

# 정보관리 시스템의 관개배수 활용

## Management Information Systems in Irrigation and Drainage

박 상 현\*  
Park, Sang-hyun

### 1. 머리말

국제관개배수위원회(ICID)가 주관한 관개배수기술에서의 정보관리 시스템의 활용에 관한 심포지엄(Symposium : Management Information Systems in Irrigation and Drainage)이 '96년 9월 21일부터 22일까지 카이로시 외곽의 CICC회관(Cairo International Conference Center)에서 열렸다.

이번 심포지엄이 개최된 배경은 지금까지 기업의 관리에 활용되어온 정보관리 시스템(MIS : Management Information System)이 최근에는 관개배수와 수자원 관리에도 실용화되고 있지만 이를 좀더 실용적으로 활용할 수 있는 방안을 마련하고 토론하고자 개최되었다. 본 심포지엄은 이러한 정보처리 시스템 기술을 관개배수와 수자원 관리에 적용하여 물관리에 필요한 수많은 자료들을 신속 정확하게 분석하여 사업계획 설계 및 관리에 활용하기 위한 것이다. 이와 관련하여 이번 심포지엄에 발표된 논문들은 총 11편이며 이들 내용을 분류하면 다음과 같다.

- 관개배수사업에 있어서 정보관리 시스템의 활용 전망
- 물관리에 있어서 정보관리 시스템의 조직적인 관리
- 정보관리 시스템의 운영 사례

### 2. 관개배수사업에 있어서 정보관리 시스템의 활용 전망

#### 가. 장기적인 관개용수의 관리 방향

지금까지 세계적인 인구증가와 식량부족에 따라 여러 지역에서 관개배수사업과 수자원 개발사업이 적극적으로 수행되어 왔다. 그러나 근래에 이르러 수자원과 토지자원은 농업 뿐만 아니라 기타 산업과의 긴박한 경쟁이 가속화되고 있기 때문에 이미 개발된 농지 및 관개배수자원을 효율적으로 활용하는 것이 매우 중요한 과제로 대두되고 있다.

실제로 1950년대부터 1990년까지 이른바 녹색혁명에 힘입어 농산물의 생산량은 매년 3천만 톤씩 증가하였으며, 이는 같은 시기의 인구증가를 앞서고 있다. 또한 이 기간의 관개면적은 106백만ha로부터 234백만ha로 증가하였다.

〈표-1〉은 이러한 변화를 1984년을 중심으로 비교하고 있다.

그러나 1984년 이후 곡물 생산량의 증가는 그 이전에 비하여 급속하게 저하되는 점을 중시할 필요가 있다. 이러한 격감 현상은 1950년대에 중점적으로 개발한 증산형 품종(HYV : High Yielding Variety)의 개발이 중단 상태에 이르

\* 농어촌진흥공사 농어촌연구원

〈표-1〉 1950년부터 1983년까지 세계인구, 관개 및 영농 규모의 변화

| 구 분         | 1950년 | 연평균<br>증가량 | 1984년 | 연평균<br>증가량 | 1993년 |
|-------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| 세계 인구(백만인)  | 2,520 | 68.4       | 4,846 | 77.5       | 5,544 |
| 관개 면적(백만ha) | 106   | 3.6        | 230   | 0.8        | 237   |
| 곡물 생산량(백만톤) | 631   | 29.9       | 1,649 | 7.8        | 1,719 |
| 비료 사용량(백만톤) | 14    | 3.3        | 126   | 0.4        | 130   |

고 농업용수 개발 사업이 격감한데 기인한다. 이와 같이 곡물생산의 증가율이 감소하는데도 불구하고 인구는 더욱 증가하고 있다. 또한 세계 평균 증가율은 2%를 유지하고 있으나, 이러한 증가의 90% 이상이 개발 도상국에서 발생한다.

1992년 국제관개관리연구소(IIMI : International Irrigation Management Institute)에 의하면 2020년까지 계속적인 인구 증가에 필요한 식량의 80%는 관개지역에서 공급되어야 한다. 그러나 현재의 추세에 비추어 볼 때 새로운 관개 면적을 확보하는 것이 어렵기 때문에 기존의 관개지역에서의 생산성을 높이는 것이 중요하다.

또한 향후 여러 분야에서 수자원의 이용량이 증가되기 때문에 관개용수의 이용은 타 분야와의 경쟁이 필연적으로 대두된다. 따라서 각 분야별 수자원 이용의 재분배도 필연적이기 때문에 관개용수를 절약하고 효율적으로 이용할 수 있는 방안이 마련되어야 하며, 이러한 관점에서 정보처리 시스템을 관개배수 관리기법에 활용하는 것은 매우 중요한 일이다.

#### 나. 관개용수 관리에 관한 정보관리 시스템의 계획

세계적으로 관개배수 개선사업의 증가율이 종전에 비하여 감소함에 반해 기존의 물관리 시설의 개량과 보수사업은 비교적 증대되고 있다. 이에 비하여 관개용수의 효율적인 관리를 위하여 개발된 시스템의 보급은 미미한 실정이며, 지금

까지 개발된 정보관리 시스템은 관개배수 분야에 있어서 신속 정확한 의사 결정 자료를 제공하지 못하여 실제로 영농에 있어서는 크게 부각되지는 못하였다. 이러한 결과는 개발된 정보관리 시스템의 기술적인 수준이 부족하다기 보다는 사용자들이 쉽고 유익한 방향에서 사용하도록 개발되지 못한데 기인한다.

결론적으로 향후 관개배수의 이용 효율을 극대화하는 것은 절박한 실정이기 때문에 이에 대처하기 위한 수단으로서 정보처리 시스템을 도입하는 것도 필연적이다. 따라서 이를 위해서는 관개배수 사업지구의 여러 가지 환경을 고려하여 사용자들이 쉽게 이해하고 사용할 수 있는 방향에서 정보관리 시스템이 개발되어야 한다.

### 3. 물관리에 있어서 정보관리 시스템의 조직적인 관리

#### 가. 서론

근래에 이르러 미국에서의 물관리는 작물과 용수량의 관계, 작물과 기후의 관계, 유출수의 수질, 그리고 다목적으로 이용되는 저수지의 수자원 분배 등이 점차적으로 다변화됨에 따라 더욱 복잡해지고 있다. 이에 따라서 최적의 의사결정을 위하여는 위에 열거한 많은 정보들을 의사결정 과정에 포함하여야 한다. 이와 아울러, 컴퓨터 기술, 특히 중소형 전산기의 발달에 따라서 이러한 의사결정 방법도 한층 용이하게 되었다. 지난 20년간 컴퓨터를 이용한 정보관리 시스템(MIS : Management Information System)에 관하여 수없이 연구되어 왔으나, 이는 자료 처리(DP : Data Processing) 수준으로서 주어진 문제에 관한 여러 가지 기록과 자료들을 저장하였다가 출력하는 정도였다. 그러나 이러한 초보적인 정보관리 시스템은 최근에 이르러 분석 기능을 강화하여 결정지원 시스템(DSS : Decision Sup-

port System)과 공간적 결정지원 시스템(SD-SS : Spatial Decision Support System)으로 비약적으로 발전하게 되었다. 정보관리 시스템은 자료를 정보로 변환하여 관리자가 관개시설이나 용수원시설을 적절히 운영할 수 있도록 하는데 목적이 있다. 정보관리 시스템에 관하여 Kroeber(1982)는 다음과 같이 정의하였다. 즉 “정보관리 시스템은 시스템 운영자가 주어진 환경 내에서 관리와 의사결정을 원활히 수행하도록 정보를 제공하는 조직화된 처리 체제(The organized set of processes)이다.”

여기서 조직화된 처리 체제는 자료 입력, 전처리 과정(Pre-processing), 수치모델 등의 분석 기법, 이들 분석 기법들의 상호 조합, 그리고 그림과 도표 등으로 나타내는 후처리 과정(Post-processing), 또는 농장의 관개용수 관리에 관한 정보 등이다. 의사 결정과 관리에는 각 농장 또는 사업지구에서 관개 위치의 확인, 용수 구조물의 형식, 저수지 물관리, 수리권의 관리, 용수로 수문 조작, 장비 및 인원의 운영, 채배 작목의 선정, 지표수와 지하수의 연계 활용 등이 속한다.

MIS는 현장 자료를 정보로 변환하여 관리자가 관개용수나 기타 수자원을 높은 신뢰와 신속성을 바탕으로 활용할 수 있도록 하는 것으로써 근래에는 전산 시설의 발달에 따라서 종래의 MIS와 구분하여 결정지원 시스템(DSS)의 역할이 증대되고 있다. DSS는 종래의 최적화 이론과 모의분석 모델들을 포함하며, 전문가 시스템(Expert system) 등 최근의 개발 기법을 연계한 종합적인 프로그램이다. 또한 시스템 내에서 수자원 관리 모델들을 종합하여 관리자들이 좀더 효율적으로 의사를 결정할 수 있도록 분석 결과를 손쉽게 이해하도록 하는 것도 중요한 기능이다. 이에 따라서, 정보관리 시스템은 지역적인 수자원 관리, 용수조직의 관개계획, 저수지의 다목적 이용, 농장의 용수관리, 용수로 흐름의 계측, 용수로의 관리, 관개조직의 설계, 수리권 운영, 용수의 재이용, 환경영향 평가 등에 활용할 수 있

게 되었다.

## 나. 시스템의 활용 현황

근래에 이르러 미국에서는 관개용수의 관리에 있어서 실제 시간별로 관측되는 강우와 기온 등 기상자료의 이용이 증가하고 있다. 1990년 캘리포니아의 수자원국(The California Department of Water Resource)은 캘리포니아 물관리정보 시스템(CIMIS : The California Irrigation Management Information System)을 개발하여 관개계획을 위하여 보급하였으며, 이에 따라 70여개 지점의 기상 자료가 전산 장비에 의하여 분석되어 필요 용수량 산정에 활용되고 있다. 또한 미 개척국(U.S. Bureau of Reclamation)과 여러 관련기관들은 북서 태평양지역에 자동화 기상과 수문자료 측정장비, 그리고 인공위성을 이용하여 캘리포니아주 강 유역의 유출현황을 모니터링하여 인접 저수지의 물관리를 실시하고 있다.

이러한 기술의 도입은 전자장비가 급속히 발전하였으며, 현장에서 강우, 습도, 기온, 이슬점, 바람, 토양수분과 토양온도, 증발산량 등의 자료를 자동적으로 관측하는 장비가 개발되었으며, 이의 분석 기법도 개선되었기 때문이다. 이러한 장비의 설치와 운영에 따른 비용은 아직도 시스템 구성의 큰 장애 요인이다. 그러나 측정방법과 자료처리는 매우 발전되었으며, 현장자료는 10분 단위로 측정되고 있다.

정보처리 기술의 과학화는 하천 유출량 분석과 저수지 수자원 이용을 더욱 효율적으로 개선하는데 기여하고 있다. 텍사스의 Trinity강 유역에서는 실시간으로 계측되는 수위 유출 측정망과 DSS를 이용하여 강 유역과 저수지의 홍수 조절을 실시하고 있다. 이에 는 실시간으로 운영되는 자료관리 시스템인 HEC-DSS가 활용되고 있다. 또한 강우와 유출관계는 HEC-1F가, 저수지 모의 분석은 HEC-5와 최적화 지역분석 모델이 각

각 활용된다.

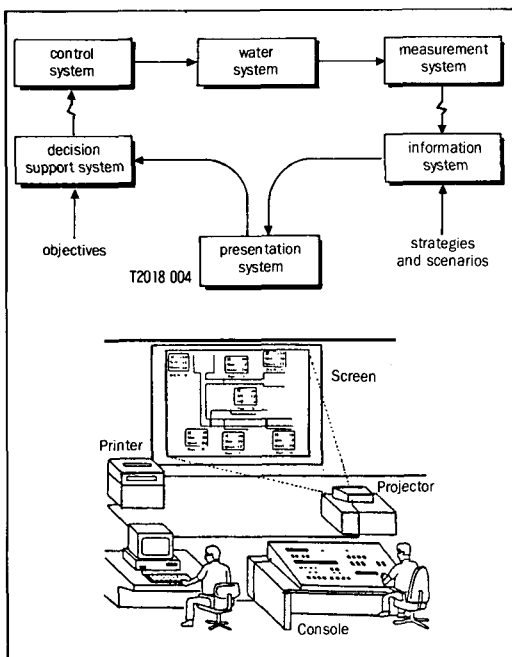
이러한 기술은 이집트 아스완댐의 관개용수와 수력발전의 운영 관리에도 응용되었다. 아스완댐에서 관개용수의 공급은 수력 발전에 우선하는 가장 중요한 목표이지만, 댐으로 유입되는 유출 규모를 예측할 수 있고, 저수지의 수위를 높여서 발전낙차를 확보한 뒤 나일강으로 방류한다면 터빈의 전력 생산량을 더욱 증가시킬 수 있다. 또한 댐 하류의 가뭄이 시작될 때 쉽게 방류한다면 가뭄이 계속될 경우, 결과적으로 댐의 저수량은 고갈되어 버린다. 따라서 시기적으로 적절하게 저수지 물을 방류하는 것은 저수지 운영을 지속화 시키는데 있어서 중요한 과제이다. 이를 위하여 1987년부터 1995년까지 Georgakakos 등은 나일강의 유출에 관한 기록과 동적계획법을 활용한 물관리 모델을 개발하여 아스완댐의 정보관리 시스템을 구성하였다. DSS기법은 농장에서 관개 시설의 설계와 운영에 활용되고 있다. 여기서의 사결정에 필요한 자료들은 대부분 실시간으로 측정된 것들이다. 그러나 농민들은 농장의 토양수

분 변화 등 물리적인 변수보다는 양수기의 동력 비용이나 생산물의 출하 가격 등 영농 수익성에 관심을 갖고 있기 때문에 이러한 사항들을 예측 분석할 수 있는 정보처리 시스템의 개발이 중요하게 대두되고 있다. 이를 위하여 최적화 기법이 정보관리 시스템 개발에 활용되고 있으며, 1993년 Fornstrom은 센터 피벗(Center pivot) 등 살수 관개 시설의 설계를 위한 관개용수 균등도와 펌프 효율 에너지 비용과 영농수익을 파악하는 결정지원 시스템 개발에 있어서 최적화 기법의 일종인 동적 계획법(Dynamic programming)을 활용하였다. 이러한 기법은 살수관개 뿐만 아니라 지표 관개와 점적 관개 시설의 운영에도 활용된다. 또한 결정지원 시스템은 분석 자료를 도면이나 그림으로 표현됨으로써 농지의 관리, 작물의 재배면적 평가, 관개 구조물의 운영, 기상 측정 장비 등의 운영을 용이하게 한다.

### 다. 결 론

이와 같이 관개배수 분야의 정보관리 시스템은 종래의 자료처리(Data processing) 시스템에서 시작되었으나, 근래에 이르러 전산장비의 발전과 측정장비의 첨단화에 따라서 결정지원 시스템(Decision support system)으로 발전된 형태로 관개배수 분야에 활용되고 있으며, 현재는 이러한 기법의 도입은 매일의 농장 물관리 뿐만 아니라 수로 및 저수지, 수리권의 파악에 관한 장기적인 계획 검토에도 활용되고 있다. 또한 이러한 기법을 통한 분석 결과는 도면이나 그림으로 표현됨으로써 사용하는 사람들에게 더욱 친숙하고 신뢰를 주고 있으며, 따라서 이 분야의 활용성과 발전성은 더욱 나아지게 될 것으로 전망된다.

### 4. 관개배수의 정보관리 시스템 활용 사례



<그림-1> 정보시스템 구성 예

### 가. 인도에서 인공위성 원격탐사와 지리 정보 시스템을 이용한 관개배수

위성을 이용한 원격탐사가 1972년 7월 발사된 Landsat에 의하여 시작된 이후, 관개배수사업의 계획과 기존 시설의 관리에 있어서 인공위성을 이용한 원격탐사(SRS : Satellite Remote Sensing)와 지리정보 시스템(GIS : Geographic Information System) 기법은 미국과 프랑스 및 인도에서 많이 활용되고 있다. 위성의 측정장비들은 농장지역의 국부적인 자료들을 촬영하여 관개용수 계획에 반영할 수 있도록 제공되며, 이들 자료들은 수 미터로부터 수 킬로미터에 이르는 공간적인 자료들을 전기자장 분광기(Electromagnetic spectrum)의 극초단파(Microwave)로 감지하여 며칠 단위로 보내게 된다. 이러한 기술은 저습지의 침수와 염분피해 및 그 외 농업개발 사업지구의 현황을 그림으로 나타낼 수 있으며, 논에서 모내기와 벼 베기 현황에 관하여도 적용성이 있는지를 검토하고 있다. 또한 저수지의 저류량, 농지의 토양 보존, 유역의 유출 해석 등도 적용 대상이다. 이와 같이 위성을 이용한 원격 탐사 기술은 세부 지역별로 관개 계획에 필요한 각종 자료를 제공할 뿐만 아니라 전체적인 사업 지역의 종합적인 현황자료 및 장기 계획에 필요한

〈표-3〉 단기적인 SRS/ GIS 물관리 입력 자료

| 구 분    | 저 수 지                      | 유역 관리                              | 유입 하천                                  |
|--------|----------------------------|------------------------------------|--|
| SRS 자료 | 침수지 토지 이용 지질 형태            | •농지이용<br>•토양 및 지표배수                | • 토 지 이용, 작부체계<br>• 지 표 배 수, 침수, 염분 수준 |
| GIS 자료 | 환경영향평가 지리적 영향 평가 토양의 붕괴 진행 | •토양보존과 조림과 관련한 유역관리<br>•강우 유출 모형분석 | •토지 이용도<br>•관개능력과 수로 상황<br>•지하수 함유 형태  |

자료를 제공한다. 〈표-2〉는 SRS와 GIS를 이용한 장기적인 관개용수의 물관리 기술 자료를 나타내며, 〈표-3〉은 단기적인 물관리 기술 자료에 관한 사항을 나타내고 있다.

이러한 기술의 개발과 보급은 지금까지 형편없이 열악한 인도의 관개계획과 물관리 수준을 높혀 주었으며, 일부 구역은 관개면적이 220,000ha로 보고되었으나, SRS의 도입 후 370,000ha임이 밝혀져서 관개지역을 파악하는데 기여하였다. 또한 관개지역의 용수로서 하류부의 용수 공급을 개선함으로써 관개구역 하류에서 벼의 생산량을 상류부와 같도록 하는데에도 기여하였다. 저수지 관리에 있어서 유역의 피복상태를 정확히 파악함으로써 경사지의 토양 유실을 막아 저수용량이 줄어드는 것을 방지하게 되었다.

정보관리 기술은 향후 21세기에 아시아 지역의 관개계획과 물관리에 더욱 활용될 것으로 전망된다. 그러나 좀 더 작물의 재배 관리 등 중요한 상황을 평가하는데 있어서 신뢰성을 높이기 위하여는 촬영자료의 선명도를 높이는 것이 중요하다. 현재 인도에서 다분광의 선명도(Multi-spectral resolution)로써 10m를 요구하지만, 2002년까지 이를 전정색의 선명도(Panchromatic resolution)로써 2.5m로 개선할 예정이다.

현재 IRS-1C의 광역 탐사방법(Wide field sensor)으로 조사되는 농지 조사 자료와 SPOT

〈표-2〉 장기적인 SRS/ GIS 물관리 입력 자료 (검토 주기 : 5년)

| 구 분      | 저 수 지           | 유역 관리                     | 유입 하천               |
|----------|-----------------|---------------------------|---------------------|
| SRS 자료   | 저수위 변화          | •농지 이용<br>•토양 및 식생분포      | •저습지 침수<br>•토양염분 수준 |
| GIS 자료   | 저수용량 현황 및 감소 변화 | •유출 및 퇴사량 추정, 토양 보존       | •관개에 의한 침수와 염분 축    |
| 관리 현황 파악 | 저수지 내구성         | •이용가능수량 변화 파악<br>•토양보존 추진 | •토양 보존 관리           |

4에서 제공하는 식생현황 자료는 계절적인 변화를 감지하는데 있어서 매우 효율적인 기술로 발전할 것이다. 단기적으로는 극초단파(Microwave)를 활용한 토양수분의 파악과 작물의 분류에 실용될 것이다.

#### 나. 불가리아 관개계획의 정보관리 시스템 활용

불가리아는 수자원이 부족한 편으로써 국가 경제의 형편에 부합하는 효율적인 관개 계획이 필요하다. 이와 관련하여 관개계획(Irrigation scheduling)을 위한 정보관리 시스템이 개발되었으며, 이의 목표는 첫째, 작물 재배를 위한 용수 공급량과 급수 시기를 적절히 예측하는 것이며, 둘째, 영농 조건에 따른 관개 방법과 영농 장비를 선정하기 위한 것이다. 여기서 용수공급량과 관개시기 결정에 관한 관개계획의 수립을 위하여 토양 수분의 변화를 예측하는 모델을 개발하였다. 또한 영농 조건에 따른 관개방법과 영농장비의 선정을 위하여 GIS 기법과 최적화 기법도 도입되었다. 이들 두 가지 목표를 종합적으로 분석하기 위하여 토양과 바람에 관한 기상자료, 작물 및 영농 수익성 분석 자료 및 영농 장비에 관한 자료가 Database로 관리되며 이를 평가할 수 있는 전문가 시스템(Expert system)으로 구성되었다. 이와 같이 개발된 모형은 영농 수익을 최대화하는 관개방법과 영농장비의 선택에 활용할 수 있도록 개발되었기 때문에 이의 이름을 CHOICE 라 하였다.

이 전문가 시스템은 개인용 컴퓨터로서 운영이 가능하며 다음과 같이 새로운 관개 조직의 기초 설계와 기존 관개 조직의 설계 및 운영 관리, 그리고 관개 및 영농 전문가의 교육 훈련에 활용된다.

#### 다. 화란 저지대의 침수피해 관리를 위한 정보관리 시스템 활용

화란의 배수량은 50% 이상이 저지대로부터 양수하여 바다로 배출되며 어떤 경우는 여러단계의 배수펌프를 통하여 배출되기 때문에 시설의 운영 관리에 어려움을 겪고 있다. 이를 개선하기 위하여는 펌프식 배수방법을 줄이고 중력식 자연 배수를 늘이는 것과 이와 아울러 저류지의 용량을 확보하는 것이 중요하다. 다음 그림은 화란에서 정보관리 시스템을 이용한 저습지대(Polder)의 배수 시스템 운영 체계를 나타내고 있다.

이와 같이 화란의 많은 저지대에서는 비가 많이 올 때를 대비한 저류 용량이 부족하여 배수 펌프에 의존하지만 펌프 용량이 부족한 지역에서는 침수 피해가 발생된다. 이를 개선하기 위하여 펌프 용량과 저류지 용량을 서로 비교하여 각각의 최적 용량을 결정하여야 한다.

이와 같은 최적용량 결정과 배수시설 관리 및 피해위험 예측관리를 위하여 Delft 수리시험소는 Operational Management Systems(OMS) 기법을 개발하였으며 이를 화란의 대표적인 저습지인 Rijnland지역과 Dollardzijvest 저습 지역의 배수관리 시스템 운영에 활용하게 되었다. 이들 지역 중 Dollardzijvest는 화란의 북동부에 위치하며, 유역 면적 900km<sup>2</sup>에서 유출되는 홍수는 Nieuwe Statenzijl에 있는 배수문을 통하여 Dollard 하구로 배출된다. 이 배수 조직은 전체 2%에 지나지 않는 18km<sup>2</sup>의 저류 지역만을 포함하기 때문에 홍수가 발생하면 내수위는 바다보다 높아진다. 이러한 침수 피해를 예방하기 위하여 1990년 델프트 수리시험소(The Delft Hydraulics)는 배수갑문과 양수장의 적정 규모를 조사 분석하였다. 이와 함께 OMS를 이용하여 배수문과 양수장의 관리비용을 최소화하는 최적 계획을 수립하였다. 즉 제방 수로로 향하는 배출수의 규모와 인건비를 최소화하는 계획이다. 이에 따라서 배수관리를 위한 결정지원 시스템이 구성되었으며, 현재까지 5년간 성공적으로 운영되고 있다. OMS를 활용함으로써 강우에 의한 유출량 예측, 저습지의 물 수급 체계 조정, 저류지 수로

에서 흐름 분석, 염분 농도의 변화 추정 등이 가능하다.

## 5. 결 론

정보관리 시스템은 광역적인 물관리 계획자료를 신속하고 정확하게 제공하는 편리한 기술이다. 그러나 이는 현장에서 계측장비의 정확성을 높일 수 있도록 미리 검정 조사가 선행되어야 하며, 이에 많은 시간과 인력, 그리고 비용이 요구된다.

또한 정보관리 시스템의 신뢰성을 높이기 위하여 전산기를 이용한 자료의 예측과 관련된 수치 모의분석 모형이 적용되며 관개 농업의 수익성과 토지 및 수자원의 극대화를 위하여 최적화 기법이 적용되고 있다.

또한 농지의 규모에 따라서 시스템의 구성이 달라지고 이러한 구성은 농민들이 쉽고 유익한 방향에서 사용되도록 만들어져야 한다. 따라서 정보관리 시스템의 설치 이후에 기술의 검정을 위한 장기간의 조사와 시스템 관리에 필요한 사용 요령의 작성, 그리고 이를 보급하고 활용하는데 필요한 교육이 요구된다.

## 약 력

박 상 현



- 1974. 서울대학교 농과대학 농공학과 졸업
- 1982. 건국대학교 대학원 농학석사
- 1982. 토목기술사(농어업토목)
- 1990. 서울대학교 대학원 농학박사
- 현재 농어촌진흥공사 농어촌연구원 수석연구원
- KCID 관개배수실행분과 위원장 /편집·학술분과위원
- ICID 관개배수실행분과 위원