

<Technical Report>

가뭄 시 농경지에 효율적 농업용수 공급을 위한 지하수 관정 연계 시스템 개발

이종화¹ · 안준영¹ · 전성천¹ · 이명재^{1,‡} · 천정용¹ · 하규철² · 이병선³

¹(주)지오그린21

²한국지질자원연구원 지질환경연구본부 지하수연구센터

³한국농어촌공사 농어촌연구원

Development of a groundwater Well Network System for efficient agricultural water supply during drought

Jong-Hwa Yi¹ · Jun-Young Ahn¹ · Sungchun Jun¹ · Myeong Jae Yi^{1,‡} · Jeong Yong Cheon¹ ·
Kyoochul Ha² · Byung Sun Lee³

¹Geogreen21, Co., Ltd., Seoul 08376, Republic of Korea

²Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea

³Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Ansan 15635, Republic of Korea

요 약

관정연계 시스템(Well Network System, WNS)은 가뭄시 ICT 기술 기반의 관정 간 연계를 통한 효율적 용수 공급 기술로써 지하수 공급량이 서로 달라서 생기는 지역 간의 수자원 불균형을 해소할 수 있다. 본 연구에서는 WNS에 의한 용수공급 효율 증대효과를 평가하기 위해 원격제어기술 및 의사결정 알고리즘이 포함된 WNS 플랫폼을 5년(2018~2022)간 개발하고 실증평가하였다. 연구지역은 충청남도 홍성군 서부면 양곡리로 상시 가뭄이 빈번하게 발생하는 지역이며, 지하수 의존도가 높음에도 불구하고 이용 가능한 지하수량이 적어 저수지 및 홍성호에서 용수를 공급받고 있다. 이러한 연구지역의 특성을 고려하여 WNS 시설은 부지특성조사를 통한 대수층의 수리지질 특성과 산출된 각 지역의 수요-공급량을 반영하여 구축되었다. WNS의 관정연계는 Web 기반의 플랫폼을 통한 현장 시설의 원격제어와 의사결정 알고리즘을 통한 가뭄시나리오(평상시 또는 가뭄기)에 따른 효율적 용수 배분 제어를 가능하게 하고, 시설 자동운영 알고리즘을 통해 지하수를 공급할 수 있게 한다. WNS의 효율은 현장 실증평가 결과, SP-1과 SP-2 관정(대수층이 잘 발달한 지역에 위치한 관정)의 용수공급량은 WNS 미운영 대비 WNS 운영에 의해 각각 50%와 44%로 증가한 것을 확인하였다.

주요어: 가뭄대응, 플랫폼, 관정연계 기술, 원격통신 제어장치

ABSTRACT: The Well Network System (WNS) is an efficient water supply technology through the linkage between wells based on ICT technology during drought, and it can resolve the imbalance of water resources between regions caused by different amounts of groundwater supply. In this study, in order to evaluate the effect of increasing water supply efficiency by the WNS, the WNS platform including remote control technology and a decision-making algorithm, for 5 years (2018-2022), was developed and was empirically evaluated. The study area is Yanggok-ri, Seobu-myeon, Hongseong-gun, Chungcheongnam-do, where drought frequently occurs. The area is supplied water from reservoirs and Hongseongho Lake due to locally the lower available groundwater capacity, despite the high dependence on groundwater. Considering the characteristics of these study areas, the WNS facility was built by reflecting the hydrogeological characteristics of the aquifer through the site investigation and the quantities

[‡]Corresponding author: +82-2-6330-2500, E-mail: tankguy@geogreen21.com

of demand/supply identified at each area. The WNS makes it possible to supply groundwater efficiently through remote control of on-site facilities through a web-based platform and through automatic facility operation algorithms and to control water distribution according to drought scenarios (normal times or drought periods) through decision-making algorithms. As a result of field empirical evaluation for the efficiency of WNS, it was confirmed that the water supply of SP-1 and SP-2 wells (located in areas with well-developed aquifers) increased by 50% and 44%, respectively, by operating WNS compared to not operating WNS.

Key words: drought, platform, Well Network, remote control

1. 서론

우리 사회의 다양한 활동은 기후와 밀접한 연관이 있으며, 수십 년간 기후에 맞춰 다양한 산업, 농업 등의 활동이 이루어졌다. 하지만 최근의 기후 변화는 극심한 가뭄을 유발하여 사회 활동에 큰 영향을 미치고 있어 가뭄에 대한 대응이 필요한 실정이다.

일반적으로 학문적의미의 가뭄은 기후적, 수문적, 농업적 및 사회경제적으로 크게 대별하고 있다. 그 중 농업적 가뭄의 경우 작물생육에 필요한 토양수분의 부족으로 인해 발생하는 피해로 정의하며 수자원의 의존도가 높아 가뭄의 강도 혹은 지속기간이 길어질수록 활동에 큰 영향을 미치게 된다.

우리나라도 기후변화로 인한 극사상(severe event)이 빈번하게 발생하고 있으며, 서남부지역(경기도, 충청남도, 전라북도)은 2010년 이후 강수의 지역적 편차 확대와 더불어 논농사에 영향을 미치는 봄 가뭄의 빈도가 증가하고 있다(MOE and NDIAC, 2018). 이를 극복하기 위해 최근 지하수자원의 공급기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 인공함양(KIGAM, 2011; MSIT and KIGAM, 2013; KRC, 2014, 2017a; Moon *et al.*, 2016), 지하댐(Sokcho-si, 1988; KRC, 2017b, 2020, 2021; Yong *et al.*, 2017), 방사상 집수정(Hong *et al.*, 2016), 관정연계이용(KIGAM *et al.*, 2021)의 기술이 실용화되고 있다.

이 중에서 기설 관정을 연계한 용수공급 기술(Well Network System, WNS)은 ICT 기술을 통해 적용지역 내 위치한 관정들을 연결하여 용수를 효율적으로 공급하고 배분하는 기술이다. 본 기술은 관정 간 동시 양수에 따른 우물간섭 현상을 센싱 기술로 차단할 수 있기에 개별 관정의 양수 효율을 극대화할 수 있다. 따라서 소유역 내의 지하수 수량을 최대한 확보할 수 있어 가뭄에 의한 농작물 피해 예방을 통한 농민의 소득 보전이 가능하다(Ha *et al.*, 2021). 이러

한 WNS 기술을 개발하기 위해서는 ICT를 통한 원격제어 기술, 시설의 설계 및 시공기술, 그리고 Web 기반의 플랫폼(platform)과 이를 운영하기 위한 알고리즘 개발이 필요하다. 자동 양수제어장치(스마트 인버터)는 무선통신 네트워크로 연결하여 양수량의 원격제어를 통해 대수층의 조건에 따른 최적의 용수를 공급하고 플랫폼내 운영 알고리즘과 연계하여 물이 풍부한 지역의 지하수를 물이 부족한 지역으로 최적 배분하는 것을 실현한다.

본 연구의 목적은 상시 가뭄 발생지역에서 기존 관정의 연계하여 ICT 기술기반의 효율적인 용수 분배 공급을 통해 가뭄을 극복하는 기술을 개발하는 데 있다. 이러한 기술은 단순히 관정에서 양수를 통한 근거리 용수공급 기술이 아닌 수리지질학적 특성과 같은 대수층의 상태를 설계에 반영하여 대상 대수층의 활용성을 높일 수 있다.

이를 위해 공급지와 수요지에 대한 분석과 얼마만큼의 용수를 어떻게 공급할지에 대한 시나리오 분석이 필요하다. 이에 시나리오 분석을 통해 관정 간 용수공급 기술의 설계 인자를 파악하고 시설 구축을 위한 기술을 개발하고자 하였다.

2. 연구지역

WNS 기술 개발을 위한 연구지역은 서울에서 남동쪽으로 약 120 km 떨어진 충남 홍성군 서부면 양곡리에 위치한다(그림 1). 연구부지 주변에 있는 주요 하천으로는 오서산에서 발원하여 홍성읍, 홍동면, 금마면, 홍북면의 4개 읍면을 거쳐 북쪽으로 흐르는 삽교천이 있으며, 상지천과 오서산에서 발원한 광천천은 합류하여 천수만으로 흘러든다. 홍성군은 2개 읍, 9개 면으로 구성되며 그중 서부면은 55.6 km²이고 연구부지인 양곡리는 약 2.7 km²로 그중 0.4 km²가 논농사 지역이며 북동쪽으로는 능굴고개 서쪽으

로는 투구봉이 있다.

연구지역은 상시 가뭄이 빈번하게 발생하는 지역으로, 특히 지난 2012년에는 강수량이 전년도 대비 11% 수준에 그치는 등 극심한 가뭄 발생으로 군 예비비를 투입하여 지하수 관정 개발 사업을 진행한 바 있다. 연구지역은 인근의 저수지 및 홍성호에서 비상시 농업용수를 공급하고 그때마다 군 예비비가 소요된다. 한정적인 용수공급으로 인해 농민들은 자체적으로 지하수 관정을 많이 개발하였으나, 개발 관

정에서의 취수량이 낮아 폐공을 한 사례가 많다.

연구지역에는 공공관정 9개와 사설 관정 33개로 총 42개의 지하수 이용 관정이 있는데(그림 2), 그중 27개 관정이 농업용이며, 15개 관정이 생활용으로 사용하고 있다. 이 기존 관정에서의 용수공급 가능량은 연간 총 948,000 m³이며, 연구지역의 총 농경지 면적 83.85 ha에 필요한 연간 수요량은 377,000 m³로, 기존 관정에서의 공급량 대비 수요량은 부족하지 않은 것으로 나타났다(Lee *et al.*, 2022). 그런

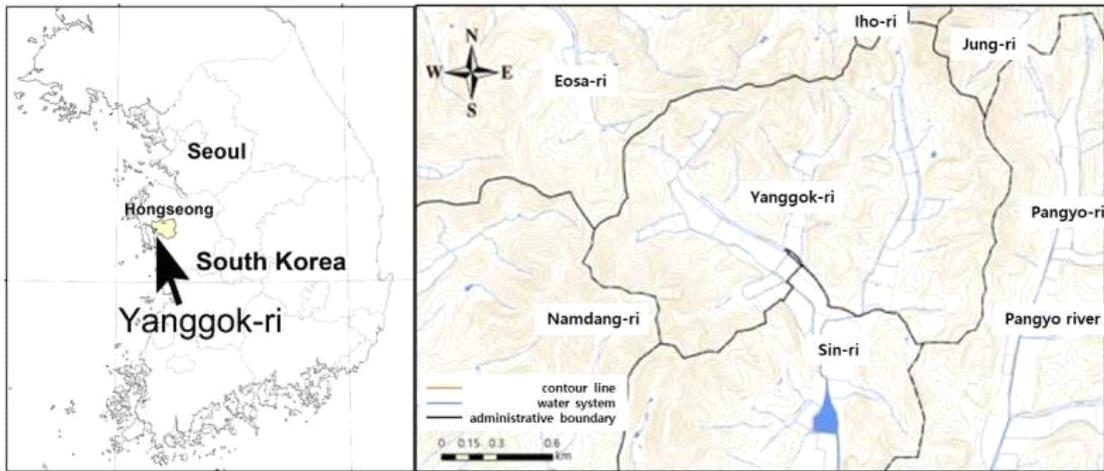


Fig. 1. The location of study area (Yanggok-ri).

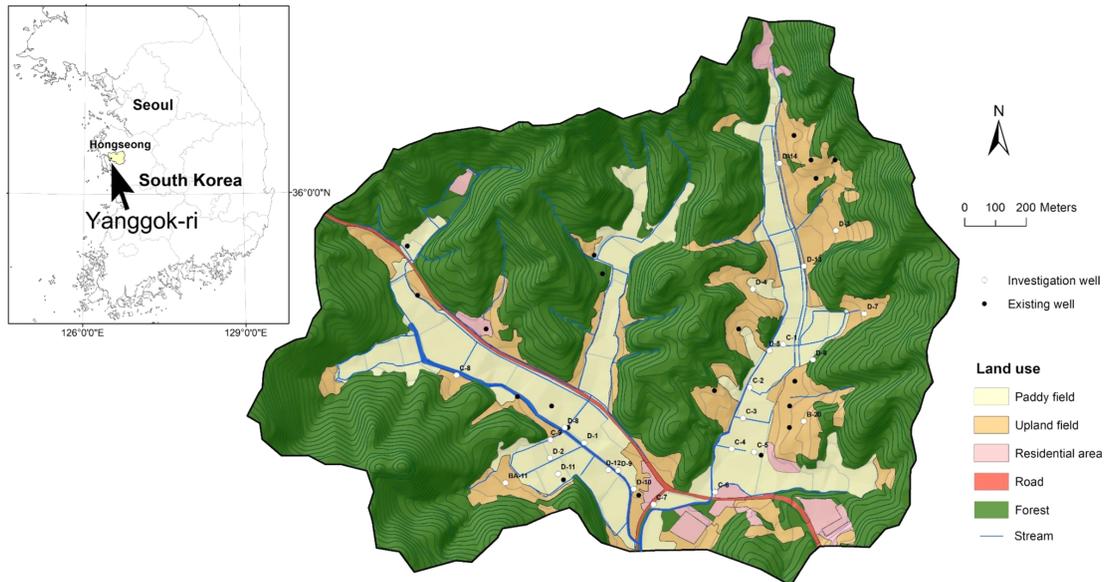


Fig. 2. Pre-existing wells in the study site.

데도 연구지역 내 일부 농민들은 농업용수 부족 현상을 겪고 있었다.

3. Well Network System 개발

3.1 용수 공급 체계의 설계

수자원이 풍부한 지역에서 부족한 지역으로 원활한 용수공급 및 효율적 분배, 그리고 활용이 용이하도록 WNS를 구축하기 위해서는 지형, 공급이 필요한 농지 면적, 관정 간 거리, 주변 환경 등을 고려하여 관정에서 용수를 어디로 어떻게 공급할지 등을 결정할 필요가 있기에, 연구지역 전반에 대한 용수 공급체계를 설계하였다. WNS 구축에 사용된 관정은 4개로, 이 중 SP-1과 SP-2는 기존 설치되어 있던 관정이며, SP-3과 SP-4는 본 연구를 위해 추가로 설치하였다. 4개 관정의 용수공급 가능량을 파악해 본 결과, SP-1과 SP-2 관정이 높은 것으로 확인되었다. 이에 SP-1 및 SP-2는 용수공급을 하지 않을 때 잉여 지하수의 저장에 활용하기 위해 연구지역의 최상류에 물탱크를 설치하고 용수공급배관(상류방향)을 통

해 두 관정을 연결하여 지하수를 저장해 둘 수 있게 하였고, 필요 시 물탱크에서 물 부족한 농경지에까지 자연유하로 배관(하류방향)을 통해 용수가 공급될 수 있게 시스템을 설계하였다(그림 3). 이때, 상류방향 용수공급배관에서 인근의 수요지로 직접 공급할 수도 있게 설계하였다.

기설 관정인 SP-1과 물탱크까지의 거리는 약 2.2 km가량 떨어져 있으며, 고도는 최대 30 m 차이가 발생한다(그림 4). 이러한 현장 여건을 반영하여 기설 관정에 설치된 펌프의 부족한 양정고를 보완하기 위해 현장에 부스트 펌프를 설치하여 상류에 있는 물탱크까지 용수가 공급되도록 하였다.

3.2 관정별 용수 공급 가능량 및 농경지의 물 수요량 산출

관정 간 연계를 통해 용수를 효율적으로 공급하기 위해서는 연구지역 내 관정별 공급 가능량과 용수 공급이 필요한 농경지별 물 수요량을 정확히 파악하여야만 주변 농경지에 용수를 공급하고도 공급 가능량에 여유가 있는 관정에서 잉여 지하수를 공급

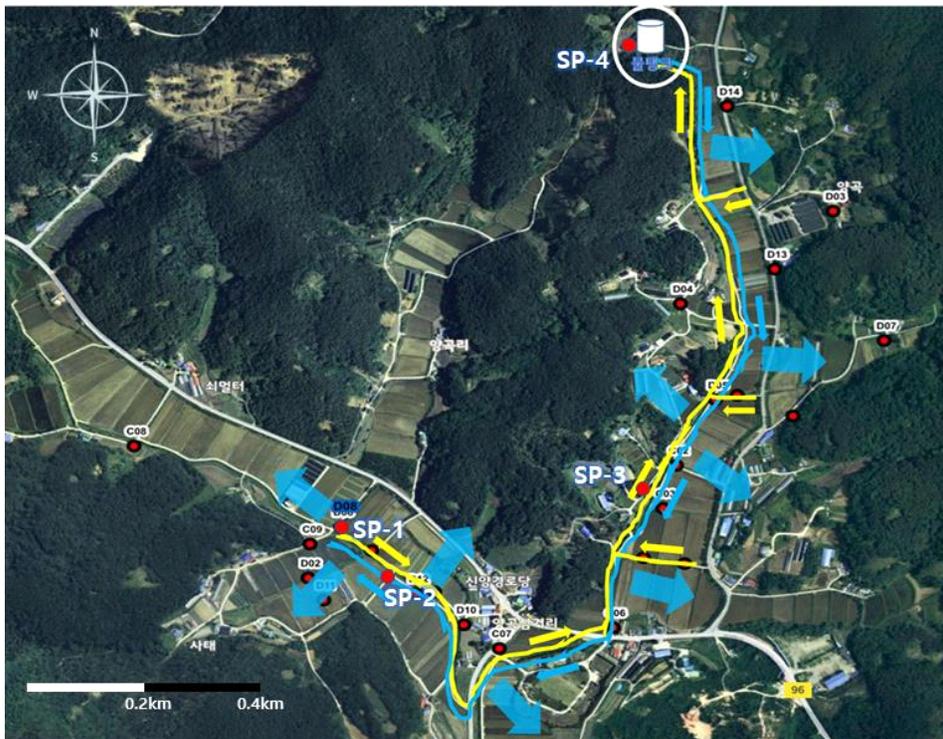


Fig. 3. The concept for groundwater supply through WNS.

가능량이 부족한 관정으로 관정 간 연계를 통해 효율적으로 이송할 수 있다.

연구부지의 이론적인 연간 지하수 공급 가능량은 관정 개발 시(혹은 관정에 설치한 펌프 용량) 신고수량으로 설정할 수 있으나, 실제 공급 가능량은 양수에 따른 수위 변화를 모니터링하여 안전 수위에 도달했을 때에 해당하는 지하수 양수량으로 계산할 수 있다. Ha *et al.* (2021)은 연구지역 내 선행연구를 통해 지하수 수위 모니터링을 통한 관정의 지하수 양수량을 산출하였으며, 본 연구에서는 이 연구 결과를 바탕으로 용수공급 지역 내에 있는 관정별 용수공급 가능량을 산출하였다(그림 5).

본 연구지역인 양곡리에 대한 지하수 수요량 분

석은 Lee *et al.* (2021)에 의해 선행 연구된 바 있는데, 지하수 수요지에 있는 4개 관정(ExP-1~4)과 물리적으로 연결된(농업용 배관) 농지의 작물별 지하수 수요량을 확인하는 방법이었다. 해당 농지는 총 79개 필지로, 대부분이 전, 담으로 구성되어 있는데, 한국농어촌공사 수리시설물 모의조작 시스템 HOMWRS (Hydrological Operation Model for Water Resources System, ver. 2.11) 프로그램(KRC, 2019) 통한 79개 농지에서 필요로 하는 용수량은 136,636 m³이며, 월별 사용량은 농업 활동이 시작되는 4월에서 9월까지, 총 6개월의 사용량을 고려하였다. 이에 본 연구에서는 연구지역 내 4개 관정에서 공급하도록 설계한 농지의 수요량을 선행연구에서 참고하여 산출하였고,

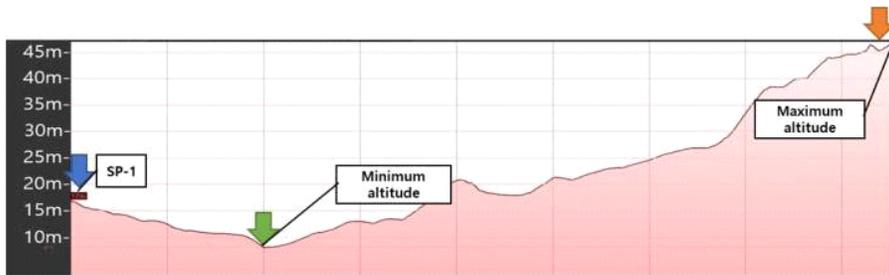


Fig. 4. Altitude analysis results in study site for a design of groundwater supply system.

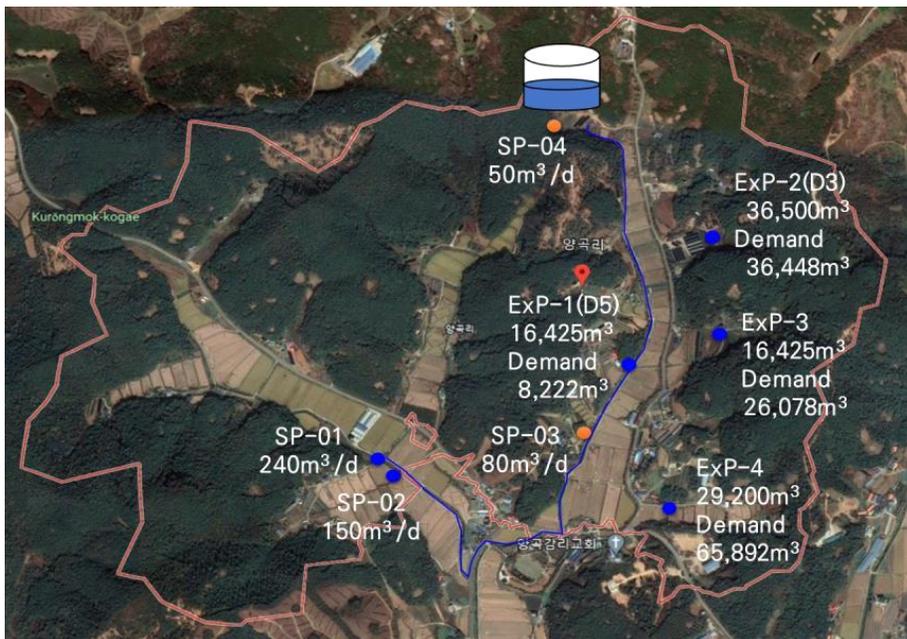


Fig. 5. Location of existing wells in the study area and calculated wells available groundwater supply.

관정별 용수 고급 가능량과 연결된 농지의 물 수요량을 비교하여 용수 부족 지역을 확인하고 WNS를 통한 목표 공급량을 계획하였다(표 1).

3.3 원격제어시스템 구축

원격제어장치를 통해 용수공급 시나리오를 실제 구현하고, 효율적 분배 공급이 가능하도록 원격제어 시스템을 구축하였으며, 현장의 제어장치로는 용수공급을 위한 펌프제어장치, 용수공급 시나리오를 위한 노선변경제어장치 및 분기제어장치와 다지점 공급 제어장치가 있다(그림 6).

각 제어장치 내부에는 원격으로 명령된 정보를 수행할 수 있는 PLC (Programmable Logic Controller)가 탑재되어 각 제어장치에 연결된 센서의 전기신호를 PLC가 분석하여 현재 값을 확인하고, 명령 값에 맞추도록 제어할 수 있게 개발하였다. 특히 펌프제어

장치의 경우 일정 양수량을 유지하기 위한 기능을 PLC 내부에서 PID 제어를 통해서 하게 되는데, 비례-적분-미분 제어기로 제어하고자 하는 대상의 출력값을 측정하여(펌프제어장치의 경우 유량값) 이를 설정값과 비교하여 오차를 계산하고 오차를 이용해 제어에 필요한 값을 계산하는 기능이다. 또한, PLC는 제어장치에 연결된 다수의 센서를 이더넷(ethernet)을 통해 통합하고 통신망을 구축하여 원격제어가 가능하도록 하였다.

4. 플랫폼 구축

연구지역내 구축한 WNS 시설의 관리와 효율적 용수공급을 위해 통합운영 시스템인 WNS 플랫폼을 개발하였다. WNS 플랫폼은 Web기반의 통합 운영 시스템으로 현장에 설치된 장치의 실시간 모니터링

Table 1. Agricultural water quantity required to be supplied additionally through the WNS.

Wells	Available groundwater supply (m ³)	Agricultural water demand (m ³)	Insufficient agricultural water quantity (m ³)	The percentage of shortage to total water demand (%)
ExP-1	16,425	8,222		50
ExP-2	36,500	36,447		100
ExP-3	16,425	26,077	9,653	159
ExP-4	29,200	65,890	36,692	226
Sum.		136,636	46,345	



Fig. 6. Location of control device in the study area.

데이터 구축, 기기 원격제어, 예측등 데이터 활용이 가능하도록 설계하였다. 이러한 WNS 플랫폼의 사용자는 다양한 계층으로 구분할 수 있다. 마을주민 부터 이장, 지자체 관리자, 시스템 관리자등 실 사용자부터 관리자까지 계층을 구분하고 접근할 수 있는 권한을 달리 부여함으로써, 시스템의 전문성을 높이고 효율적으로 관리된다(표 2).

WNS 플랫폼의 주요 구성으로는 시설물의 관리 및 제어를 위한 운영현황, 운영 제어반 및 용수공급 모듈과, 데이터 활용을 위한 자료조회 모듈, 지하수 수요량 및 공급량 분석 모듈 그리고 지하수 예측을 위한 수치해석 모델인 ModFlow 모듈이 탑재되어 있

다(그림 7, 8).

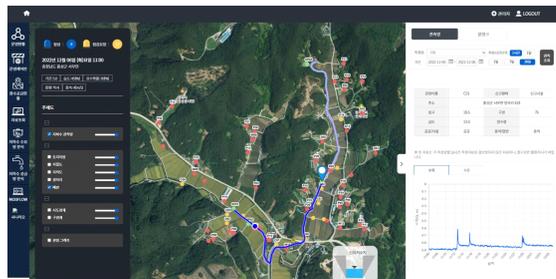
플랫폼의 효율적 운영을 위해 의사지원 알고리즘을 반영한 자동운영 알고리즘의 설계가 필요하다. 의사결정 지원 알고리즘은 지하수 분석 모듈의 표준강수지수(Standardized Precipitation Index, SPI) 및 유효가뭄지수(Effective Drought Index, EDI)를 통한 가뭄지수 분석과 농지별 용수 수요량 분석 그리고 지하수 수치해석 모델 결과를 바탕으로 WNS 플랫폼이 시설을 어떻게 운영할지를 결정할 수 있도록 한다. 예로 가뭄지수 분석 결과 6월 극심한 가뭄이 예측 된다면, 지하수 예측모델의 결과 지하수 한계 수위 파악과 그에 따른 가뭄시 양수량 설정, 관정가

Table 2. Classification of user class.

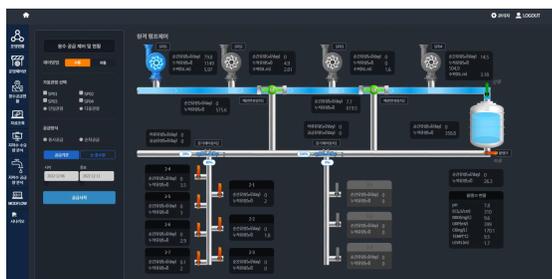
Define	Classification			
	User-general	User-representative	Manager-official	Admin-developer
Class	· system consumer	· top consumers	· manager	· developer
Topics	· groundwater alert, etc. · current situation · water supply control for some user accounts	· user account · current status of water supply · operation control panel operation	· account operation status · operation control panel, data inquiry, paper demand analysis	· account system management use all features · arbitrary restrictions on other accounts possible



(a) Main screen



(b) Operation status



(c) Operation control panel



(d) Current status of water supply

Fig. 7. Configuration of the control function of the WNS platform.

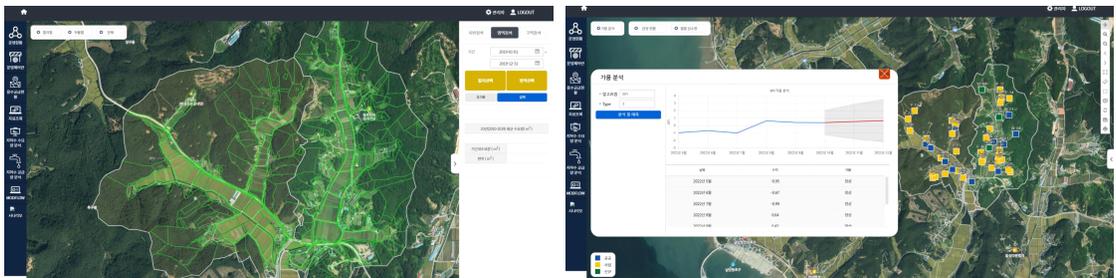
동 한계수위를 결정할 수 있도록 한다(그림 9).

원격제어 시스템과 이를 가동하기 위한 Well Network System 플랫폼 그리고 효율적 운영을 위한 의사결정 지원 알고리즘은 양방향 데이터 통신 및 제어를 통해 유기적인 관계 형성하고 있다. 현장의 실시간 측정 데이터를 통해 의사결정 지원 알고리즘은 적절한 판단을 하게 되고, 이를 기반으로 현장의 제어장치를 가동하고 있다(그림 10).

5. Well Network System 현장실증 운영

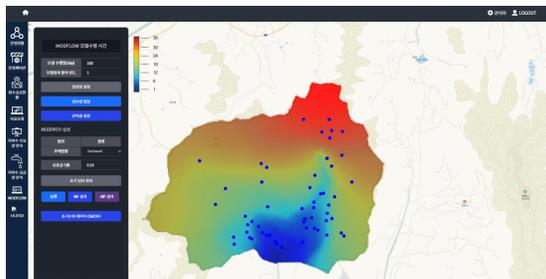
연구지역에 구축한 WNS 시설 및 플랫폼의 알고

리즘을 이용하여 용수공급 현장 실증 운영을 하였다. 현장 실증 운영은 용수가 가장 필요한 6~8월 약 3개월간 진행하였으며, 운영 지역은 기설 관정의 용수공급량 대비 물리적으로 연결된 배관이 위치한 농지중 수요량이 부족한 구역을 선정하여 1구역 및 2구역을 선정하였다. 연구지역의 관정연계 용수 수요 지역은 총 면적 149,582 m²로 실증운영 구역으로 선정한 1구역은 3개 필지로 총 면적 6,530 m²(총 면적대비 18%)이며, 2구역은 7개 필지로 27,605 m²(총 면적대비 37%)이다. 1구역에 공급하는 기설관정은 총 36,500 m³가 공급 가능하며, 물리적으로 연결된 농지의 수요량은 36,448 m³, 1구역의 수요량



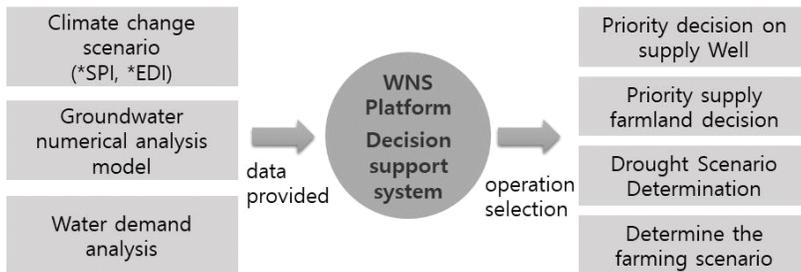
(a) Groundwater demand analysis

(b) Groundwater supply analysis



(c) Groundwater numerical analysis model

Fig. 8. Configuration of the analysis function of the WNS Platform.



*SPI : Standardized Precipitation Index, *EDI : Effective Drought Index

Fig. 9. Diagram of decision support algorithm.

은 6,171 m³이다. 2구역에 공급하는 시설관정은 총 29,200 m³가 공급 가능하며, 물리적으로 연결된 농지의 수요량은 65,892 m³, 2구역의 수요량은 26,089 m³이다.

1구역 및 2구역의 부족한 용수는 WNS 연계 관정인 SP-1, SP-2에서 공급하였다. SP-1, SP-2 관정은 대수층이 잘 발달된 지역에 설치된 관정으로 연간 105,120 m³ (SP-1), 63,072 m³ (SP-2)의 지하수 용수공급이 가능한 관정이다.

실증운영 1구역의 3개 필지는 총 공급량을 원격

제어하여 각 필지별 동일한 양이 공급될 수 있도록 하고 필지별 공급되는 양은 수도미터기를 이용하여 확인하였다. 2구역의 7개 필지의 경우 다점 공급 제어 및 운영 알고리즘 적용을 위해 7개 필지 총 공급량 제어 및 각 필지별 공급량을 제어할 수 있도록 하여 실증 운영을 진행하였다.

운영기간동안 각 구역별 공급된 지하수량은 6월 3,667 m³, 7월 2,668 m³, 8월 1,281 m³로 월별 공급한 필지의 계산된 수요량에 비해 약 30%, 8월은 10% 수준의 용수를 공급하였다. 이는 월별 총 운영

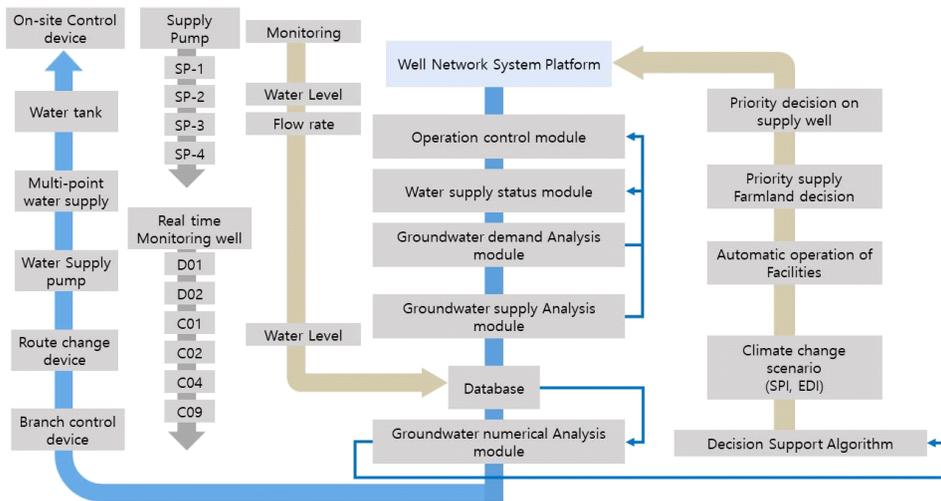


Fig. 10. Control flow chart of Well Network System.

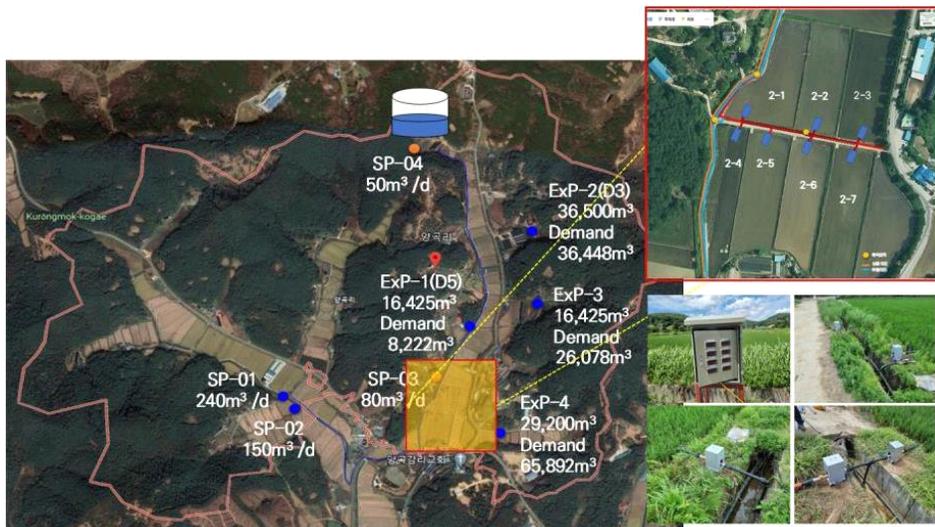


Fig. 11. Location of water supply area by WNS.

Table 3. Water supply by zone (monthly).

Month	Supply amount by zone (m ³)										Total supply		
	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7			
6 (13d)	Supply	380.0	360.0	120.0	360.0	294.0	410.0	362.0	441.0	436.0	504.0	3,667.0	33%
	Demand	629.9	656.9	856.3	1,311.9	1,275.2	1,260.7	740.6	1,419.7	1,414.3	1,637.7	11,203.2	
	Demand/ operation day	273.0	284.7	371.1	568.5	552.6	546.3	320.9	615.2	612.9	709.7	4,854.7	
7 (20d)	Supply	271.0	269.0	235.0	274.0	246.0	318.0	247.0	290.0	270.0	248.0	2,668.0	29%
	Demand	511.4	533.3	695.2	1,065.0	1,035.3	1,023.5	601.2	1,152.6	1,148.2	1,329.5	9,095.2	
	Demand/ operation day	340.9	355.5	463.5	710.0	690.2	682.3	400.8	768.4	765.5	886.4	6,063.5	
8 (15d)	Supply	14.0	16.0	-	153.0	171.0	153.0	241.0	182.0	189.0	162.0	1,281.0	11%
	Demand	672.6	701.5	914.4	1,400.8	1,361.7	1,346.2	790.8	1,516.0	1,510.2	1,748.7	11,963.0	
	Demand/ operation day	336.3	350.8	457.2	700.4	680.8	673.1	395.4	758.0	755.1	874.4	5,981.5	

Table 4. Verification of increased efficiency of existing wells by WNS.

Water supply available (m ³)	Previous water supply				WNS additional water supply				Additional supply effect		
	Supply area (m ²)	Demand (m ³)	Available supply (m ³)	Efficiency	Supply area (m ²)	Demand (m ³)	Available supply (m ³)	Efficiency	Supply area (m ²)	Available supply (m ³)	Efficiency
SP-1	105,120	50,171	46,484	44%	27,605	26,089	5,951	23%	77,776	52,435	50%
SP-2	63,072	27,612	26,096	41%	6,530	6,171	1,665	27%	34,142	27,761	44%

일로 계산된 것으로 실제 운영한 일자를 고려한 실 수요 공급량으로 공급효율을 확인한 결과 6월 76%, 7월 44%, 8월 21%로 실제 수요량 대비 공급량의 효율을 확인하였다(표 3).

용수공급은 시설 관정의 연계를 통한 효율적 용수 공급 분배로 SP-1, SP-2의 용수공급 관정은 설치된 지역의 주변에 물리적으로 연결된 관로를 통해 용수를 공급하며, WNS 알고리즘에 의해 잉여수자원을 연구지역에 공급하여 시스템의 효율을 검증하였다.

WNS를 통한 1구역 및 2구역에 대한 공급량을 기준으로 확인한 결과 총 용수공급 가능량 대비 WNS를 이용한 추가 용수공급의 효과는 SP-1의 경우 기존 44%에서 50%로 향상되었으며, SP-2의 경우는 기존 41%에서 44%로 향상되었다. 향후 WNS의 가동일수를 늘려 수요지역에 대한 안정적 공급을 통해 효율을 높일 계획이다(표 4).

6. 결과

본 연구는 ICT 기반의 관정간 연계를 통한 용수공

급 기술 개발을 위해 상시 가뭄이 발생하는 지역인 홍성군 서부면 양곡리에서 시설 구축 및 실증운영을 실시하였다.

이를 위해 연구지역에 대한 수리지질학적 조사를 통한 연구지역에 대한 공급량 평가와 수요지의 토지 사용 조사를 통한 수요량 조사 그리고 연구지역의 지형 분석등을 통해 WNS의 개념 설계를 실시하였다. 또한, 공급-수요량 분석을 통해 WNS 시설의 공급을 위한 배관설계를 통한 시설을 구축하였다. 용수공급을 위해 ICT 기반의 펌프제어장치와 용수공급 변경장치, 다지점 공급장치를 개발하였으며, 현장의 장치는 Web기반의 플랫폼을 개발하여 사용자가 원하는 수준에 맞춰 자동 혹은 별도 제어를 통한 수동의 용수공급이 가능하게 하였다.

연구지역의 공급-수요량 분석을 통해 용수가 부족한 일부농지에 대하여 구축된 Well Network System을 통한 용수공급 실증운영을 실시하였다. 선정된 구역은 1구역 및 2구역으로 구분하였으며 1구역은 수동용수 공급, 2구역은 다지점 제어장치를 설치하여 WNS의 운영 기능을 적용한 자동 용수공급을 수행

하였다. 실증 용수공급 결과 시설관정의 공급량 부족으로 선정된 1구역 및 2구역 내 6~8월간 공급량은 1구역 1,665 m³, 2구역 5,951 m³로 구역별 계산된 수요량에 비해 1구역 27%, 2구역 23% 수준이나 운영일 기준 수요량대비 공급량의 경우 1구역 52%, 2구역 44%이다.

실증운영을 통해 현장에 설치한 제어장치와 Web 기반 플랫폼의 관리 기능 및 의사지원 알고리즘을 통한 자동 용수공급 운영을 검증하였다.

연구지역내 Well Network System 구축 및 현장 실증 용수공급을 실시한 결과 가뭄 지역내 기존 관정의 연계를 통한 수요내 용수 배분 공급으로 지하수의 효율적인 사용 및 가뭄대응을 위한 기술임을 확인하였다. 용수공급관정 SP-1, SP-2의 잉여수자원을 활용하여 지하수가 부족한 지역으로 공급하는데 있어 의사결정 지원 알고리즘을 통한 시설의 가동을 확인하였으며, 플랫폼을 통한 원격제어 및 모니터링, 여러 모듈을 통한 지하수 분석을 수행하였다.

향후 광역 규모의 WNS의 적용 가능성 및 지표수 연계를 통한 WNS 용수공급의 방법을 검토할 계획이다.

감사의 글

본 원고는 환경부 수요대응형 물공급서비스사업 「상시 가뭄지역의 지하수 최적 공급관리를 위한 IoT 기반 인공함양 및 Well Network 기술 개발」 과제의 연구비 지원에 의해 이루어졌다.

REFERENCES

- Ha, K., Park, C., Kim, S., Shin, E. and Lee, E., 2021, Groundwater recharge evaluation on Yangok-ri area of Hongseong using a distributed hydrologic model (VELAS). *Economic and Environmental Geology*, 54, 161-176 (in Korean with English abstract).
- Lee, B.S., Jeong, C., Lee, G., Ha, K., Lee, J.-H. and Song, S.-H., 2022, Estimation on an Amount of the Groundwater Demand and Supply for Applying the Well-network System (WNS) to a Frequent-drought Area. *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 27, 24-35 (in Korean with English abstract).
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), KRC (Korea Rural Community Corporation), KMU (Kookmin University) and GeoGreen21, 2021, An annual report on development of the well network system technique keeping up with drought, A research group on optimal groundwater uses against water demands during drought periods. Ministry of Environment, 429 p.
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), 2011, Application of analysis technique and modeling for coupled groundwater-surface water flow system, KIGAM, 491 p.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2014, A study on the supply plan of clean groundwater and groundwater heat for facilities in agricultural complex. KRC, Naju, 221 p.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2017a, A report on the artificial recharge and recovery to Danmok greenhouse facilities zone, Jinju, Gyongsangnamdo, Korea. KRC, Naju, 164 p.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2017b, Development of design and assessment technique for subsurface dams for drought management. KRC, Naju, 162 p.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2019, HOMWRS (Hydrological operation model for water resources system) ver.2.11.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2020, Development of subsurface dam operation and maintenance techniques against drought. KRC, Naju, 71 p.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2021, Development of regional groundwater dam model in east coastal area of South Korea for sustainable supply of agricultural water. KRC, Naju, 189 p.
- MOE (Ministry of Environment) and NDIAC (National drought information-analysis center), 2018, 2013-2018 sustainable drought analysis & assessment report. MOE and NDIAC, Sejong, 127 p (in Korean).
- Moon, S.H., Kim, Y., Jeong, Y.Y. and Hwang, J., 2016, Groundwater-stream water interaction induced by water curtain cultivation activity in Sangdae-ri area of Cheong-ju, Korea. *Economic and Environmental Geology*, 49, 105-120 (in Korean with English abstract).
- MSIT (Ministry of Science and ICT) and KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), 2013, Development of intergrated core technologies in aquifer recharge system for groundwater sustainability, MSIT and KIGAM. Sejong, 261 p.
- Sokcho-si, 1998, Hydrogeologic study in accordance with Ssangchon groundwater dam. Sokcho-si, 361 p.
- Yong, H.-H., Song, S.-H., Myoung, W.-H., An, J.-G. and Hong, S.-W., 2017, Current status and application of agricultural subsurface dams in Korea. *Journal of Soil and Groundwater Environment*, 22, 18-26 (in Korean with English abstract).

Received : December 30, 2022

Revised : February 2, 2023

Accepted : February 3, 2023