

# 해수양수발전소 국내 건설 타당성 조사

A Feasibility Study on Sea Water Pumped Storage Power Plant in Korea

○오이성\*, 이대수\*\*, 홍성표\*\*\*

## 1. 서론

우리 나라는 근래 지속적인 산업화를 통하여 국가경제성장 및 국민생활수준이 향상됨에 따라 전력수요가 계속적으로 급증하고 있으며, 이러한 전력수요에 대응하기 위하여 대용량의 화력발전소와 원자력발전소 추가건설을 통한 기저부하 확충이 요구되고 있다. 이에 따라 에너지수요와 대응하는 첨두부하에 대처하기 위하여 양수발전소의 지속적인 증설이 필요한 실정이다.

우리 나라는 2010년까지 12기의 양수발전소를 추가로 건설할 예정이며 계속적으로 양수발전소 건설 후보지 조사를 실시하고 있다. 그러나 국내의 지형학적 여건상 양수발전소 건설 후보지 확보에 많은 어려움이 있는 실정이며, 앞으로 양수발전소 건설 입지의 고갈이 예상되고 있다. 또한 연중 강우량의 2/3가 6~9월에 집중되는 국내의 강우특성상 이용 가능한 수자원이 제한적이고 현재 물 수요가 계속적으로 급증하고 있는 추세이기 때문에 앞으로 수자원 개발 및 이용에 많은 어려움이 예상되고 있다. 여기에 각종 환경규제의 강화와 여건변동에 따른 지역이기주의의 재 표출로 인하여 향후 경제적인 양수발전소 건설 입지 확보에 더욱 어려움이 가중될 우려가 있다. 따라서 앞으로 예상되는 입지확보상의 어려움에 유연하게 대처하고 향후 안정적 전력 공급을 위하여 혁신적인 새로운 방식의 발전시스템 개발이 필요하다.

이에 본 연구는 현재 일본 오끼나와에 건설중인 세계 최초의 해수양수발전소 건설자료를 활용하여 건설시 적용된 신기술 및 특수재료와 입지조건에 대하여 분석하고 이에 대비되는 국내의 기술현황 및 제반여건을 조사·분석함으로써 해수양수발전소 국내 건설 타당성에 대한 사전조사와 실제 건설에 필요한 필수 확보기술을 제시함으로써 해수양수발전소의 국내 건설을 위한 기초자료를 제공하고자 한다

## 2. 국내 양수발전소 현황

### 2.1 일반현황

현재 국내에는 3개 지점에 양수발전소가 건설되었으며 총 6기가 운전중이고 총 설비용량은 약 1,600 MW이다. 또한 양양과 산청에 각각 1,000 MW와 700MW용량의 양수발전소 건설이 진행 중에 있으며 청송양수와 예천양수발전소 건설이 계획되고 있다. 국내양수발전소의 운전 및 건설관련 현황은 다음의 표 2.1과 같다.

\* 한국전력공사 전력연구원 일반연구원  
\*\* 한국전력공사 전력연구원 선임연구원  
\*\*\* 한국전력공사 서울연수원 부교수

표 2.1 국내 양수발전소 운전 및 건설현황

구분	발전소명	용량
운전중인 발전소	청평양수	206,000 × 2 = 412,000 kW
	삼랑진양수	300,000 × 2 = 600,000 kW
	무주양수	300,000 × 2 = 600,000 kW
건설중인 발전소	양양양수	250,000 × 4 = 1,000,000 kW
	산청양수	350,000 × 2 = 700,000 kW
건설 예정인 발전소	청송양수	600,000 kW (2005. 10월 준공)
	예천양수	800,000 kW (2008. 10월 준공)

## 2.2 건설여건 및 향후전망

현재 국내에서는 환경단체들이 양수발전소 건설에 따른 각종 환경영향측면의 이유를 들어 양수발전소 건설을 지속적으로 반대하고 있다. 그러나 지방 자치단체와 지역주민들은 양수발전소 건설시 사회간접자본 확충에 따른 부가적인 지역개발과 양수발전소의 관광자원화에 따른 지역홍보 및 휴식공간 제공 측면에서 양수발전소 건설에 긍정적인 반응을 보이고 있다. 그러나 우리 나라의 지형학적 여건 및 강우특성상 양수발전소 건설 가능지점의 고갈이 예상되고 있으며, 수자원 부족현상이 예상되고 있다. 또한 각종 환경규제의 강화와 지역이기주의의 표출로 경제적인 입지확보에 상당한 어려움이 예상되므로 이에 대비한 새로운 개념의 발전방식 개발이 요구되고 있다.

## 3. 오키나와 해수양수발전소

### 3.1 해수양수발전소의 개요 및 일반현황

해수양수발전소는 재래식 양수발전소의 기본원리와 같으나 발전용수로 해수를 사용함에 따른 신기술 적용 및 환경보존을 고려하여야 한다는 차이점이 있다. 오키나와 해수양수발전소 프로젝트는 순수히 신기술 및 신 에너지 개발에 대한 일본정부의 강력한 의지에서 시작되었다. 또한 오키나와는 섬이라는 특성 때문에 담수를 이용한 양수발전에 한계가 있어 해수를 이용한 양수발전소 사업의 현실화가 조성되었으며, 국토의 효율적 활용측면에서 국토의 전면이 바다로 둘러싸여 있는 지형적인 특성을 감안하여 해수양수발전소를 건설하고 있다. 일본 해수양수발전소는 총 공사비가 약 미화 3억불이 소요되며 1991년에 착공되어 1999년에 완공예정이다. 96년 4월 현재의 공정율은 65%이며 그중 토목공사는 95%이상의 공정율을 보이고 있다. 아래 그림 3.1에서는 오키나와 해수양수발전소의 종단면도를 보여주고 있다.

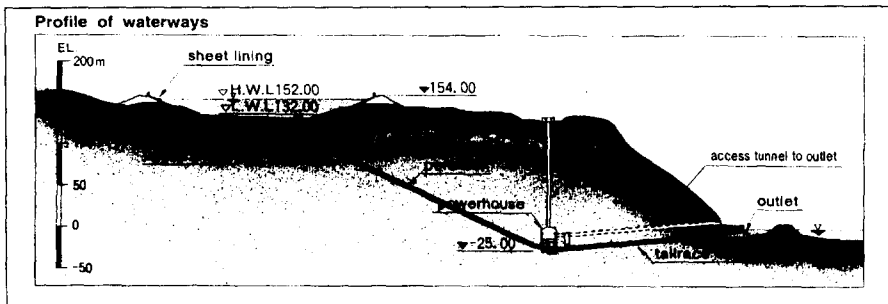


그림 3.1 해수양수발전소 종단면도

### 3.2 환경보존 고려사항

강 또는 저수지 등의 담수를 사용하는 재래식 양수발전소와는 달리 해수양수발전소는 해수를 발전용수로 사용함에 따라 환경영향을 최소화 하- 위하여 많은 경제적·기술적 투자를 하였다. 특히 주변 생태계 보존을 위하여 프로젝트 이전 및 건설 중에 지역주민, 학자, 기술자 등으로 구성된 환경위원회에 의해 환경영향평가가 수행되었다.

#### 가. 방류구 방류속도 감소

발전 방류수에 의한 주변 해양생물의 영향을 완화시키기 위하여 방류구 외곽에 약 900개의 TTP로 방파제를 설치하여 발전시 방파제 사이로 방류되는 해수 유속이 대략 10cm/sec로 감소되었다.

#### 나. 흙탕물처리 및 대기 염류 함유량 계측

상부저수지 주변의 하류사면에 5개의 토사유출 방지둑을 설치하여 건설부지에서 발생한 흙탕물을 포집한 후 수중 펌프로 상부 임시 저수지로 배송하여 그 옆의 수 처리장에서 전량 처리한다. 또한 염류량 계측기를 설치하여 주변 대기의 변화를 계속적으로 계측하고 있다.

#### 다. 동물보호

해수양수발전소 주변 도로 양단에는 경사형 측구를 설치하여 작은 동물들이 측구에 빠졌을 경우 경사면 방향으로 쉽게 빠져나올 수 있도록 설계되었으며, 이들이 건설지역에 접근하지 못하도록 높이 30cm, 폴리에틸렌(Polyethylene)으로 만들어진 울타리를 건설지역 주위에 설치하여 건설장비 및 기타 사고요인으로부터 동물을 보호하도록 고려하였다.

### 3.3 신기술 적용

일본 오키나와 해수양수발전소는 해수를 발전용수로 사용함에 따라 발생하는 주변 동·식물에 미치는 환경영향을 최소화하고, 해수 누수에 의한 토양 오염방지 및 해수에 의한 기기 부식방지 등 새로운 발전시스템의 장기적 내구성을 위하여 여러가지 신기술을 적용하였다.

#### 가. EPDM 고무시트 사용

해수 누수에 의한 토양 오염을 방지하기 위하여 EPDM(Ethylene Propylene Dien Monomer)고무시트를 상부저수지 표면차수재로 사용하였다. EPDM은 내구성, 안전성, 차수기능 및 기상 저항 특성이 우수하며 재료 설치가 용이하다. EPDM 고무시트는 저수지 전체 표면에 50cm 두께 자갈층으로 시공된 배수층 위에 2.0mm 두께로 설치되었다.

#### 나. FRP 수압관

FRP 파이프는 해수에 대한 내식성이 강하고 코팅 강관보다 해양유기체 흡착이 어려운 재료성질을 갖고있어 수압관의 300m 직선 구간에 사용되었다. 이는 매립식 수압관의 재료로 세계 최초로 사용된 것이며, FRP 파이프는 내마모성, anti-acid 및 anti-alkali 특성을 갖는 보호층과 섬유 유리 수지를 주입한 FRP층으로 구성되어있다.

다. 펌프수차와 발전전동기

펌프수차 날개 및 유도 날개(Guide Vane)의 재료는 Anti-cavitation, 내마모성 및 방식성 등의 특성을 가져야 함을 고려하여 Austenite 스테인레스강을 사용하였으며, 고효율의 발전 및 펌핑을 위하여 유도날개(Guide Vane) 개방(G.V.O)조절을 통하여 오로지 발전 운전시에만 자동 주파수 조절 (Automatic Frequency Control)운전이 가능한 종래의 양수발전 시스템과는 달리 설비의 회전속도 조절을 통하여 양수운전 중은 물론 발전운전 중에도 자동 주파수 조절운전이 가능하도록 설계되었다.

3.4 경제성 평가

해수양수발전소 후보지 조사를 통하여 오키나와에 약 4개 지점의 후보지를 선정하였으며 이들 후보지들의 개발시 경제성 판정을 위하여 아래의 식을 사용하였다.

$$L / H \leq 10$$

여기에서 L : 수로길이 ( 2.5 km 이내 )

H : 수두

위의 식에서 임의 후보지 건설시 수두에 대한 수로길이의 비가 10 이하일 경우 해수양수발전소개발에 경제성이 있는 후보지로 판정된다. 이때 수로의 길이는 2.5km이내이어야 하고 건설 후보지는 해안으로부터 3km이내에 위치해야만 경제성 있는 건설이 가능하다. 또한 1호기의 설비용량이 20-30만kw 이상일 경우에 경제성이 충분한 것으로 분석하였다.

4. 국내건설 타당성 조사

4.1 신기술관련 국내현황

가. 차수용 고무슈트

현재 국·내외에서는 일본 해수양수발전소에 사용된 EPDM 고무슈트보다 재료성질이 우수한 제품들이 다수 조사되었다. 미국 GUNDEL사의 제품인 HDPE(High Density Polyethylene)슈트의 경우 EPDM슈트보다 재료성질이 매우 우수한 것으로 나타났으며, 국내에서 생산되는 PVC(Poly Vinyl Chloride)슈트 또한 EPDM과 비교할 때 비교적 우수한 재료성질을 갖고 있는 것으로 조사되었다. 또한 국내에는 각종 고무슈트에 대한 재료특성 자료를 다량 보유하고 있으며 해수양수발전소 표면차수재의 재료요건에 만족하는 차수재의 생산이 가능하다. 또한 고무슈트를 주로 사용하는 폐기물 처리장 및 쓰레기 처리장 건설을 통하여 풍부한 시공경험을 보유하고 있다.

나. FRP 파이프

국내에는 현재 사용되는 수지의 성분에 따라 3 - 4 종류의 FRP 파이프가 생산되고 있으며, 오수 및 폐수 등의 환경배관, 유류 등의 배관, 고온의 액체배관, 해수배관, 상수도 및 식품공업의 배관 등으로 다양하게 사용되고 있다. 현재 생산되는 FRP파이프는 제품의 재료성질이 우수하여 축방향 및 원주방향의 인장강도와 압축강도가 해수양수발전소에 적용될 수 있는 충분한 강도를 가지고 있고 내식성과 내마모성이 탁월하나 양수발전소에 적합한 2.4m 이상의 대구경

FRP 파이프는 현재 국내에서 보유하고 있는 장비로는 생산이 불가능한 상황이다. 그러나 97년 후반기 이후에는 대구경 제작용 기계를 도입할 예정이어서 국내에서 직경 2.0m 이상의 대구경 FRP 파이프 생산이 가능하게 될 것이다. 또한 이미 다양한 산업분야에서 각종 유체 이송에 FRP 파이프를 사용하고 있기 때문에 FRP 제작 및 시공상의 경험이 풍부하여 해수양수발전소 건설시 국내 자체기술력만으로 수압관 제작 및 시공이 가능하다.

#### 다. 기기 부식방지를 위한 특수 스테인레스강

국내에서는 원자력 발전소의 취수 설비 제작에 이미 특수 스테인레스강을 사용하고 있으며 수차례의 설비제작을 통하여 특수 스테인레스강에 대한 풍부한 자료를 보유하고 있기 때문에 해수양수발전소에 사용되는 내식성 및 내마모성의 기기 제작에 어려움이 없을 것으로 조사되었다. 또한 최근 가격이 싸고 내식성도 우수한 SR-50A 슈퍼스테인레스강이 개발됨으로써 제작비 절감 및 기기 품질 향상이 가능하게 되었다. 그러나 이러한 초내식성을 갖는 특수 스테인레스강은 강성이 매우 높기 때문에 용접시와 절단시에 많은 어려움이 따르는 단점을 안고 있다.

### 4.2 해수양수발전소 국내 건설 가능지점

일본 해수양수발전소 건설 후보지 선정기준을 고려하여 한국전력공사는 국내 3개 해안을 대상으로 도상검토를 실시하였으며 약 31개 건설 가능 후보지가 조사되었다. 이 결과를 근간으로 31개 후보지를 3개 해안으로 대분하여 분석을 실시한 결과 동해안과 남해안이 비교적 입지조건이 우수하였으며 특히 동해안은 표 4.1에서와 같이 해수양수발전소 건설 후보지로서 우수한 조건을 갖고 있다.

표 4.1 해안별 후보지 분석 결과

구 분	동 해 안	서 해 안	남 해 안
고낙차 확보	용이	어려움	비교적 용이
조위변동	거의없음 (0.3m - 1.6m)	매우심함 (5m - 9m)	다소심함 (2.7m - 4.0m)
부지확보여건	비교적 양호할 것으로 예상	-	수산자원보전지구 및 해상국립 공원으로 지정된 지역이 비교 적 많음.
후보지현황	15개 지점	-	16개 지점
건설 적합성	최적함	부적합	적합

### 4.3 경제성 평가

국내 31개 건설 가능 후보지중 후보지점을 대상으로 경제성 평가를 실시한 결과 해수양수발전소와 대체화력의 건설 및 운영에 소요된 총 비용비 즉, 비용대 편익비(B/C)를 보면 해수양수발전소와 LNG복합의 경우 1 : 1.45로서 경제성이 비교적 우수하게 평가되었으며, 일본 오키나와에서 사용된 경제성 판별식 ( $L / H \leq 10$ )을 후보지점에 적용한 결과 수두에 대한 수로의 비가 약 9로서 경제성이 충분한 것으로 판정되었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 지속적인 전력수요 증가에 대처하고 각종 환경규제와 국내의 강우특성 및 지리적인 여건상 향후 예상되는 재래식 양수발전소의 경제적인 입지지점 고갈에 대비함으로써 장기전력 수급의 안정을 도모하고자 새로운 발전 방식인 해수양수발전소의 국내 건설 타당성 조사를 실시하였다. 이를 위해 일본 오키나와 해수양수발전소 건설에 적용된 특수재료와 신기술에 대한 분석을 통하여 이에 대비되는 국내의 관련기술 및 입지여건에 대한 조사·분석을 실시하였으며, 경제성있는 해수양수발전소 건설시 요구되는 필수 확보기술을 제시하였다.

- 일본 오키나와 해수양수발전소에 적용된 주요 신기술 :
  - 상부저수지 차수재로 EPDM 고무시트 사용
  - 수압관으로 FRP 파이프 사용
  - 펌프수차의 재료로 Austenite 스테인레스강 사용
- 타당성 분석 :
  - 국내 기술력으로 해수양수발전소 건설시 재료 및 시공상에 큰 문제점이 발생되지 않을 것으로 분석됨
  - 국내에는 해수양수발전소 입지 조건을 만족하는 약 31개 지점이 조사되었음.
  - 현재 기술여건상 해수양수발전소는 재래식 양수발전소 건설에 비해 경제성이 매우 떨어지는 단점이 있으나 지속적인 재료개선을 통한 건설 단가 감소와 기술개발을 통하여 재료기능을 향상 시킨다면 향후 경제적인 대용량의 해수양수발전소 건설이 가능함.
  - 향후 예상되는 재래식 양수발전소 건설 입지의 고갈에 대비하고, 삼면이 바다인 국토의 효율적 활용과 새로운 에너지자원 개발 및 신기술 개발 차원에서 해수양수발전소의 국내 건설을 위한 지속적인 해외 연구동향 파악이 필요함.
- 경제성있는 해수양수발전소 건설을 위한 필수 확보기술 :

향후 환경영향 및 경제성을 고려한 대용량의 해수양수발전소를 건설하기 위해서는 아래 사항에 관한 기술확보가 필수적으로 요구된다.

  - 고무시트의 태양광 노출에 의한 기능저하 방지
  - 수압의 증가에 따른 고무시트의 기능저하 방지
  - 방수 확실성을 위한 고무시트 연결부위 기능 강화
  - 사고시 누수에 대비한 상부저수지 구조개선
  - 고낙차에 적용가능하며 내부식성이 강한 FRP 파이프 및 펌프수차 개발

## 5. 참고문헌

1. "산청양수 1,2호기 설계(해외교육보고서)" 한국전력공사, 1995
2. "해수양수지점 개발계획 기술 제안서" (주)삼림컨설팅, 1995. 8
3. "International Water Power and Dam Construction" Reed Business Pub. 1985 - 1995
4. Tetsuo Nishigori, Yoshiki Onoi "Seawater Pumped Storage Power Plant Construction in OKINAWA" Internatioanl Symposium on Pumped Storage Development, 1994