 대하여 살펴 보았다. 이를 근거로 하여 하천 물환경 개선을 위한 관개방법은 벼 생육에 알맞고 비점오염원의 원인이 되는 농약 및 비료저감 대책을 위한 용수공급 방법일 것이다. 이 방법은 가장 단순하면서도 옛날 우리 선조들이 관습적으로 해온 논물 관리 방법으로서 용수로에서 한번 취수된 물을 논과 논 사이 논둑을 통하여 내리 흘림식으로 관개하므로써 논에서 정제된 물을 움직이게 하여 병충해 방지와 수질을 향상시키는 방법이다.

현재 우리나라는 1970년 이후 통일벼 출현을 통한 다수확 재배와 경운기 보급을 통한 기계화로 모든 경지는 경지정리를 시행하여 경사진 논은 평지로 바뀌면서 용수공급 체계가 각 필지별 용수공급하는 관개조직 체계로 바뀌었다. 즉 옛날에는 하나의 용수간선만 가지고 제일 표고가 높은 윗 논에 물을 공급하면 그 아랫 논은 차례로 논둑을 통하여 용수가 흘러 월담식으로 공급되었으나 최근 경지정리를 시행한 모든 용수구역은 용수간선외에 용수지선이 만들어져 용수가 각 필지당 각각 공급되어 한번 공급된 용수는 바로 배수로에 배수되는 형식이라 논 포장에서 용수 절약을 위해 배수하지 않을 경우 정체된 물은 고온 장애와 비료·농약에 따른 부영양화 그리고 이로 말미암아 지력이 약해져 매년 농약 및 비료 과다 사용의 악순환이 계속되고 있는 형편이다.

이는 「물이 석자만 흐르면 맑아진다」는 옛 속담과는 전혀 상반되는 관행을 현재 농업용수 공급방법으로 이용하고 있으며 오직 다수확과 고품질의 미곡을 비료와 농약에만 의존하려는 물관리 방법을 답습하고 있다고 해도 과언이 아니다.

따라서 본 연구에서는 현행 관개방법을 내리흐림식으로 다시 환원하였을 때 나타나는 필요수량 변화, 즉 계획용수량의 변화량과 또 수원공 규모 결정을 위하여 저수지 모의조작을 통한 필요저수량 변화도 함께 살펴 보도록 하였다.

4.1 대상지구

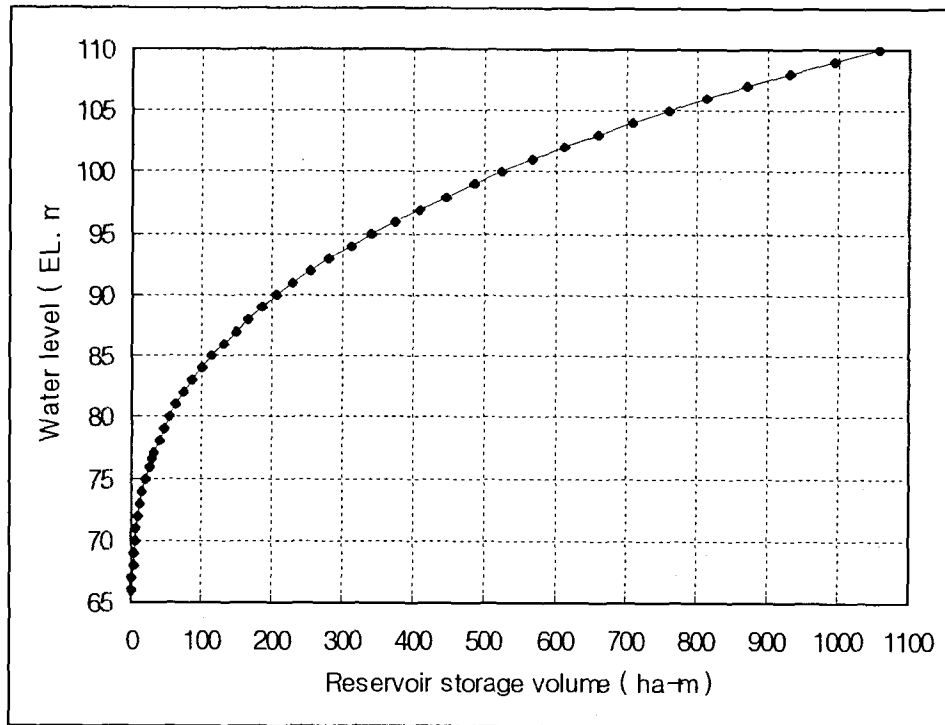
본 연구의 대상지구는 경남 함안군 여항면, 함안면, 가야읍 주서리 외 12개리로 구성된 함안지구를 선정하였다. 함안지구는 함안천을 따라 평야지가 발달되어 있는 지역으로, 평야지의 상류부에 있는 봉성저수지가 주 수원공이었으나 재해대책 위험시설물로 판명되는 등의 이유로 인하여 수원의 안정된 확보를 위하여 새로운 봉성저수지를 계획하고 있는 지구이다. <그림 2>은 대상지구의 전경으로 그림에서 선으로 표시되어진 지점이 봉성저수지가 계획되어진 위치이다.



<그림 2> 함안지구의 전경

<표 2> 봉성저수지의 제원

제당 형식	중심 코아	유역 면적 (ha)	1370
제당 체적 (m ³)	975,675	수해 면적 (ha)	530
제 고 (m)	42.6	사수위 (EL. m)	76.5
제 장 (m)	541	만수위 (EL. m)	97.0
정 폭 (m)	8.0	홍수위 (EL. m)	98.2
여수토 형식	측구식	총저수량 (ha-m)	408.07



<그림 3> 봉성저수지 수위-내용적 곡선

4.1 수원공 현황

수원공으로 계획중인 봉성저수지는 <표 2>에서 보는 바와 같이 만수위가 EL. 97.0m이고, 제당이 541m, 제고가 42.6 m인 저수지로서, 함

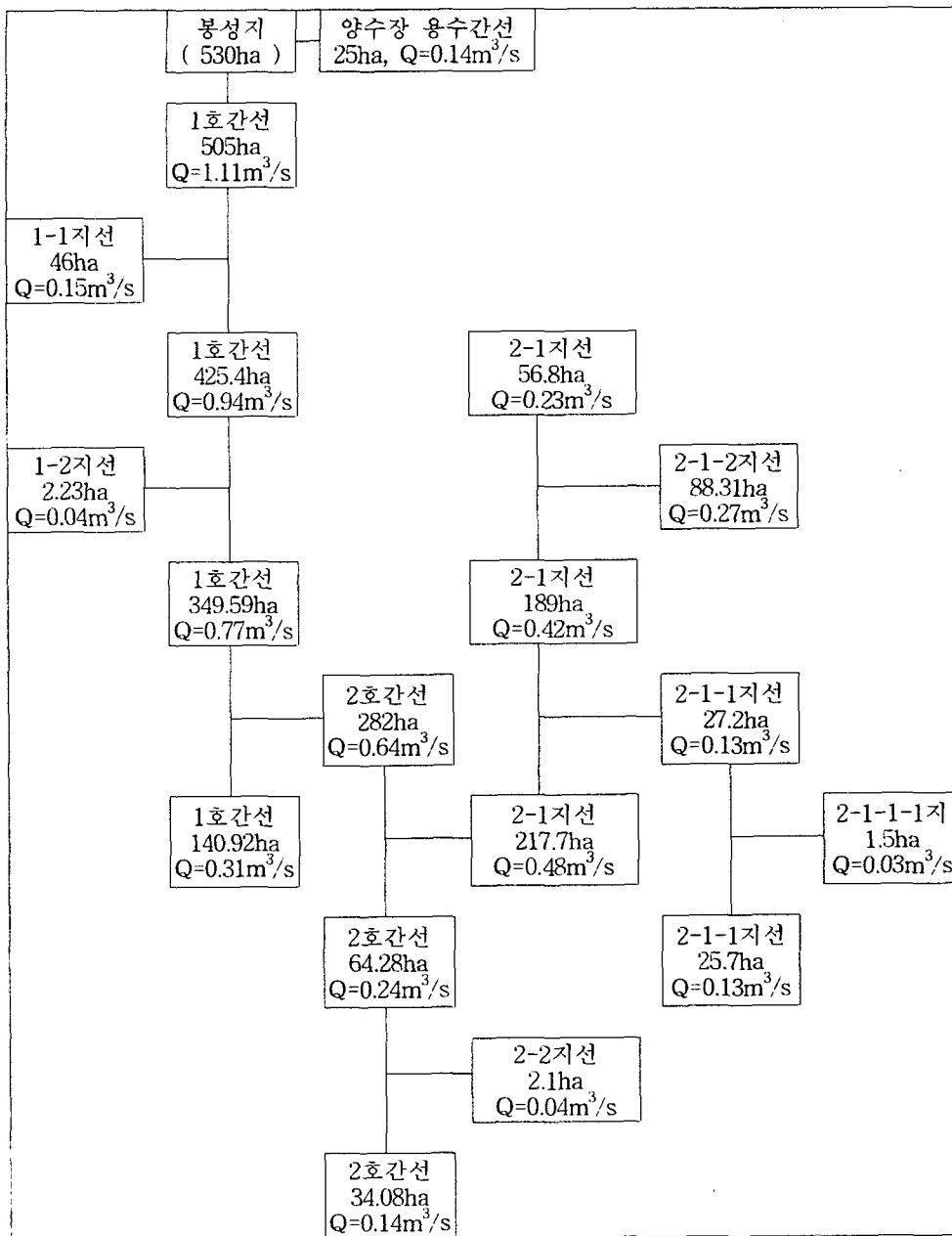
안지구의 530ha의 관개면적에 농업용수 공급이 가능하도록 계획하고 있다. <그림 3>는 봉성저수지의 수위-내용적 곡선을 나타낸 것으로서 만수위인 97.0m에서 408.07ha-m의 저수량을 확보할 수 있도록 계획된 저수지이다.

4.3 평야부 현황

봉성저수지를 수원공으로 하는 함안지구의 530 ha의 급수구역 평야부는 <표 3> 과 같이 용수로가 계획되고 있는데, 총 연장이 35,578 m 에 달하며 3조의 용수간선과 7조의 용수지선으로 이루어져 있고 용수로의 일부분 원형수로를 제외하고는 대부분의 구간이 구형수로로 구성되어 있다. 이들 용수로를 중심으로 표시한 함안지구 평야부의 용수계통도는 <그림 4>과 같다.

<표 3> 함안지구 용수로 구성

노 선 명		연 장 (m)	대표단면 (m) [폭 × 높이]	비 고
간 선	제1호 용수간선	8810	1.50×1.00	
	제2호 용수간선	7512	0.80×0.60	
	함안양수장용수간선	4772	0.60×0.60	
	소 계	21,094		
지 선	1-1 용수지선	5830	0.70×0.50	
	1-2 용수지선	380	0.50×0.30	
	2-1 용수지선	3876	1.00×0.80	
	2-1-1 용수지선	2418	0.70×0.50	
	2-1-1-1 지선	250	0.50×0.50	
	2-1-2 용수지선	1380	0.80×0.70	
	2-2 용수지선	350	0.50×0.50	
소 계		14,484		
계		35,578		



<그림 4> 함안지구 용수계통도

4.1 물수지 분석

1) 분석 개요

본 연구대상 함안지구의 관개방법에 따른 용수수요량의 변화를 분석하기 위하여 관개면적에 대한 필요수량을 산정하고, 수원공인 봉성저수지의 물수지 분석을 실시하였다. 이 물수지 분석은 관개방법의 변화에 따른 저수지의 필요 저수량을 평가할 수 있을 것이다.

저수지 물수지 분석은 저수지 모의조작 또는 저수지 운영분석이라 하는데, 저수지의 운영조작 기준에 따라 임의의 기간동안 저수지의 거동을 모의해 보는 것이다. 이를 통하여 최적 운영기준의 설정이나 저수지 용량의 결정 또는 평가 등 여러 가지 의사결정을 위하여 실시할 수 있다.

농업용수를 공급할 목적으로 계획한 봉성저수지의 물수지분석은 식(8)과 같이 저류량기식을 적용할 수 있다.

$$\Delta S = I_t \cdot \Delta t - O_t \cdot \Delta t \quad (8)$$

여기서, S = 저수지의 저류량, I = 저수지로의 유입량, O = 저수지로부터의 방류량 등으로 저수지의 저류량 변화를 유입량과 유출량의 차로 표시한 것이다. 저수지로의 유입량은 유역으로 부터 강우발생시 유출되는 유출량을 의미하며, 저수지로부터의 방류량은 홍수시 물넘이로 월류되는 월류량과 포장에서의 필요수량 만큼의 용수수요를 공급하기 위하여 통관으로 유출되어 취수시설로 부터 취수되는 통관방류량을 합한 양이 된다. 일정한 시간간격으로 저류량의 변화를 계산하여 보면 일정한 기간에 대한 저수지 저류량의 활용상황을 평가해 볼 수 있다.

2) 물수지 요소

유입량 : 본 함안지구의 물수지 분석을 위하여 총 1,370ha의 유역에 대한 저수지지점으로 유입되는 장기간의 유입량 관측자료가 필요하나 소규모의 무계측 유역이므로 간접적인 방법을 이용하여 저수지로의 유입

량을 계산할 수 밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 저수지 계획시에 사용되었던 방법인 가지야마 공식에 의한 계산결과를 그대로 사용하기로 하였다. 유출계수 f 는 유출량이 보통인 1.0인 값을 적용하였다. 또한, 월별로 계산되어진 유출량은 강우비율에 따라 순별로 배분되어진 값을 사용하였다.

필요수량 : 농업용수 필요수량은 작물 소비수량, 삼투량, 유효수량, 수로손실 등을 감안하여 식(9)와 같이 계산할 수 있다.

$$\text{필요수량} = \frac{(\text{작물소비수량} + \text{삼투량} - \text{유효수량})}{(1 - \text{수로손실})} \times \text{관개면적} \quad (9)$$

작물의 소비수량은 월평균기온과 주간시간 백분율에 의하여 계산되는 식(10)의 Blaney-Criddle식을 사용하였다.

$$U = 25.4 \cdot K \cdot \frac{P \cdot t}{100} \quad (10)$$

여기서, U = 순별 엽수면 증발량, K = 작물소비수량계수, F = 주간시간 백분율, t = 평균온도($^{\circ}F$) 등이다. 작물소비수량계수는 식(11)과 같이 계산할 수 있으며, 주간시간 백분율은 <표 4>와 같다.

$$K = K_t \cdot K_c \quad (11)$$

여기서, K_t 는 온도에 따른 작물계수 보정치로서 식(12)로 부터 계산될 수 있으며, K_c 는 작물 고유의 계수로서 실험에 의하여 얻어지는데 벼의 생육기간별 값은 <표 5>와 같다.

$$K_t = 0.0173 t - 0.314 \quad (12)$$

본 연구의 대상지구인 함안지구는 주로 재래종 벼를 재배하고 있는데 작부체계는 <표 6>과 같이 적용하였다.

<표 4> 월별 주간시간 백분율

월	1	2	3	4	5	6
백분율	0.231	0.248	0.268	0.291	0.312	0.328
월	7	8	9	10	11	12
백분율	0.321	0.304	0.281	0.254	0.231	0.221

<표 5> 벼의 생육기간별 소비수량계수(K_c)

월순	4			5			6		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하
신품종		0.86	0.86	0.89	0.86	0.86	0.86	0.95	1.08
재래종			0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.91
월순	7			8			9		
	상	중	하	상	중	하	상	중	하
신품종	1.22	1.40	1.58	1.69	1.52	1.26	0.96	0.96	
재래종	0.95	0.99	1.06	1.18	1.30	1.22	1.11	0.96	0.96

<표 6> 함안지구 벼의 작부체계

품종	묘대기		이앙기		단수시작
	부터	까지	부터	까지	
신품종	4월 17일	5월 31일	5월 21일	6월 10일	9월 11일
재래종	4월 27일	6월 10일	6월 1일	6월 20일	9월 21일

유효수량은 관개방법과 필요담수심의 크기에 따라 달라지는데, 각각의 경우에 대하여 필요담수심에 따라 유지되는 물꼬의 높이 만큼만 유효수량이 될 수 있으며, 그 이상의 강수량은 월류되는 무효수량으로 정의

하게 된다.

삼투량은 본 지구의 저수지 계획시 적용되었던 5.2mm/일 자료를 그대로 적용하였으며, 수로의 손실은 전 용수호가 구조물화 된 것으로 간주하여 10%로 하고, 이양용수는 140mm로 계산하였다.

3) 분석결과

관개방법에 따른 대상지구에서의 농업용수 공급량의 변화를 분석하기 위하여 수원공인 봉성저수지에 대한 물수지 분석을 행하였다. 이를 위하여 관개방법은 4가지 경우의 가정을 근거로 계산하였는데 [case 1]의 경우는 전 관개기간동안 답수심을 60mm로 고정하여 유지하는 방법으로 현재 관개계획에 따른 물관리 방법을 선택하였고, [case 2]의 경우는 농촌진흥청에서 제시한 <표 7>과 같은 관개기간별 최적답수심을 유지하는 방법으로, [case 3]은 내리흘림식 관개를 실시하는데 용수로의 설계통수량 만큼을 강우시를 제외하고 매일 관개하는 것으로, [case 4]는 [case 3]의 경우와 같이 내리흘림식 관개를 실시하지만 용수의 절약을 위하여 순별 최대 필요수량 만큼을 통수하는 것으로 각각 정의하여 분석을 실시하였다.

<표 7> 함안지구의 최적답수심 (농촌진흥청)

순 별	6			7		
	상	중	하	상	중	하
최적답수심 (mm)		60	40	40	0	60
순 별	8			9		
	상	중	하	상	중	하
최적답수심 (mm)	60	60	40	40	40	0

[case 3]의 경우는 내리흐림식 관개방법이므로 용수지거가 없이 물은 용수지선으로 부터 각 포장으로 공급되어 지는데, 각각의 논 한필지 포장을 통과한 물은 논둑을 통하여 다음 포장으로 월류된다고 가정하여 계산하였으나 전달되는 유량을 임의로 결정하기 곤란하여 저수지 통관으로부터 연결되는 제1호 용수간선의 설계통수량인 $1.11\text{m}^3/\text{sec}$ 만큼을 통수하여 전 포장에 균등하게 공급되어지는 것으로 하였다. [case 4]의 경우는 설계통수량 만큼을 매일 관개하게 되면 말단의 포장을 월류하여 배수로로 손실되어 지는 관개용수의 손실이 상당할 수 있으므로 본 연구에서 계산하는 1970년부터 1996년까지의 각 순별 작물소비수량중에서 최대값을 선정하여 <표 8>과 같이 순별 최대소비수량과 삼투량 만큼을 공급하는 것으로 하였다.

내리흐림식 관개방법에서는 포장내에서의 지속적인 용수의 흐름이 유지되는 것이 특징인데, 이는 용수로 통수량에 의하여 결정된다. [case 3]의 경우는 설계통수량인 $1.11\text{m}^3/\text{sec}$ 의 유량이 통수되므로 전 포장에 균등하게 분배된다면 $100\text{m} \times 50\text{m}$ 크기의 포장 10개가 연결되어 있는 경우 첫 번째 포장을 통과하는 유량은 약 $0.01\text{m}^3/\text{sec}$ 이 되며 이 때의 포장을 흐르는 흐름의 평균유속은 대략 $0.18\text{cm}/\text{sec}$ 정도가 된다. 이는 하류측의 포장으로 갈수록 그 양과 유속이 감소하게 되는데, 이는 상류 포장에서의 소비수량에 따라 다르겠지만 포장에 공급되어지는 용수량이 소비수량보다 많으므로 말단 포장에서도 유속이 발생되며 이는 배수로로 향한 용수의 손실을 의미한다. [case 4]의 경우도 마찬가지인데, 그 유량과 유속이 통수량이 적어지면서 다소 감소할 뿐이다.

<표 8> 순별 최대 작물소비수량

순 별	5			6		
	상	중	하	상	중	하
최대 소비수량 (mm)	4.9200	4.9200	5.3516	5.6879	6.1951	6.5008
순 별	7			8		
	상	중	하	상	중	하
최대 소비수량 (mm)	7.8191	8.5393	9.2283	9.1978	9.8941	9.0195
순 별	9			10		
	상	중	하	상	중	하
최대 소비수량 (mm)	7.4016	5.8753	5.1704			

<표 9>는 1970년부터 1996년까지 관개기간별 필요수량을 각 경우별로 계산한 결과를 정리한 것이다. 표에서 볼 수 있듯이 최적담수심을 유지하는 관개방법인 [case 2]의 경우가 평균 489.96ha-m로서 가장 적은 필요수량을 나타냈으며, 담수심을 60mm로 일정하게 관리하는 [case 1]의 경우는 평균 583.57ha-m의 필요수량이 계산되었다. 내리흐림식 관개방법에 의한 필요수량은 역시 다소 큰 값을 보였는데, 용수로의 유량을 설계통수량만큼 유지하는 [case 3]의 경우는 [case 1]의 경우에 비하여 약 32% 정도 증가된 772.88ha-m가 필요하였으며, 이를 절약하기 위한 [case 4]의 경우는 약 9.3% 정도가 증가된 637.99ha-m의 필요수량만 있으면 가능한 것으로 나타났다.

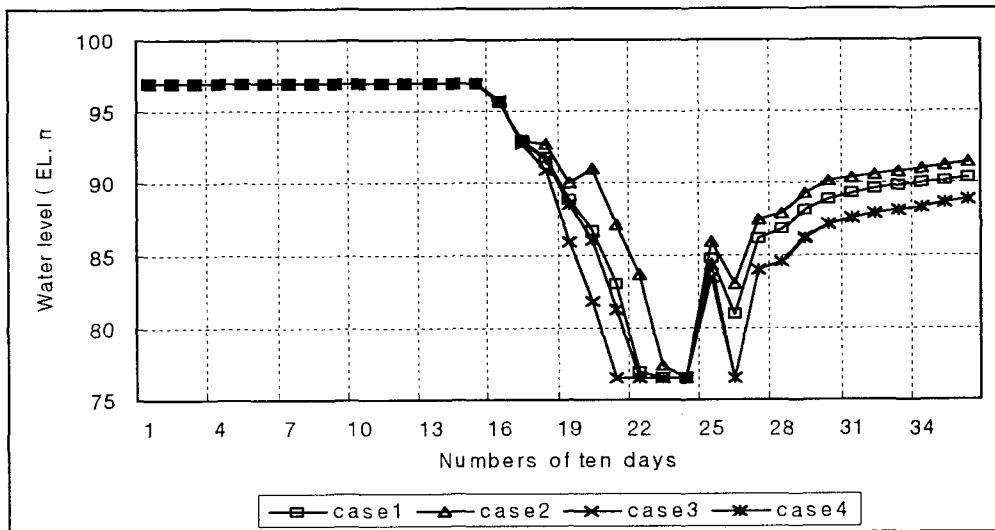
<표 9>에 나타난 관개방법별 필요수량 산정결과를 이용하여 실제 수원공인 봉성저수지에서의 운영상황을 모의조작하는 물수지 분석을 실시하였다. 필요수량이 가장 큰 값을 보인 [case 3]의 경우는 분석기간의 거의 절반인 14개년에 걸쳐 저수위가 사수위에 도달되어 고갈되는 것으로 나타났다. 따라서 내리흐림식의 관개방법을 채택하는 경우에는

<표 9> 연도별 관개방법별 필요수량 (ha-m)

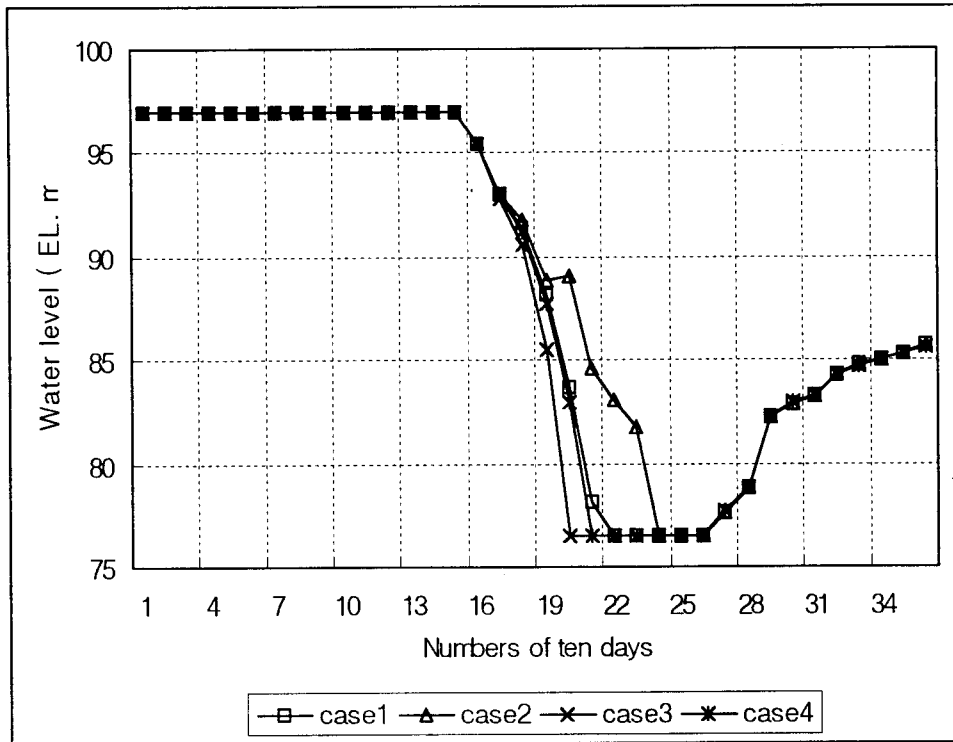
년	[case 1]	[case 2]	[case 3]	[case 4]	비 고
1970	534.30	435.85	700.94	582.32	
1971	568.64	480.80	756.40	615.49	
1972	585.91	470.31	787.63	644.74	
1973	712.72	609.25	904.51	755.50	극대
1974	595.30	510.59	796.33	655.40	평균
1975	581.90	484.89	746.86	622.13	
1976	599.48	518.97	792.36	658.27	
1977	603.70	514.49	819.18	666.35	
1978	589.58	513.35	757.98	629.43	
1979	507.70	379.02	683.06	561.51	
1980	497.10	398.85	677.33	557.08	극소
1981	563.83	446.28	771.80	628.68	
1982	637.58	560.52	859.78	709.94	
1983	600.65	492.89	789.36	654.42	
1984	558.06	420.13	750.19	610.39	
1985	565.34	463.68	703.08	601.45	
1986	606.58	534.24	792.95	670.62	평균
1987	488.38	428.12	679.81	546.02	극소
1988	619.02	547.63	826.69	676.71	
1989	518.72	412.62	720.57	587.40	
1990	606.23	492.95	771.90	645.41	
1991	508.21	415.73	703.07	566.91	
1992	651.11	579.19	847.25	708.34	
1993	485.72	431.21	660.80	548.34	
1994	727.62	646.36	923.48	766.90	극대
1995	615.79	503.76	827.88	676.88	
1996	627.34	537.11	816.60	679.09	
평 균	583.57	489.96	772.88	637.99	

[case 4] 와 같은 방법으로 이루어져야 할 것으로 판단되었으며, [case 4] 의 경우에 대한 물수지 분석결과는 1973년과 1994년 2개년에 한하여 저수지 수위가 사수위에 도달하게 되는 것으로 나타났다.

<그림 5> 와 <그림 6>는 27개년 동안 분석결과 중에서 최대의 필요수량이 필요한 1973년과 1994년의 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 5월까지의 만수위인 97m를 유지하다가 본격적인 관개가 시작되는 6월 이후부터 저수위가 감소하여 [case3] 의 경우가 제일 빨리 사수위인 76.5m에 도달하게 되고, 9월 이후에 관개가 마무리되고 유역으로부터의 유입량이 발생하면서 다시 저수위가 증가하게 되는 상황을 발견할 수 있다. 특히, 1973년과 1994년에는 필요수량이 가장 적게 요구되는 [case 2] 의 경우도 사수위에 도달하는 등 관개기간 중에 가장 강우가 적게 발생했던 것으로 판단되었다.



<그림 5> 관개방법별 봉성저수지 저수위변화 (1973년)

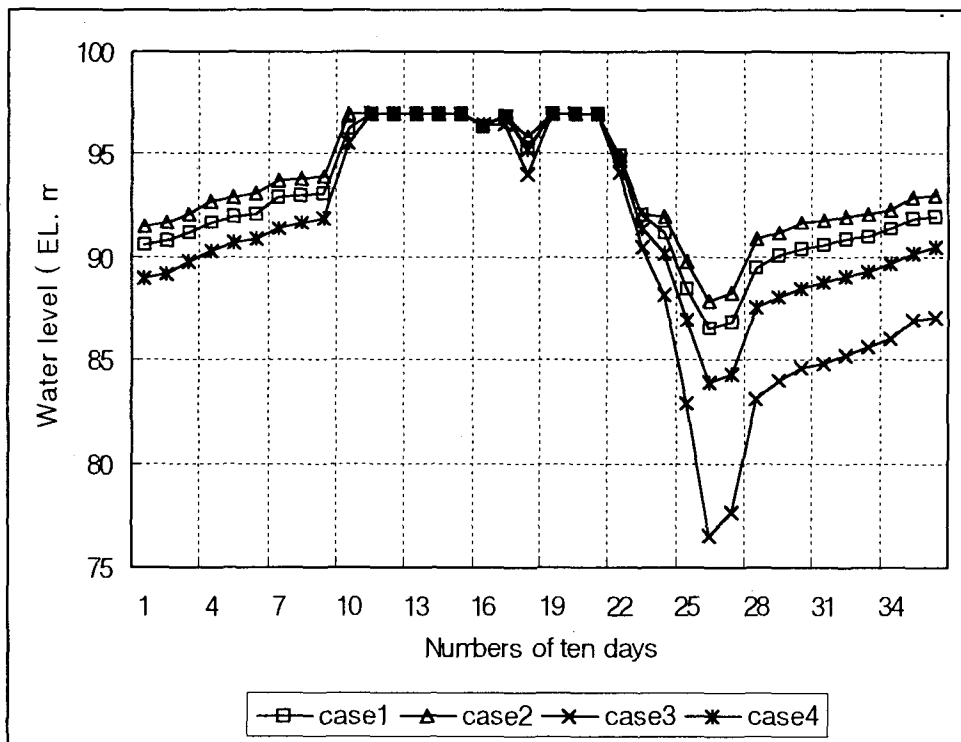


<그림 6> 관개방법별 봉성저수지 저수위변화 (1994년)

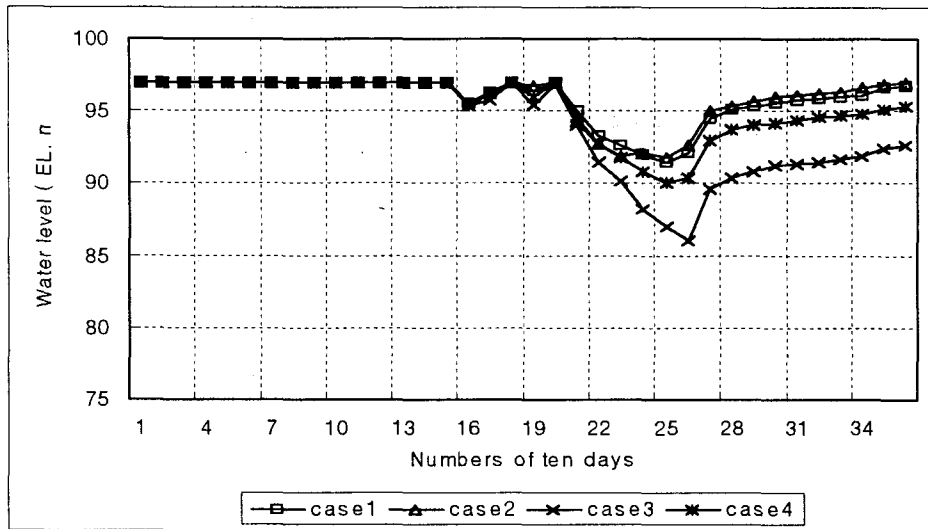
[case 4]의 관개방법을 택할 경우 1970~1996년간 저수지 모의운영 결과 1973년 및 1994년을 제외하고는 저수지가 고갈되는 해는 더 이상 나타나지 않았다. 대부분의 해에는 적절한 저수지 운영을 할 수 있었으며 <그림 7>과 <그림 8>은 평균치인 800ha-m의 필요수량이 요구되는 1974년과 1986년의 결과이다. 특히, <그림 7>에 나타난 1974년의 경우는 <그림 5>에서 볼 수 있듯이 1973년 12월이 지나면서도 저수지 수위가 만수위인 97m에 도달하지 못하여 1974년의 1월부터 만수위보다 낮은 수위에서 저수지 운영이 시작되어 본격적인 관개기간이 시작되기 전에 만수위로 채워지는 것을 알 수 있었다. <그림 8>의 1986년의 경우는

충분한 만수위에서 관개가 시작되었으며 전 관개기간 중 사수위까지 도달하는 경우는 발생하지 않았다.

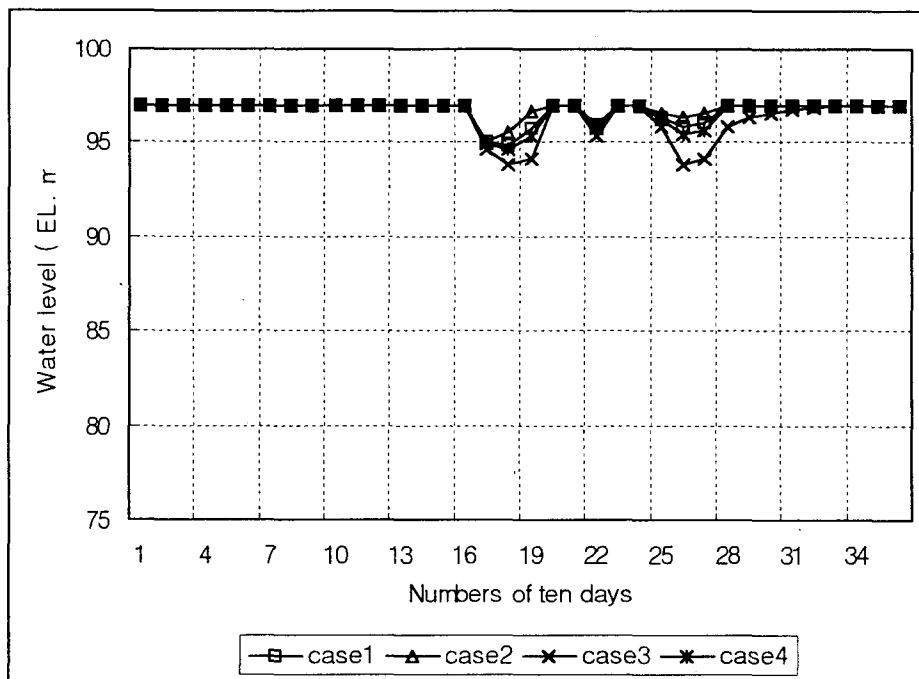
1980년과 1987년의 경우는 필요수량이 극소값을 보였는데, 이 때의 물수지 분석결과는 <그림 9>과 <그림 10>와 같이 나타났다. <그림 9>의 1980년의 경우는 만수위에서 관개가 시작되었으며, <그림 10>의 1987년은 1986년의 12월까지 만수위를 채우지 못해 만수위 이하에서 1987년을 맞이하는 경우도 있었다. 그러나, 상기 2개 그림에서 동일하게 관개기에 적절한 강우가 발생되어 유효강우량이 많았던 관계로 저수지 수위는 90m이상에서 유지되었음을 알 수 있었다.



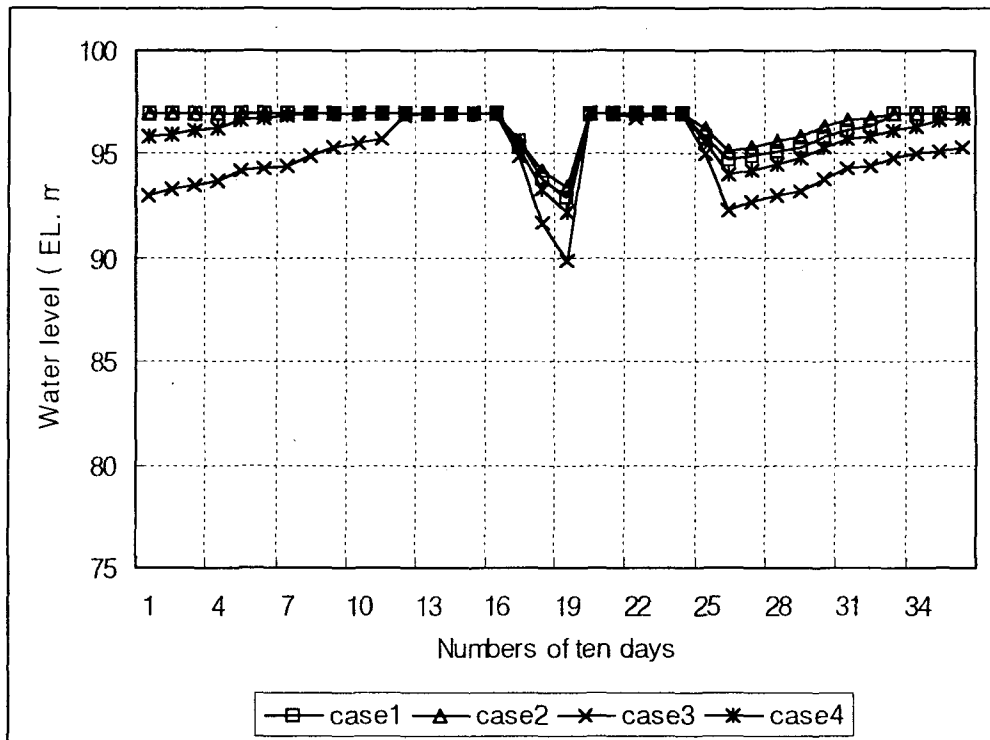
<그림 7> 관개방법별 봉성저수지 저수위변화 (1974년)



<그림 8> 관개방법별 봉성저수지 저수위변화 (1986년)



<그림 9> 관개방법별 봉성저수지 저수위변화 (1980년)



<그림 10> 관개방법별 봉성저수지 저수위변화 (1987년)

5. 결론

논에서 배수되는 물이 하천으로 흘러가 하천의 물환경과 함께 생태계에 커다란 영향을 미치므로 농경지의 비점오염원 배출을 저감시키기 위하여 현행 관개방법을 고전적으로 환원시켜 논에서의 물관리 개선방법을 고찰하였다.

그 결과 현재 농업용수 설계기준이 되는 10년 빈도 가뭄 이상에 해당되는 1973년과 1994년만이 용수부족이 발생하였으므로 기존의 수원공을 이용하여 내리흘림식 관개방법을 도입하더라도 용수수급에는 별 이상이 없는 것으로 나타났다.

따라서 논 한 필지당 정체된 물을 이용하지 않고 흐르는 물로 인한 관개방법을 도입할 경우 논의 물환경 개선은 물론 지역별 모든 하천환경 및 생태계에 크게 기여를 할 것을 확신하며 이를 위한 조속한 설계지침과 현장에서의 실험이 요구된다고 생각한다.

참 고 문 헌

1. 농림부·농어촌진흥공사, 1984. 농지개량사업계획설계기준(경지정리편).
2. 농림부·농어촌진흥공사, 1995. 영농방식변화에 따른 필요수량변화연구(I).
3. 농림부·농어촌진흥공사, 1996. 금강(II)지구 수문조사보고서.
4. 농림부, 농어촌진흥공사, 1996. 농어촌용수 10개년계획.
5. 농림부·농어촌진흥공사, 1996. 농업생산기반정비사업통계연보.
6. 농림부·농어촌진흥공사, 1996. 영농방식변화에 따른 필요수량변화연구(II).
7. 농림부·농어촌진흥공사, 1997. 농업생산기반정비사업통계조사요령.
8. A Simulation of irrigation systems, Robert E. Krieger Publishing Company.
9. California Agriculture, University of California
10. Irrigation Scheduling, University of California
11. Soil Plant-Water relationship, SCS.
12. Surface Irrigation, University of California, Davis.