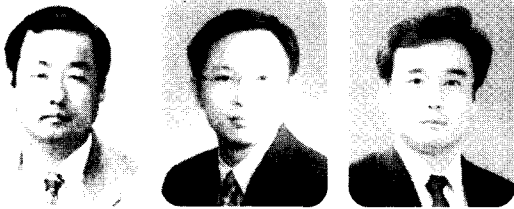


# 중국 산둥성(山東省), 랴오닝성(遼寧省)의 지하댐 이용현황



부성안 | 책임연구원, 농업기반공사 농어촌연구원 수리시험연구실 / booh2700@karico.co.kr

이정철 | 선임연구원, 농업기반공사 농어촌연구원 북한농업연구실 / ljc@karico.co.kr

박창근 | 부교수, 관동대학교 토목공학과 / ckpark@kwandong.ac.kr

## 1. 서론

중국정부는 1949년 정권설립이래 물문제를 해결하기 위해 수자원 개발사업을 적극 추진한 결과 1949년 이전에 23개소뿐이던 중대형 저수지가 현재 85,100개소에 달하고 있다. 적극적인 수자원 개발정책의 추진으로 수자원 이용율은 하이허(海河)유역에서 90%로 가장 높고 후양허(黃河), 후아이허(淮河), 송허(宋河)유역에서는 60% 이상으로 높게 나타나고 있지만 전체적으로는 20%에 그치고 있어 여전히 용수요량을 충족시키기에는 역부족으로 평가되고 있다.

한편, 수자원 이용율이 비교적 높은 후양허, 하이허, 후아이허 등 일부유역에서는 과도한 수자원의 개발로 지표수가 고갈되고 하천의 건천화 및 호수·습지의 축소현상이 발생하고 있으며 지하수 고갈에 의한 지하수위 저하, 지표면 침하 및 연해지역에서의 해수침입 현상이 나타나고 있다. 그 외에 지표수와 지하수의 오염, 토사유실 및 토지의 사막화, 토양의 염해 등도 문제점으로 지적되고 있는데 경제성장에 따른 도시화, 공업화의 진전과 화학비료 및 농약의 사용으로 인한 수질오염도 심각한 수준이다. 특히 후양허에서는 1972년 이래 69차례에 걸쳐 건천화가 발생하였는데 특히 1997년에는 2월 7일부터 12월 31까지 13차례에 걸쳐 총 226일간 건천화 현상이 나타났다.

최근 중국정부에서는 물문제의 심각성을 인식하고

300명 이상의 전문가들이 참여하는 '지속가능 수자원 전략연구단'을 구성하여 2050년까지의 수자원 장기전략을 수립하는 등 대책마련에 나서고 있다.

본고는 2003년 8월과 2004년 10월에 "21C 프론티어연구개발사업(수자원의 지속적 확보기술개발 사업단, 3-6-2과제)"의 일환으로 중국 랴오닝성과 산둥성을 방문하여 파악한 지하댐 건설 및 이용현황에 대하여 소개하고자 한다.

## 2. 지하댐 건설 및 이용현황

### 2.1 산둥성

산둥성은 중국의 연해성의 하나로 후양허의 하류에 위치하며 총면적은 15.67만km<sup>2</sup>이고 총인구는 9,079.31만 명(2000년 기준)이다. 다년평균 수자원 총량은 308억m<sup>3</sup>이며 1인당 수자원량은 연간 344m<sup>3</sup>으로 전국평균의 7분의 1에 그치고 있다.

산둥성에는 천만m<sup>3</sup> 이상인 중대형 저수지가 167개가 있고 후양허 등 지표수가 풍부함에도 불구하고 수자원이 부족하게 된 주된 원인은 우리나라처럼 강우기 3개월의 집중호우와 지하수의 난개발을 들 수 있다. 이로 인하여 2만km<sup>2</sup>에 달하는 지역에서 지하수위 저하가 발생 하였고 연해지역에서는 해수침입적이 1,000km<sup>2</sup>에 달하게 되었다.

산동성 일대의 연간 용수 이용량은 73억 $m^3$ 이며 그 중 지표수는 38억 $m^3$ 이고 지하수는 35억 $m^3$ 으로 지하수 이용 비중이 상당히 높은 편이다. 이 중 지표수는 후양허가 약 50%를 담당하고 그 외 하천에서 나머지를 이용하고 있다. 그러나 수자원 이용율을 보면 지표수의 경우 개발 가능량의 50%인데 반해 지하수의 경우에는 93%에 달하여 지하수 개발이 너무 과도하게 된 것으로 평가되고 있다.

수자원의 연간 부족량은 2000년도에 약 56억 $m^3$



그림 1. 산동성 왕허지하댐 견학

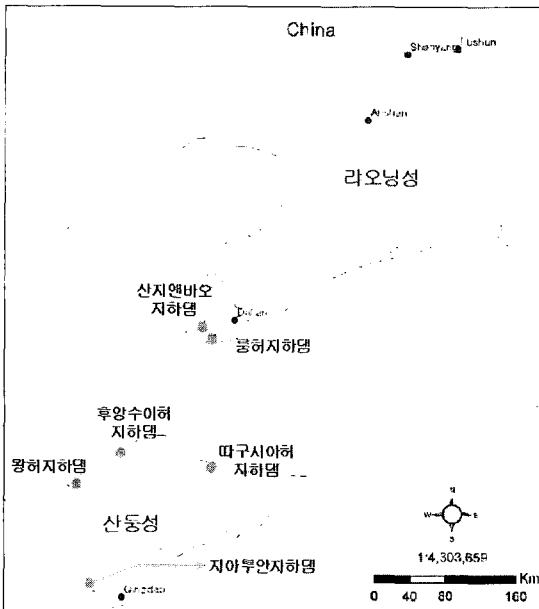


그림 2. 산동성과 랴오닝성 지하댐 위치도

이였으며 평균적으로 평수년에는 80억 $m^3$ , 갈수년에는 150억 $m^3$  정도이고 2010년에는 200억 $m^3$ , 100년 후에는 400억 $m^3$ 에 달할 것으로 예측하고 있어 (2004, 산동성 수리과학연구원 자료) 수자원 공급량이 급변하는 경제발전을 뒷받침하지 못하고 있다.

이를 해결하기 위한 방안으로 다방면의 수자원 개발과 절수 정책을 추진하였는데 지하댐건설이 최대 대안으로 선택되었다. 즉, 과잉채수로 인한 수위저하, 수위저하로 인한 해수침투의 악순환이 계속되면서 생태환경문제 발생과 용수부족 현상이 초래되었는데 이의 해결방안으로 지하댐을 건설하게 되었다. 산동성에는 후양수이허, 지아투안 및 앤타이시 따구시아허 (煙臺市 大沽夾河) 지하댐 등 시공완료 된 3개소와 시공 중인 왕허지하댐이 있고 그 외에도 2010년까지 6개의 지하댐을 추가로 시공하고자 계획하고 있다.

■ 룽커우시 후양수이허 (龍口市 黃水河) 지하댐

후양수이허지하댐은 1998년 약 100억 위안(元)의 사업비를 투자하여 후양수이허 말단부의 해안에서 1.2km 위치에 건설된 지하댐인데 바다 쪽으로 유하하는 지하수의 흐름을 차단하여 저류하는 지하저수지와 내수 축제로의 해수침투를 막는 염수침투방지용으로서의 두 가지 기능을 수행하고 있다. 지하댐의 유역면적은 1,023 $km^2$ , 저수용량 5,359만 $m^3$ , 최대 조절용량 3,929만 $m^3$ , 1일 사용량 약 107,640 $m^3$ , 연간 사용량 3,929만 $m^3$ 이고 지하댐 내용적은 16만 $m^3$ 로 중국 최대 규모로 알려져 있다.

산동성 지하댐의 특징은 댐 축 일부 구간의 물막이벽 직상부 지표에 충수식(充水式) 고무 보(Rubber weir)를 설치하거나 대형 수력자동제어식 철근콘크리트 구조의 보를 설치하여 지하수 및 지표수를 동시에 저류시키도록 하고 있다.

물막이벽은 길이가 5,996m, 평균깊이 26.7m, 최대깊이 40.1m로서 시멘트재료를 이용한 고압분사그라우팅공법을 사용 하였다. 특히 지하수의 오염방지를 위해 길이가 38.6km에 달하는 오페수 배출관로 체계가 연계되어 있다. 고무 보는 두께 6~8mm의 고

무와 비닐합성재로 만들어져 있는데 보 하나의 길이가 67.8m이고 높이는 2.5m로서 내부에 물을 채워두었다가 홍수시 물을 빼서 지표수를 배제하는 방법을 사용하고 있다. 철근콘크리트 보에는 20×2.5m 규격의 8련 전동식 게이트와 폭 2m인 2련의 인상식 게이트가 설치되어 있는데 수위가 2.6~2.8m에 도달할 경우 수문이 자동으로 전도되어 배출을 하게 된다.

특히 본 지하댐은 후양수이허유역 수자원종합개발 사업의 일환으로 건설된 것으로 상류부의 왕우(王屋) 저수지(유역면적 320km<sup>2</sup>, 저수용량 14,900만m<sup>3</sup>, 유효 관개면적 6,000ha), 유역 중하류 지역에 설치한 복합적인 수원함양 집수정(얕은 심도의 인공함양정 2,218공, 비교적 깊은 심도까지 기계굴착 한 인공함양정 300공, 침투지법(浸透池法)을 적용한 집수침투지 773개, 지하트렌칭 침투법을 적용한 집수암거 448개), 유역 본류의 중하류 처까오(側高), 뤼지아(呂家), 시장지아(西張家), 미요구어(妙果), 후양허잉(黃河營) 등 6개소에 설치한 철근콘크리트 보(6개 보의 1회 저수능력 360만m<sup>3</sup>, 연간 용수 총이용량 1,000만m<sup>3</sup>), 유역 중하류지역 공업지역에 설치한 공업폐수 집중배출시스템과 유역 전체를 대상으로 하는 수질감시관측망과 하나의 시스템으로 연계되어 있다.

■ 라이저우시 왕허(萊州市 王河) 지하댐

왕허지하댐은 총 15,186만 위안의 사업비를 투입하여 건설하였으며 저수면적은 68.49km<sup>2</sup>이고 총저수량

은 5,693만m<sup>3</sup>이고 물막이벽의 총 연장은 170km 이다. 수원시설로는 충수식 고무 보, 전동식 자동자동보, 지하댐 및 지하수 함양시설이 있고, 공급시설로는 1일 공급능력이 1.5만m<sup>3</sup>인 정수장 1개소, 수원지 1개소 및 1급, 2급 취수펌프장 및 급수관로가 있다.

본 지하댐 역시 라이저우시 해안지역을 광범위하게 침투한 해수로 인한 용수공급 문제를 해결하기 위하여 건설 중에 있는데 물막이벽은 후양수이허지하댐과 같이 시멘트재료를 이용한 고압분사그라우팅공법을 사용하여 완공 하였다.

특히 본 지하댐에는 시로부터 지질환경처리시범구로 지정된 대규모 저류지(지표수를 저류시켜 지하 대수층으로 함양시키는 시설)가 있는데 그 옆에 또 하나의 저류지를 건설하고 있다. 이 저류지 들은 왕허 본류까지 도수로가 연결되어 있어 풍수기에 왕허의 물을 퍼 올려 저류지에 유입시킬 수 있도록 하고 있다.

■ 지아오저우시 지아투안(膠州市 賈疇) 지하댐

지아오저우시 리거주양(李哥庄鎮)의 따구허(大沽河) 주 하도상에 위치하는 본 지하댐은 칭다오시(靑島市) 관할의 주요 수리시설로서 1999년 3월 25일 착공하여 동년 8월 30일 준공하였는데 총사업비는 1,600만 위안이 투자되었다.

주요 시설로는 충수식 고무 보, 충수·배수용 펌프장 및 교량이 있다. 고무 보의 총 길이는 343.8m로 5련식이며, 보 의 규격과 이용방법은 후양수이허지하

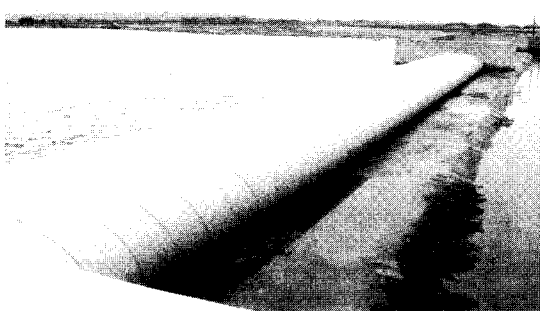


그림 3. 지하댐 상부 충수식 고무 보

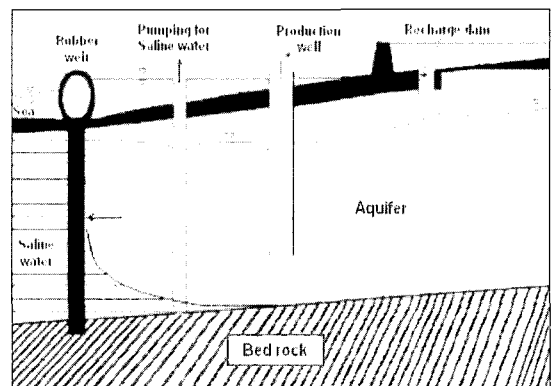


그림 4. 산지앤바오 지하댐의 공중별 설치 단면 모식도

댐과 같다. 보의 저수량은 370만 $m^3$ 으로 따구허 양안의 지하수를 효과적으로 보충함으로써 도시 및 농촌 지역의 신규 수원지로서의 기능을 충실히 수행하고 농업의 발전을 도모하고 있다.

## 2.2 라오닝성

라오닝성(遼寧省) 지역은 1995년부터 해수가 내륙으로 약 5km 정도까지 침투하고 그 면적이 1,500 $km^2$  달하는 심각한 상황이 발생하자 수법개혁의 단초가 되었으며 지하수오염과 용수부족 현상을 해소하고자 지하댐을 건설하게 되었다.

라오닝성에는 다렌시(大連市)에 룡허(龍河)지하댐과 산지엔바오(三澗堡)지하댐 등 2개의 지하댐이 1999년에 착공된 후 2003년에 완공되어 사용되고 있으며 추가로 1개소가 계획 중에 있다.

### ■ 룡허(龍河) 지하댐

다렌시 뤼순커우(旅順口)에 위치한 룡허에 라오닝성 수문지질공정지질감찰원(水文地質工程地質勘察院)에 의해 시공된 룡허지하댐은 물막이벽의 길이가 460m, 최대높이 12m, 평균높이 8m, 총저수량 64만 $m^3$ 의 염수침입방지형 지하댐으로 물막이벽은 고압분사주입공법으로 시공되었다. 댐 축의 일부는 물막이벽 직상부 지표에 충수식 고무 보를 설치하여 지하수 및 지표수를 동시에 저류시키도록 하였다. 보는 두께 6~8mm의 고무와 비닐합성재로 만들어져 있는데 고무 보 하나의 길이가 60m 이고 높이는 2.75m 로서 산동성의 것과 동일한 방법으로 사용하고 있다.

### ■ 산지엔바오(三澗堡) 지하댐

본 지하댐은 발해만으로 흘러드는 소하천의 유역에 설치되어 있는 염수침입방지형 지하댐이다. 산지엔바오 지역은 지하수의 과잉양수로 인하여 해안으로부터 약 5km 정도까지 염수가 침입하여 있는 곳으로 해수의 침입을 방지하고 농·공용수를 확보하기 위하여 해안에서 약 200m 떨어진 곳에 저류유역 978ha, 총저

수량 614.2만 $m^3$ , 유효 저수량 344.5만 $m^3$ , 연간 취수 가능량 447.5만 $m^3$  규모의 지하댐을 설치하였다.

이 댐 역시 1.2km에 달하는 지하 물막이벽을 설치하고 지상에는 충수식 고무 보를 설치하여 지하수와 지표수를 동시에 저류시키도록 하였는데 규격은 룡허지하댐의 것과 동일하다. 댐 축 일부에는 높이 2m, 길이 400m의 염수침입방어벽이 설치되어 있고, 상류부에는 제방의 일부를 이용하여 홍수조절겸 지표수함양을 위한 높이 1.2m, 길이 75m의 홍수방어벽 3개소가 설치되어 있으며 저류층으로 지표수를 유입시키는 인공 주수시설로 길이 50~100m의 침투구(構) 300개와 주수정(井) 2,000개가 시공되어 있고, 취수정과 물막이벽 사이에 염수배수정 4개 공과 저류유역내의 오수 배제를 위한 배수관로 15km 및 관측정 15공이 설치되어 있다.

## 3. 맺음말

중국은 우리나라와 비슷한 1980년대 초부터 지하댐 개발을 시작하였는데 우리나라와 달리 1980년대 후반부터 유역 전체를 대상으로 하는 유역종합정비 시스템식 모델을 창출하였으며 유역의 단계적 개발, 개발과 정비의 병행, 지표수와 지하수의 연계운영관리 등 여러 측면에서 귀중한 경험을 축적한 것으로 평가되고 있다.

특히 산동반도 「후양수이허유역 수자원종합개발사업」으로 시행된 후양수이허지하댐은 해안지역의 수자원 개발 및 이용의 최적 모델로 평가받고 있으며 실제로 현재 산동반도에서 지하댐이 이미 개발되었거나 개발 예정인 지구에서 동일한 개발 및 이용 시스템이 적용되고 있다. 지하댐과 연계한 수자원의 종합적인 개발로 수자원환경 개선, 토사유실 감소, 수자원의 수요와 공급간 격차 완화, 경제건설 및 생활에 필요한 용수문제 해결 등의 효과를 거두고 있는 것으로 알려지고 있으므로 최근 환경 문제, 토지보상 문제, 저수지내 탁도 문제 등으로 저수지의 신규개발이 점점 어려워지고 있는 우리나라의 경우에도 적용할 가치가 충분히 있다고 생각한다.