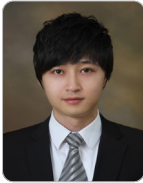


ICT기반 정보공유를 통한 스마트 농촌용수관리



강 민 구
미래자원연구원 연구위원
kmg1218@gmail.com



문 성 근
한국농어촌공사
농어촌연구원 연구위원
msk1903@ekr.or.kr



김 진 택
한국농어촌공사
농어촌연구원 수석연구원
jtkim@ekr.or.kr

1. 서론

국내 농업용수는 저수지나 하천으로부터 용수로로 통하여 농경지로 공급되고 있다. 최근 용수로 노후화가 심해 누수 및 관리 손실량이 과다하게 발생하고 있어서 용수로의 현대화 및 효율적인 유지 관리가 필요한 실정이다(남원호 등, 2013). 특히 시점과 종점 유량을 측정하여 수로 중간에서 발생하는 문제점을 파악하거나, 수로 수위를 측정하여 용수로 이상 유무를 파악해야 한다. 따라서 용수로 수위 및 유량 측정을 통한 점검이 필요하며, 이를 용수로 관리에 효과적으로 이용할 수 있는 방법을 개발해야 한다. 또한 문제 지점의 조기 탐색 및 보수를 위해 용수로 유량을 실시간으로 측정할 필요가 있다(강민구 등, 2010).

국내 용수로 용수손실은 개수로를 통한 내리흐림식 중력급수방식에서 나타나는 일반적인 현상에 기인한다. 또한 무계획적인 용수공급, 용수관리 소홀에 의해서도 용수손실이 발생한다. 사용자의 용수에 대한 욕심과 관리 시설 미비는 관리 손실량을 가증시킨다. 특히 농업인들이 사용량에 대한 정보가 부족하여 절수의식이 낮은 편이며, 물꼬관리가 인력에 의존함에 따라 농민들의 노력여하에 따라 포장 용수손실이 좌우된다. 따라서 농경지로 유입하는 용수량을 계량하여 농업인들에게 제공하여 용수사용 및 관리 상태를 인식하도록 해야 하고, 물꼬관리를 자동화하여 용수를 절감할 필요가 있다(농림부와 한국농어촌공사, 2006).

최근 용수공급자와 수요자의 쌍방향 정보교환과 물관리 자동화를 위하여 스마트 물관리 기술이 도입되고 있다(정승권과 강형중, 2014). 스마트 물관리에서는 첨단 센서 네트워크를 이용하여 실시간으로 수자원 및 수리시설 상태를 모니터링하고 수집 및 가공된 정보를 관리자 및 사용자들에게 실시간으로 제공한다. 이를 통해 관리자는 양질의 용수를 효율적으로 공급할 수 있으며, 사용자들은 수집된 정보를 바탕으로 수요관리를 하여 용수를 절약할 수

있다. 또한 양방향 네트워크가 구축됨에 따라 산재되어 있는 수자원을 공급 및 수요의 관점에서 통합관리할 수 있고, 수자원이 부족한 지역으로 용수를 공급하여 지역간 수자원 불균형을 해결할 수 있다(강민구와 박성제, 2012).

농촌용수를 효율적으로 관리하기 위해서는 첨단 ICT(정보통신기술)을 이용한 모니터링기술, 수집된 정보 분석, 예측, 제공을 위한 웹기반 전산화 물관리 기술, 정보수집 및 양방향 정보교환을 위한 네트워크 기술 등과 같은 첨단기술들을 융합하고 이들을 통합운영할 수 있는 스마트 농촌용수관리 시스템이 필요하다. 본 고에서는 수자원관리 모니터링, 포장관리 모니터링, 용배수로 모니터링 등을 포함하는 스마트 농촌용수관리 기술의 도입 방향을 고찰하였으며, 인터넷 기반 스마트 농촌용수관리 시스템을 제안하였다.

2. 수자원관리 모니터링 및 정보제공

농업수자원을 효율적으로 관리하기 위해서는 관리자가 해당 수리시설물의 상태를 정확하게 파악해야 하고, 최신정보 뿐만 아니라 과거 자료와 미래예측치를 획득해야 한다. 따라서 각 시설물별로 다양한 항목을 측정하게 된다. 저수지관리를 위해서는 유입 하천의 수위 및 유량, 저수량 및 저수위, 방류량, 유역 내 강우량 등을 실시간으로 측정해야 한다. 양수장관리를 위해서는 하천 수위 및 유량, 수로 수위 및 유량, 전력사용량, 가동시간 등을 측정하고 시간별 양수량을 산정해야 한다. 취입보관리를 위해서는 하천수위 및 유량, 수로수위 및 유량, 개도율 등을 측정하고 시간별 취수량을 산정해야 한다. 관정관리를 위해서는 전력사용량, 펌프가동시

간, 관정 수심 등을 측정하고 시간별 양수량을 산정해야 한다. 이와 같은 시설물들의 과거 및 현재 상태와 관련된 정보는 시설물의 운영결과에 영향을 미치고 있는 외적요인을 파악하는데 이용이 되며, 미래 예측결과는 시설물 운영계획 수립에 활용된다. 이와 같은 정보는 일반인들에게도 유용하게 사용되며, 강우량, 하천수위 및 유량 자료는 관련 업종에 종사하는 이들에게도 다양한 정보를 제공한다. 특히 타기관의 수자원 관리 활동에 유용하게 이용될 수 있다.

수자원관리 모니터링은 저수지, 양수장, 보, 관정, 배수장, 담수호 등을 효과적으로 관리하기 위해서 필요하다. 모니터링 시스템은 지구 내 주요 관측소에서 실시간으로 측정된 자료를 전송받아 농업수자원관리 데이터베이스에 저장하고, 이들을 수문자료, 시설물 운영자료 등으로 구분하여 처리한다. 수집된 자료들은 시설물의 주요 상황을 쉽게 파악하도록 실시간으로 관리자와 일반인들에게 제공되며, 자료들은 사용이 용이하도록 가공되어 정리된다. 특히 시설물 운영 모형의 입력자료로 사용되는 자료는 모형에서 사용될 수 있도록 가공되어 저장된다. 또한 시설물 관리를 위한 미래 예측자료들은 주기적으로 생성되어 사용자가 원하는 형태로 관리되며, 텍스트와 그래프 형태로 담당자와 일반인에게 제공된다. 수자원관리 모니터링 결과는 인터넷을 이용하여 일반인들에게 제공이 가능하며, 홍수시 하천수위가 경계수위나 위험수위에 이르렀을 때 홍수경보를 모바일로 전파할 수 있다. 따라서 농업인들이 관련 정보들을 생업에서 유용하게 사용할 수 있으며, 수자원사업에 종사하는 엔지니어들은 축적된 자료를 계획과 설계에 이용할 수 있다.

3. 포장관리 모니터링 및 정보제공

적정 관개수량을 산정하기 위해서는 침투율, 물꼬높이, 담수심, 생육상태 등과 같은 인자들에 대한 모니터링을 통하여 포장관리 현황을 파악해야 한다. 각 인자들에 대한 실시간 모니터링 방법은 다음과 같다.

3.1 침투율

포장에서 소비수량은 증발산량과 침투량이며, 침투량은 포장의 특성에 좌우되고, 소비수량의 많은 부분을 차지한다. 따라서 대상지구의 포장별 특성을 반영하여 침투량을 정확하게 산정하면 적정용수량을 산정하는데 도움이 된다. 그러나 포장의 특성은 공간적으로 상이하므로 지구전체에 단일한 값을 적용하는 것보다 동일한 특성을 갖는 구역별로 세분화해서 적용할 필요가 있다. 따라서 구역별로 침투량 변화를 모니터링하고 이를 반영하면 합리적인 관개계획을 수립할 수 있다.

3.2 포장담수심

효과적인 물관리를 위해서는 포장의 담수심 변화를 파악해야 한다. 순별 평균 담수심은 연도별, 지구별, 생육시기별로 차이를 나타낸다. 특히 7월 초순의 중간낙수기와 그 전과 후에 비교적 낮은 담수심을 나타내며, 9월 초순의 완숙기에 최종낙수가 이루어진다. 이와 같은 담수심 관리 특성을 물관리에 반영하면 지구별로 적정 관개수량을 추정할 수 있다.

3.3 물꼬높이

물꼬높이는 생육시기와 영농방식에 따라 변하며, 논의 물수지에 영향을 미치는 중요한 인자들 중의 하나이다. 물꼬 높이는 일반적으로 60~80mm 정도를 유지하며, 이앙직후에 가장 높고, 중간낙수기인 7월 초순과 관개가 종료된 9월 초·중순에 상대적으로 낮다. 또한 강우가 집중되는 여름철엔 물꼬높이를 낮게 유지하여 홍수로 인한 침수피해를 방지하며, 도복시 빠른 배수를 위해서 물꼬관리를 낮게 관리한다. 따라서 관개용수 산정시 이러한 관행적 물꼬관리 특성을 고려해야 하며, 포장 물꼬관리에 대한 모니터링을 실시하고 이를 물관리에 반영할 필요가 있다.

3.4 생육상태

논의 필요수량은 벼 생육에 필요한 적정담수심과 현재 포장담수심과의 차이로부터 계산된다. 논은 적정담수심은 벼 생육시기에 따라 변화하며, 이앙후 활착기, 분얼기, 수잉기, 황숙기, 완숙기로 구분된다. 실제증발산량을 계산하기 위해 사용되는 작물계수는 지역과 생육시기에 따라 상이하게 적용된다. 따라서 작물생육시기에 대한 모니터링 결과를 이용하면 실시간으로 필요수량을 산정하고 생육시기에 따른 물 관리 계획을 수립할 수 있다.

3.5 모니터링 방안

최근 정보통신기술은 다양한 스마트 환경에서 상황에 적합한 맞춤형 서비스를 제공하기

IoT(Internet of Things, 사물인터넷) 개념이 확산되고 있다. IoT 개념은 인간과 사물, 서비스로 분산된 환경요소에 대해 인간의 명시적 개입 없이 상호 협력적으로 센싱, 네트워킹, 정보처리 등 지능적 관계를 형성하는 사물 공간 연결망으로 정의된다. 이를 통해 인위적으로 발생되는 데이터, 정보 및 지식뿐만 아니라, 주변의 센싱과 구동체 기능을 갖는 일상 사물로부터 유용한 정보를 얻고, 상황에 맞는 판단을 지원하는 서비스가 제공된다. IoT의 등장과 함께 정보통신분야는 다양한 컴퓨팅 환경과 응용 프로그램, 웹 어플리케이션이 개발되고 있으며, 무선통신과 하드웨어 소형화 기술의 발달로 저전력, 저비용의 IoT 센서가 개발되어 다양한 현장에 활용되고 있다. 수자원 분야에서는 스마트폰과 같은 스마트 디바이스를 이용한 현장자료수집 기술, 카메라 영상을 이용한 상황이미지 실시간 획득, 이동통신 위치기반 서비스를 통한 실시간 자료 수집 등의 기술들을 수자원 모니터링에 응용하고 있으며, 수집된 자료들을 체계적으로 관리하기 위한 DBMS가 개발되어 운영되고 있다. 따라서 이와 같은 관련 기술들을 농촌용수관리에 도입하여 포장관리 상태를 실시간으로 모니터링할 수 있는 시스템을 개발하고 포장상황을 고려한 물관리를 시행하면 관개효율 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 수집된 정보를 농업인들에게 실시간으로 제공할 수 있는 시스템을 개발하여 과다 공급으로 인한 논두렁 월류, 물꼬조절 미흡으로 인한 포장 침수, 벼 생육상태를 고려하지 않은 영농활동 등이 발생하면 농업인들에게 모바일 기기나 전자우편을 통해 실시간으로 통보할 수도 있다.

4. 용배수로 모니터링

관개지구의 구역별 조용수량은 구획내 모든 논외의 순용수량을 공급하기 위하여 수원공에서 공급해야 할 수량이며, 순용수량에 송수, 용수배분, 시설기능유지 등을 위하여 필요로 하는 시설관리 용수량을 합한 것이다. 따라서 조용수량을 산정하는데 수로손실율은 중요한 인자이며, 지구 수로 특성을 반영하여 정확하게 산정해야 한다. 또한 용수배분 및 용수로의 시설기능 유지를 위한 용수량을 고려해야만 적정한 용수가 포장으로 송수될 수 있다. 따라서 농업용수를 효과적으로 관리하기 위해서는 공급된 수량이 용수로를 통해서 해당지점까지 효율적으로 전달되었는가를 파악하고 문제가 발생했을 때 적절한 조치를 취해야 한다. 따라서 그림 1과 같이 수원공의 종류에 따라 용배수로에 계측기를 설치하고 실시간으로 측정자료를 수신하고 체계적으로 분석하여 관련 정보를 생성하고 이를 물관리자와 농업인들에게 전파해 용배수로 상태를 파악할 수 있게 해야 한다. 이를 통하여 수로 누수 및 파손과 관련된 물리적인 관리 상태를 파악할 수 있으며, 과다용수 공급 및 수로 월류 여부, 게이트 조절 상태 등을 실시간으로 파악할 수 있기 때문에 효율적인 물관리를 달성할 수 있다.

4.1 손실율을 고려한 용수량 산정

농용수량 추정에서 적용되는 손실율은 시설관리용수량의 조용수량에 대한 비율로 정의되며, 시설관리용수량은 송수손실수량, 용수배분관리용수량, 시설기능유지용수량 등으로 구성

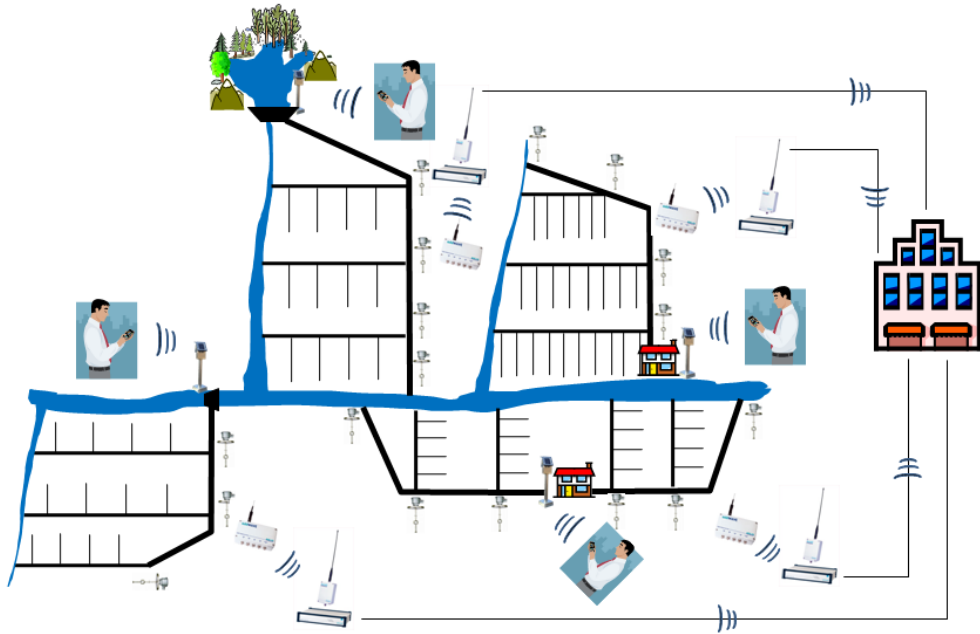


그림 1. 농촌수자원 상태 파악을 위한 검측 시스템 구성

된다. 송수손실수량은 송수과정에서 누수로 인하여 이용되지 않는 수량이며, 수로 종류와 유지관리상태에 따라 좌우된다. 송수손실율은 콘크리트 수로는 5~10%, 흙수로는 15~20%를 적용해 오고 있다. 용수배분관리용수량은 용수의 원활한 배분을 위하여 여분으로 공급하는 수량을 의미하며, 수로의 수위 유지에 필요한 수량, 구획 내 필지들의 사이에 균등한 용수배분을 위한 수량, 수질보전 용수 등이 있다. 용수배분관리용수량은 수로의 종류에 상관없이 조용수량의 5~10% 정도가 필요하다. 시설기능유지용수량은 비관개기에 시설 유지, 기능 보전 등을 목적으로 수로에 통수하는 수량으로, 수로 내 퇴사 관리, 오수 유입에 따른 수로 내 오염 제거 등을 목적으로 통수하는 양이다. 그밖에도 용수조직의 통수기능 확인을 위하여 관개기간 전에 취수하는 경우도 있으며, 그 양도 시설기

능유지용수량으로 한다(농림부, 1998). 이들을 모두 고려할 경우에 손실율은 조용수량의 20~35%정도를 적용한다. 따라서 용수로 상태를 모니터링하고 적절한 손실율을 적용하여 용수공급량을 산정해야 한다.

4.2 측정자료 활용

용수로에 설치된 계측시스템은 시점과 종점에서 유량을 측정하여 측정구간에서 시간별 유출과 유입을 파악할 수 있으며, 측정구간의 누수나 파손, 월류 등에 의한 유량손실을 파악할 수 있다. 또한 용수지선이나 지거로 공급되는 용수량을 계획된 양과 비교하여 공급의 정확성과 공평성을 파악하여 농업인들에게 제시할 수 있으며, 농업인들과 물관리자 사이에 신뢰를 형성할 수 있다. 용수지거의 유입량과 말단의 수

위를 측정하고 용수지거에서 포장으로 공급되는 용수량을 고려하면, 용수지거에서 발생하는 월류 및 누수, 말단 수문의 개방에 따른 용수 낭비를 감지할 수 있다(농림부와 한국농어촌공사, 2006). 배수로 월류로 인하여 발생하는 침수는 배수로 말단에 수위 및 유량 측정 시설을 설치하고 연속적으로 측정하여 방지할 수 있다. 특히 홍수기 배수간선 및 하천의 수위 및 유량 정보를 측정하고 분석하면 위험요소를 조기에 감지하여 침수 피해를 저감시킬 수 있다(강민구, 2014).

5. 인터넷 기반 스마트 농촌용수관리 시스템

국내 관개답 중 약 60% 정도인 수리안전답이 재현기간 5년 이상의 가뭄에 대하여 충분한 수자원의 공급이 어려운 실정이다. 또한 새로운 수자원개발이 어려운 실정을 감안해 보면, 기존 수자원의 활용성을 높이는 것이 절실히 요구되고 있다. 수자원은 일단 방류하게 되면 조절이 어려워 유역 내 재활용이 불가능하므로, 유역 내 주요 수자원이라도 관리주체간 사전 협의에 의해 일관되게 운영할 필요가 있다. 따라서 최근에는 수자원 전문성 확보와 유관기관과의 상호운영체제 및 시간에 따라 변화되는 사항에 대한 정보제공을 위해 컴퓨터 통신기술을 이용하는 통합수자원관리에 대한 관심이 고조되고 있다. 통합수자원관리를 위해 데이터베이스 구축은 필수적인 요소이다. 또한 물관리에 대한 농업인들의 참여와 관심을 유도하기 위해서는 물관리 정보에 대한 자유로운 접근이 보장되어야 한다. 따라서 효과적인 물관리를 위해서는 인터넷 기반의 정보시스템이 필요하며, 물관리 종사

자, 농업인, 일반 국민들이 농업용수 실태에 대한 인식과 효율적인 농촌용수관리에 기여할 수 있도록 콘텐츠 개발이 필요하다.

최근에 개발된 자료관리 정보시스템들은 사용자가 인터넷을 사용하여 정보시스템에 쉽게 접근할 수 있으며, 관계형 데이터베이스를 사용하여 관련 자료들을 쉽게 검색할 수 있고, 자료 업데이트가 용이하다. 이를 바탕으로 인터넷 기반 스마트 농촌용수관리 시스템에서 제공되는 정보는 모의모형의 입출력을 지원할 수 있도록 구성되며, 자료에 대한 사용자의 접근의 용이해야 하고, 수정 및 보안을 통한 최신정보로의 갱신과 이들을 데이터베이스로 관리하여 정보관리의 효율이 높아야 한다. 제공 자료의 콘텐츠를 다양화하고 물관리 자료를 실제 업무에 사용할 수 있는 정보로 가공해야 하며, 데이터베이스 시키마를 효율적으로 구성하여 다양한 조건에서 사용자가 원하는 정보를 제공하도록 해야 한다. 그림 2는 기존 정보시스템들을 바탕으로 하여 인터넷 기반 스마트 농촌용수관리 시스템을 개략적으로 구성한 것이다. 스마트 농촌용수관리 시스템은 데이터베이스를 기반으로 하여 관개지구 현황, 기상 및 수문자료, 시설물 운영자료, 포장관리자료, 물관리 등으로 구성될 수 있다. 웹 브라우저를 통해서 정보 사용자가 주요 정보들을 검색할 수 있고, 관리자에 의해 새로운 정보로 데이터베이스를 쉽게 업데이트할 수 있도록 한다. 특히 수원공, 포장, 관개수로, 배수로 등에서 실시간으로 모니터링된 자료들을 데이터베이스에 전송되며 이를 체계적으로 분석 및 정리하여 사용자에게 제공한다. 또한 기존 자료를 사용하여 필요수량을 예측하여 관개계획을 수립할 수 있도록 모의모형을 연동하

게 한다. 그리고 용배수로 상태를 실시간으로 점검하여 누수, 월류, 침수가 발생했을 때 물관리자 및 농업인들에게 모바일 단말기를 통해 경보를 전파한다.

그림 2와 같이 물관리 정보시스템과 연동되는 물관리 모의모형은 효과적인 물관리를 위해서 필요한 기상상황, 유출량, 필요수량 등을 정확하게 예측하는데 활용되며, 이를 바탕으로 적절한 물관리 대책을 수립하고 피해를 저감시키기 위한 재난관리 대책을 수립한다. 용배수로 관리 상태 점검 모형은 수로의 누수 및 월류 여

부를 실시간으로 점검하며, 홍수시 배수로 상황 및 침수 모의를 통해 효과적인 배수관리를 지원한다(강민구 등, 2010). 이를 위해서는 입력 변수가 적고, 신뢰도가 높으며, 검증된 모의모형이 필요하며, 모형의 주요 변수, 구역별 포장 및 시설물의 특성, 유역특성 등과 관련된 자료는 데이터베이스로부터 제공받아 사용한다. 모의결과는 물관리자의 의사결정을 효과적으로 지원할 수 있도록 인터넷을 통해서 제공되며, 지자체나 농업인 단체에 통보하여 농업인들이 영농활동에 반영하도록 한다.

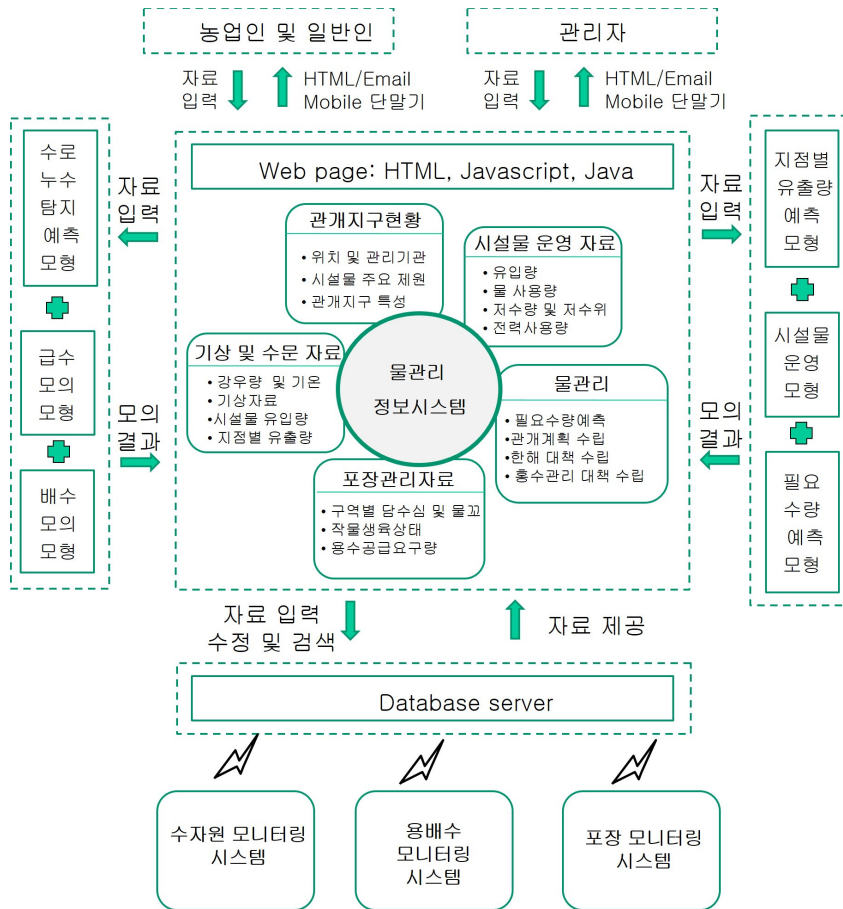


그림 2. 인터넷 기반 스마트 농촌용수관리 시스템의 구성

6. 요약 및 결론

본 고에서는 농촌용수의 효율적인 관리를 위해서 이해관계자들의 참여와 쌍방향 정보교환을 도모할 수 있는 인터넷 기반 스마트 농촌용수관리 시스템의 필요성과 구성 및 기능에 대하여 고찰하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가) 농업수자원의 효율적인 운영을 위해서 주요 수원들에 대한 실시간 모니터링이 필요하며, 수집된 자료들은 물관리 종사자뿐만 아니라 농업인들이 영농활동에 이용할 수 있으며, 축적된 자료를 수자원 계획과 설계에 이용할 수 있다.
- 나) 포장관리에 대한 실시간 모니터링을 통하여 관계효율을 향상시킬 수 있으며, 수집된 정보를 농업인들에게 실시간으로 제공하여 용수과다 공급으로 인한 용수손실을 실시간으로 경보할 수 있도록 할 수 있다.
- 다) 용배수로에 계측기를 설치하고 실시간으로 측정자료를 수신하고 체계적으로 분석하면 수로의 물리적인 관리 상태를 파악할 수 있으며, 효율적인 물관리를 달성할 수 있다.
- 라) 물관리에 대한 농업인들의 참여와 관심을 유도하기 위해서는 물관리 정보에 대한 자유로운 접근이 보장되어야 하며, 물관리 종사자, 농업인, 일반 국민들이 유용하게 활용할 수 있는 콘텐츠 개발이 필요하다.

스마트 농촌용수관리 시스템은 국내 농업수리시설물 관리에 활용이 가능할 것이며, 수자원 절약과 재해예방 효과뿐만 아니라 농업인과 지역민에게 제공하는 용수정보 서비스의 질을 향상시킬 수 있을 것으로 전망된다.

참고문헌

1. 강민구, 2014. 논 지구의 배수로 부정류 흐름 모의를 위한 모델링 시스템. 한국농공학회논문집, 56(2), pp. 1-9.
2. 강민구, 박성제, 2012. 미래 수자원 전망을 고려한 스마트 워터 그리드 도입 방안. 한국수자원학회 2012년도 학술발표회, pp.785-789.
3. 강민구, 정형석, 김진택, 2010. 수위 및 유량자료의 품질관리를 통한 효율적인 농업용수로 시스템 관리. 한국농공학회지, 52(2), pp. 87-96.
4. 남원호, 최진용, 홍은미, 김진택, 2013. 농촌수자원 스마트 물관리를 활용한 농업용수의 관계 효율 평가. 한국농공학회지, 55(4), pp. 45-53.
5. 농림부, 1998. 농업생산기반정비사업계획설계 기준 관계편.
6. 농림부, 한국농어촌공사, 2006. 물부족 시대에 대비한 농업수로 적정 관리기법 연구(최종).
7. 정승권, 강형중, 2014. 단위농가기반의 스마트한 물관리 지원시스템 구축 방안. 한국수자원학회지, 47(12), pp. 55-59.