가로림만 조력발전소 건설의 영향과 지역의 대응전략

A Study on the Influence of Garorim Bay's Tidal Power Generation Construction and Region's Counrermeasure

이 상 엽 (한서대학교 내포지역발전연구소장, 행정학과 교수)

This study is to search of the influence and impact of Garorim Bay's tidal power generation and region's countermeasure. The basic content and history of tidal power generation are introduced. The impact by tidal power station itself may not be significant compared to the total impact anticipated by comprehensive adjacent area development plan.
This study is emphasized on the environmental impact, related problems, possible improvement measures and regional development plan.

키워드 : 조력발전, 가로림만, 지역발전, 환경영향, 지역발전계획

Key Words : tidal power generation, Garorim Bay, regional develpoment, environmental impact, regional development plan

Ⅰ. 서 론

현대 산업사회를 지탱하는 에너지원의 대부분은 석탄, 석유, 천연가스 등의 화석연료이며, 석유는 세계 에너지 소비량의 약 40%를 차지한다. 전 세계 석유 매장량은 약 50년 이내에 고갈될 것으로 전망되고 있어 화석연료를 대체할 수 있는 새로운 대체에너지원의 개발이 시급하다. 또한 화석연료 사용으로 발생하는 CO_2는 지구온난화의 주범으로 온실가스 총 배출량의 약 80%를 차지하고 있다. 대기중의 온실가스는 지표로부터 방출되는 적외선을 흡수함으로써 대기온도를 상승시켜 사막화, 해수면 상승, 생태계변화 등 전 지구적인 악영향을 초래하여, 인류의 생존을 위협하고 있어 청정대체에너지 자원개발은 지구적 당면과제가 되고 있다.

해양에너지 자원은 재생 가능하여 자원의 고갈 염려가 없다. 일단 개발만 되면 태양계가 존속하는 한 이용 가능하고, 오염문제가 없는 무공해 청정에너지라는 이점도 있다. 그러나 해양에너지는 에너지의 분포밀도가 낮기 때문에 현재까지 개발된 타 에너지원에 비해 발전단가가 상대적으로 비싼 단점이 있다. 해양에 부존되어 있는 조석, 조류, 파랑 해양온도차 등 해양 에너지는 부존양이 막대하고 무공해 청정에너지이기 때문에 대체 에너지자원으로서의 가치가 아주 높다.

오늘날 실용화되고 있는 해양에너지는 바다의 밀물과 썰물의 차이를 이용하는 조력발전이 주종을 이룬다. 인류는 벌써 오래 전부터 이런 조류를 이용해 왔다. 예컨대 11세기에 프랑스에서는 조류로 수차를 돌려 생기는 동력을 이용하여 옥수수나 밀을 가루로 빻기도 했다. 중세 유럽에서는 조류로 돌리는 수차를 이용하여 제재소를 가동하고 제분소도 운영했다. 조차가 큰 서유럽과 북미대륙에서 조석의 간만차를 이용하여 조석방아의 동력원으로 활용되었으며, 현재 프랑스, 러시아, 중국, 캐나다에서 조력발전소가 가동되고 있어 조력발전의 실용화에 필요한 핵심기술은 이미 대부분 확보되어 있다고 볼 수 있다.

에너지자원이 빈약한 우리나라에서 조석에너지는 실용화 가능성이 가장 높은 해양에너지이다. 이미 1920년대 조선총독부는 수력자원조사의 일환으로 강화도 동남단 외측해역 동검도, 황산도 일대 해역에 대한 조력발전 가능성을 검토한바 있다. 그 후 여러 차례에 걸쳐 한국전력공사, 건설부, 과학기술처 주관으로 서해안 조력발전 타당성 조사사업이 실시되었다. 그러나 조력발전은 경제적 타당성, 청정 대체에너지 개발에 대한 사회적 인식 부족 등 요인으로 아직도 타당성 검토 단계에 머물고 있다. 한편 1970년대부터 서해안 일대의 방조제, 연안 매립, 항만건설 등 대규모 연안개발사업으로 조력발전 입지들이 잠식되고 있다.

최근 조력발전사업은 시화호에서 새로운 돌파구가 마련되었다(송원오, 2003). 즉, 2003년 5월 20일 한국수자원공사의 시화호 조력발전소 건설공사 턴키사업 입찰공고(제2004-139호)로 시화호 조력발전사업은 이제 타당성 검토 단계를 넘어 실시설계 단계까지 와 있다. 시화방조제도 처음에는 방조제 내측에 담수호와 매립지를 조성하는 사업으로 추진되었으나, 방조제 준공 이후 나타난 예기치 못한 급격한 수질 악화에 대한 개선 방안으로 조력발전이 검토되었다. 원래의 담수호 계획도 포기되고 해수호로 사업 계획이 변경되었다. 시화방조제에 조력발전소를 설치 운영되면 수질 개선 효과 및 환경친화적인 청정에너지 생산이 기대된다.

시화호 조력발전소 건설에 이어 가로림만 조력발전소 건설이 추진될 것으로 보인다. 특히 국제유가가 배럴당 60달러를 상회하고 있어 대체에너지 개발을 통한 에너지 수입 의존도 감소화 노력이 요구되는만큼 서산시 등 일부지역의 반대 예상에도 불구

하고 조력발전소 건설이 강행될 것으로 보인다.

여기에서는 해양에너지 개발과 조력발전에 대한 개요, 그간 정부와 연구기관이 수행했던 조력발전사업을 중심으로 국내 사업 그리고 해외 현황을 살펴보고, 가로림만에 조력발전소가 건설될 때의 환경 영향, 파급효과 및 지역의 대응전략 등을 제시하기로 한다.

Ⅱ. 조력발전에 관한 기본적 이해

조력발전이란 조석이 발생하는 하구나 만을 방조제로 막아 해수를 가두고 수차발전기를 설치하여 외해와 조지내의 해수를 가두고 수차발전기를 설치하여 외해와 조지내의 수위차를 이용하여 발전하는 방식으로서 해양에너지의 수위차를 이용하여 발전하는 방식으로서 해양에너지에 의한 발전방식 중에서 가장 먼저 개발되었다. 현재 개발가능한 조력자원을 보유한 국가는 세계에서 손꼽을 정도로 한정되어 있기 때문에 이들 국가에서는 조력자원을 미래의 중요한 대안에너지 자원의 하나로 지목하여 이에 대한 조사와 연구를 활발히 진행 중에 있다.

영불 해협과 이웃한 프랑스의 브르따뉴 지방의 '랑스' 하구에는 밀물과 썰물의 차이가 13.5m나 벌어지고 밀물이 들어오고 나갈 때의 조류의 용량이 매초 5천m3나 된다. 프랑스는 1966년 이 곳에 일당 최고 24만kW를 발전할 수 있는 조력발전소를 완공했다. 프랑스는 먼저 콘크리트 케이슨으로 랑스강 하구에 댐을 건설하여 우리나라의 팔당댐 보다 약간 적은 용량인 1만8천4백만 입방미터의 물을 담을 수 있는 저수지를 만들었다. 만조 때 이 저수지를 가득 메운 바닷물은 간조 때 낮아진 해면으로 떨어지면서 24개의 터빈 발전기를 돌린다. 바닷물이 저수지로 밀려들어 올 때도 발전기를 돌려 효율을 높일 수 있다. 조력발전의 효율을 결정하는 가장 큰 요소는 저수지의 저수량이다. 따라서 썰물과 밀물의 차와 함께 넓은 저수지가 들어앉을 수 있는 입지조건이 매우 중요하다. 조수간만의 차가 큰 곳은 황해·영국해협·아이리시해의 연안에 있다.

조력발전은 해수면의 승강 현상을 이용하여 전력을 생산하며, 그 발전방식도 여러 가지가 제안되어 왔다. 조석이 큰 강 하구나 만에 방조제를 축조하여 조지(조력저수지)를 만들고 외해수위와 조지내의 수위차를 이용하는 조지식, 조류가 빠른 곳에서 흐름을 이용하는 조류식, 일정중량의 부체가 조석 간만에 따라 오르내리면서 받는 부력을 이용하는 부체식, 조위의 승강에 따라 밀실에 공기를 압축시키는 압축공기식 등이 있으나, 조지식 외에는 아직까지 실용화 되지 못하고 있다.

조지식 조력발전소는 발전소(power house), 수문(sluice), 통선문(lock) 및 제방

(barrage)으로 구성되며, 방조제 내측에 조성된 조지수위와 외해조석간의 수위차(위치에너지)를 운동에너지로 변환시키고 수차발전기를 회전시켜 발전한다. 발전원리는 하천 수력발전과 아주 유사하나 낙차가 하천수력에 비해 작고, 시간에 따라 변한다. 그러나 조석현상은 비교적 규칙적인 주기성을 갖고 있고 또한 장기 예측이 가능하기 때문에 조력발전의 출력 예측 가능성과 신뢰도는 타 대체에너지원에 비해 유리하다.

조력발전소를 계획할 때 가장 중요한 사항은 설치할 수차발전기의 유형과 용량을 결정하는 문제이다. 일반적으로 조력발전소의 규모는 최적화 과정을 거쳐서 결정되는데, 여기서는 사용 가능 낙차(지속적으로 변동하는 외해 수위와 발전소 가동에 따라 변동하는 조지 수위와의 차), 조지면적(발전에 사용 가능한 총 해수용량), 수문 용량, 수차발전기 용량 등이 고려된다.

조력발전의 출력은 단속적이며, 그간 여러 가지의 연속 발전에 대한 고안은 발전량이 더 떨어지는 단점이 있다. 조력발전방식은 일반적으로 조지수에 따라 단조지, 복조지, 창낙조의 흐름 이용횟수에 따라 단류식과 복류식, 단류식의 경우 조류 방향에 따라 창조발전과 낙조발전으로 구분한다.

단류식 낙조발전은 창조시에 수문을 개방하여 조지 내에 해수를 만조위까지 채운 후 수문을 다고 대기하다가 낙조시 조지와 외해 간의 수위차를 이용하여 발전하는 방식이다. 이와 반대로 낙조시에 수문을 개방하여 조지수의를 간조수위까지 낮춘 후 창조시에 발전을 하는 형태가 창조발전이다. 어느 경우이든 한 방향의 흐름만을 발전에 이용하므로 단류식이라 한다. 운전 방식은 발전-대기-충수(또는 배수)-대기의 사이클을 계속 반복하므로 발전출력의 단속이 불가피하다. 그러나 발전방식이 가장 간단하고 발전설비의 제작비도 저렴하여 가장 실용적인 방식이다.

복류식은 창조 및 낙조 발전이 가능함으로 단류식에 비해 발전시간이 연장될 수 있다. 그러나 이 경우에도 역시 조지와 외해간의 낙차가 발전가능낙차가 될 때까지 대기해야 하기 때문에 발전은 단속적이다. 또한 수차발전기도 양방향 발전이 가능해야 하기 때문에 단류식 수차발전기보다 구조가 복잡해지고 제작비도 비싸진다. 일반적으로 이 발전은 조차가 아주 큰 곳에서는 단류식보다 유리하며, 우리나라 경기만의 경우 단류식이 유리하다.

Ⅲ. 국내 조력발전사업 역사와 현황

우리나라 서해안의 리아스식 해안은 굴곡이 심하여, 크고 작은 만이 많이 발달해 있고, 조차가 커서 천혜의 조력에너지 자원의 보고로 알려져 왔다. 조력발전량은 조차(조석간만의 차)가 크고, 조지면적이 넓을수록 유리하고, 설치되는 댐의 길이가 짧을

수록 건설비 측면에서 유리하다. 국내조력발전사업은 시기적으로 1970년대를 기준으로 그 이전시대와 이후 시대로 나눌 수 있다.

1. 1970년대 이전

서해안 조력발전 구상은 1920년대 조선총독부 체신국의 “강화도외 조력발전 계획서”에서부터 시작되며, 그 주요 내용은 “조력발전”(1930)에 소개되어 있다. 강화도외 조력발전원안은 경기도, 강화군, 길상면, 하도면, 동검도, 세어도, 황산도 일대 해역을 대상으로 한 것이다. 1922년 12월~1923년 2월에 동검리, 초지리, 사기리에서 단기 조석관측을 실시한바 있다. 갑안은 3개 조지(고조지, 저조지, 예비지)를 운용하여 최대출력은 10,425kw이며 화력발전보다 수익성이 높았다. 이 사업에서 제안된 6개 개발안의 설비용량은 6,500~44,000kW이며, 이 사업에 관련된 모형이 조선박람회에 출품된 사진도 남아 있다. 해방 전 조선전업(주)은 인천부근에 조력발전을 계획하고 공유수면매립허가원을 제출했었다고 하나, 해방과 한국전쟁의 혼란기를 거치면서 이에 대한 기록도 소실되었다.

1950~60년대에 걸쳐 간헐적인 조사연구가 조선전업(주)에서 서해안 일대의 10개 지점(강화도 남해 인천부근, 시흥만, 남양만, 아산만, 분양만, 당진만, 서산만, 가로림만, 안흥만, 천수만)에 대한 아주 개략적인 검토와 함께 최적후보지로 아산만과 분양만을 지목하고 현장답사도 실시하였으며, 개발규모는 각각 최대 307MW, 137MW로 추정했다. 조선전업의 전력조사위원회는 Rance 발전소 건설계획 등 각 국의 조력발전사업 현황을 소개하는 책자를 시리즈 번역물로 간행했다.

1973년의 1차 석유파동은 에너지 자원이 부족한 우리나라 경제에 큰 영향을 미쳤으며, 그 여파로 서해안에 부존하는 조력에너지 개발에 착안하게 되었다. 정부의 탈유전원개발정책의 일환으로 1974년부터 SOGREAH, 해양개발연구소에서 예비타당성검토사업이 실시되었다. SOGREAH사는 아산만에 대한 조력발전 단독개발 및 항만 겸용개발 등 6개안에 대한 검토결과 설비용량 460MW(항구분리안), 185MW(단일조지안)급 조력발전소를 추천하였다. 아산만은 제2제철소 및 대단위 공업항 입지로 내정되고, 분양만에는 남양방조제가 건설되어 조력발전사업은 딴 곳에서 입지를 찾아야 했다.

2. 1970년대

1973년 설립된 해양개발연구소는 “조력발전 기초조사에 관한 연구”에서 서해안 일대의 7개 조력지점(인천만, 시흥만, 남양만, 서산만, 가로림만, 안흥만, 천수만)을 개략

적으로 검토하여 개발 우선순위는 가로림만, 천수만, 서산만 순이었다. 그리고 발전소 예정해역 일대의 기상, 조석, 조류, 수심측량, 음파탐사, 해상시추 등 일반해양조사와 인문사회조사도 수행되었다. 가로림만의 시설용량은 462MW(15.4MWx30), 연간발전량 1,305GWh였다. 국내 7개 연안조력지점에서의 기술적 부존량은 12,906GWh, 8개 대단위 해역에서의 기술적 부존량은 64,548GWh였다. 이어서 개발우선순위에 따라서 연차사업으로 천수만, 인천만으로 대상으로 사업이 계속되었다.

1975년 “천수만 조력발전 예비 타당성 조사”에서는 설비용량 1,386 MW, 연간발전량 4,313GWh(제1안), 924MW(2,788GWh)(제2안)이 제안되었다. 1976년 “가로림만 조력발전 예비 타당성 조사-자료조사”, 1977년 “조력자원 개발 예비 타당성조사(인천만)”는 해양공학실에서 수행된 주요 연구사업이었다.

1976년 한국전력공사는 조력발전소 건설추진방안을 발표했다. 이 안은 1단계 서해안 조력지점 확인 및 개발 우선순위 결정, 2단계 최우수 후보지에 대한 타당성 검토, 3단계 실시설계, 4단계 시공 순으로 1986년 400MW급 세계 최대의 조력발전소 준공을 목표로 한 조력개발 청사진이었다.

이 계획의 1단계 사업은 1977년 한국해양연구소와 캐나다의 TPC(Tidal Power Consultants)와 공동으로 수행한 서해안 조력발전 부존자원 기초조사 사업이다. 종전까지 서해 중부 경기만 일대의 10개 조력지점에 대해 조력자원 부존량을 재확인하였으며, 가로림만이 최적 후보지로 추천되었다. 이 사업에서 캐나다에서 개발된 최적화 모델(STOM, ODCPM)을 처음으로 국내에 도입하여 발전량 계산에 활용하였다. 검토결과 가로림만이 최적 개발 후보지로 선정되었으며, 2단계사업으로 가로림만에 대한 타당성 검토는 1980년대 초부터 시작되었다.

3. 1980년대 이후

1980년 프랑스 SOGREAH사가 수행한 가로림만 조력발전 타당성조사에서 해양연구소는 해양조사 부문을 맡았다. 타당성 검토사업 결과 가로림 조력발전소의 설비용량 480MW(24MWx20), 연간발전량 893GWh, 그리고 기술적, 경제적 개발타당성이 입증되었다. 그러나 제5차 경제사회개발 5개년 계획의 투자우선순위 조정에서 가로림 조력발전사업은 1987년 이후로 착공이 미루어졌다. 그 후 1986년 해양연구소와 영국 EPD사 공동으로 수행한 “가로림 조력발전 후속조사 및 기타조사”에서는 당시 유가의 하락 추세, 건설공사비 상승 등의 요인으로 가로림 조력발전사업의 경제성이 미흡한 것으로 평가되면서 개발은 또 다시 보류되었다. 1991년 한전은 해양연구소와 중국의 국가과학기술위원회에 그 동안의 여건변동을 고려하여 가로림 조력개발 타당성 재검토 및 후속조사를 위탁 실시하였다. 1993년 완료된 조사 결과, 가로림 조력개발(시설

용량 480MW)은 발전 단일목적으로 개발할 경우는 개발경제성이 미흡(B/C=0.84)하나, 조지내 수산양식, 관광단지 개발, 도로교통량 분담 효과 등 부수적인 편익을 고려할 경우에는 경제성(B/C=1.57)이 있는 것으로 결론지었다. 한전으로서는 발전의 편익은 전력회사 입장에서 보면 탐탁하지 못한 일면도 있으나 앞으로 개발주체가 누가 되느냐에 따라 이 문제를 보는 시각은 달라질 수 있다.

1993년 8월 조력발전소 건설, 양식장 조성, 해안도록 조성, 관광자원 개발, 간사지 매립 등 가로림 조력 다목적 종합개발과 관련하여 한전에서 충남도에 협의를 요청했으며, 10월 충남도에서는 재원조달을 이유로 종합개발에의 불참의사를 통보하였다.

1994년 1월, 2월 가로림조력 개발에 대해 한전과 충남도의 협의가 있었고, 11월 한전은 충남도에 가로림 조력 단독개발, 내리지역 공사용 가설부지 할애를 요청하였고, 1995년 1월 충남도는 가로림 조력개발계획에는 원칙적으로 동의하나, 내리지역을 공사용 부지로 사용후 전원입지로 지정하는 데에 대해서는 반대입장을 표명하였다. 1995년 3월 한전은 통상산업부에 다시 건설교통부에 공유수면매립 기본계획 반영을 요청하였고, 충남도는 한전에 공공시설 입지신청을 반려하였다.

2002년 12월 산업자원부는 '국가에너지 기본계획'을 수립하여 2011년까지 1차에너지 소비량의 5%를 대체에너지로 공급하기로 하였다. 2004년 8월부터 2005년 2월까지 한국서부발전에서는 '가로림조력 타당성조사 기본계획'을 수립하였고, 산업자원부는 '제2차 전력수급 기본계획'을 공고하였다. 2005년 2월 한국해양연구원에 조력발전 기분가격 산정을 위한 가로림조력 조사용역이 준공되었고, 2005년 3월 한국서부발전은 산업자원부에 용역결과를 보고하였고 기준가격고시를 요청한 상태이다.

1997년 한국해양연구소는 자체적으로 서해안 경기만 북부 인천 신공항 북측해역, 아산만, 천수만과 북한 해주만과 옹진만을 대상으로 조력발전 가능성을 개략적으로 검토하였다. 검토 지점 중 안전 신공항 북측해역의 경우 공항부지 매립공사로 영종도 부근에 산재된 여러 섬들이 이미 연결되어 조지 조성 연건이 크게 향상되어 장래 유력한 조력개발 후보지의 하나로 제시되었다.

조류에너지를 이용한 기타 지역으로는 전남 해남군과 진도 사이의 울돌목을 비롯하여 진도 주변의 맹골수도와 장죽수도, 경남 늑도 및 갈화도 부근 해역에서 조류발전이 가능한 크기의 조류가 발생하고 있다. 2002년 한국해양연구원은 미국 노스웨스턴 대학의 Gorlov,박사가 고안한 40kw급 helical 수차 2기를 울돌목에 설치하여 수차의 성능 개선 및 내구성 향상을 위한 현장실험을 진행하고 있다.

4. 시화호 조력발전계획

시화방조제는 경기도 시흥시 정왕도 오이도와 안산시 대부동 방아머리를 연결하는

길이 11.2km의 방조제이며, 대단위 간척종합개발사업의 일환으로 1994년 2월 완공되었다. 방조제 준공 이후 해수유통이 차단된 시화호 내의 물은 거의 정체되면서 자정능력이 크게 감소되었다. 또한 안산시 인근지역 주거지의 생활하수, 농촌지역의 축산폐수, 반월공단 및 시화공단의 사업폐수 등 폐수 발생량이 시화지구 개발계획수립 당시에 예측했던 것보다 훨씬 증가되었다. 따라서 유역 내 하수 처리장 등 환경 기초시설의 처리용량이 턱없이 부족하여, 미처 처리되지 않은 산업폐수 및 생활하수의 시화호 유입으로 시화호 수질은 급속하게 악화되면서 급기야 사회 문제화 되었다. 시화호가 연안해수오염의 대명사가 될 정도로 사회적인 관심사로 부각되었고, 지역주민과 환경 단체의 시화호 살리기 운동이 전개되고 정부도 수질 개선을 위한 장단기 대책을 서두르게 되었다.

시화호 수질개선대책의 일환으로 한국해양연구소는 1996년 시화호를 각각 해수호, 담수호, 인공습지로 3분화할 경우 해수호를 대상으로 개략적으로 조력발전 타당성을 검토하였다. 검토결과 시설용량 160MW의 조력발전소와 수질개선 효과도 기대되지만 경제성은 충분치 못했다. 한편 시화호 수질개선을 위한 장·단기대책을 수립하여 집행한다해도 당초 계획대로 담수용수원을 확보할 수 있느냐 하는 문제는 계속 의문시되었다. 결국 2000년 12월 시화호 담수화 계획은 포기되고 해수호로 유지하기로 결정되었다.

현재 시화호의 수질은 당초 배수용으로 설치되었던 방조제 남단의 배수갑문을 통하여 외해수를 지속적으로 유출입시키고, 각종 환경저감시설을 운영함으로써 점차 개선되고 있다. 그러나 외해와의 해수유통 측면에서 배수 갑문의 통수용량 및 설치위치상의 근본적인 한계 때문에 수질 개선 효과를 얻기 위해서는 추가로 해수유통시설이 필요하다. 이에 따라서 해수유통 촉진방안의 하나로 조력발전소 설치방안이 제안되었고, 한국수자원공사는 2002년 3월 시화호 조력발전 타당성 조사 및 기본계획수립 용역을 착수하였다. 이 사업은 기존자료조사, 현장관측조사, 해수유동, 파랑변형, 퇴적물이동, 수질변화 등에 대한 수치실험, 발전소 개념설계, 공사비 산정, 종합경제성검토 등이다. 사업결과 시설용량 252MW(25,2MW x 12), 창조식 발전이 적당하고, 연간발전량 552GWh, B/C=1.15(대체에너지 기준)이며, 예상했던 수질 개선 효과도 기대된다.

시화호 조력발전소 건설은 담수호로서의 기능을 상실한 시화 해수호를 다양하게 활용할 수 있는 방안이 될 수 있다. 조력발전소 운영으로 수질 개선을 도모하고, 대체에너지 개발을 통한 탈유전원개발, 기후변화협약에 적극 대처할 수 있는 무공해 청정에너지를 공급하며, 적절한 발전방식을 적용할 경우 현재 시행중이거나 계획된 주변 간석지 개발계획과 상충됨이 없이 개발도 가능하다. 또한 시화호 내의 수질개선 효과, 조력발전소 가동에 따른 조석간만의 효과, 방조제에 의한 황천시의 파랑 차폐효과 등

으로 수도권 대단위 해양위락단지 개발도 가능하다. 앞으로 주 5일제 실시에 따른 국민의 여가선용 및 지역경제의 활성화를 유도할 수 있는 시화호 다목적개발에도 부합될 수 있을 것이다.

국내 주요 조력발전사업을 요약하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 국내 주요 조력발전 사업 요약

지 점	사업내용(연도)	비 고
강화도 아산만	강화도의 조력발전 계획서(1930?) 1) 서해안 조력지점답사(1950-60) 2) 서해안 조력발전 예비타당성 검토(1974)	조선총독부 체신국 조선전업(주), 상공부 건설부
가로림만	1) 조력발전 기초조사에 관한연구(1974) 2) 조력자원 부존량 조사(1978) 3) 조력발전 타당성 조사(1981) 4) 재검토(1986, 1993) 5) 한전과 충남도의 추진협의(1993, 1994) 6) 공공시설 입지지정 신청 및 반려(1995) 7) 타당성조사 기본계획 수립(2004) 8) 조력발전 기분가격 산정을 위한 조사용역	과기처 한국전력 한국전력 한국전력 한전, 충남도 한전, 건교부, 충남도 한국서부발전 한국해양연구원
시화호	1) 조력발전 가능성 검토(1997) 2) 조력발전 타당성 조사(2002)	한국수자원공사

Ⅳ. 가로림만 조력발전소 건설에 따른 환경 영향과 대응전략

1. 가로림만의 물리적 해황

가로림만은 만의 입구가 좁고 내부가 넓은 호리병 모양을 형성하고 있으며, 입구폭은 2,030m에 불과하나 내부폭은 최대 5㎞에 달하고 만의 길이는 9㎞에 달하여 해역의 면적은 2,870만평, 총저수량은 4.46억㎥(유효저수량 3.17억㎥)나 된다. 벌말의 평균 창조지속시간은 6시간 15분이고, 평균 낙조시간은 6시간 10분이다. 서측 수로에서는 최대유속이 낙조류시에 나타나는 반면 동측 수로쪽에서는 최대 유속이 창조류시에 나타난다.

발전소의 건설위치인 벌말에서 내리 지점은 가로림만 입구에서 약 2㎞ 내측으로 위치한 수역으로 가로림만 입구전면보다는 상당히 감소된 파랑이 내습하고 있다. 가로림만 입구는 풍속이 40m/sec인 반면 발전소 건설지역에서는 25m/sec이고, 유의파고는 가로림만 입구가 4.5m인데 반해 발전소 건설지역은 3m이다. 유의파주기는 가로림만 입구가 8.2초인데 반해 발전소 건설위치에서는 6.5초이다.

수심은 만 입구의 두 개의 주수로가 20m이상으로 가장 깊으며, 해안과 만 내부로 갈수록 점차 낮아진다. 특히 해저지형은 남북방향으로 지나가는 두 개의 주수로(동주

수로와 서주수로)로 구분되며, 대부분 해류의 흐름이 창조시 동주수로로 들어와서 낙조시 서주수로로 나가는 시계회전을 한다. 만 내부에 발달한 수로의 수심은 대부분 10m내외이며, 동서 양방향으로 발달하고 있는 조간대로 가며 급격히 감소한다.

가로림만의 조석형태는 만일주조형으로 분류되나 일조부등이 상당히 큰 편이어서 대로 혼합형으로 보이기도 한다.

년 평균 강우량은 1,197㎜, 년 평균 기온은 11.6-35.2℃이며, 염분은 31.5-33.0사이의 값을 가지며, 수온은 9.0-18℃의 연중분포를 갖고 있다.

발전형식은 단조지 단류식을 선택하는 것이 유리하다. 복류식은 수차의 역방향 발전으로 인한 효율 저하로 단류식과 동일한 발전량을 내기 위해서는 수차의 대수가 늘려야 하므로 단류식보다 발전시설비가 약 10% 정도 더 비싸게 추신되어 단류식이 필요하다.

조력발전소의 주요 구조물 및 설비는 수차발전기와 발전소 케이슨, 수문케이슨과 문비, 각 케이슨 또는 육지를 연결시키는 폐합제, 갑문 그리고 발전된 전력을 전력계통망에 연결시키는 변전소 등을 들 수 있다.

2. 가로림만 조력발전소 건설의 영향과 대책

1) 환경 영향

가로림만 해양수질 변화를 보면, 1990년 이전의 자료들은 청정지역 또는 Ⅰ급수 지역으로 발표되고 있으나, 1991년 이후 보고된 환경년감의 자료와 비교하여 보면 해역의 수질 환경기준에 총질소 기준으로 Ⅱ급수 또는 Ⅲ급수의 수질로 나타나고 있다. 인근 해역의 수질과 가로림만의 수질 비교결과는 큰 차이를 보이지 않고 있다. 그러나 최근 수년간의 수질은 인근 해역의 부영양화 및 적조의 발생조건인 총인과 총질소의 수질 농도를 보면 발생조건의 학술적 한계(인의 경우 0.015㎎/l, 질소 0.3㎎/l 또는 인의 경우 0.01㎎/l, 질소 0.02㎎/l)를 초과하고 있는 상태다.

가로림만 인근의 해양수질이 악화되고는 있으나 경기만 전역에 걸친 인근 대도시나 공업단지로부터의 오폐수 방류 등에 의한 오염현황을 제외하고는 현재 가로림만에 영향을 줄 수 있는 가로림만 인근 서산.태안유역의 비점오염원이나 점오염원에 의하여 현재의 수질을 크게 악화시킬 정도의 오염 유입은 거의 없는 형편이다. 조력발전소의 특성상 발전소 가동중 자체의 오염원 발생은 거의 없을 것으로 보인다.

조력발전소 개발 계획에 따른 해수유동 및 수질특성 검토와 수문, 수차 배치 등을 목적으로 해수유동, 토사이동, 수질 및 파랑변형 수치실험을 해야 한다. 수질모델은 해수유동모델과 연계하여 실험을 실시해야 하고, 퇴적물 모델 계산에 필요한 해수 유동장 산출을 위하여 현재 상태와 수문, 수차 인접설치안의 경우 각 유동장을 계산하여야 한다.

시화호 발전소 가동에 따른 모의실험 결과를 인용하면(신항식, 2003), 수문과 수차가 인접한 안의 실험결과 낙조시 내수위가 외해측으로 방류되는 경우, 수차 통과 유량이 약 3일간의 초기 계산 결과 4,000-5,000톤/초에 달하고 수문을 통한 유량은 최대 7,000-8,000톤/초에 달하므로 수문과 수차를 통해서 10,000톤/초 이상의 유량이 방류되게 된다.

수문-수차 분리안의 경우 현상태와 비교해서 수차 인근에서는 약 1-1.5㎞전방에서의 유속과 유향이 어느 정도 바뀌는 특성이 나타나며, 낙조시 수문 전면 수로에서는 광범위하게 변화가 나타난다. 낙조시 수문 전면에서의 유속 및 유향변화가 크게 나타나며, 남서향하던 낙조류가 서향류로 바뀌는 특성이 나타난다.

수차 인근에서는 유속 변화가 상대적으로 작으나 수문 인근에서는 반경 500m내에서의 유속은 낙조시기에 따라 차이가 나나, 대체로 수십% 이상 증가하는 특성이 나타난다. 발전소 가동시 만 내에 수십㎝/s 정도의 흐름이 형성되어 발전소 가동 초기에 유동특성 변화로 인한 환경영향이 크게 나타날 것으로 예상된다. 창조시에는 현상태에 비해 만내로 유입되는 흐름으로 인해 동향 흐름이 강화되는 특성이 나타난다. 수문 북쪽 수로 및 인근 영역에서의 유속은 전반적으로 변화가 크다.

가로림만 조력발전소로 인해 예상되는 해수 침수유역의 감소는 약 2%정도로 예상되며, 수치실험 결과 발전소 가동으로 인한 조차 감소는 약 8㎝정도로 예측된다. 발전소 전면에서의 조차는 경기만 일대와 서해안 일대의 대규모 매립효과로 인하여 M2분조는 1%, S2 분조는 2%정도 미미하게 증가할 것으로 예상된다(주현종, 1996). 해양최적환경은 발전소 만외측에 2-5㎝/yr의 침식이 예상되고, 만내측 전면에서는 약 5㎝/yr의 퇴적이 예상된다. 해수수입 속도의 감소로 인한 유입유량의 감소, 해수 교환율의 저조, 해수침수 지역의 변화로 인한 퇴적과 수온의 변화가 예상된다.

가로림만의 조간대[1]는 주로 뻘로 구성되어 있으며, 만 입구로 갈수록 점차 조립질로 변하며, 만 입구 동측에 위치한 조간대는 거의 모래로 구성되어 있다. 수로는 조립질 또는 세립질의 모래로 되어 있으며 역시 만 입구로 갈수록 조립해지며 조개 파편 혹은 암편이 많이 분포되어 있다. 만 외부는 암반이 북서방향으로 넓게 발달되어 있으며, 대부분 모래퇴적물로 구성되어 있다. 조간대의 표층 퇴적물의 분포는 니질 퇴적물이 주를 이루고 있으나, 서측에 위치한 조간대는 많은 암편을 포함하는 특징을 보인다.

가로림만 주변의 지질은 중생대의 대보화강암, Pre-Cambrian기의 서산편암과 화강편마암이 주를 이루고 있으며, 서산석영암이 북동-남서방향으로 관입되어 있다(신동

1) 조간대(tidal flat)는 조석현상에 따른 간조와 만조의 높이 차이로 인해 만조시 해수에 잠겼다가 간조시 대기에 노출되는 지역으로, 퇴적물의 침식현상과 집적현상이 가장 활발히 일어나는 지역이며, 일반적으로 해류 및 파랑 등의 외부 에너지 영향이 적고, 퇴적물의 공급이 많으며 조차가 큰 지역에서 잘 발달한다.

혁, 1998). 충적층이 일부지역에서 나타나고 있다. 해저를 구성하는 퇴적층의 두께는 만 입구에서 25-30m로 동부가 비교적 깊으며, 수로에서는 15m로 얇다. 일반적으로 퇴적층의 두께는 만 내부로 가며 점차 얇아지며, 조간대 퇴적층 또한 20m내외로 비교적 두껍게 쌓여 있다. 가로림만으로 유입되는 강이나 하천의 영향은 거의 없으므로 해안 침식에 의한 소규모 현지성 공급을 제외하고는 육상기원퇴적물의 유입이 거의 없으므로 퇴적물은 대부분의 만 밖으로부터 공급되어 쌓인 것으로 볼 수 있다.

가로림만 입구에 발달한 퇴적층은 만 입구에서 만 안쪽으로 가며 15m에서 최대 35m로 점차 두꺼워지며 동서 양방으로 가며 점차 얇아지는 렌즈모양을 하고 있다. 렌즈모양의 형태는 만 내부로 갈수록 점차 뚜렷해지며, 퇴적층의 두께와 형태를 고려할 때 밀물 삼각주와 유사하다. 밀물삼각주의 특징은 밀물 경사로에는 육지쪽으로 모래파가 전진하는 형태를 이루며, 썰물이 빠지면서 형성된 두 개의 주수로가 형성되며, 이 썰물 주수로에는 보통 바다쪽으로 전진하는 모래파가 형성된다.

발전소 가동시의 강한 유속 증가로 인해 수차 구간은 상당히 침식될 것으로 예상된다. 수문 서쪽은 서향 전단응력이, 동측은 동향 전단응력이 강화되고, 이에 따라 사질 퇴적물이 발전소 가동시 수문을 중심으로 양분되어 이동할 것으로 예상된다.

만 내부는 발전소 인접부를 제외한 대부분의 영역에서 약간의 퇴적이 발생할 수 있다. 이는 만 외측보다는 높은 퇴적율인데, 발전소 구간의 침식 퇴저물이 유입됨과 아울러 퇴적한계전단응력 이하의 전단응력 지속시간이 외측에 비해 상대적으로 길기 때문이다, 그러나 발전소 구간의 침식이 끊임없이 지속되는 것은 아니므로 내부의 퇴적율은 우려할만한 수준은 아니다.

수온 변화 측면에는 해수의 교환정도가 감소되면 해수의 온도가 상승하게 되어 용존산소의 농도가 감소할 것이고, 만내의 생화학반응 정도에 영향을 미칠 수 있는 반응상수의 변화로 공사전과 비교하여 오염물 유입시 해당수역의 수질 변화가 예상된다.

이러한 물리적 해황의 변화는 발전소의 수문 및 수차의 위치 선정 등 영향을 극소화할 수 있는 기술적 방안을 채택함으로써 상당량 저감할 수 있을 것으로 예측된다.

가로림만의 부유퇴적물의 함량은 지형, 기상조건의 계절 변화 및 조류에 의하여 큰 영향을 받는다. 계절적 농도 변화는 여름철 갈수기에 대부분 10-50㎎/ℓ로 가장 낮으며, 여름철 홍수기는 10-100㎎/ℓ, 동계시는 40-130㎎/ℓ로 가장 높게 나타난다. 갈수·대조기에는 조류의 세기와 부유퇴적물의 농도가 상관관계를 보이고, 수심평균농도가 가장 높은 곳은 만입구로 창조평균 49㎎/ℓ, 낙조평균 76㎎/ℓ이며, 부유퇴적물의 농도는 만 내부로 진입하면서 10-25㎎/ℓ로 점차 낮아진다. 동계 대조기시 수심평균농도가 가장 높은 곳 역시 만 입구로 창조평균 105㎎/ℓ, 낙조평균 115㎎/ℓ이며, 만 내부로 가며 50-70㎎/ℓ로 비교적 낮게 나타난다.

가로림만의 부유퇴적물 농도 변화의 특징은 하계시는 조류에 의해 그리고 동계시는

파랑에 의해 영향을 받으며, 특히 동계시는 수온 하강으로 인해퇴적물의 침강속도와 전단강도의 감소가 일어나며 이로 인해 같은 유속임에도 동계시 부유퇴적물의 농도가 높은 원인으로 보인다. 부유퇴적물은 80%이상이 실트크기로 구성되어 있으며, 모래 및 점토 성분은 10%내외이다.

만 내부에 있던 입자들은 발전소 가동에 다라 만 외부로 배출되고, 일단 배출된 입자들은 대체로 북쪽으로 이동할 것으로 보인다. 일부 입자는 다시 외해쪽으로 남하할 것으로 보인다.

공사시 육상 육수동물상에 미치는 영향을 보면, 포유류, 양서 파충류, 육상곤충류에게는 거의 영향이 없을 것으로 보인다. 다만 조류는 사업시행으로 발생하는 소음 및 유출토사로 인해 조류의 휴식지 및 채식지가 영향을 받을 것으로 보인다. 따라서 공사차량 및 중장비에서 발생하는 소음과 사업시행시 토사유출을 최대한 저감하는 방안이 필요하다.

수문입지와 Dry Dock 입지는 사업시행시 토사를 주변지소에 적하시킬 경우 하절기 집중강수시 해양생태계에 직·간접적인 영향을 미칠 것으로 보인다. 작업시 수역으로의 토사유출은 해안생태계의 물리적 교란에 따른 탁도 증가로 인하여 어류, 부착조류, 플랑크톤 등의 호흡장애 등을 유발하여 일시적인 교란이 예상된다. 부유물질의 농도가 25㎎/ℓ 이하에서는 어류에 미치는 영향은 거의 없으나, 80-400㎎/ℓ 이상의 고농도에서는 어류에 피해가 발생하게 된다. 강우시 토사유출에 따른 SS가중치는 600㎎/ℓ 로 예측되어 생태계에 영향을 줄 수 있다. 부유물질이 증가하면 풀랑크톤과 미생물이 증가될 것으로 예상되어 사업시행시 적정한 저감방안이 수립되어야 할 것이다.

2) 보상 대책

만 주변에는 다른 지역에 비해 개발이 되어 있지 않아 상업시설이나 공단지역이 없어 특별한 오염원이 없고, 주민 대부분이 농업이나 소량의 축산업을 하고 있으며, 해안에서는 어업이나 양식업에 종사하고 있으며, 염전도 형성되어 있다.

가로림만을 형성하고 있는 서산시와 태안군의 토지이용 현황을 보면, 총면적이 377.09ha이며, 이준, 전,답이 각각 43.79ha, 63.36ha이며, 임야가 221.27ha로서 전체 면적의 59%를 차지하고 있으며, 기타용도의 활용이 48.66ha를 차지하고 있다.

공사는 거의 모든 대부분이 해상에 축조되므로 해상공사를 위한 지원시설이 위치하는 육상시설 부분에 대한 토지, 건물 등에 대한 보상비와 송전선을 설치하기 위한 토지에 대한 보상비가 주축을 이룰 것이다

토지보상 지역으로는 대산읍 오지리 임야, 대지, 염전, 잡종지, 전, 답, 기타(도로, 배수구) 등 216,786㎡, 태안군 이원면 내리 임야 52,240㎡, 진입도로 토지 임야 및 전 30,000㎡, 석산보상 225,000㎡, 기타 오지리 가옥보상, 염전 등이다. 최근 발표된 자료에서는 오지리 작업장 181,640㎡, 석산 66,344㎡, 내리 작업장 10,668㎡, 석산 51,756㎡

fh 추산된다.

수산업이 발달되어 있는 관계로 조력발전소 건설시 어업권 보상이 현안문제로 대두될 것으로 보인다. 어업의 종류로는 면허어업, 허가어업, 신고어업 등을 들 수 있다. 면허어업권의 경우 굴, 바지락, 가무락, 갯지렁이, 어류, 새우 등이고, 허가어업의 경우 자망, 낭장망, 연승, 통발, 채납기, 외줄낚기, 새우방, 유자망, 석조망 등이고, 신고어업의 경우 도수어업이 해당된다.

면허어업권의 피해 영향범위를 예측해 보면, 조력발전소 위치를 중심으로 상하 3㎞에 달할 것으로 보인다. 1㎞이내는 피해율이 100%, 1-3㎞범위는 피해율이 30%로 피해기간은 4년이다.

허가어업의 경우 조력발전소 건설과 함께 어선출입이 가능하도록 통선문을 만들더라도 이전처럼 자유롭지 못할 것으로 보인다. 피해대상 어선은 전체어선 수의 30% 정도, 피해정도는 연간 수익의 30%, 피해기간은 4년 정도이다.

3. Fundy만 조력발전 검토사업과 Annapolis 조력발전소 사례를 통한 간접적 예측

캐나다의 Fundy만 조력발전사업도 오래전부터 검토되었으며, 1984년 Annapolis에 시험발전소가 준공되어 현재까지 가동되고 있다.

Fundy만의 조차는 16m나 되어 세계적으로 유명하며, 조력 개발에 대한 관심은 금세기 초부터 있었다. 1944년부터 캐나다 연방 정부와 New Brunswick주가 Shepody만 후미에 조석에너지 개발조사를 지원했다. 조사는 Memramcook만과 Petitcodiac만 입구를 연결통합하는 복조지 안으로 연간 발전량은 약 1.3TWh이었으나 사업의 경제성은 없었다. 그 뒤 1950년대 후반에서 1960년대 전반에 걸쳐 Chignecto만과 Minas Basin지역에 수차에 걸친 조사에 이어서 1966~69년 타당성 검토, 1976~77년 재검토, 1981~82, 1984~85년 Update가 실시되었다. 이 심층 조사와 Rance 및 Annapolis 조력발전소의 운전 경험의 축적으로 현재 개발된 기술로도 캐나다 연해주에서 기존의 발전과도 경쟁할 수 있게 되었다. 1982~85년 Update 결과 수차 발전기의 개선, A8의 최적 발전설비용량 1,428MW (34MWx42), 연간 발전량 3,307GWh이다.

Annapolis 조력발전소 건설 동기는 1970년대 후반 대형 Straflo 수차가 Escher Wyss사에 의해 개발되었고, 이것으로 아직 미개발된 저낙차 수력 자원개발에 이용하면 경제성을 제고할 수 있고, 또 Fundy만 조력 개발에도 이용될 수 있을 것으로 생각한데서부터 시작되었다. 새로 개발된 수차의 특징은 Rotor와 수로간의 Seal을 개량한 점이다. 저낙차 수차의 개발 및 실증실험은 중·저낙차 수차개발 및 Fundy만 조력지점 개발전망을 밝게 했다.

1963년 축조된 Annapolis강 하구를 가로지르는 방조제는 발전소 건설 입지로 선정되었다. 이렇게 하여 투자비를 최소화하고 최소경비로 상업운전 경험을 얻는 데 적당한 곳이다. 방조제는 배수를 개선하고 Annapolis강 유역 주변의 습지를 보호하고, 기존 교량을 대체하였다. 기존 둑에는 이미 어도와 수문이 설치되어 있고, 수문은 창조시에는 닫혀 평균해면상 1.8m 이내로 내부수위를 조절할 수 있다.

발전소 건설은 1979년 12월 5일에 결정되었으며 연방정부와 주정부는 Annapolis 조력 발전소를 건설하기로 합의하고, 연방정부는 Can $2,500만을 지원, 나머지는 소유주인 NSTPC가 자체 조달했고, Nova Scotia Power Corp은 설계, 건설, 운전을 담당했다.

Straflo 수차발전기(단류식, 낙조발전(single-regulated), 직경 7.6m)는 Fundy만 조력발전에 계획된 것과 같은 크기이다. 발전소는 1980년에 착공되어 1984년 8월 25일 준공되었다. 건설과 시운전과정에서 많은 것을 배웠으며, 장기간의 운전은 수명, 방식, 보수 유지의 필요성이 있고, 성능 유지, 환경측면은 다음과 같다.

수차는 원래의 사방출력을 달성하여 5m 낙차에서 17.8MW, 5.6m에서 19.9MW(overload w/2-hr rating), 연간 발전량은 30GWh로 계획목표 50GWh에 못 미친다. 그 이유는 방수로 표고가 높아졌고, 발전 수두의 감소(6m로 제한된 최고조지내 수위)에 기인한다. 운전 중 두 건의 고장이 발생했으며 다음과 같이 해결되었다. 즉, 1) rim generator의 field coil이 충분히 절연되지 않아 epoxy coating으로 해결했고, 가동 중지 시에는 보온한다. 2) 발전기 냉각, bearing oil, seal과 고정금속 면의 간격은 매우 좁다. 따라서 취입수는 여과되고 여과용 filter는 아주 빨리 막히는 경향이 있으나 반척도 그렇게 효과적이지는 못했다. 발전소의 가동율 99%는 캐나다 평균 96%보다 높다.

취수구표면, 수차, 방수구는 방식설비를 했다. Runner 날개의 기부에 한곳을 제외하고는 완전하다. Runner 날개는 Stainless steel, hub는 탄소강이며 용접 후 접속부위에 부식이 생길 수도 있다. 이러한 수선은 몇 년에 한번씩 배수시에 실시하며 수로는 부착생물로부터 안전하다. 취수구 stoplog의 상류에 홍합 부착현상이 심하나 방출구에서는 아주 깨끗하여 대조적이다.

가동 3년 후 seal water의 흐름이 줄어들어 배수 seal을 제거하여 관찰한 결과 seal 표면에 고압수를 보내는 미세수로가 manganese 침적으로 막혀 긁어내고 unit은 재가동했다. 이것은 부착생물 방지를 위해 보통 해수에 주입되는 소량의 염소에 의해 생긴다. 이것을 방지하기 위하여 seal은 3~4년 마다 제거하여 청소한다. 아직 seal의 마모 징조는 발견되지 않았으며 해수 대신에 담수를 사용하여 문제를 해결했다. 이 문제는 앞으로 대형조력발전소 설계 시에 참고가 될 것이다. 수차 pit에서 대기에 노출된 표면은 해수로 냉각되어 대기의 증기압으로 응축된다. 특히 운전 휴지기간에는 발전기에서 발산되는 열이 없으며, 해안가의 대기는 약간의 염기가 포함되어 있으므로

가열과 환기의 필요성이 있으나 냉방은 하지 않는다. 앞으로 건설되는 조력발전소는 이점을 감안해야 할 것이다.

Trash rack 설치되지 않아 runner blade는 떠내려 오는 쓰레기 또는 얼음으로부터 보호되지 못한다. 한번은 통나무(30x30cm)에 걸려 wicket gate가 휘어진 사고도 있었다. 정기적인 수차 발전기의 보수, 유지를 위해 3~4년에 한번씩 2주간 운전을 중지하며 이것은 예측치 보다 낮다.

이 사업의 환경조건은 IGEAC에 의해 총괄되어 여러 기관들의 요구조건을 만족시켜야하는 부담을 덜 수 있었다. 주요영향은 해양환경 또는 조지에 인접한 습지에서 확인되었다.

해양 환경에 미치는 영향은 회유성 어류 폐사, 퇴적을 들 수 있고, 육상 환경은 염분침투, 배수장애, 홍수, 침식, 조지내수의 염수화, 어류의 회기 곤란(처음에는 방죽이 건설되었을 때는 수문이 항상 열려있어 어류통과가 쉬웠다)으로 IGEAC는 수차구멍으로는 충분하지 못하다고 어도의 추가 설치를 명령했다.

발전소 운전은 조석 및 강물의 흐름 자료를 이용하여 조지의 최고수위를 넘지 못하게 했다. 건설 및 운전기간동안 영향에 관한 관심은 운전이 시작되어 조지수위가 점차 최종계획수위에 도달하면서 최고조에 달했다. 이때 환경당국은 많은 민원을 접수했으나 결과는 발전소 운전과 무관한 것으로 밝혀졌다. 운전 12년 이상 가동 후에 실제영향은 대부분 예견된 것으로 신빙성 있는 평가가 가능하다.

대서양 연어, 줄무니 농어, 청어 중에서 청어는 자원량과 낚시꾼 때문에 처음부터 지표종으로 사용되었다. 1995년 청어 개체수 조사결과 어류크기, 연령, 산란어류 개체수 추정결과 1985년보다 약간 낮았다. 이것은 수차 통과시 치사율과 관계가 있다. 발전소 가동 후 조지의 생산성은 높아지고 생물의 다양성도 커졌다. 수차주변의 어류를 어도로 유도하는 수단은 제한적이어서 이러한 노력으로 성어의 2/3는 수문을 통과하였다. 요약하면 주요 어종에 미친 영향은 보통이고 자원량을 고갈시킬 정도로 위협적이지 않다.

세굴 속도는 1960년대초 방죽길 건설 이후 Annapolis Royal과 Bridgetown 간의 강하류에서 증가되고 있다. 이것은 조지내에서의 염분감소와 세굴 유발에 필요한 에너지의 부수적인 감소에 기인한다. 그러나 발전소 운전은 염분을 증가시키고 어느 정도 세굴을 감소시킨다고 추측되며, 약 3년 가동 후 연안수심의 변화는 이전 자료와 비슷하다. 국부적인 변화는 나타나고 있으며, 전반적으로 약간의 손실이 있다. 그러나 세굴은 정상 상태의 토양에서는 진행되지 않고 아직 단정할 단계는 아니다.

농경지 토양 보호를 위해 광범위한 piezometer 관측이 dykeland의 가장 예민한 지역에서 시운전 전후하여 실시되었으나 조지 주변 염분 침투 징후는 나타나지 않았다. 토양의 투수율은 아주 낮고 표면 유출량은 보통이다. 대책으로 설치된 Aboiteaux는 의도한바 데로 기능을 발휘함으로 기존 배수 조건 그대로이다.

발전소 운전은 전산기로 조정되는 조지수위와 표면 수위 간의 허용오차는 5cm이며 홍수시에는 방출량을 증가시킬 수 있다. 발전소 건설이전에는 수위 조정은 수동조작으로 때로는 조지수위는 계획수위보다 약 3cm 상승하기도 했다. 결론적으로 조력 발전소는 수위조정 정확도를 높였다.

Fundy만 조력개발 전망은 Cumberland만 A8 지점에서 그간의 조사, 재적, 경제적인 조력개발도 가능하며, 발전단가 면에서도 화석연료를 사용하는 화력발전과도 경쟁적이다. 특히 환경비용을 돈으로 환산한다면 충분한 근거가 있다.

조력, 수력, 원자력 발전사업은 과다한 초기 투자를 요하므로 사업비 조달 문제가 있다. 현행 캐나다 은행의 이자율은 3.5% 이하로 낮다. 1973년 에너지위기 이래 조력발전은 투자시기에 대한 문제가 있다.

화력발전 발전단가에 대규모 유류오염사고 처리비용, 산성비 피해 영향을 추가하고 원자력발전은 발전소 해체비용, 핵폐기물 처리비용, 원자력 안전사고 처리비용을 감안하면 발전단가의 비교는 달라질 것이다. 모든 발전은 어떤 형태로든 환경에 약간의 영향을 미친다. 재생에너지의 이점으로는 지구 온난화, 연료가의 상승과 무관하며, 발전원의 다양화를 기할 수 있다.

4. 기타 대응전략

국내에서 최초이자 세계 최대 규모의 조력발전소가 경기도 안산시 시화방조제의 작은 가리섬에 발전시설용량 252천kw 규모로 건설될 계획이다. 년간 약 5억5천만kwh의 무공해 전기를 만들 수 있어 년간 약 86만배럴의 유류수입을 대체하는 효과(약 287억원)가 있다. 조력발전소 운영을 통해 년간 약 600억㎥의 해수유통을 통해 시화호의 수질을 개선해 나갈 수 있고, 관광자원으로도 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

시화호는 1994년 2월에 방조제공사가 완료된 후, 시화만으로의 해수유통이 차단되고 인근 지역으로부터 유입된 오염물질의 축적으로 인해 호수의 오염이 증가하여 시화호의 수질 개선을 위한 종합적인 대책이 요구되어 왔다. 시화호 조력발전 건설사업은 시화호 수질 개선 종합대책의 일환으로 시화호의 운영방법을 담수호에서 해수호로 전환함으로써 수질 악화를 방지하는 한편 조석간만의차를 이용한 해양에너지 개발의 일환으로 추진되고 있다. 시화호 조력발전소 건설계획은 시대적 요청에 부응하는 환경친화적 사업으로서 평가받고 있어 추진에 큰 걸림돌이 적을 것으로 보인다. 시화호에 조력발전소가 건립되면 시화호는 수위가 변화하는 반 폐쇄성 해역으로 변하게 되고 시화호 외측에도 상당한 해양 환경의 변화가 예상된다. 이에 따라 조력발전소 건설 전후의 정밀 환경 모니터링을 통해 해양환경 변화 추이를 파악함으로써 발전소 건설 중 또는 가동시에 발생할 수 있는 제반 사항에 적절히 대응할 수 있을 것이다.

그동안 대규모 국책사업과 관련하여 환경단체나 종교단체 등의 반대에 부딪혀 정부

사업이 차질을 보인 것에 비하면 조력발전소 건설은 친환경에너지자원이라는 명분하에 큰 반대에 직면하지 않고 있다. 시화호 조력발전소 건설의 경우 국내외 환경변화와 정책적 필요성에 따라 예정대로 추진될 것으로 보인다.

아직 조력발전소 건설 전후의 환경 변화에 대한 구체적이고 정확한 연구는 매우 적은 상태이지만 향후 이에 대한 연구성과가 계속 나올 것으로 보인다. 이들 연구를 바탕으로 가로림만 조력발전소의 타당성 검토가 이루어질 것으로 보이나, 조력발전소의 건설을 막을만한 결정적인 문제점을 나오지 않을 것으로 보인다. 시화발전소 건설을 계기로 차기 사업지점은 가로림만 등으로 계속 확장되어, 2011년까지 국가적인 신·재생에너지 개발목표(2차 국가에너지 기본계획에 의한 대체에너지 공급비율 5%)가 추진될 것으로 보인다.

가로림만은 시화호와는 달리 매우 청정한 지역으로 환경보전의 가치가 큰 지역이다. 시화호에서 가장 크게 대두된 수질 오염 대책과는 전혀 다른 지역이기 때문에 오히려 개발보다는 후세대를 위해 보존해야 할 가치가 더 크다. 가로림만을 중심으로 박정희 대통령이 구상했던 백지계획과 같은 대규모 청사진이 현재 상태로는 기대하기 어려운 형편이라 후손을 위해 보존하자는 논리가 먹혀들어가기가 어려운 실정이다.

조력발전소 건설을 막으려면 조력발전소 건설로 심각한 환경파괴가 있을 것이라는 논리가 뒷받침되어야 하는데, 앞에서 살펴본 것처럼 결정적인 환경파괴는 없는 상태이기 때문에 결국 어업권 보상을 이유로 한 주민의 반대에 기댈 수밖에 없는 형국이다. 해수의 만조와 간조 수위가 각각 약 20㎝씩 하강.상승함에 따라 갯벌의 면적은 감소하나 해수부분 면적이 증가되어 양식어장 면적은 증가되어 양식어업에 유리한 측면도 있다.

제방 축조에 따른 교량효과로 국토의 균형발전에 기여할 것이라는 이유(교량건설비 절감효과: 4차선 기준 1,730억원)로 충남도와 태안군은 조력발전소 건설을 찬성하는 입장이기 때문에 서산시만의 반대만으로는 한계가 있다. 조력발전소 건설은 국가사업이기 때문에 기초자치단체에서 관여할 수 있는 정책상의 위치가 매우 좁은 게 현실이다. 따라서 내년도 지방동시선거에서 시장 공약으로 조력발전소 건설 반대 공약을 내세우는 것은 득이 없는 공약이며, 서산시에서 공개적으로 반대투쟁을 전개하기에도 여론상 지지를 받기가 쉽지 않다.

차라리 조력발전소 건설 이후 관광자원 개발효과를 노리는 작업도 체계적으로 수행해야 할 것이다. Rance 조력발전소는 프랑스의 주요관광지(Dinard, Dinan, Saint-Malo and Mont Saint-Michel)의 접합점에 위치하고 있는데, 이곳은 자연이 잘 보존된 아름다운 풍부한 해양자원으로서 방문객이 몰리고 있다. 가로림만 지역도 천혜의 자원을 보유하고 있고, 조력발전소와 해안도로 건설에 따른 연간 관광자원 개발효과가 173억원에 다다를 것으로 보이기 때문에 천수만과 함께 가로림만을 관광의 거점으로 육성하는 전략도 수립해야 할 것이다.

Ⅴ. 결 론

그 동안 조력발전사업은 경제적 타당성에 발목이 잡힌 것이 사실이다. 일반적으로 사업이 성사되려면 먼저 기술적, 경제적 측면을 동시에 만족해야 한다. 기술적 타당성은 기존 조력발전소의 가동으로 충분히 입증되었다고 볼 수 있다. 경제성 문제에는 여러 가지 요소가 복잡하게 얽혀있다. 조력발전의 가장 큰 이점은 연료비 대체 효과임으로 유가 상승에 민감할 수밖에 없다. 그간 유가 상승세의 둔화 및 하락추세는 사업추진에 걸림돌이 되어왔다. 경제성 지표의 하나인 B/C비를 개선시키려면 편익을 키우거나 비용을 줄여야 한다. 비용을 줄이는 문제는 신기술을 개발하거나 정책금융 등으로 건설비 부담을 줄임으로써 일정부분 가능하게 되었다. 편익은 유가 상승과 직결되는데, 최근 유가가 배럴당 60달러 전후의 고공행진을 하고 있는터라 조력발전소 건설을 위한 정책적 타당성이 설득력을 갖추고 있다.

경제성 외에 정치성도 무시할 수 없다. Rance 조력발전소도 실은 드골 프랑스 대통령이 낙후된 Britany 지역 유권자들의 표를 얻기 위한 지역개발 사업이었다. 어업권이나 토지 보상비를 둘러싼 주민의 반대는 정부에서 과감히 보상비를 지급할 경우 해결이 될 수 있는 문제이다. 환경단체나 종교단체의 반대는 조력발전이 친환경에너지 자원이라는 명분 때문에 크게 기대할 수 없는 입장이다.

이처럼 가로림만의 조력발전소 건설을 무산시키기에는 서산시 입장에서는 매우 어려운 상황이다. 다만 후손을 위해 천혜의 자원을 남겨두자는 장기적인 안목과 주민과 시민단체가 어떤 식의 대안을 제시하느냐가 관건이다.

서산시, 태안군, 당진군이 2010년경 광역시로 통합될 경우 일부 시군의 반대는 자연스럽게 해소될 가능성이 있다. 그 이전이라도 서산시와 태안군이 가로림만권역과 내포문화권이라는 광역적 발전 차원에서 이견을 좁혀나가는 작업이 필요하다.

참 고 문 헌

경제기획원. (1975). 「한국조력자원의 종합 다목적 개발 방향」.

대한전기협회. (1974). 제1회 조력발전 세미나 발표자료.

동부건설(주). (1993). 「조력에너지 개발 및 이용을 위한 최적발전량 산출기법 개발 연구」.

상공부 전기국. (1963). 「조력발전에 대한 조사연구」.

상공부 전기국. (1963). 「조력자원과 그의 이용」.

송원오. (2003). 조력발전사업 30년.「해양과학기술 30년의 역사와 미래전망」심포지엄 자료집.

신동혁. (1998). 한국 서해안 가로림만 조간대 퇴적환경과 홀로세 해수면 변동. 인하대학교 대학원 박사학위논문.

신항식. (2003). 시화호 조력발전 건성에 따른 환경변화.

유영조. (1957). 프랑스 조력발전소 계획 개요와 기타 자료. 조선전업(주), 전력조사위원회, 전조자료 7호.

조선전업(주). (1959). 조력발전. 전조자료 1호.

조선전업(주). (1959). 프랑스 조력발전소 교류발전기 연구보고서. 전조자료 2호

주현종. (1996). 가로림만 유역개발 계획에 따른 해양수질 영향예측에 관한 연구. 「산업기술연구소 논문집」, 12. 경기대.

최인성. (1954). 「한국의 조력자원과 그의 이용」. 상공부 전기국.

한국수자원공사. (1997). 「시화호 조력발전 가능성 검토」.

한국수자원공사. (2002). 「시화호 조력발전 건설사업 타당성조사 및 기본계획보고서」.

한국수자원공사. (2003). 조력발전 국제심포지엄 자료.

한국전력(주). (1970). 「조력발전」.

한국전력(주). (1976). 「조력발전 건설 추진방안」.

한국전력공사. (1993). 「가로림 조력개발 타당성 조사」.

한전(공). (1978). 「가로림 조력발전 타당성 조사(해양조사)」.

한전(공). (1978). 「가로림 조력지점 후속조사 및 기타조사」, Vol I & II.

한전(공). (1978). 「조력발전 부존자원 기초조사」.

한전(공). (1981). 「가로림 조력발전 타당성조사」.

해양수산부. (2002, 2002). 「해양에너지 실용화 기술개발(I), (II)」.

현대종합기술개발(주). (1976). 「적돌강 조력발전개발계획」.

KORDI. (1977, 1984, 1993). 「조력발전 문헌목록」, I, II, III.

KORDI. (1985). 「조력발전」.

MCI. (1978). 「조력자원개발 예비타당성 조사(인천만)」.

MOST. (1975). 「천수만 조력발전 예비타당성 조사」.

MOST. (1976). 「가로림만 조력발전 예비 타당성 조사-자료조사보고서」.

MOST. (1978). 「조력발전 기초조사에 관한 연구」.

KORDI. (1978). *Proceedings of International Symposium on Korea Tidal Power.*

KORDI. (1996). *Tidal Power Plants.*

Ministry of Construction. (1974). *Tidal Power Schemes on the West Coast, Pre-feasibility Report.*