

국내 농업용 지하댐의 현황 및 활용 사례

용환호¹ · 송성호^{2*} · 명우호² · 안중기² · 흥순욱³

¹한국농어촌공사 지하수지질처

²한국농어촌공사 농어촌연구원

³한국농어촌공사 전라북도본부

Current Status and Application of Agricultural Subsurface Dams in Korea

Hwan-Ho Yong¹ · Sung-Ho Song^{2*} · Woo-Ho Myoung² · Jung-Gi An² · Soon-Wook Hong³

¹Groundwater & Geological Technology Office

²Rural Research Institute

³Jullabukdo Branch, Korea Rural Community Corporation

ABSTRACT

The increasing frequency of droughts has been increasing the necessity of utilizing subsurface dams as reliable groundwater resources in areas where it is difficult to supply adequate agricultural water using only surface water. In this study, we analyzed the current status and actual conditions of five agricultural subsurface dams as well as the effect of obtaining additional groundwater from subsurface dams operated as one aspect of the sustainable integrated water management system. Based on the construction methods and functions of each subsurface dam, the five subsurface dams are classified into three types such as those that derive water from rivers, those that prevent seawater intrusion, and those that link to a main irrigation canal. The classification is based on various conditions including topography, reservoir location, irrigation facilities, and river and alluvial deposit distributions. Agricultural groundwater upstream of subsurface dams is obtained from four to five radial collector wells. From the study, the total amount of groundwater recovered from the subsurface dam is turned out to be about 29~44% of the total irrigation water demand, which is higher than that of general agricultural groundwater of about 4.6%.

Key words : Drought, Subsurface dam, Groundwater, Classification, Radial collector well

1. 서 론

최근 가뭄 빈도의 증가에 따라 지표수 공급이 어려운 지역에서 추가 용수를 확보하기 위한 다양한 접근이 시도되고 있다. 특히 기후변화가 지속됨에 따라 가뭄 심도(drought severity) 증가와 함께 단기간의 강수 집중 현상이 더욱 심화되고 있으며, 상대적으로 하상계수가 높은 지역의 경우 점차적으로 수자원 확보에 어려움을 겪고 있다. 이에 비해 농업용 저수지는 2011년부터 2015년까지 5년 동안 기능저하에 따른 용도 폐기로 인하여, 전체적으로 130개소가 감소하였지만 대체 저수지 개발은 어려운 여건이다. 따라서 농업용수 부족에 대한 대처능력의 한계가 발

생됨에 따라, 항구적인 가뭄 해소 목적의 지하수자원 추가 확보 필요성이 증대되고 있다.

지하수 추가 확보를 위한 다양한 시설 중 대표적인 것은 지하댐(subsurface dam)이다. 지하댐은 중국과 일본에서 최근까지 성공적으로 운영되고 있으며, 인도에서는 1960년대부터 소규모 관개 농업용 지하댐이 설치되어 운영된 바 있다(Hanson and Nillson, 1986). 아프리카의 케냐에서는 식수공급을 포함한 농업용 지하댐이 건설되어 운영되고 있으며, 에티오피아에서는 식수공급을 위한 소규모 모래 저장댐이 설치된 바 있다(Hanson and Nillson, 1986).

국내의 경우에는 농업용 지하댐 건설이 활발히 이루어

*Corresponding author : shsong@ekr.or.kr

Received : 2017. 3. 29 Reviewed : 2017. 4. 25 Accepted : 2017. 5. 25

Discussion until : 2017. 8. 31

졌던 1980년대 이후, 소유역을 대상으로 농업용 지하댐 개발에 관한 기술 개발 연구가 본격적으로 시작되었다(KRC, 1996). 2002년에는 해안가에서 갈수기에 대수층을 통한 지하수의 염분농도가 상승함에 따라 지하댐에 의한 추가 수자원 확보 가능량 평가가 이루어진 바 있으며(Park et al., 2002), 지하댐 몰막이벽 시공법과 해안지역 염수침입 방지기술 개선 방안이 검토된 바 있다(Booh et al., 2002). 또한 한국수자원공사에서는 이 시기에 생활용수 확보를 목적으로 국내 지하댐 개발 가능 위치를 선정한 바 있다(K-water, 2002). 2004년에는 해안가 염수침입 문제를 해결하기 위해 지하댐 운영 시 발생하는 염수침입 저감기법에 관한 연구가 진행되었으며(Yun et al., 2004), 지하댐 지반 물성치 측정을 위한 유전율 측정 시스템이 개발되었다(Kim et al., 2004). 2009년과 2011년에는 지하댐 건설에 따른 유역 내 지하수위 변화 특성 해석이 이루어졌으며, SWAT-MODFLOW를 이용한 영덕 오십천의 지하댐 타당성 연구가 진행되었다(Kim et al., 2011). 이와 같이 2000년대 이후 동해안 지역의 생활용수 취수 목적의 쌍천 지하댐을 대상으로 연구가 활발히 진행된 반면, 농업용 지하댐과 관련된 연구 사례는 저조한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 지속가능한 통합 농어촌용수 관리체제 구축의 하나로 운영되고 있는 5개소의 농업용 지하댐을 대상으로, 운영 현황, 이용 실태 및 효과를 분석하였다. 또한 각 지하댐의 축조방식과 기능을 토대로 상류 유역의 지형, 저수지, 관개시설, 하천, 지하수 시설, 층적층 분포, 하상 퇴적물, 댐 하류부 등 다양한 입지조건에 따른 지하댐의 유형을 분류하였다. 이를 토대로 농업용 지하댐 상류부에 설치한 다량 취수시설인 방사상 집수정의 이용 현황에 따른 지하수 이용실태를 분석하였으며, 최종적으로 소형 관정 이용량을 포함하여 관개 필요수량을 고려한 지하댐별 효과를 분석하였다.

2. 국내 농업용 지하댐 및 이용시설 현황

2.1. 지하댐 현황

지하댐은 기존의 지하수위 상승을 통해 지하수 추가 확보를 목적으로 지하공간에 차수벽을 설치하는 일종의 지하 저수지이다(Hanson and Nillson, 1986). 따라서 하상에 단계적으로 차수벽을 설치하여 인위적으로 형성시킨 모래층을 통해 지하수를 통과시키는 모래 저장댐(sand storage dam)과는 구분된다. 광의적으로는 지하댐과 모래 저장댐을 합쳐서 지하수댐(groundwater dam)으로 정의하기도 한다(Hanson and Nillson, 1986). 지하댐은 지상댐

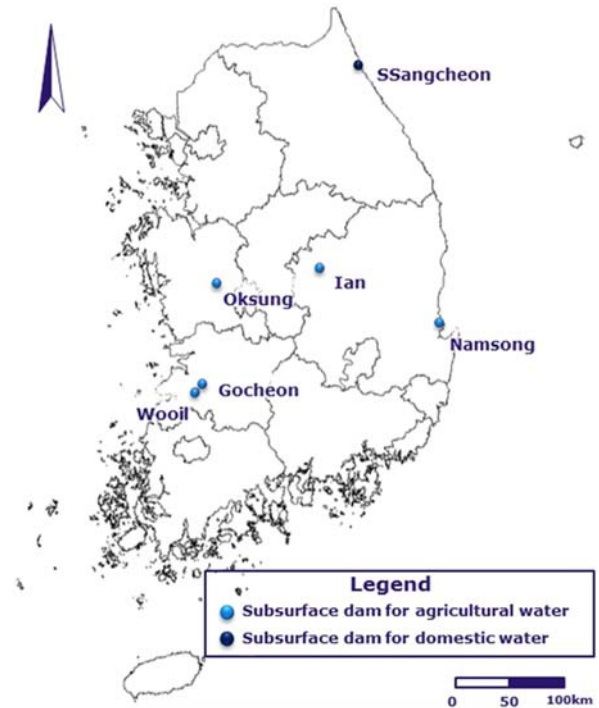


Fig. 1. Distribution of subsurface dams in the Republic of Korea.

과 달리 상류부의 대규모 취수시설이 수반되어야 하는데, 우리나라의 경우 취수시설은 대량 취수가 가능한 방사상 집수정(radial collector well)이 일반적으로 활용되고 있다.

국내의 지하댐 설치는 1981년 가뭄 대응을 위해 수립된 농업용수 10개년 개발계획(1982~1991년)의 일환으로 ‘이안 지하댐 시범사업(1984년 준공)’과 함께 시작되었으며, 1986년에 남송, 옥성, 고천, 우일 지하댐이 각각 건설되었다(KRC, 1996). 이후 지표수 중심의 농업용수 공급 개발 정책으로의 전환으로 인하여 지하댐 사업은 중단되었으나, 10여년 경과 후에 속초시에서 생활용수 공급을 위한 목적으로 쌍천 지하댐을 건설한 바 있다(Fig. 1).

농업용 지하댐의 유역 면적은 옥성 지하댐이 27,500 ha로 가장 넓으며, 이안, 고천, 우일 지하댐은 2,130~2,700 ha 범위로 상대적으로 좁은 편이다(Table 1). 차수벽의 중방향 길이는 우일 지하댐이 778 m로 가장 긴 반면, 남송 지하댐은 89 m로 가장 짧은 것으로 나타났다. 차수벽의 높이는 남송 지하댐(18.8 m)을 제외하고는 4.0~9.2 m로 비교적 낮은 편이다. 대규모 취수시설인 방사상 집수정은 고천 지하댐 상류부에 5개소가 설치된 반면, 이안, 남송, 옥성 지하댐 상류부에는 각각 4개소가 설치되었다. 지하댐 설치에 따른 지하수 확보량은 이안과 남송 지하댐이 각각 4,000,000 m³ 이상이며, 일일 취수량은 우일 지하댐을 제외하고는 모두 20,000 m³ 이상으로 나타났다.

Table 1. Overview of agricultural subsurface dams in the Republic of Korea

| Subsurface dam | Installation year | Construction type | Catchment area (ha) | Length (m) | Height (m) | Capacity ($\times 10^3$ m ³) | Pumping rate (m ³ /d) |
|----------------|-------------------|-----------------------|---------------------|------------|------------|---|----------------------------------|
| Ian | 1984 | SGR* concrete | 2,130 | 230 | 4.0 | 4,143 | 24,000 |
| Namsong | 1986 | JSP** | 15,300 | 89 | 18.8 | 4,017 | 27,000 |
| Oksung | 1986 | Microcement | 27,500 | 482 | 9.2 | 2,850 | 27,900 |
| Gocheon | 1986 | Concrete displacement | 2,700 | 192 | 7.5 | 1,543 | 25,110 |
| Wooil | 1986 | Compacted clay | 2,200 | 778 | 6.7 | 2,457 | 16,200 |

*SGR: space grouting rocket system, **JSP: jumbo special pattern method

Table 2. Classification of agricultural subsurface dams according to location requirements

| Classification type | Subsurface dam | Characteristics |
|------------------------------------|------------------------|---|
| Type of water supply from river | Ian, Gocheon and Wooil | - High hydraulic conductivity of river basin - Favorable conditions for groundwater recharge |
| Type to prevent seawater intrusion | Namsong | - District adjacent to the coast - Areas affected by seawater intrusion |
| Link type to main irrigation canal | Oksung | - Areas where groundwater can be supplied directly to the main irrigation canal during drought |

2.2. 지하댐 유형

Chung and Park(2002)은 지하댐을 설치 목적, 설치 공법 및 저류 형태를 기준으로 분류한 바 있다. 먼저 설치 목적에 따른 유형은 기반암(불투수층) 상부까지 차수벽을 설치하여 지하수 유출을 완전히 차단하는 ‘저류형’, 대수층의 일부 구간에 차수벽을 설치하여 하부로 지하수를 유출시키는 ‘유출 억제형’ 및 해안지역 지하수 이용에 따른 해수침투를 차단하는 ‘염수침해 방지형’으로 구분하였다. 설치 공법에 따라서는 시멘트 또는 기타 물질을 주입하여 대수층의 투수계수를 낮추는 ‘주입 공법형(impregnation method type)’, 지반 굴착 후 철근 콘크리트 또는 점토 다짐벽을 시공하는 ‘치환 공법형(displacement method type)’ 및 파일을 지반에 압입하는 방식으로 주입 공법과 병행하여 시공하는 ‘압입 공법형(press-in method type)’으로 분류하였다. 저류 형태로는 지하수위가 지표면 아래에 위치하도록 설계된 ‘완전 지하저류형’, 차수된 면적 중 일부 지역의 지하수위가 지표면 위로 상승하는 ‘일부 지표저류형’ 및 지하댐의 일부를 지표에 노출시켜 지하댐과 보(weir)의 기능을 동시에 수행하는 ‘지표보 병행형’으로 분류하였다.

본 연구에서는 국내에 설치된 5개소의 농업용 지하댐에 대하여, 입지 조건에 따라 세가지 유형으로 분류하였다(Table 2). 첫째, 하천 주변의 투수성이 높아서 갈수기 건천현상이 나타나 지하수 함양에 유리한 지역에 설치된 지하댐을 ‘하천 유하 공급형(type of water supply from

river)’으로 분류하였는데, 이는 Chung and Park(2002)이 기존의 저류형태로 분류한 ‘저류형’ 보다는 ‘유출 억제형’에 가까우며, 이안, 고천 및 우일 지하댐이 해당된다.

둘째, 해안가와 인접한 곳에 설치하여 대수층을 통한 해수침투의 영향을 방지하고 부족한 용수확보를 위해 설치된 지하댐을 ‘염수침입 방지형(type to prevent seawater intrusion)’으로 구분하였다. 이는 기존의 ‘염수침해 방지형’과 유사하지만, 지하댐 상류부의 저수지 위치 여부가 다르며 남송 지하댐이 해당된다. 셋째, 가뭄 시 용수간선 및 지선에 직접 지하수를 공급하기 위해 설치된 지하댐을 ‘용수간선 연동형(link type to main irrigation canal)’으로 분류하였으며, 옥성 지하댐이 해당된다.

2.3. 지하댐 상류부 지하수 다량 이용 시설 현황

5개소의 농업용 지하댐 설치에 의한 상류부 지하수위 상승은 지하수 부존량 및 개발 기능량의 증가로 이어짐에 따라, 각 지하댐 상류부에는 지하수 다량 취수를 위한 방사상 집수정을 설치하여 운영 중이다.

이안 지하댐 유역의 상류부에는 지하수 취수시설로 방사상 집수정 4기가 설치되어 운영 중으로, 평균 수해면적과 취수량은 각각 27.2 ha(13.5~41.4 ha)와 6,228 m³/day(3,312~10,224 m³/day)이다(Table 3). 4곳의 방사상 집수정에 설치된 수평 집수관(horizontal arms)은 평균 13개(8~16개)로, 총 길이는 평균 264 m(153~360 m)이다. 이안 지하댐 상류부에 설치된 수직 우물통(central caisson)의

Table 3. Overview of radial collector wells located upstream of five subsurface dams

| Subsurface dam | RCW* | Area benefited (ha) | Pumping rate (m ³ /day) | Horizontal arms | | Central caisson (m) | |
|----------------|----------|---------------------|------------------------------------|-----------------|------------|---------------------|-------|
| | | | | Number | Length (m) | Diameter | Depth |
| Ian | Gyochon | 39.6 | 7,488 | 16 | 360 | 3.5 | 7.5 |
| | Jisan1 | 41.4 | 10,224 | 18 | 350 | 3.5 | 7.5 |
| | Yangbum1 | 13.5 | 3,312 | 8 | 153 | 3.5 | 7.5 |
| | Yangbum2 | 14.3 | 3,888 | 8 | 192 | 3.5 | 7.5 |
| | Mean | 27.2 | 6,228 | 13 | 264 | 3.5 | 7.5 |
| Namsong | Namsong1 | 19.0 | 3,500 | 8 | 224 | 3.5 | 8.8 |
| | Namsong2 | 37.0 | 7,000 | 13 | 429 | 3.5 | 11.3 |
| | Namsong3 | 43.0 | 8,000 | 15 | 555 | 3.5 | 9.0 |
| | Namsong4 | 26.0 | 5,000 | 20 | 860 | 3.5 | 10.6 |
| | Mean | 31.3 | 5,875 | 14 | 517 | 3.5 | 9.9 |
| Oksung | Jiha1 | 44.0 | 8,400 | 22 | 638 | 3.5 | 12.4 |
| | Jiha2 | 35.6 | 6,800 | 18 | 360 | 3.5 | 12.4 |
| | Jiha3 | 20.4 | 3,900 | 11 | 286 | 3.5 | 10.7 |
| | Jiha4 | 46.0 | 8,800 | 24 | 528 | 3.5 | 11.7 |
| | Mean | 36.5 | 6,975 | 19 | 453 | 3.5 | 11.8 |
| Gocheon | Gocheon1 | 28.0 | 5,240 | 13 | 390 | 3.5 | 8.6 |
| | Gocheon2 | 23.7 | 4,490 | 13 | 650 | 3.5 | 9.6 |
| | Gocheon3 | 37.0 | 6,940 | 16 | 560 | 3.5 | 9.6 |
| | Gocheon4 | 37.0 | 4,890 | 12 | 552 | 3.5 | 10.9 |
| | Gocheon5 | 8.6 | 3,550 | 10 | 200 | 3.5 | 8.9 |
| | Mean | 26.9 | 5,022 | 13 | 470 | 3.5 | 9.5 |
| Wooil | Wooil1 | 36.0 | 6,452 | 14 | 378 | 3.5 | 9.1 |
| | Wooil2 | 17.0 | 3,069 | 10 | 290 | 3.5 | 8.7 |
| | Wooil3 | 33.0 | 5,927 | 15 | 360 | 3.5 | 8.9 |
| | Wooil4 | 13.0 | 2,377 | 10 | 400 | 3.5 | 6.2 |
| | Mean | 24.8 | 4,456 | 12 | 357 | 3.5 | 8.2 |

*RCW: radial collector well

직경과 깊이는 각각 3.5 m와 7.5 m로 동일하다. 4곳의 집수정 중 교촌1 집수정은 주변 테마파크 조성으로 인하여 가동이 일시 중지된 상태이며, 지산1 집수정은 집수정 남쪽의 호암 저수지에 양수하여 지하수를 공급하고 있다. 양범1 집수정은 북쪽의 온수조를 거쳐 인근 지역에 농업용수를 공급하고 있으며, 양범2 집수정은 인근 지역의 북서방향으로부터 북동 방향까지 지하수를 공급하고 있다. 방사상 집수정들이 연중 가동되는 것은 아니며, 주로 관개시기와 가뭄이 지속될 경우 제한적으로 운영되고 있다.

남송 지하담 상류부에 위치한 4곳의 방사상 집수정의 평균 수혜면적은 31.3 ha(19.0~43.0 ha)로, 평균 취수량은 5,875 m³/day(3,500~8,000 m³/day)이다. 수평 집수관 개수는 평균 14개(8~20개)로, 총 길이는 517 m(224~860 m)이다. 수직 우물통의 직경과 깊이는 각각 3.5 m와 9.9 m(8.8~11.3 m)이다. 4곳의 집수정 중 남송 1 집수정은 망천

리 동쪽지역에 급수하고 있으며, 남송 2, 남송 3, 남송 4 집수정들은 관수로가 합관되어 온수조를 거쳐 망천리 남부와 동남부 일대에 급수하고 있다.

옥성 지하담 상류부에는 4곳의 집수정이 설치되어 운영중으로, 평균 수혜면적과 취수량은 각각 36.5 ha(20.4~46.0 ha)와 6,975 m³/day(3,900~8,800 m³/day)이다. 수평 집수관은 평균 19개(11~24개)로, 총 길이는 453 m(286~638 m)이다. 수직 우물통의 직경은 3.5 m이며, 평균 깊이는 11.8 m(10.7~12.4 m)이다. 집수정 중 지하 1과 지하 2 집수정으로부터 양수되는 지하수는 기존에 설치된 관수로에 추가되어 옥성 지구 남측 용수간선으로 연결되며, 지하 3과 지하 4 집수정의 지하수는 옥성 지구 북측 용수간선으로 연결되는 전형적인 ‘용수간선 연동형’ 지하담의 특징을 보여준다.

고천 지하담 상류부에는 5개소의 방사상 집수정이 운영

되고 있는데, 수혜면적과 취수량은 각각 26.9 ha(8.6~37.0 ha)와 5,022 m³/day(3,550~6,940 m³/day)이다. 수평 집수관은 평균 13개(10~16개)로, 총 길이는 470 m(200~650 m)이다. 수직 우물통의 직경과 깊이는 각각 3.5 m와 9.5 m(8.6~10.9 m)이다. 고천 지하댐은 1986년 정읍시 태인면 고천리, 오봉리, 응동면 오성리 일원의 농경지에 지하수 공급을 목적으로 건설되었으며, 1997년 상류부에 오성 저수지가 건설 후 역할 감소가 예측되었다. 그러나 주요 하천인 용호천 바다 고도가 주변 농경지에 비해 높을 뿐만 아니라 충적층 투수계수가 매우 높아, 하천수가 주변 대수층으로 유입됨에 따라 지하댐의 역할이 증가되었다. 취수시설 중 고천 1, 고천 2, 고천 3 집수정은 고천리 및 오봉리 일원에 급수되고 있으며, 고천 4, 고천 5 집수정은 관수로를 통해 남동 방향의 일리 저수지에 지하수를 양수하여 공급하고 있다.

우일 지하댐 상류부에는 4개의 방사상 집수정이 설치되어 있으며, 수혜면적과 취수량은 각각 24.8 ha(13~36 ha)와 4,456 m³/day(2,377~6,452 m³/day)이다. 수평 집수관은 12개(10~15개)로, 총 길이는 357 m(290~400 m)이다. 수직 우물통의 직경과 깊이는 각각 3.5 m와 8.2 m(6.2~9.1 m)이다.

3. 지하댐 이용실태 및 효과

3.1. 상류부 지하수 이용실태

지하댐 상류부의 지하수 취수시설 현황 및 급수체계 파악을 목적으로, 최근 사용이 감소된 우일 지하댐을 제외한 4곳의 지하댐 상류부에 설치된 방사상 집수정으로부터의 지하수 이용량을 비교하였다(Fig. 2).

2012년부터 2015년까지 최근 4년간 방사상 집수정으로부터 취수된 지하댐별 지하수 이용량은, 펌프 유량 및 동

력에 따른 가동시간을 바탕으로 전기 이용량 자료를 기초로 양수량으로 환산된 값을 사용하였다. 분석 결과 상대적으로 가동기간이 적었던 2014년을 제외하고는 전반적으로 지구당 연간 100,000 m³ 이상 지하수가 이용된 것으로 나타났다. 특히 이안 지하댐의 경우 2014년을 제외하고 지하수 이용량이 가장 많은 것으로 나타났으며, 2012년의 경우 연간 800,000 m³까지 이용되었다. 고천 지하댐의 경우 가뭄 심도와 무관하게 연간 200,000 m³ 이상의 지하수가 이용된 것으로 나타났다. 이는 앞서 제시한 바와 같이 고천 지하댐 상류의 용호천의 고도가 높고, 충적층의 투수계수가 높아 하천수의 이용이 용이하지 않기 때문인 것으로 판단된다. 반면 옥성 지하댐은 연도에 따라 지하수 이용량의 편차가 매우 크게 나타나는데, 이는 가뭄기간에 따라 영향을 받기 때문으로 판단된다.

2015년 지하수 이용량 산정결과를 토대로 지하댐별로 월별 지하수 이용량을 비교한 결과, 이안 지하댐은 5월, 6월, 8월에 상대적으로 많은 지하수를 이용하고 있으며, 특히 지산 1 집수정의 경우 해당월 누계 70,000 m³ 이상 이용한 것으로 나타났다. 지하수 이용량이 많은 순서는 대체로 지산 1, 양범 2, 양범 1, 교촌 집수정 순으로 나타났다(Fig. 3).

남송 지하댐은 3월부터 9월까지 지하수가 이용되었는데, 주로 4월부터 7월까지 이용된 양이 전체의 90% 이상으로 특히 남송 2 집수정은 4월, 5월, 7월에 월간 이용량이 20,000 m³ 이상으로 농업용수로의 활용성이 가장 큰 것으로 분석된다. 옥성 지하댐은 농업용수 수요량이 많은 5월, 6월, 8월에 지하수 이용량이 많은 것으로 나타났으며, 특히 지하 1, 지하 2, 지하 4의 이용량이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 고천 지하댐은 4월부터 9월까지 지하수가 이용되었는데, 특히 고천 3 집수정은 5월, 6월, 8월에 월 누계 이용량이 40,000 m³ 이상으로 나타났다.

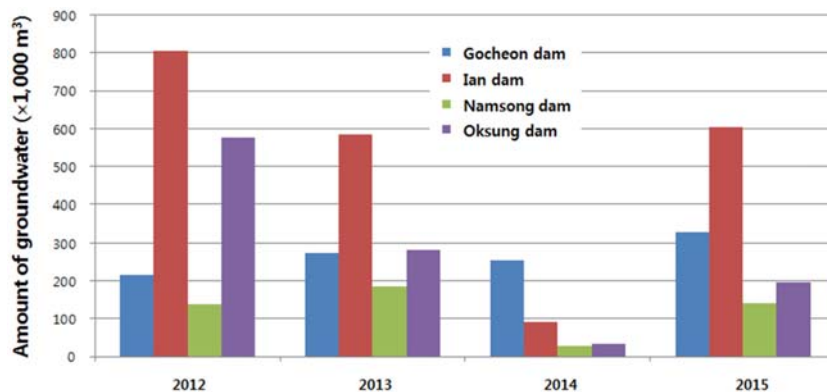


Fig. 2. Comparison of total amount of groundwater obtained from radial collector wells upstream of four subsurface dams (2012-2015).

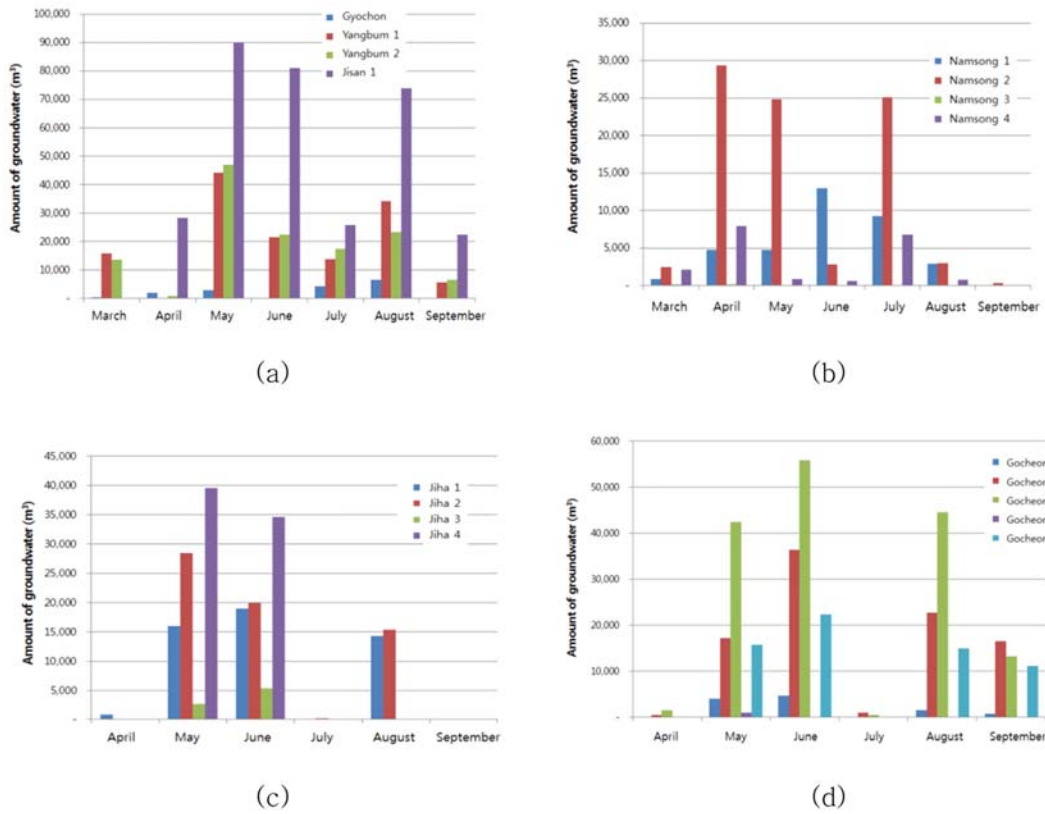


Fig. 3. Monthly amount of groundwater obtained from radial collector wells upstream of (a) Ian, (b) Namsong, (c) Oksung and (d) Gocheon subsurface dam in 2015.

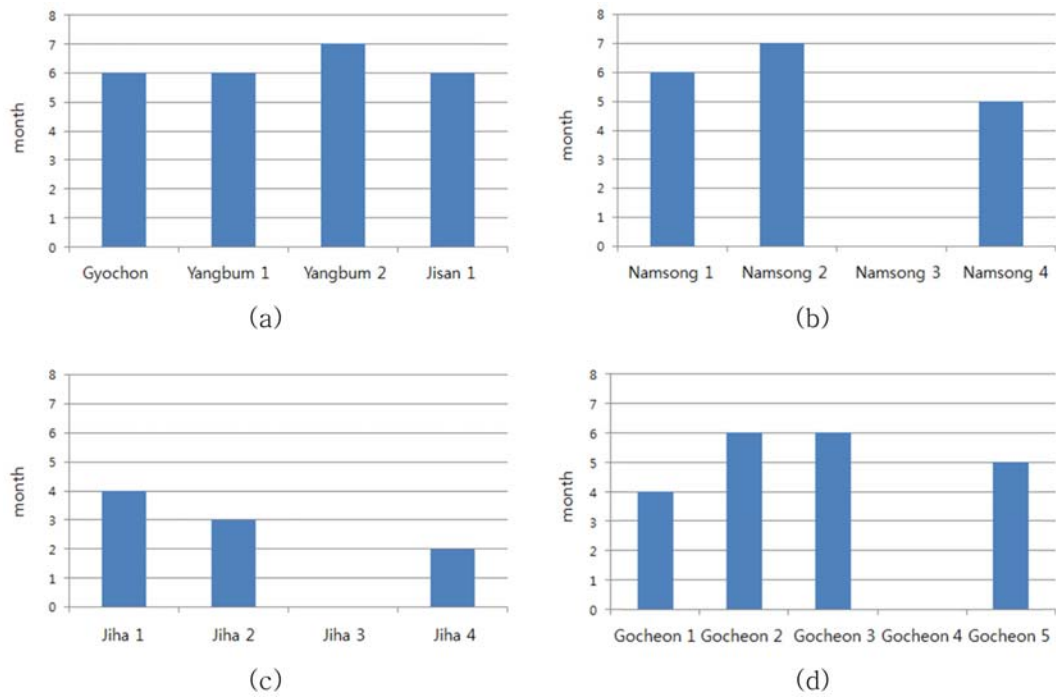


Fig. 4. Average operating period for radial collector wells upstream of (a) Ian, (b) Namsong, (c) Oksung and (d) Gocheon subsurface dam in 2015.

각 지하댐 상류부에 설치된 방사상 집수정의 평균 가동 기간을 비교한 결과, 이안 지하댐의 상류부에 있는 4개의 집수정의 가동 기간이 유사하게 나타나 평균 6.3개월로 가장 긴 것으로 나타났다(Fig. 4). 이에 비해 옥성 지하댐 상류에 위치한 집수정의 가동 기간이 2.3개월로 가장 짧은 것으로 나타났다.

취수시설별로는 이안 지하댐 상류에 위치한 양범 2 집수정의 가동기간이 7개월로 가장 길었으며, 교촌, 양범 1, 지산 1 집수정도 6개월간 가동된 것으로 나타났다. 남송 지하댐의 경우에는 남송 2 집수정이 7개월 간 이용되었고, 남송 1과 남송 4 집수정이 각각 6개월과 5개월간 이용된 것으로 나타났다. 옥성 지하댐은 다른 지구에 비해 가동 기간이 상대적으로 짧았는데, 그 중 지하 1 집수정이 4개월간 가동되어 가장 긴 것으로 나타났다. 고천 지하댐은 고천 2, 고천 3 집수정이 6개월 간 가동되었으며, 고천 5 집수정과 고천 1 집수정이 각각 5개월과 4개월간 가동된 것으로 나타났다.

3.2. 관개 필요수량을 고려한 지하댐 효과

지하댐의 효과를 상대적으로 파악하기 위해 이안, 남송, 고천 지하댐을 대상으로 상류부의 관개(irrigation) 필요수량에 대한 지하수 총 이용량을 평가하였다. 지하댐 상류부의 관개 필요수량 산정방법은 수리시설물 모의조작 시스템(HOMWRS)을 이용하였다(KRC, 2017). 이 시스템은 관개 계획을 수립하기 위해 시설물 설계 단계에서 주로 이용되는 프로그램으로, 저수지 하류부의 관개 필요수량 산정 시 수로 손실이나 수량 감소 시 지연시간 등에 따른 오차가 발생될 수 있다.

지하댐 별 관개 대상은 논과 밭으로 설정하였으며, 관개면적은 지하댐 설계 당시의 농업용수 수혜면적인 몽리면적을 적용하였다. 관개량 계산은 Penman-Monteith식 일별 필요수량 산정방법을 이용하여, 지하수 이용량이 산정된 시기인 2015년으로 기간을 설정하였다. 기상자료는 지구별 인근 기상 관측소 자료를 이용하였다. 포장관리의 수로손실과 삼투량은 농업기반시설 관리시스템 시설 제원의 홍수관리 정보의 값을 준용하였다(RIMS, 2017). 작부 시기는 인근 마을의 청문조사 결과에 따라 이앙재배는 모내기 기간, 이앙 기간, 본답 기간으로 나누어 설정하였다. 벼에 대한 작물계수는 농업용수 개발 필요수량 산정기준을 이용하여, 한 달을 상·중·하로 구분하여 4월부터 9월까지 0.56~1.58의 범위 내에서 값을 입력하였다(KRC, 1980). 밭의 경우 각각의 재배작물에 대한 용수구역별 수로손실, 삼투량 등은 농어촌용수이용 합리화계획 조사요

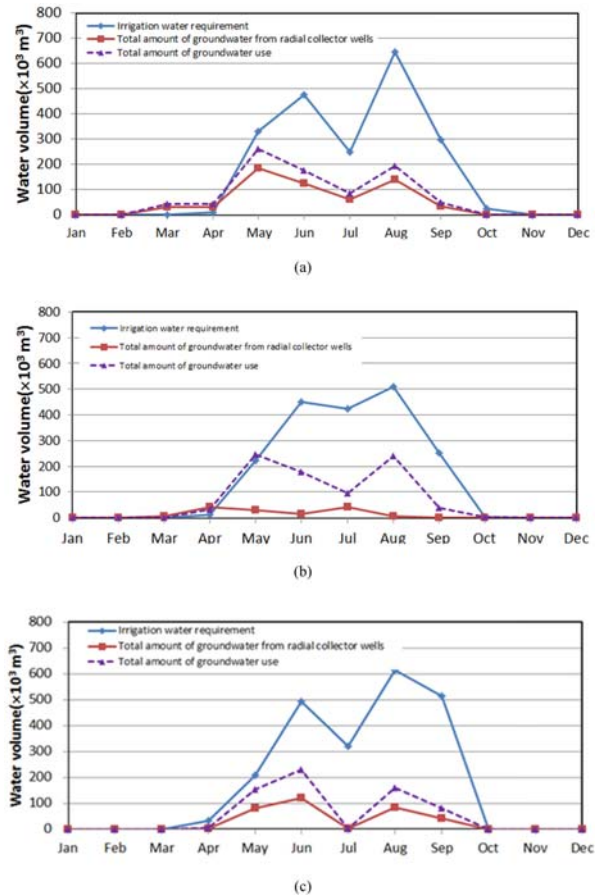


Fig. 5. Total amount of irrigation groundwater obtained from (a) Ian, (b) Namsong, and (c) Gocheon subsurface dams in 2015.

령을 참조하였다(MAFRA, 2014).

앞서 제시한 바와 같이 지하댐 상류부의 대표적 취수시설인 방사상 집수정은 댐건설과 동시에 설치되었지만, 설치 이후의 상류부의 전체 지하수 이용량은 별도로 개발된 지하수 관정이 추가됨에 따라 달라진다. 따라서 이안 지하댐의 경우에는 상류부에서 지하댐 건설 이후 지하수위가 상승하면서 영향을 받을 수 있는 관정들을 개략적으로 선별하면 약 67개 관정이 해당된다. 각각의 관정에 대한 지하수 이용량은 지하수조사연보의 상주 지역 농업용 관정수 11,991개소와 지하수 이용량 44,265,909 m³/년을 고려하여 산정하였다(MOLIT, 2015). Fig. 5(a)는 이안 지하댐 상류부 관개 필요수량 대비 지하수 이용량을 나타낸 것으로, 관개 필요수량의 증감에 따라 지하수 이용량의 경향이 유사하게 나타났다. 특히 이안 지하댐의 경우 방사상 집수정 이용량이 전체 지하수 총 이용량의 약 71%로 나타남에 따라, 지하댐 상류부의 방사상 집수정의 활용도가 매우 높은 것으로 판단된다. 전반적으로 관개 필요수

량 대비 지하수 총 이용량은 약 42%로 나타났다. 월별로 구분하면, 6월은 37%, 7월은 35%, 8월은 30% 수준으로 산정되었다.

남송 지하담은 유역 면적에 비해 방사상 집수정 이외의 지하수 시설 수가 적지만, 포항 지역 농업용 관정 수 대비 지하수 이용량이 매우 많은 편으로 지하담 상류부에 설치된 관정은 약 60개이다. 포항 지역 농업용 관정수 971개소 대비 지하수 이용량 11,189,585 m³/년을 적용하여 지하수 총 이용량을 월별로 산정한 결과는 Fig. 5(b)와 같다. 이안 지하담과는 반대로 지하수 이용량은 방사상 집수정 보다 기타 지하수 관정 이용량이 훨씬 많은 것으로 나타났다. 전반적으로 관개 필요수량 대비 지하수 총 이용량은 약 44%로 나타났다. 6월은 관개 필요수량 대비 지하수 이용량이 39%로 매우 높았고, 7월은 23%, 8월은 47%, 9월은 약 15% 이하의 수준으로 나타났다. 고천 지하담 상류부는 다른 지구에 비해 지하수 관정이 약 115개소로 많이 분포한다. 정읍 지역 농업용 관정수 18,298개소와 지하수 이용량 43,526,308 m³/년을 적용하면 지하수 총 이용량은 Fig. 5(c)와 같이 나타난다. 전반적으로 관개 필요수량 대비 지하수 총 이용량은 약 29%였으며, 그 중 방사상 집수정 이용량은 약 15%로 나타났다. 5월은 지하수 이용량이 관개 필요수량의 약 74%로 매우 높은 것으로 나타났으며, 6월은 약 46%(방사상 집수정 이용량은 약 24%)로 나타났다. 결과적으로 지하담 설치 지역의 전체 관개 필요수량 대비 지하수 총 이용량은 약 29~44%로, 우리나라 전체 논농수 공급량 대비 지하수 공급량인 약 4.6%에 비해 매우 높은 것으로 나타났다 (MAFRA, 2014).

이와 같이 지하담 상류부의 지하수 시설은 충분히 활용되고 있으나, 각각의 지하담은 서로 다른 특성을 가지고 있다. 이안 지하담은 지하담의 효과가 방사상 집수정의 양수량으로 대표되는 반면, 남송 지하담은 전체적으로 지하수 이용이 많고 방사상 집수정을 통한 지하수 공급은 주로 지표수 공급이 불리한 남쪽 지역에 집중되는 것으로 나타났다. 고천 지하담은 하천의 표고가 높고 사질토의 투수성이 높아서 유역 상류에 위치한 오송 저수지로부터 다량의 지표수가 공급되지 않는 한, 하천의 물이 주변 지하수계로 유입되어 지하담에 의한 지하수 공급이 다른 지구에 비해 일정하게 유지되는 특성이 있다.

따라서 지하담 상류부의 방사상 집수정을 포함한 지하수 시설물을 활용한 지하수 이용 특성은, 일반적인 농업용 지하수 관정 활용에 비해 상대적으로 활발한 것으로 판단된다.

4. 결 론

1980년대 농업용 지하담 건설과 함께 상류부의 지하수 시설의 활발한 이용에도 불구하고, 농업용 지하담 설치에 따른 농업용수 추가 확보 및 활용에 대한 체계적인 분석 사례는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 5개소의 농업용 지하담에 대한 분류 및 각 지하담별로 상류부의 취수시설의 가동 상태 등 전반적인 운영현황에 대해 분석하였다. 또한 실제 농업현장에서 급수체계 및 지하담 상류부에서 실제 이용되는 지하수의 양을 파악하여 지하담과 취수시설에 대한 객관적인 평가 자료를 제시하였다.

지하담의 축조방식과 기능을 토대로 상류 유역의 지형, 저수지, 관개시설, 하천, 지하수 시설, 층적층 분포, 하상 퇴적물, 담 하류부 등 다양한 입지조건에 따른 지하담의 유형을 분류하였다. 전체적으로 하천 주변의 지하수 함양에 유리한 지역에 설치된 '하천 유하 공급형'(이안, 고천 및 우일 지하담), 해안 대수층을 통한 해수침투의 영향 방지 및 부족한 용수확보를 위해 설치된 '염수침입 방지형'(남송 지하담) 및 기쁨 시 직접 지하수 공급을 위한 '용수 간선 연동형'(옥성 지하담)으로 구분된다.

이용량 관점에서 5개소 지하담 상류부의 농업용수 사용은 4~5개소의 방사상 집수정을 이용한 다량 취수 방식을 주로 이용하고 있으며, 낮은 수온의 지하수 특성으로 인하여 농업용수 활용 시 온수조 저수 또는 소규모 저류지에 일시적인 저류 후 농경지에 급수되는 방식을 이용하고 있다. 2015년 기준으로 지하담 설치 지역의 전체 관개 필요수량 대비 지하수 총 이용량은 약 29~44%로, 우리나라 전체 논농수 공급량 대비 지하수 공급량인 약 4.6%에 비해 매우 높은 것으로 나타났다. 특히 남송 지하담의 경우에는 유역 남쪽의 지표수 공급이 어려운 지역으로, 농업용수 수요량이 많은 5월의 경우 지하수 이용량이 전체의 80%에 해당되는 것으로 평가되었다. 반면 지하담 설치 후 상류부에 농업용 저수지가 개발된 우일 지하담은, 2000년대 이후 대규모의 하천정비와 더불어 상류부의 지하수 활용도가 매우 떨어지는 것으로 나타났다.

결과적으로 우일 지하담을 제외하고는 농업용수 공급을 위해 건설된 4곳의 지하담은 농업용수 공급에 효과가 큰 것으로 나타났다. 또한 지하담 상류부의 지하수 이용 실태를 기반으로 기쁨을 대비한 농업용수 공급계획을 수립하는 경우, 본 연구결과가 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 한국농어촌공사의 기본연구과제(C2016-0004-1) 지원으로 수행되었습니다.

References

- Booh, S.A., Lee, K.C., Kim, J.S., Jeong, G.C., and Ko, Y.S., 2002, The study on constructing underground wall to prevent seawater intrusion on coastal areas, *J. Eng. Geol.*, **12**(2), 215-234.
- Chung, S.O. and Park, K.J., 2002, Status and prospect of subsurface dam development, Research report of Korea Water Resources Association, 223-250.
- Hanson, G. and Nillson, A., 1986, Groundwater Dams for Rural Water Supplies in Developing Countries, *Ground Water*, **24**(4), 497-506.
- Kim, M.I., Jeong, G.C., and Park, C.K., 2004, A development of dielectric measurement system for detecting physical parameters of ground in subsurface dam, *J. Eng. Geol.*, **14**(4), 361-369.
- Kim, J.T., Chung, I.M., Kim, N.W., and Jeong, G.C., 2011, Feasibility study of a groundwater dam in Osibcheon using SWAT-MODFLOW, *J. Eng. Geol.*, **21**(2), 179-186.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 1980, Estimation of required quantity for agricultural water development.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 1996, A technical study of groundwater dam development in a small basin area, 60-61.
- KRC (Korea Rural Community Corporation), 2017, HOMWRS (hydrological operation Model for water resources system).
- K-water, 2002, Survey report for subsurface dam development plan, 7-1~7-35.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), 2014, Rationalization plan for agricultural water use(2015~2024), 56-57.
- MOLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport), 2015, Annual report for groundwater survey, 13-14.
- Park, C.K., Shin, Y.C., and Park, J.H., 2002, Evaluation of additional water resources by subsurface dam, *Proceeding of Korea Water Resources Association conference(II)*, Korea Water Resour. Assoc., Incheon National University, Korea, p.703-709.
- RIMS (Rural Infrastructure Management System), <http://rims.ekr.or.kr> [accessed 17.02.17]
- Yun, S.H., Park, J.H., and Park, C.K., 2004, A study for reducing sea water intrusion in the ground water dam operation, *J. Korea Water Resour. Assoc.*, **37**(2), 97-108.