

〈2004년 2월 서울대학교 박사학위 논문〉

물관리지동화시스템을 위한 관개조직운영모형의 개발

박 기 옥

농업기반공사 농어촌연구원



1. 서 론

우리나라의 전체 수자원에 대한 용수수요는 1998년을 기준으로 연간 331억 m³에 이르며, 이 중 약 48%를 차지하는 농업용수는 자연적, 사회적 및 인위적인 요인에 의해 가용수자원의 공급비율이 감소하는 추세에 있으며, 이러한 현상은 앞으로 더욱 가속화될 전망이다.

우리나라의 농업용수관리는 답작을 주된 대상으로 한해를 방지하고, 효율적인 용수공급을 위하여 새로운 수자원의 개발에 주력해 왔으나 근래에 들어 신규 수자원의 개발에는 막대한 비용이 투자되어야 하고, 또한 개발가능지역도 기존의 개발지역과 비교해 볼 때 개발여건이 상대적으로 불리한 상태이다. 따라서 이러한 문제를 개선하기 위하여 농업용수의 실제사용량에 대한 효율성을 평가, 관리방식의 개선, 시설물의 현대화 및 효율적인 물관리에 의한 종합적인 관리의 필요성이 강조되고 있는 실정이다. 현재까지 국내의 농업용수개발사업과 경지정리사업 등에 의하여 수리시설의 설치와 경지의 정비 등 기반시설의 측면에서는 괄목할 만한 발전이 이루어졌으나, 가급적이면 많은 용수확보를 위한 물수요자의 인식, 현대적인 수리시설 과 경지정리에 필요한 적절한 측정 및 관리시설이 부족한 관계로 농업용수의 관리에 대한 기술발전은 기반시설의 발전에 보조를 맞추지 못하고 있다.

농업용수의 관리는 용수의 과부족, 지형, 토양 등의 자연조건 이외에 물이용의 우선순위와 물이용상의 권익배분까지 포함하여 오랜 기간 동안 지역의 특성에 맞게 정착되었으며 현재까지 관행 물관리로 유지되고 있다. 관행에 의한 물관리는 관련 농민들간의

용수이용에 대한 의견조정과 농민들의 공동 노동제공 등으로 유지 관리되어 왔으나, 최근 인구의 감소, 고령화 등으로 농업수리시설의 관리를 위한 노동력을 얻기 어려워지고 있으며, 물수요의 증가로 수자원의 합리적 이용과 수리시설의 효율적인 관리가 가능한 물관리시설의 현대화가 시급한 과제로 대두되고 있다.

이러한 배경하에 최근 농업용수관리 분야에도 원격 계측 및 제어시설(TM/TC), SCADA SYSTEM 등과 같은 물관리지동화 시설이 도입되고 있으며, 시설물의 관리대상범위 및 장비의 규모도 대형화, 복잡 다양화하고 있다. 이러한 시설물의 발전에 발맞추어 양수장의 가동, 배수기장의 가동, 수문의 조작 등을 위한 운영소프트웨어의 개발로 발전되어 농업용수관리 시설의 자동화, 현대화로 발전하고 있는 실정이다. 그러나 자동화시설의 효율적인 운영을 위한 공학적인 해석을 통한 수원공의 운영, 용수로의 수리해석 및 수리시설의 합리적인 운영을 위한 물관리 운영소프트웨어의 개발은 극히 미진한 실정이며, 또한 수리시설물 및 자동화 시설물의 운영평가를 위한 평가기준의 적용, 관개효율을 개선하기 위한 다양한 시나리오의 분석, 현장 운영결과의 분석 및 개선 등을 위한 도구의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구는 논에서의 용수공급을 위한 인위적, 물리적 도구들이 통합된 관개시스템의 한 부분으로서의 물관리지동화시스템의 효율적인 운영을 위한 관개조직운영모형(SIMA, simulation model for automatic irrigation water management)을 개발하고, 관개조직운영모형의 효율성을 평가하기 위하여 균등지수, 관개효율, 무효방류량 및 총관개시간의 기준으로 비교하여 최적한 관개방식을 선정하는 데 목적을 두었다. 관

개조적운영모형은 3개의 부모형으로 구성되어 있는 바, 수원공의 저수량을 계산하기 위한 수원공물관리모형, 용수로의 유허해석을 통한 분수유량 산정, 용수도달시간 계산 및 분수시설 조작시간의 추정을 위한 용수로물관리모형, 관개블록의 일별 담수심을 산정하고 이를 통하여 용수공급에 필요한 필요 담수량을 산정하기 위한 포장물관리모형으로 구성되어 있다.

2. 관개조직운영모형

본 연구에서는 물관리자동화 시스템의 운영에 필요한 의사결정을 지원하기 위해 수원공, 용수로 및 포장을 포함하는 관개조직의 주요 구성요소에 대해 관개전, 관개후의 용수분배에 대한 모의조작을 실시하고, 관리자에 의한 주요시설물의 조작, 포장별 관개방식, 용수분배계획수립 등에 필요한 합리적인 수단을 제공하기 위한 관개조직운영모형(SIMA, Simulation model for Irrigation water MAnagement)을 개발하였다.

SIMA는 관개조직의 주요 요소 별로 수원공모형, 용수로모형 및 포장물관리모형으로 구성되어 있으며, 시간적 공간적 관개현황의 변화에 따라서 일어나는 수원공, 용수로, 포장의 각 요소 별로 유기적인 자료의 교환 및 의사결정 변수의 생성을 통해 관개조직의 거동을 분석할 수 있도록 구성하였다. 관개조직의 각 요소 별로 수원공에 대한 물관리를 위해 유역유출량산정, 저수지물수지분석을 할 수 있는 수원공물관리모형, 용수로에서는 용수로수리해석, 용수의 적정분배를 위한 용수로물관리모형 및 포장에서는 관개블록별 담수심을 산정하고, 필요 담수량 산정을 위한 포장물관리모형으로 구성된다.

관개조직의 관리의 주 대상이 되는 의사결정 항목을 선정하여 구성된 관개조직운영모형의 개념도는 그림 1에서 보여주고 있으며, 관개조직으로부터 수집되는 각종 정보들을 관개조직운영모형을 통하여 분석하고 그 결과를 사용자에게 전달하는 과정을 통하여 관개조직의 효율적인 운영을 할 수 있음을 보여준다.

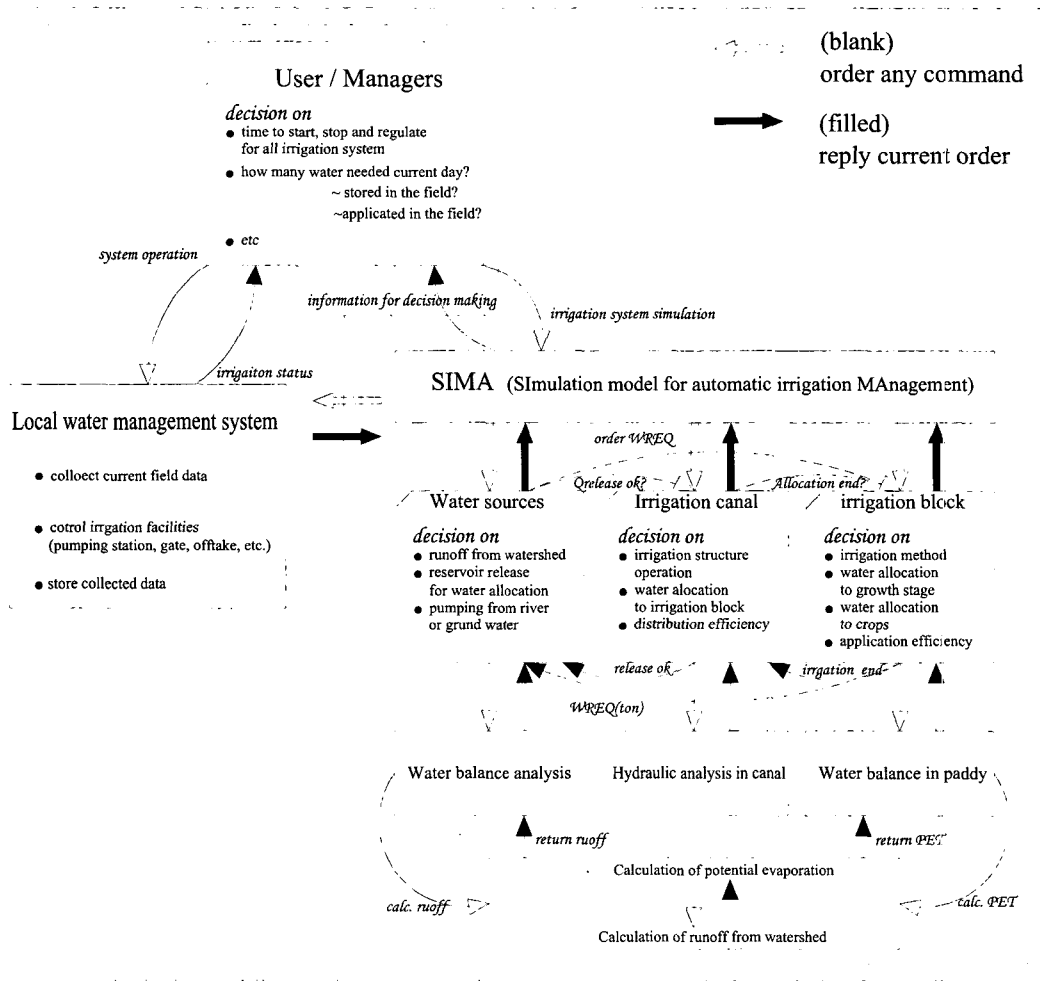


그림 1 관개조직운영모형의 개념도

가. 수원공물관리 모형

관개조직에서 관개용수의 공급을 위한 수원공으로는 저수지, 양수장, 취입보 및 관정 등이 있다. 수원공에서 관개용수의 공급을 위한 조작을 위해서 수혜지구에서 필요로 하는 용수와 현재 수원공의 이용 가능한 수량을 파악한 후 용수 공급을 위한 관리 계획을 세우게 된다.

저수지를 대상으로 하는 수원공의 관리는 적정수위의 유지와 잉여수의 배제로 크게 나눌 수 있다. 저수위의 유지는 수혜지구의 요구량에 충분한 양의 물을 저류하여 필요시 급수에 차질이 없도록 하는 것이며, 잉여수의 배제는 불필요한 물이나 홍수시 물을 수원공으로부터 하천으로 방류함으로써 홍수피해를 막기 위한 것이다(농지개량조합연합회, 1996).

수원공의 효율적인 관리를 위하여는 수원공의 유입량, 방류량 및 저수량 등 관개여부의 결정에 영향을 미치는 인자들의 조건을 고려해야 하는 데, 이는 장기간의 수원공의 운영 상태를 분석함으로써 각 인자들의 특성을 파악할 수 있다.

따라서, 관개기간 중 물관리에 따른 수원공에서의 유입량, 방류량 및 저수량에 대한 저수지 물수지 관계의 정량적인 분석을 통해 관개용수의 공급을 위한 수원공에서의 물수지에 대한 고려가 필요하다.

나. 용수로물관리 모형

관개 용수로와 같이 인공적인 수로에서는 흐름의 상태가 취수공, 분수공, 수문 등과 같은 수리시설의 조작에 의해 흐름이 시간적, 공간적으로 변하게 되는 비정상류가 주가 된다. 이러한 비정상류는 농업용수의 관리를 위한 계획수립, 농업용 시설물의 설계 및 관리에 있어 중요한 요인이 된다(白石英彦 등, 1993).

그러나, 현실적으로 비정상류에 대한 해석을 통하여 용수로에서의 관리 및 모형을 개발한 예는 많지 않으며, 지금까지는 용수로의 흐름해석을 위해서는 흐름의 상태를 정상상태의 등류로 생각하여 단순화한 모형의 개발이 주가 되고 있는 실정이다(김 등, 1988).

수원공에서 취수된 물은 용수간선, 용수지선, 용수지거를 유하여 포장에 도달한다. 만약 용수간선에서 어떤 용수지선으로 분수할 필요가 없어졌거나, 어떤 시간에 용수간선에서 용수지선으로 분수를 시작하는 경우, 이러한 용수로의 조작환경 변화에 수관하는 용수로내의 유량 변동에 대한 용수로의 거동을 해석하기 위해서 수로내의 수리해석 모형을 필요로 한다.

본 연구에서는 농업 용수로에서 발생하는 비정상류 해석을 통한 시간별 유황 해석, 분수유량 산정, 용수도달시간의 산정할 수

있는 용수로물관리모형을 구성하였다

다. 포장물관리 모형

답작을 대상으로 하는 포장에서의 필요수량은 일반적으로 전체 관개면적에 대해 강하침투량, 제방을 통한 횡침투량 및 일일 최대증발산량의 합으로 표시된다. 그러나 우리나라의 답작은 답수재배가 지배적이므로 경작기간 중 논에서는 일정 수심의 답수심이 존재하게 되므로, 답수심과 강우에 따른 유효수량의 관계를 고려해서 결정한다.

본 연구에서는 포장의 답수심 및 유효수량의 관계를 나타내기 위해 포장에서의 물수지에 대해 정의하고, 각 일별 답수심 변화를 산정하고, 관개지구의 필요수량을 추정할 수 있는 포장물관리 모형을 구성하였다.

3. 모형의 적용

가. 대상지구의 개요

대상지구인 매호지구는 경상북도 상주시 사벌면 덕가리에 위치한 덕가저수지와 상주시 사벌면 매호리에 위치한 매호양수장을 주 수원공으로 하고 있으며, 저수지 유역에 1개 용수간선, 양수장 지구에 2개의 용수간선을 가지고 있는 수도작을 주된 영농형태로 하는 관개지구이다. 매호지구는 경상북도 동북부에 위치하고 있으며, 동쪽으로 낙동강이 흐르고 있어 오래 전부터 논농사를 중심으로 한 농업이 발전한 전형적인 농촌지역이다. 대상지구의 관개조직의 구성도는 그림 2와 같다.

4. 관개조직의 물관리 특성분석

가. 분수유량의 산정

관개조직운영모형을 통해 대상지구의 농업용수 공급을 위한 용수로에 위치한 분수시설 중 현장조건에 맞게 입력자료를 구성하여 모의하였으며, 간선수로의 수위변화에 따른 분수유량을 산정하여, 각각의 분수공에서 실제 분수유량과 모의된 분수유량의 결과를 비교하였다

98SET-1자료계열을 이용한 관개모의조작 결과 DS2지점과 DS3지점의 통수량으로부터 두 지점의 분지율과 간선수로의 유량과의 관계를 그림 3 및 그림 4에 도시하고 있다.

지선수로에서의 분지율은 간선수로의 유량에 대해 DS2지점에서는 0.23~0.45, DS3지점에서는 0.36~0.52로 계산되었다. 즉, 간선수로에 일정수위 이상을 가지는 유황이 발생하여 게이트를 조작하여 분수하는 경우, 간선수로의 수위에 따라서 분수가능

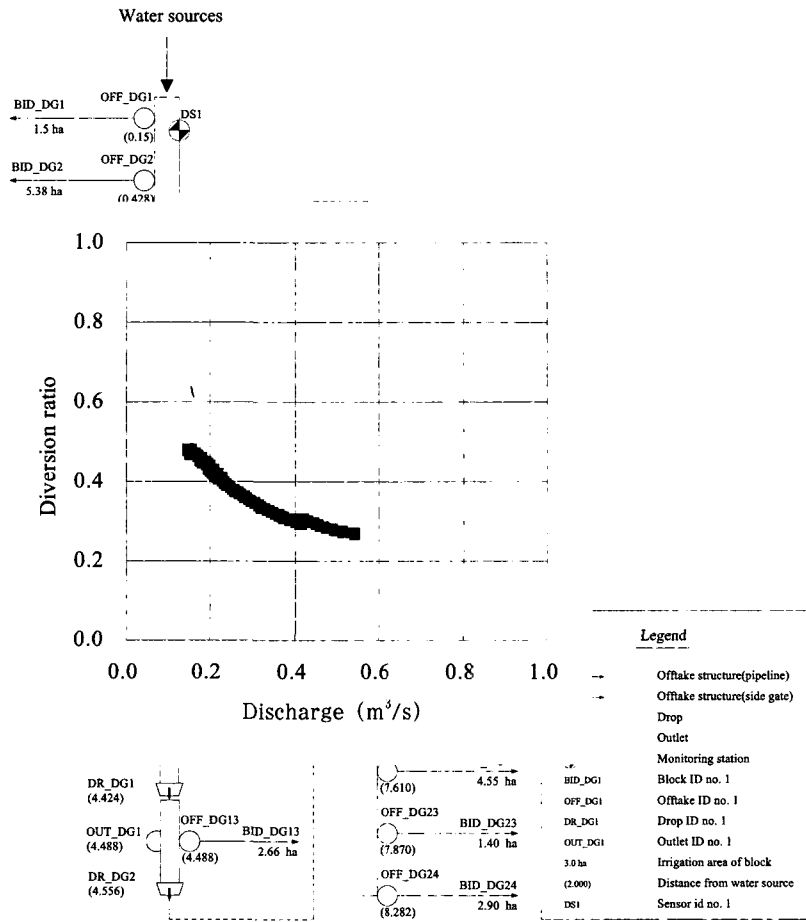


그림 2 대상지구의 관개조직 구성도

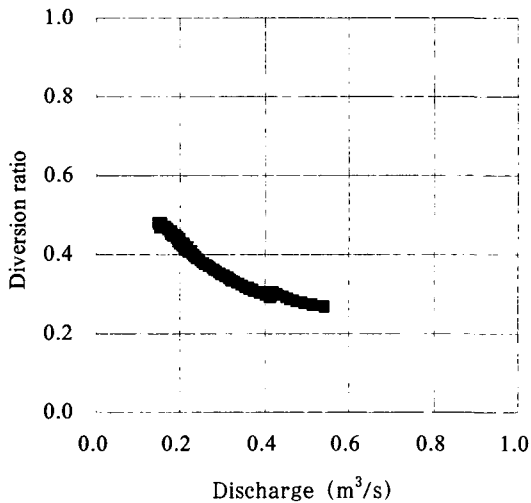


그림 3 DS2지점의 분수유량 산정 결과

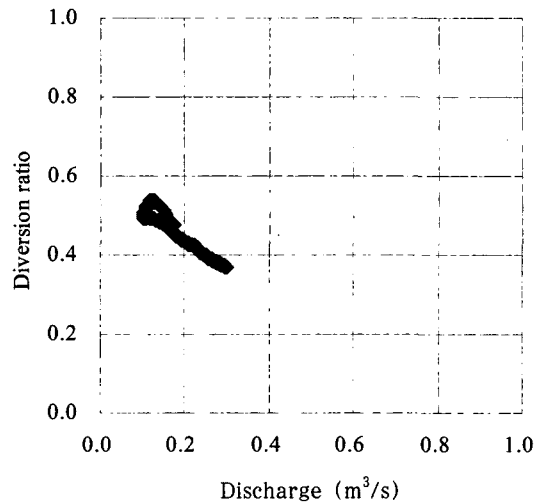


그림 4 DS3지점의 분수유량 산정 결과

량을 결정하여 분수하게 되는 데, 일정한 비율로 유량을 결정할 수 있는 항목이 아님을 알 수 있다.

본 연구에서 실시한 관개조직의 분수유량에 대한 분석결과, 용

수로에서 유허해석을 통하여 분수유량을 결정하는 것이 농업용 수의 배분에 대한 모형을 개발하는 데 있어 타당하다고 사려된다.

나. 관개방법의 변경에 따른 용수도달시간산정

연속관개에 의한 용수도달시간의 변화는 수로에 유입하는 방류량의 크기와 관계가 있다. 방류량의 변화에 따른 용수도달시간을 산정하기 위해 방류량의 범위를 통상 관행적으로 방류하고 있 $\approx 0.200 \sim 0.485 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로 변화시켜 관개블록으로 용수를 공급하지 않는 상황에서의 구간별 용수도달시간을 산정하였다.

초기유량이 결정된 후, 모의된 각 지점별 용수도달시간을 각 관개블록별로 나타낸 것은 그림 5와 같다. 그림에서 각 지점에

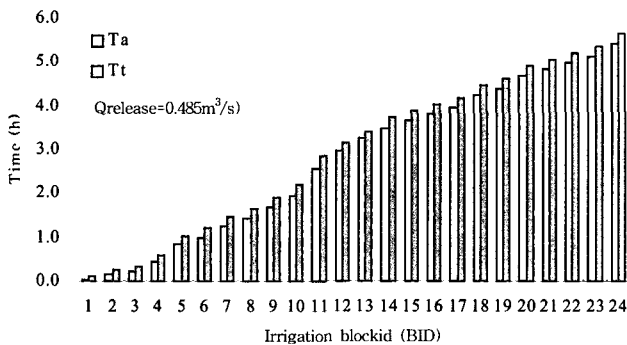


그림 5 용수도달시간 산정 결과

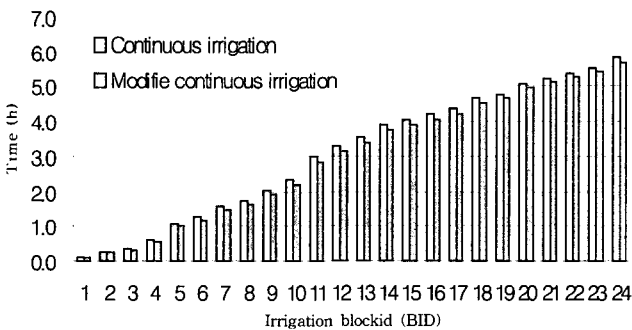


그림 6 관개방법에 따른 구간별 용수도달시간의 변화

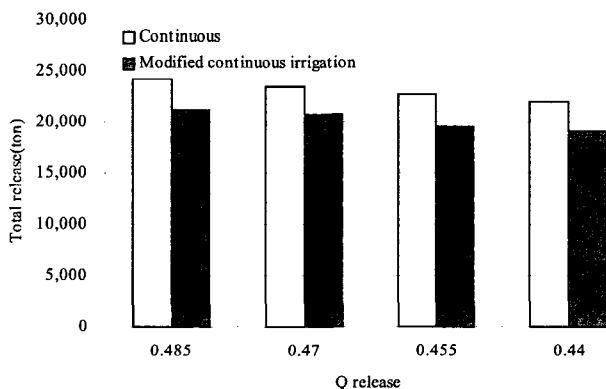


그림 7 관개방법에 따른 총방류량의 산정

따라 물머리도달시간과 용수도달시간은 구간에 따라서 다르게 계산되지만 최대 0.2667시간(약 16분)의 차이를 갖는 것으로 나타났다.

방류량을 일정시간 간격 동안 유량을 조절하여 용수도달시간을 비교한 결과는 그림 6에 나타내고 있다. 여기서는 유량의 범위를 현재의 수로조건에서 통수할 수 있는 최대방류량인 $0.485 \text{ m}^3/\text{sec}$ 에서, 용수를 조절하는 사이클 시간의 통수량이 용수로 말단까지 용수를 공급하기 위한 최소방류량이 $0.230 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이상이 되도록, 유량의 하한치는 $0.460 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이 되도록 하였다.

물머리도달시간은 용수로 내의 어떤 지점에 유량이 전파되어 처음으로 수위가 변화하는 시간이므로 방류량의 변화량에 그 차이는 적게 나타나게 되나, 용수도달시간은 어떤 지점의 안정된 분수를 위해 일정 수위에 도달하는 시간을 더함으로써 유량의 변화에 민감하게 반응하는 것으로 사려된다.

일정 시간 동안 주기적으로 초기유량의 일정 비율로 줄여 모의한 결과, 용수도달시간은 연속관개와 방류량을 조절하는 방법에서 용수로 말단의 최대 용수도달시간에는 오차가 5%미만으로 일정한 값을 보이고 있으나 수원공의 총방류량을 $0.460 \text{ m}^3/\text{sec}$ 에서 $0.485 \text{ m}^3/\text{sec}$ 의 범위에서 변화했을 때, 최대 $21,232 \text{ m}^3$ 에서 $19,051 \text{ m}^3$ 으로 변화하여 같은 방류량의 연속관개와 비교했을 때, 평균 12%의 용수를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

관개조직내의 특정 지점의 용수공급 개시시기를 단축하고, 수원공의 용수공급량을 줄이기 위해서 방류량을 조절하는 방법을 도입하는 것이 타당할 것으로 사려되며, 이를 위해 다양한 방법의 조절 방법에 대해 검토하는 것이 필요할 것이다

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 물관리자동화시스템의 효율적인 운영을 위하여 관개조직의 거동을 모의하고 관리자의 의사결정 과정에 필요한 정보를 제공할 수 있도록 수원공물관리모형, 용수로물관리모형 및 포장물관리모형으로 구성되는 관개조직운영모형을 개발하였고, 물관리자동화시스템의 계측시설로부터 수집되는 현장운영자료를 이용하여 모형의 적용성을 검토하고, 실시간으로 수집되는 계측자료와 비교 분석하였다.

관개조직운영모형의 적용결과는 현장운영자료와 비교하였을 때, 저수위, 용수로내의 유량 및 포장의 담수심 변화에 대한 모의 결과가 적정한 것으로 나타났다. 대상지구의 현황자료를 분석한 결과 관행방법에 따른 관개결과는 용수로의 방류량을 $0.460 \sim 0.485 \text{ m}^3/\text{sec}$ 의 범위에서 변화시켰을 때 2시간 간격으로 방류량을 조절한 경우 최대 12%의 용수를 절감할 수 있는 효과가 있

는 것으로 분석되었다. 용수로 제원 변경에 따른 모형의 거동 분석을 통하여 관개효율을 개선하기 위한 적정 관개방식을 찾고자 네가지 평가기준에 대한 가중치 분석을 실시하였으며, 용수로의 크기가 8.9~12.7%의 규모로 변경되었을 때, 방류량이 0.372m³/s일 때, 관행물관리에 비해 관개시간은 46.0시간에서 41.5시간이고, 균등지수는 64.3%, 87.4%, 관개효율은 61.0%, 75.1%, 무효방류량은 7,920.2 m³, 8,014.4 m³로 개선되는 결과를 나타냈다. 이상의 결과로부터 관개조직운영모형을 통해 관개조직의 모의운영, 물관리자동화 시설의 현장 운영상의 문제점 분석 및 자동화 시설의 설치에 따른 효과 분석, 효율적인 관개방식의 선정 등에 활용이 가능할 것으로 판단되었다

참 고 문 헌

1. 김현준, 박승우, 1988, 관개용수로에서의 수면곡선 계산, 한국농공학회지, 30(3), pp.114~120.
2. 김선주, 김필식, 윤찬영, 박재홍, 2001, 물관리자동화시스템을 위한 개방형 운영프로그램 개발, 한국농공학회지, 43(5), pp.93~92.
3. 김시원, 김철기, 김기춘, 1994, 신고 농업수리학, 관개배수, 향문사.
4. 농지개량조합연합회, 1996, 물관리 및 유지관리 편람(농조 수리 시설), 농지개량조합연합회.

5. 白石英彦, 中道 宏, 1993, 농업수리계획을 위한 수리모델 시뮬레이션 기법, 토지개량기술정보센터, 日本.
6. 水文水资源學會, 1998, 수문수자원 핸드북, 朝倉書店, 日本.
7. 이남호, 1989, 관개지구 물관리조직의 일별 모의 조작, 서울대학교 박사학위 논문.
8. 이남호, 정하우, 박승우, 1990, 관개조직의 일별 모의조작, 한국농공학회지, 32(3), pp.67~78.
9. 이남호, 정하우, 박승우, 1991, 관개지구의 관개량 예측, 한국농공학회지, 33(1), pp.118~125.
10. Haagsma, IJbrand G. and Johanns, Remco D., 1994, Decision support systems, and integrated and distributed approach, In: annetti, P., Computer Techniques in Environmental Studies V. Proc. of the 50th conference on Envirossoft 94, Vol. II : Environmental Systems, pp.205~212.
11. Kim S. and J., R. Busch, 1986, Simulation of Daily Irrigation Project Diversions, For presentation at the 1986 Summer Meeting, ASAE, paper No.86-21
12. Ximing Cai, 1999, A Modeling Framework for Sustainable Water Resources Management, The University of Texas Austin, Ph.D Dissertation paper