ICT 융합 지능형 공급 및 분배를 위한 신도시 멀티워터루프 시스템 개발

한국헌, 김영화
㈜도화엔지니어링, 한국농어촌공사

요 약

기후변화에 적극 대처하여 지속적이고 안정적인 용수 공급을 위해 기존의 용수 생산 · 공급망에 정보통신 기술(Information & Communication Technologies, ICT)을 접목한 지능형 물관리를 위해 '스마트 워터 그리드(smart water grid)'를 구축하고자 하는 다양한 노력이 최근 들어 지속되고 있다. 즉, 스마트 워터 그리드는 기존의 수자원 관리 시스템의 한계를 극복하기 위해 첨단 정보통신기술을 이용하는 고효율의 차세대 인프라 시스템으로 다양한 수원을 활용하고 물을 효율적으로 배분 · 관리 · 운송하여 수자원의 불균형을 해소하고, 첨단 센서 네트워크를 이용해 실시간으로 수자원망의 안정성을 모니터링하는 등 용수관리 전분야에 걸쳐 양방향 실시간으로 용수정보를 감시 대응하여 용수관리와 에너지 효율의 최적화된 메가시티(mega-city)에 적합한 지능형 물관리가 가능할 것으로 예상되는 시스템이다. 따라서 본 고에서는 선진화된 상수도시스템 운영을 위해서는 현장설비의 관측값을 감시하고 제어하는 시스템에서, 운영 방식이 변경될 때마다 운영 변수간의 인과관계를 분석하고 예측할 수 있는 시뮬레이션 기능이 탑재된 상수도 운영 시스템이 요구되고 있는 실정에서 용수공급 시스템의 운영 상황을 모의할 수 있는 모형 개발 및 용수공급시스템의 운영룰 모의 및 운영의사결정에 적용할 수 있는 다중수원 워터루프 시스템과 운영관리할 수 있는 S/W를 개발 내용을 소개하였다.

Ⅰ. 서 론

최근 혁신도시, 신도시 건설 등으로 수자원 이용량이 증가하고 있으나, 기존 상수도시스템은 댐, 하천수 등 자연형 수자원을 이용하는 시스템이 주를 이루었다. 그리고, 물 부족지역은 부족한 수자원을 확보하기 위하여 빗물, 하수처리수, 해수 등 다양한 수자원 확보 및 이를 이용한 기술개발이 활발히 진행되고 있다. 그러나, 현행 수자원 이용시스템은 수요처 인근에 이용 가능한 다양한 수자원이 존재함에도 불구하고 이를 이용할 수 있는 연계관망이 구축되어 있지 않아 이용이 곤란하다.

일반적으로 상수도는 도시의 필요한 음용수를 공급하기 위하여 원거리에서 대규모 댐을 건설하여 공급하고 있는데 공급망 건설비, 펌프장 및 정수장 운영비 등의 증가로 수자원 이용 부담이 가중되어 왔다. 만약, 수자원을 원거리에서 확보하지 않고 지역내 미이용 수자원인 하수처리수, 빗물 등을 이용할 수 있는 시스템을 구축할 수 있다면 소규모 공급시설만 건설하면 수자원 확보가 가능하기 때문에 수자원 개발 비용을 줄일 수 있을 것이다. 그러나, 아직까지 지역내 미이용 수자원을 효율적으로 확보하여 통합적으로 이용하는 수자원 확보 및 공급망 구축기술은 아직 미흡한 상태로 지역내 수자원을 효과적으로 확보하여 이용할 수 있는 시스템이 구축된다면 지역내 수자원 자립률을 획기적으로 높일 수 있을 것이다.

본 연구는 지역내 수자원 자립률 향상을 위해 다양한 수자원을 효율적으로 확보하여 이용할 수 있는 다중수원 워터루프 시스템, 지능적 워터루프 운영관리시스템 등 다양한 연구개발을 통하여 수자원의 최적 활용 및 분배를 위한 신도시 멀티워터루프 시스템을 개발하는 것이다. 따라서 본고에서는 다양한 기술개발 연구중 정보통신기술(ICT) 융합한 다중수원 워터루프 시스템과 운영관리기술을 소개하고자 한다.

Ⅱ. 본 론

1. 다중수원 워터루프 시스템

다중수원 워터루프 시스템은 정보통신기술을 융합한 지능형 시스템으로 실시간 모니터링을 기반으로 한 수자원 확보, 지능형 수처리 조합공정, 최적화 기법을 활용한 공급/배분기술 등을 포함하는 지능형 운영관리시스템을 접목시킨 고효율 차세대 워터루프 구축기술을 의미한다.

다중수원 워터루프 시스템을 효과적으로 이용하기 위해서는 수요처의 요구수질과 지역내 수자원 부존량을 고려한 수질 맞

춤형 용수를 생산하여 공급하는 시스템을 구축할 필요성이 있는데, 지역내에서 이용가능한 다중수원은 하천수, 빗물, 하수, 지하수, 해수 등이 있으며, 워터루프 시스템은 신도시와 기존도시를 구분하여 구축할 필요가 있다. 신도시는 물공급 인프라를 새롭게 설치하므로 상수공급망과 친수용수, 화장실수, 조경용수, 공업용수 등 중수공급망을 분리하여 수요자 맞춤형 워터루프 시스템을 구축할 수 있는데 이 경우 상수와 중수를 분리함에 따른 경제성 검토가 필요하다. 기존도시는 기존 용수공급망에 다중수원 워터루프 연계관망을 추가하여 공급하거나 수요처별로 독립적인 다중수원 워터루프 시스템을 설치하면 된다.

2. 다중수원 워터루프 시스템 운영관리 솔루션

상수도의 송배수시스템은 수용가에 안정적으로 과부족 없이 물을 공급하는 것이 가장 중요하며 최근에는 환경안전의식이 높아지면서 안정적 공급을 근간으로 환경에 대한 배려가 강하게 요청되고 있다.

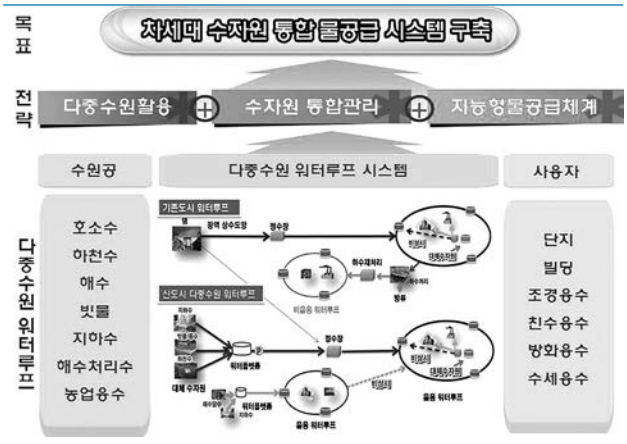

그림 1. 차세대 수자원 통합 물공급 시스템

수운용이란 복수의 수원 및 정수장을 가지는 수로시스템에 있어서 일일 수요변동에 대응하기 위하여 배수지의 완충기능 및 송배수계의 유통기능을 활용하여 정수장 및 송배수 펌프의 운용을 효율적으로 하는 것을 의미하다. 환경부하저감을 위한 송배수계시스템을 위한 요소기술과 솔루션은 다목적계획법과 모델링기술을 활용 시스템다이내믹스 활용 지능적 수운영계획, 다중수원 선택취수 기술, GIS와 연계된 모니터링 및 관망시뮬레이션 기술, 밸브 및 펌프제어 에너지 저감 기술 및 실시간 관망관리 기술 등이다.

〈그림 2〉는 환경부하저감을 위한 송배수계 솔루션과 요소기술 개념도를 나타내며, 〈그림 3〉은 지능형 배분공급을 위한 다중수원 워터루프 시스템 개념도를 나타낸다.

그림 2. 환경부하저감을 위한 송배수계 솔루션과 요소기술 개념도

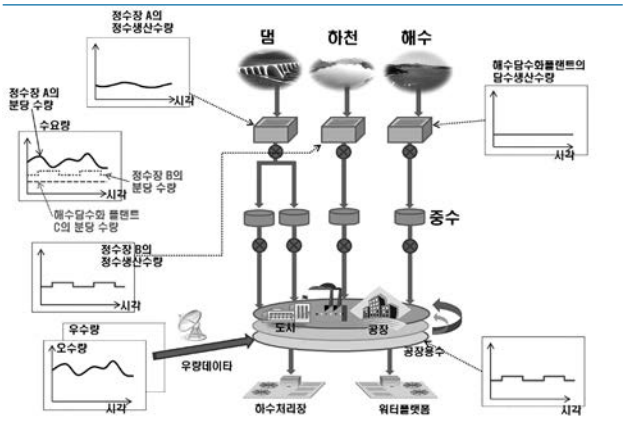

그림 3. 지능형 배분공급을 위한 다중수원 워터루프 시스템 개념도

가. 다중수원 워터루프 시스템 운영관리 요소기술

기존의 워터루프 시스템은 운영비보다는 안정적인 공급에 치중하였으나, 최근에는 안정적 공급도 중시되면서 운영비용을 절감할 수 있는 환경부하 고려 에너지 저감 운영기술에 대한 수요가 증가하고 있으며, 정수장 운영비를 보면 동력비와 약품비가 약 40%를 사용하고 있으며 이에 대한 비용절감 기술개발이 필요하며, 워터루프시스템의 운영비는 워터루프와 ICT 연계를 통하여 절감이 가능할 것으로 판단된다.

동력비 및 약품비를 절감하기 위해서는 ICT를 활용하여 수원에서 수요처까지 다양한 데이터를 수집하고, 워터루프 운영에 최적화 기법을 적용하여 최적의 상태를 도출하여 운영하면 비용 절감이 가능하다. 이에 따른 요소기술로 다중수원 선택취수 기술은 지역내 가용수자원을 활용하여 계절변동 및 물부족에 대처할 수 있는 수량, 수질 및 경제성(취수원가 및 시설비용 등)을 종합적으로 판단하여 수원을 선택할 수 있는 기술을 의미하며, 지능적 배분공급 기술은 배수지 용량을 효율적으로 이용하여 야간 송수 저류이용에 의한 동력비 절감을 목표로 기상정보, 과거의 축적된 데이터, 펌프의 운영데이터, 배수지 수위 데이터, 전기요금 체계 등에 근거한 수요예측과 제어기술을 이용하여 최적의 물 공급을 실시하는 것이다.

대수용가 압력고려 펌프최적운영 기술은 공급수량에 따른 최

적설비 규모 축소, 펌프 동력비 및 누수량 절감을 목적으로 각종 센서치에 근거한 실시간 관망해석에 의한 시뮬레이션 기술을 이용하여 대수용가 압력고려 펌프최적운영관리로 비용 절감이 가능하며, 실시간 관로관리(사고예방 관리서비스) 시스템기술은 관망 또는 지하시설물(통신, 전력선 등)의 파이프 라인에 파손 및 누수(출) 발생 시 이를 실시간으로 감지하여 그 위치를 확인할 수 있는 시스템을 적용하여 인력낭비, 시간낭비, 자원의 낭비, 응급 보수로 인한 보수비용 발생 및 사회간접비용 발생 절감이 가능할 것으로 판단된다.

나. 다중수원 선택취수 기술

〈그림 4〉은 다중수원 선택취수 용수공급방안에 대한 개략적인 Logic으로 제어부는 착수정 또는 혼합조에 설치된 수위측정 센서에서 측정된 수위값이 기준값 미만인 경우 즉, 착수정 또는 혼합조로 물을 보충해야 하는 것으로 판단하고, 다수의 원수 중 어느 원수를 사용할 것인지를 경제적 및 환경적 인자를 분석하여 우선순위를 결정한다. 유량계로부터 용수 공급되는 공급량을 판단하여, 착수정 또는 혼합조의 최저 수위에 도달하는 것을 미리 예측 즉, 공급량이 많은 경우 더 빨리 최저 수위에 도달할 수 있으며 공급량이 적은 경우 느리게 최저 수위에 도달하므로, 취수 용량을 고려하여 적절하게 수원측 밸브 및 펌프를 구동하고, 착수정 또는 혼합조에 취수가 필요한 경우라고 판단되는 경우, 제어부는 데이터베이스를 분석하여 다중수원 중 어느 수원의 원수를 사용할 것인지 결정한다.

우선순위가 결정된 원수를 사용하여 착수정 또는 혼합조로 원수를 공급하며 착수정 또는 혼합조에 설치된 수질측정 센서에서 측정된 수질값과 우선순위로 배정된 수원의 수질값과 비교하여, 우선순위로 배정된 원수의 수질값이 착수정 또는 혼합조의 수질값과 대비하여 양호하지 않은 경우 그 후순위로 배정된 수원의 수질값과 비교하여 양호한 경우 후순위 수원을 최우선으로 공급하고, 취수 에너지뿐만 아니라 해당 수원을 정수시키는데 발생되는 비용도 하나의 판단인자로 포함하여 수질이 비슷하다고 판단되는 경우라도 pH, 탁도, 전기 전도도, TOC 및 DOC를 양호하게 정수시키는데 비용이 다를 수 있으므로 정수비용도 고려하여 최적의 다중수원을 선택하여 공급한다.

위와 같은 판단인자를 종합하여 해당 착수정 또는 혼합조로 취수하기 위한 최적의 우선배정 수원을 정하고, 특정된 수원의 원수를 취수하기 위하여 해당 밸브 및 펌프를 구동하므로서 기존 착수정 또는 혼합조의 수질을 기존 상태와 비교하여 양호한 수준이 되도록 하여 최종적으로 수요처로 공급된 용수의 품질을 신뢰할 수 있게 된다.

다. 다중수원 워터루프 지능적 배분공급 기술

다양한 수원과 정수장이 있는 워터루프 시스템에서 수요처별 사용량을 공급하는데 필요한 다중수원 취수계획, 공급배분계획 수립 등 물 공급시스템 운영 방식은 SCADA/HMI System에서 운영방식이 변경될 때마다 운영 변수간의 인과관계를 분석하고 예측할 수 있는 시뮬레이션 기능이 탑재된 시스템이 요구되고 있으며, 물공급 시스템의 효율적 운영 모델 개발을 위해 물공급 시스템의 운영에 내재된 요소 간의 상호관계를 파악하고, 이를 기초로 시스템의 운영 및 관리 기작을 구조화 할 수 있는 모형이 필요한데 이러한 시스템의 작동 기작을 구조화하는데 적합한 방법이 System Dynamics 방법론이다.

System Dynamics 이론은 물공급시스템의 운영 변수 예측, 신속하고 합리적인 물공급 운영 방향 및 정책 결정, 전력비용 절감(최소 전력원단위 운영), 물공급 운영자의 운영 편의성 제고, 수도-댐 · 배수지 시스템간 통합운영시스템 구축, 위기관리 및 대응 등에 활용된다. 본 연구에서는 System Dynamics 기법을 활용한 수운영계획을 통해 취수펌프장 및 가압장의 펌프 가동시간동안 토출유량, 전력원단위(배수지 및 흡수정)을 산정

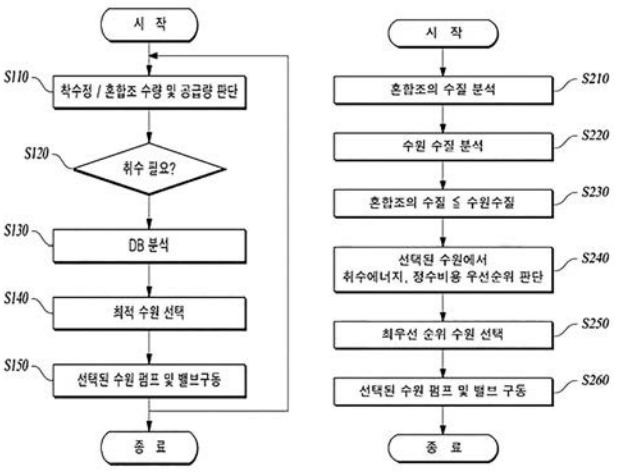

그림 4. 다중수원 선택취수 프로그램 개발 Logic

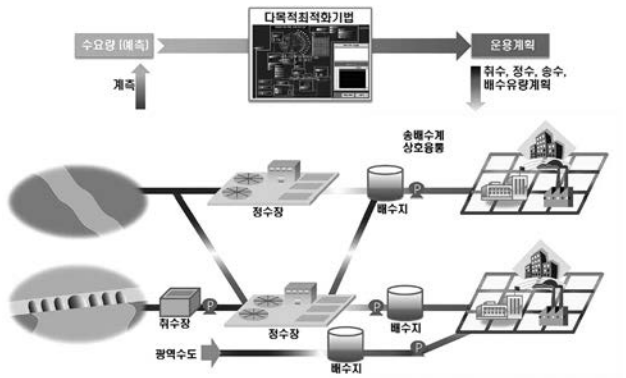

그림 5. 다중수원 워터루프 배분공급 기술

할 수 있으며, 댐 유입량 빈도별 수위 예측 및 운영의사결정, 댐별 방류량 및 공급량 결정이 가능하며, 전력비용 예측을 통해 효율적인 전력비용 관리가 가능할 것으로 판단된다.

다중수원 워터루프 지능적 배분공급 기술의 기본 개념은 다양한 수원을 취수하여 안정적으로 배분공급하기 위하여 정수장, 취수장, 펌프시설, 배수지, 배수관로 등의 주요 시설의 유량 및 수위 등의 정보를 모니터링하여, 각 배수지의 버퍼용량, 배수지와 배수지간의 용수 융통 및 송배수 펌프의 적정운영을 통하여 각 배수지별 공급량 관리에 필요한 송배수량을 산정하여 의사결정에 활용할 수 있다.

지능적 배분공급 계획이란 주요 취수, 도수, 송수 관로와 배수지 용량관리, 펌프의 운영 패턴 등의 관리조건에 따라 수요처 맞춤형으로 도송수 관로의 배분공급량 계획을 수립하는 것을 말한다. 지능적 배분공급 계획에서 기상정보 등에서 배수구역마다의 수요량을 예측하여 시설능력 및 각종 운영 방침에 따라서 사용처의 수요를 만족할 수 있도록 다중수원을 배분공급하는 계획을 수립하여 수운용 계획에 활용할 수 있고 또한 각종 시설을 연계하여 배분공급하는 공급 시나리오를 검토할 수 있으며 이를 위해 각각의 시설설비의 효율 향상과 시설의 연계운용에 의한 전체 시스템의 효율화가 가능하다.

ICT를 융합한 다중수원 워터루프 지능적 배분공급 기술의 기본기능은 수요예측에 근거하여 배수지의 버퍼기능을 활용하여 적절한 운영계획을 수립하여 기본기능에서 수요예측 및 계획시점의 운전정보, 조작자의 지시에 따라서 운전가능한 운영룰을 선정하거나 펌프시설 등의 효율적인 운전을 고려한 계획을 수립하기 위해 실시하나 운전계획은 전체 시설물의 연계에 의한 운전을 결정하는 것이며, 개개 시설의 효율화를 주력하게 되면 타 시설의 운전에 무리가 발생할 수 있다. 예를 들면 말단의 배수지 운영의 효율화에 치중하면 정수장의 운영에 지장을 주는 계획이 될 가능성이 있으므로 개개 시설의 운영조정과 도수, 송수계 전체의 배분공급량을 조정하는 계산수법을 조합하여 쌍방의 균형을 유지하는 프로세스가 필요하다.

개개 시설의 운영 조정 목적은 배수지 버퍼기능을 활용하여 개개의 시설운전에 적합한 유입, 유출량을 선택하는 것이며 수요량의 시간변동을 수위변동으로 하여 펌프효율이 높고 시설부하가 낮고 조정횟수가 적은 유입량이 되도록 하며, 배수지에서 누적유출량을 계획시점으로부터의 누계로 환산하면, 항상 수위를 상한, 또는 하한으로 운용하는데 필요한 누적유입량을 산출할 수 있는데 양자가 만들어내는 밴드(운영저류폭)을 통과하는 누적 유입량을 선택하면 수위가 상하한을 지키는 운영이 되며 밴드내의 변곡선(누적유입량)을 생각하면 경사가 유입량, 경사변화가 유입량의 조정에 대응한다. 이를 도식화하면 〈그림 6〉과 같다.

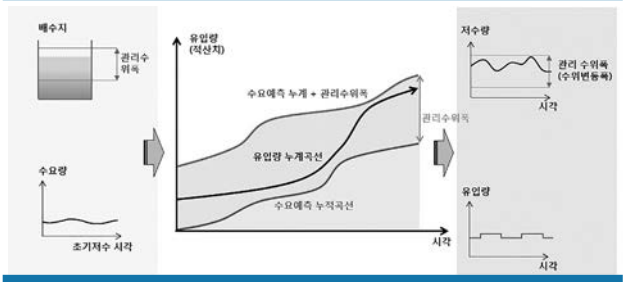

그림 6. 배수지의 스케줄링 프로세스

라. 대수용가 압력 고려 펌프최적운영관리 기술

지역내 대수용가의 압력, 유량 실시간 측정치를 이용 압력 분포 해석을 실시하여 배수 압력을 최적으로 제어(설정치 제어)하고, 펌프 토출압을 목적함수로 설정하고 대수용가의 압력을 제약조건으로 하여 실시간 관망 시뮬레이션을 연계하여 펌프 최소 토출압을 산정한다. 본 펌프 최적운영관리기법은 펌프 말단 제어를 통한 최적 펌프 토출압 산정 알고리즘 개발 및 펌프운정 비용절감(실시간 최적 제어와 전통적인 방법 비교) 및 펌프 최적 운영관리 결과를 DB로 구축하는 것이다.

그림 7. 펌프 최적 운영관리기술 개념도

마. 실시간 관로관리(사고예방) 시스템 기술

Smart Water Grid를 구성하기 위한 워터 파이프 라인에 대한 파손 및 누수에 대한 실시간 대응이 요구되고 있으며, 워터 그리드를 구성하는 핵심인 파이프에 대한 관리가 그 무엇보다 중요하며, Water grid를 일반적으로 라이프 라인이라 불려지면, 이는 현대 생활에서 기초가 되는 기반 시설라인을 의미한다. 여기에는 현재 전기, 통신, 가스, 송유, 쓰레기이송, 상수, 하수, 스팀, 난방, 농업용수, 공업용수 등처럼, 지하매설물을 총칭하여 이르는 말을 의미한다. 이들 라이프라인에 파손 및 누수(출) 발생 시 이를 실시간으로 감지하여 그 위치를 확인할 수 있는 시스템을 적용하여 시공한 사례가 드물어, 관망 또는 지하시설물(통신, 전력선 등)을 유지관리 하는데 상당한 애로를 겪고 있으며, 이로 인한 인력낭비, 시간낭비, 자원의 낭비, 응급 보수로 인한 보수비용 발생 및 사회간접비용 발생의 초래되므로 이를 해결할 방안이 필요하다.

이를 위한 물리적 시스템 구성요소는 현장, 통신망, 운영센터로 구분할 수 있으며, 현장에는 파손감지관, 감지테이프, 누수

감지센서, 보호커버, 감지시트, 감지형 경고테이프, 관리자 또는 중장비 기사 단말기, 시스템 점검구, 원격감시장치로 구성되어 있으며, 통신망은 유 · 무선 인터넷방식 및 CDMA 무선통신만을 이용 운영센터 서버로 자료를 전송할 수 있으며, 운영센터는 운영서버컴퓨터와 운영서버 S/W로 구성된다.

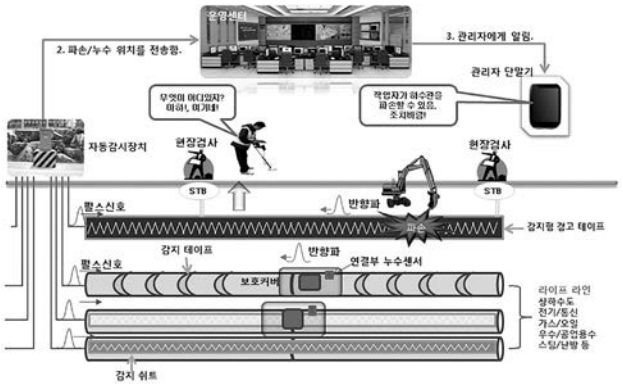

그림 8. 물리적 시스템 구성도

시스템 서비스 구성은 운영서버 프로그램, 단말기 앱서비스 프로그램으로 구성되며, 시스템 서비스의 전체적인 구성을 보면 원격감시장치에서 파손정보를 운영서버 S/W에 전송하면 관리자 또는 중장비 기사 스마트폰 앱에 파손정보를 알림으로 알려주어 실시간으로 파손을 방지하는 기술이다.

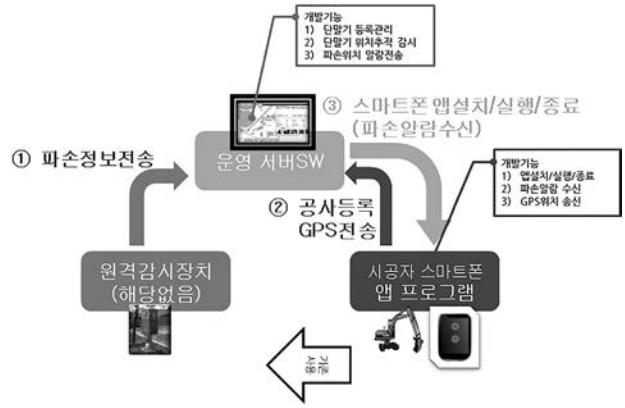

그림 9. 시스템 서비스 구성도

3. 다중수원 워터루프 운영관리 프로그램 개발

본 연구에서는 워터루프 운영 프로그램을 구현하기 위해 소프트웨어 개발 주기별 기준선을 기반으로 소프트웨어의 계획에서 요구분석, 설계, 구현, 시험 및 운영 단계를 거쳐 프로그램을 구현하고 있는데 현재 2차년도의 프로그램 계획은 설계 단계까지의 항목을 구현하고 있으며 이에 대한 세부적인 내용을 소개하고자 한다.

본 연구에서 개발중인 다중수원 워터루프 운영 프로그램 목적은 수자원의 수자원의 효율적인 배분 및 공급과 유지관리를 위해서 GIS를 이용하여 실시간 모니터링을 제공하고 수운영 계획과 관망해석을 결합한 다중수원을 고려한 워터루프 의사결정을 지원할 수 있는 프로그램을 개발하는데 있으며, 본 운영 프로그램 업무기능은 크게 모니터링 및 감시, 선택취수관리, 관망분석, 수운영계획, 시설물 관리의 기능으로 구성되어 진다.

표 1. 운영관리 프로그램 프로세스

프로세스 명	프로세스 설명
모니터링 및 감시	워터루프 관망 내에 설치된 센서 (유량, 수압, 수질정보)로 부터의 실시간으로 송수신되는 정보를 모니터링하고 감시하는 기능
선택취수 관리	지역 내의 다중수원에 대한 정보를 보여주고 필요시 선택취수를 위한 의사결정 및 조건을 설정하는 기능
관망 분석	워터루프 내의 관망에 대한 해석 및 유량/수질에 대한 자료를 통합하여 제공하는 기능
수운영 계획	워터루프 시스템에서의 수자원에 대한 운영 및 유지관리를 위한 의사결정지원의 기능과 최적 운영을 위한 모의 기능
시설물 관리	워터루프를 구성하는 인프라 (관망, 계측기 등)를 GIS 기반으로 유지 관리할 수 있는 기능
설계 프로그램	설계시 워터루프 시설물에 대한 구성요소에 대한 분석과 검색을 위한 기능 제공

다중수원 워터루프 운영 프로그램의 화면은 GIS를 기반으로 하여 지역 내 워터루프 시설물에 대한 정보를 표출 및 관리하고, 워터루프 운영관리를 위해 관망해석 및 취수원을 관리할 수 있는 정보를 제공하며, 워터루프 운영관리 프로그램의 주요 화면 정의는 〈그림 10〉과 같으며, 세부적인 화면 구성은 화면 설계에 적용하여 개발 중에 있다.

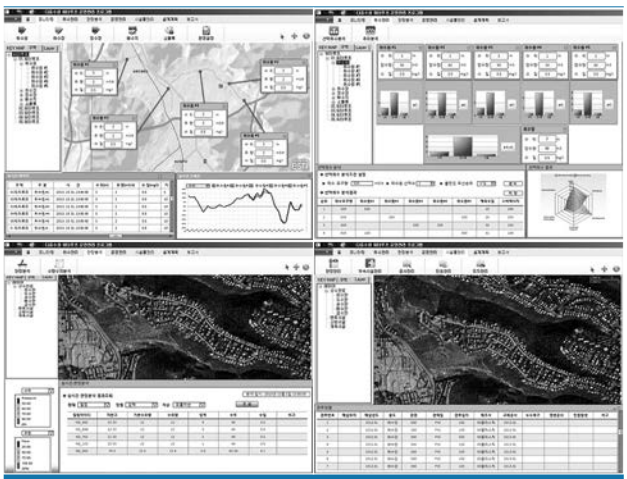

그림 10. 워터루프 운영 프로그램 화면정의

워터루프 운영 프로그램의 Use Case 설계는 워터루프 운영 프로그램의 업무 기능 분해도를 기준으로 프로그램의 Use Case 설계하여 프로그램을 개발하기 전에 업무에 대한 설계 및 입출력에 대한 정보를 상세히 기술하며, 워터루프 운영 프로그램의 활용 및 사용되는 시스템인 엑터는 사용자, 통합 DB 시스템, GIS DB 시스템으로 구성되어 질 수 있으며, 워터루프 운영 프로그램의 Use Case 및 상세 시나리오는 〈그림 11〉과 같이 운영 프로그램의 기능을 파악하여 상세하게 도출하는 방법으로 타 과제 및 기능 사이에서 교환되는 정보를 특정 목적에 맞게 정의하였다.

그림 11. 워터루프 운영 프로그램 Use Case

Ⅲ. 결 론

본고에서는 수자원의 효율적 이용으로 지역내의 다양한 수자원을 이용할 경우의 워터루프 시스템 구축을 위한 정보통신기술을 융합한 다중수원 워터루프 시스템과 운영관리 요소기술에 대한 개발내용을 기술하였다. 다중수원 멀티워터루프 시스템에 대한 운영관리 요소기술로 실시간 모니터링을 통한 선택취수 기술, 다목적계획법과 모델링기술을 활용한 시스템다이내믹스 이용 지능적 배분공급 기술, 대수용가 압력 고려 펌프최적운영 관리 기술, 실시간 관로관리 기술을 제시하였다.

또한 다중수원 워터루프를 운영관리하기 위한 S/W 를 개발중인데 주요 업무 기능으로는 크게 모니터링 및 감시, 선택취수관리, 관망분석, 수운영계획 및 시설물관리로 기능을 분할하고 각 기능별 세부 기능들을 도출하였으며, 2차년도에는 워터루프 운영 프로그램 개발을 위한 설계 문서로 Use Case 모형기술서, 화면정의서와 데이터베이스 설계문서인 ER 다이어그램, 테이블 정의서를 작성하였다. 워터루프 운영 프로그램의 핵심인 관망관리는 프로토타입을 구현하였으며, 입출력 및 설계서를 기반으로 하여 3차년도에 관망관리와 수운영계획의 연계를 통해 워터루프 전반적인 수운영에 대한 의사결정을 할 수 있는 기능을 연계할 계획이다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비 지원(12기술혁신C01)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] 유태상, 하성룡, 정태성(2011), 다수원 상수도시스템 연계운영을 위한 최적 네트워크 모형 구축, 한국수자원학회 논문집, 제44권, 제12호, pp. 1001-1013.

[2] 김준하(2011) 호주와 싱가포르의 사례에서 본 국내 스마트 워터그리드 발전 방향, 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제44권, 제8호, pp. 19-24.

[3] 김형수(2011), 미래 지능형 스마트 워터그리드, 물과미래, VOL. 44, NO 8, pp. 11-13.

약 력

한 국 헌

1994년 전남대학교 공학사
1996년 전남대학교 공학석사
2003년 전남대학교 공학박사
2009년~2013년 농어촌연구원 수자원연구팀 연구원
2013년~현재 ㈜도화엔지니어링 기술개발연구원 책임연구원
관심분야: 수자원, 관개배수, 상하수도 System

김 영 화

1985년 전남대학교 공학사
1989년 일본 동경농공대학대학원 공학석사
1993년 일본 동경농공대학대학원 공학박사
1993년~1996년 일본 농업공학연구소 특별연구원
1996년~현재 한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원
관심분야: 수자원, 상하수도 System