

우리나라 조력발전 현황과 전망



이 광 수
한국해양과학기술원 연안개발·에너지연구부 책임연구원
kslee@kiost.ac



박 진 순
한국해양과학기술원 연안개발·에너지연구부 선임연구원
jpark@kiost.ac

1. 들어가는 말

에너지는 인간의 쾌적한 생활과 경제활동을 가능하게 하는 기반이며, 오늘날 현대 산업사회의 발달과 경제성장에 따라 에너지 수요가 폭발적으로 증가하고 있다. 그러나 한정된 화석에너지 부존량과 에너지수급의 불균형, 그리고 지속적인 화석연료 사용으로 인한 지구적 기후변화와 이에 따른 온실가스 감축압력 등 불안요소는 확대되고 있다. 이에 세계 각국에서는 에너지 문제에 대한 적극적인 대처 방안의 일환으로 신재생에너지 기술개발 및 보급에 박차를 가하고 있다.

우리나라에서도 국제에너지환경의 변화에 능동적으로 대처하기 위하여 신재생에너지 자원을 개발하여 에너지 패러다임을 변화시켜야 한다는 필요성이 점차 확대되고 있다. 이에 따라 정부는 ‘저탄소 녹색성장’을 새로운 국가발전의 비전으로 선포하였으며, “녹색성장은 온실가스와 환경오염을 줄이는 녹색기술과 청

정에너지로 신성장 동력과 일자리를 창출하는 신국가발전 패러다임”으로 정의하였다. 녹색성장 5개년 계획의 핵심과제 중 하나가 그린에너지의 개발·이용이며, 이를 위해 관련기술의 개발과 보급에 투자를 확대하고 있다. 여기에는 화석연료 의존에 따른 지구온난화와 환경오염, 자원 고갈에 따른 경제 위기 초래라는 악순환의 고리를 끊고 신재생에너지 개발과 환경보전, 그리고 에너지 안보 실현을 통해 양질의 경제성장을 이루겠다는 실천의지가 반영되어 있다. 또한 신재생에너지 공급의무화제도(RPS) 시행을 위한 관련법 제정 등 정부 차원의 대응책도 마련하고 있다.

다행히 우리나라는 풍부한 해양에너지 자원을 보유하고 있다. 2009년 5월 전라남도 해남군과 진도군 사이의 명량수도에 울돌목 시험조류발전소가 준공되고 시험 가동되어 전기가 생산되기 시작하였으며, 이것이 우리나라 최초로 해양에너지로 생산되어 국가전력 계통망에 병입된 전기가 되었다. 2011년 5월에는 시화

호 조력발전소가 시험 가동되고 전력이 생산되기 시작하였으며, 이로부터 우리나라에 본격적인 해양에너지의 시대가 열렸다고 할 수 있을 것이다. 이는 바다에서 조석의 힘을 이용하여 에너지를 얻고자 했던 오랫동안의 노력의 결과였으며 기술적 개가라고 할 수 있을 것이다.

특히, 우리나라가 가지고 있는 해양에너지 자원 중 가장 풍부하고 경제적 이용이 가능한 자원의 하나가 조력에너지다. 현재 우리나라에서 어느 정도의 경제성을 가지고 개발 가능한 조력에너지는 서해 중부해역을 중심으로 약 650만kW에 이르는 것으로 추정된다. 이를 개발·이용하는 경우 4인 가족 기준 약 180만 가구, 즉 720만명이 사용할 수 있는 약 100억kWh의 전기를 매년 생산할 수 있다. 이러한 조력 에너지를 개발하기 위하여 최근 해당 지자체, 관련 기업 등이 조력발전 타당성조사를 시행하는 등 이를 구체화하기 위한 계획을 추진하고 있다.

시화호 조력발전소의 성공적인 건설로 확보한 조력발전소 설계, 시공, 운영기술의 축적으로 대용량 에너지자원으로서 조력자원의 개발 잠재력이 충분히 입증되었으며, 이를 기반으로 대단위 조력발전소 건설을 위한 기술적 기반이 구축되었다고 할 수 있다. 현재 가로림 조력발전소, 강화 조력발전소, 그리고 인천만 조력발전소 등의 계획이 동시다발적으로 추진되고 있으며, 이에 대한 많은 관심과 함께 개발에 따른 해양환경 변화에 대한 우려의 시각이 있는 것이 사실이다. 조력발전소의 건설로 인해 해수의 흐름과 퇴적환경이 변하게 되고, 조지 내 갯벌 면적이 감소되는 등의 환경변화가 나타나게 되며, 건설 및 운영시 조지 내·외부 생태계에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 그러나 1966년 준공된 프랑스 랑스 조력발전소의 장기 환경생태 조사연구를 보면 그 영향이 제한적임을 알 수 있다.

이에 여기에서는 최근 많은 관심과 논의의 대상에

되고 있는 서해안 조력자원 개발 추진과 관련하여 그 현황과 전망에 대해 살펴보고자 한다.

2. 조력발전 개요

조력발전이란 조석에 따른 해수면의 상승하강현상을 동력원으로 이용하여 전기를 생산하는 발전방식으로, 일정중량의 부체가 받는 부력을 이용하는 부체식, 조위의 상승하강에 따라 밀실에 공기를 압축시키는 압축공기식, 그리고 방조제를 축조하여 해수저수지 즉, 조지(潮池)를 조성하여 발전하는 조지식으로 나눌 수 있다. 오늘날 가장 경제적이며 실용화된 조력발전방식은 조지식으로, 강한 조석이 발생하는 큰 하구나 만에 방조제를 설치하여 조지를 만들고, 방조제 구간에 설치되는 발전구조물과 수문구조물 등의 발전시설을 통해 바닷물을 출입시키면서 발생하는 조지와 외해의 수위차(낙차)를 이용해 전력을 생산하는 바다의 저낙차 수력발전이라 할 수 있다. 따라서 여기에서는 조지식 조력발전만을 대상으로 하였다.

조력발전은 해수의 소동을 전제로 하고 있다는 점에서 기존의 시화 방조제 또는 새만금 방조제와는 근본적으로 개념이 다르다고 할 수 있다. 또한, 조력발전은 대규모 개발이 가능할 뿐만 아니라 정확한 주기성을 갖는 달, 태양, 지구 등의 천체운동에 의한 중력에너지를 이용하기 때문에 정확한 장기예측이 가능하다는 점에서 풍력, 태양광 등 타 재생에너지가 갖지 못하는 장점을 가지고 있다. 즉, 몇 년 후 길게는 몇 십 년 후 오늘 이 시간의 외해 및 조지의 수위, 통과유량, 그리고 발전량 등의 정보를 정확히 예측할 수 있기 때문에 현재 추진 중인 스마트그리드와 연계될 경우에 상당한 시너지 효과도 볼 수 있으며, 문제 발생 가능성에 대한 사전 예측과 신속한 대응이 가능하다.

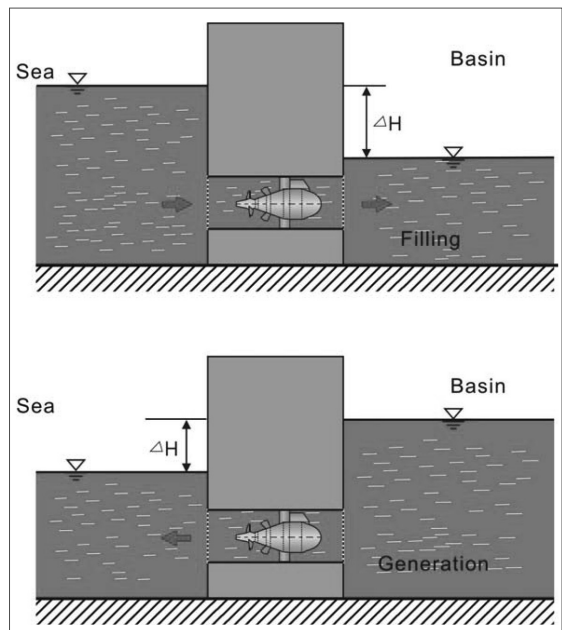
2.1. 조력발전 방식

조지식 조력발전방식은 일반적으로 조지의 수에 따라 단조지식과 복조지식으로, 또한 조석의 이용횟수에 따라 단류식과 복류식으로 구분된다. 단조지식은 하나의 조지를 조성하는 것으로 가장 일반적인 형태이며, 복조지식은 다시 복조지 연결식과 복조지 분리식으로 구분할 수 있다. 복조지 연결식은 지형조건이 2개의 조지 조성이 가능할 경우 하나를 고조지, 다른 하나를 저조지로 조성하며, 각 조지 간의 수위차를 이용, 고조지에서 저조지로 해수를 유통시키면서 발전하고 외해의 조석변화에 따라 고조지와 저조지의 수문을 조작하여 조지의 수위를 계속적으로 조정한다. 이 방식은 연속발전은 가능하나 발전효율은 단조지 발전방식에 비해 떨어진다. 복조지 분리식은 2개의 단조지 단류식 발전소를 독립적으로 운영하여 계통으로 연결시키는 것과 같다고 할 수 있다. 즉, 한쪽 조지는 창조시에 단류식으로 발전하고 이와 동시에 다른쪽 조지에는 해수를 채웠다가 낙조시에 발전함으로써 발전시간 사이의 시차를 이용하는 것이다.

단조지 단류식은 하나의 조지를 조성하여 발전하는 형태로 창조시에 수문을 개방하여 조지에 해수를 만조수위까지 채운 후 수문을 닫고 기다렸다가 낙조시 조지와 외해의 조위 사이에 수위차가 생길 때 그 낙차를 이용하여 발전하는 낙조식 발전방식과, 이와는 반대로 낙조시 수문을 개방하여 조지수위를 간조수위까지 낮춘 후 기다렸다가 창조시 조지와 외해와의 낙차를 이용하여 발전을 하는 창조식 발전방식 등 두 가지의 발전방식이 있으며, 해역조건에 따라 적합한 방식을 택하게 되나 발전 효율 측면에서는 낙조식 발전이 창조식 발전에 비해 약간 유리하다. 어느 경우이든 발전을 함에 있어서 한 방향의 흐름만을 이용하므로 단류식이라 한다. 운전방식은 발전→대기→충수→대기의 사이클을 계속 반복하므로

발전출력의 단속이 불가피하다. 그러나 발전방식이 가장 간단하고 발전설비의 가격도 저렴하여 가장 실용적인 조력발전방식이라고 할 수 있다. 낙조식 발전방식에서는 경우에 따라 조지수위가 만조수위에 도달한 후에도 수차에 전력을 공급하여 양수 기능을 하게 함으로써 즉, 외해수를 조지로 양수하여 조지의 수위를 상승시켜 발전량과 발전시간을 증가시킬 수도 있다. 시화호 조력발전소가 창조발전방식을 채택하고 있으며, 가로림만이나 인천만 조력발전소는 낙조발전방식을 계획하고 있다.

단조지 복류식은 하나의 조지를 조성하되 창조와 낙조 모두 발전하는 방식으로 단조지 단류식에 비해 발전시간이 연장될 수 있다. 그러나 이 경우에도 역시 조지와 외해와의 수위차가 발전가능 낙차에 이를 때까지 대기해야 하기 때문에 발전은 단속적이다. 또한 설치되는 수차발전기도 2방향 발전이 가능해야 하므로 단류식 수차발전기에 비해 구조가 복잡해



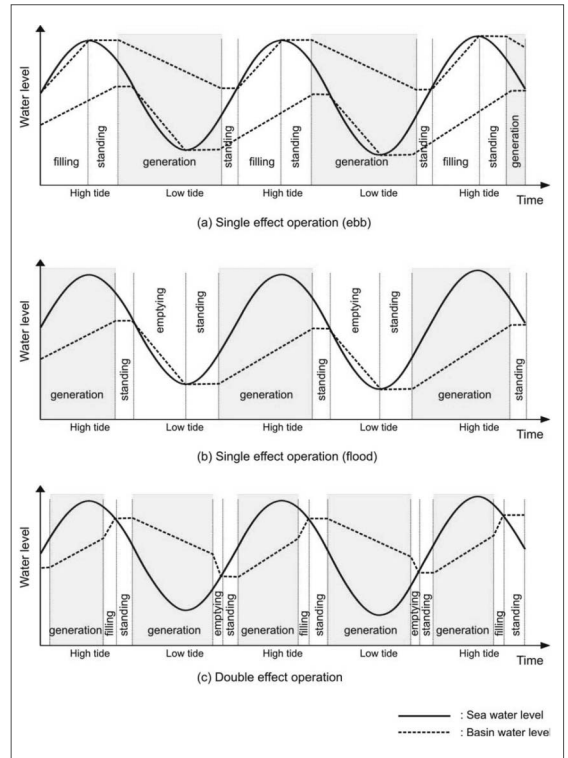
〈그림 1〉 낙조식 조력발전 개념도 (상 : 충수, 하 : 발전)

지고 제작비용도 높아지게 된다. 일반적으로 이 발전방식은 조차가 아주 크게 발생하는 지역에서는 단류식보다 유리한 것으로 알려져 있으나, 우리나라 서해안의 경우 유리한 조력발전 후보지의 하나인 충청남도 가로림만에 대한 분석 결과를 보면 단류식이 경제성 측면에서 유리한 것으로 나타났다. 프랑스의 Rance 조력발전소와 중국의 지양시아 조력발전소가 단조지 복류식을 이용하고 있다.

2.2. 조력발전 수차발전기

조력발전은 수두차 즉, 유체의 위치에너지를 운동 에너지로 변환시켜서 발전을 하는 하천에서의 수력발전과 그 원리가 동일하다. 이에 따라 수력발전과 유사한 형태의 수차발전기를 이용하게 된다. 그러나 조력발전이 수력발전과 다른 점은 그 이용 가능한 낙차가 수력발전에 비해 상대적으로 작다는 점이며, 또한 수력발전은 비교적 낙차가 일정한 반면 조력발전에서는 시간에 따라 낙차가 계속 변한다는 점이다. 일반적으로 이러한 형태의 발전방식에서 발전비용은 낙차와 직접적으로 관련되므로 저낙차에 대해 효율이 좋은 수차발전기가 필요하다. 이러한 목적으로 개발된 것이 Bulb형 수차발전기로서, 프로펠러형의 Runner를 사용하고 있으며 벌브의 내부에 발전기(Generator)를 내장하고 있다. 이 수차의 특징은 물의 흐름 변화에 따라 수차날개의 각도를 조정하고, 위켓 게이트(Wicket Gate)를 개폐하며 통과 유량을 조절할 수 있도록 함으로써 저낙차에서도 그리고 계속 변하는 낙차에서도 발전효율을 극대화할 수 있다는 점이다. 또한 구조적으로 간단하기 때문에 발전도목구조물을 최소화할 수 있다.

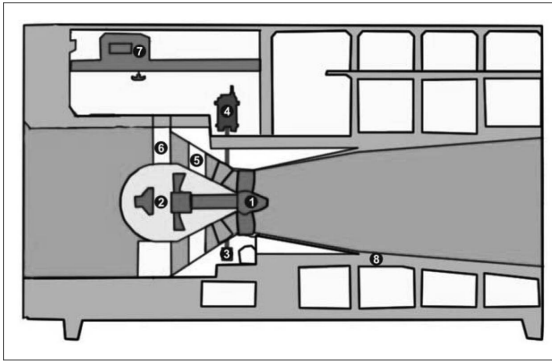
이 수차는 프랑스의 Rance 조력발전소에서 채택되었으며, 현재까지 40년 이상 가동되고 있어 그 실용성이 입증된 바 있다. 또한 특기할 만한 것은 새로운 대형 Straflo형 수차의 개발이다. Straflo형 수차는



〈그림 2〉 조력발전 발전방식

이미 오래 전부터 하천에서의 소규모 수력발전이 사용되어 왔으며, 기술개발 결과 발전기의 대형화가 이루어져 캐나다 아나폴리스 조력발전소에서 채택되어 조력발전에 이용 가능성이 입증되었다.

조력발전 수차발전기의 발전효율과 함께 기술적인 문제점으로 대두되는 것은 강재를 포함하는 발전 시설 재료의 부식이다. 특히, 수차발전기의 경우 유속이 빠르기 때문에 해수 중에서 강재의 부식이 심하다. 해수에서 금속의 부식은 주로 이종금속간의 복합에 의한 접촉전위차, 혹은 동일한 금속일지라도 산소농도전지작용에 의해 전류가 전해액을 통해 흐름으로써 생기는 부식이다. 이에 대한 방지대책으로써 합금재의 사용, 전기적 절연, 도막에 의한 절연, 그리고 전기방식법 등이 고려되고 있다. 참고로



〈그림 3〉 조력발전용 벌브형 수차발전기 및 발전구조물
(1. 수차, 2. 발전기 3. 유량조절수문, 4. 서보 모터, 5. 발전기함 지지대, 6. 발전기함 접근로, 7. 유지보수용 크레인, 8. 배수관로)

프랑스 Rance 조력발전소는 수차 날개 재료로 스테인레스 스틸 17-4 (17% 크롬, 4% 니켈) 합금을 사용하여 현재까지 약 40년간 특별한 문제없이 가동이 되고 있다.

3. 외국의 조력발전 현황

현재 가동 중인 조력발전소 중 대표적인 것으로는 1966년 준공된 프랑스의 Rance 발전소(시설용량 240MW), 1968년 준공된 러시아의 Kislaya Guba 발전소(시설용량 400kW), 1984년 준공된 캐나다의 Annapolis 발전소(시설용량 20MW), 그리고 중국의 Jiangxia 발전소(시설용량 3,900kW)를 들 수 있다. 이들의 공통적 특징은 모두 대규모 조력개발을 위한 시험발전소로 건설되었다는 점이다. 즉, 프랑스의 Rance 조력발전소는 Chausey섬 개발, 러시아의 Kislaya Guba 발전소는 Tugur만과 Mezen만 개발, 캐나다의 Annapolis 발전소는 Fundy만 개발, 그리고 중국의 Jiangxia 발전소는 중국 동해안의 조력개발을 위한 연구, 건설 및 가동경험 축적을 위한 전초

단계로 볼 수 있으며, 대규모 조력개발에 따른 시행착오를 최소화하기 위한 목적을 가지고 있다. 또한 이들 대규모 조력개발에 대한 타당성 조사가 1960년대 실시되었다는 점도 공통점이라 할 수 있다. 이들 대표적인 조력발전소의 개요를 아래의 〈표 1〉에 요약하였다.

유럽을 중심으로 20세기 초 근대적 의미의 조력개발이 시도된 이래 조력발전에 관한 기술은 발전방식, 수차발전기 개발, 시공법 개발 등의 분야에 있어서 상당한 발전이 있었다. Bulb 수차의 개발은 조력발전 뿐 아니라 저낙차 수력발전에도 큰 파급효과를 주었다. 또한 가물막이 공법을 대체하는 Caisson 공법의 고안으로 건설비 절감은 물론 공사기간을 줄일 수 있게 되었다. 현재 조력발전에 대한 기술적인 문제는 대부분 해결되었으나, 경제성과 환경성을 뒷받침할 수 있는 새로운 기술의 개발이 요구되고 있다.

4. 우리나라 조력에너지 개발 현황

조력발전은 발전량 측면에서는 조석간만의 차가 크고 조성되는 조지면적이 넓을수록 유리하고, 건설비 측면에서는 설치되는 댐의 길이가 짧을수록 유리하다. 우리나라 서해안 중부, 경기만 해역은 큰 조차(潮差) 및 잘 발달된 해만으로 인해 천혜의 조력에너지 자원 보고로 알려져 있으며, 서해안에서의 조력발전에 대한 구상은 1920년대부터 시작된 것으로 추정되며, 일제강점기인 1929년 조선총독부 체신국에서 시행한 ‘인천만 조력발전 방안에 대한 조사’ 이후 여러 차례에 걸쳐 조사사업이 수행되었다.

특히 1970년대 초 석유파동으로 인한 대체에너지 개발 및 탈석유전원개발정책의 일환으로 1974년부터 한국해양연구소, 한국전력공사 등 관련기관에 의해 수차에 걸쳐 본격적인 타당성 검토 조사사업이

<표 1> 국외 가동 중인 조력발전소

구 분	프랑스 랑스 조력발전소	캐나다 아나폴리스 조력발전소	러시아 키스라야구바 조력발전소	중국 지양시아 조력발전소
위치	• 프랑스 Bretagne, Rance	• 캐나다 Nova Scotia, Annapolis	• 러시아 Murmansk, Kislaya Guba	• 중국 Zhejiang, Jiangxia
개요	세계 최초의 상업조력발전소이며, 평균가동율은 97%를 유지하고 있음. 약 15개월에 걸친 가물막이를 통해 발전기실, 통선문, 사석제, 수문 등 건설. 총연장은 750m 임.	이 조력발전소의 가장 큰 특징은 벨브형 수차 대신 Straflo형 수차를 처음 사용하였으며, Fundy만 의 대규모 조력발전소를 고려한 prototype급 시험발전소로 건설되었음.	전국토 전력화사업의 일환으로 400kW급 소형실용용 조력발전소로 건설되었으며, 수차발전기 개량, 극한지에서의 건설과 가동에 따른 문제점들을 시험하였음.	1970년대 2단계의 조력발전소로 중국 조력발전소의 대표격에 속하며, 이 조력발전소를 포함하여 총 9개로 세계최다의 조력발전소 보유국임.
조 위	• 최대조차 : 13.5m • 평균조차 : 8.5m	• 최대조차 : 8.7m • 평균조차 : -	• 최대조차 : 3.90m • 평균조차 : 1.04m	• 최대조차 : 8.39m • 평균조차 : 5.08m
조 지	• 면 적 : 22km ² • 조력댐 연장 : 0.75km	• 면 적 : 11.5km ² • 조력댐 연장 : 제방 이용	• 면 적 : 1.1km ² • 조력댐 연장 : 0.15km	• 면 적 : 5.37km ²
발전소	• 시설용량 : 240MW • 연간 발전량 : 544GWh • 발전방식 : 단 · 복류식 및 양수식	• 시설용량 : 20MW • 연간 발전량 : 50GWh • 발전방식 : 단류식	• 시설용량 : 0.4MW • 연간발전량 : 1.2MWh • 발전방식 : 복류식	• 시설용량 : 3.9MW • 연간 발전량 : 6.0GWh • 발전방식 : 복류식
수 차	• 기수: 24기×10MW(Bulb) • 직 경 : 5.35m • 정격낙차 : 5.75m • 정격유량 : 275m ³ /s	• 기수: 1기×20MW(Straflo) • 직 경 : 7.60m • 정격낙차 : 5.50m • 정격유량 : 378m ³ /s	• 기수 : 1기×0.4MW(Bulb) • 직 경 : 3.30m	• 기 수 : 6기 • 단위기 용량 : 0.5MW×1기, 0.6MW×1기, 0.7MW×4기(Bulb) • 직 경 : 2.50m
비 고	• 1960년 착공 • 1966년 준공 • 1967년 발전개시	• 1980년 착공 • 1984년 준공	• 1968년 가동	• 1972년 착공 • 1980년 1호기 가동

실시되었다. 1978년에는 ‘서해안 조력 부존자원조사’를 통하여 서해안 중부 일대에 선정된 조력자원 개발 입지 10개 지점에 대해 약 650만kW의 조력부존자원량을 확인한 바 있다. 이후 2006년 ‘한반도 조력자원 부존량 조사’에서 조력자원 개발가능량을 재검토하였다. 이를 정리하면 아래의 <그림 4>와 <표 2>와 같다.

최근 들어 국제유가의 변화 및 청정개발체제(CDM)사업이 유망사업으로 부상하면서 조력발전에 대한 관심이 높아지고 있다. 경기도 시화호의 수질개선을 도모하고 무공해 전력도 생산할 수 있는 대안으로 시설용량 254MW급 조력발전소가 2011년 11월 준공되어 조력 발전을 통한 전력생산이 이루어지고 있다. 또한 충청남도 서산시와 태안군에 위치



〈그림 4〉 우리나라 조력발전 주요 후보지

한 가로림만에서는 시설용량 약 520MW급의 상용 조력발전소 건설을 추진 중이며, 경기만의 인천만 지역과 강화도 지역에 대해 조력발전소 건설이 추진 중이다.

4.1. 시화호 조력발전

시화만에 농·공업용지 및 휴식공간 조성을 목적으로 시화방조제를 축조하여 담수호를 조성할 계획이었으나, 수질문제로 담수호 계획을 포기하고 해수호로 유지하기로 한 이후 시화호에 조력발전소 건설을 추진하였으며, 254MW급의 세계 최대 조력발전소로 2011년 11월 준공되었다.

시화방조제는 경기도 시흥시 정왕동 오이도와 안산시 대부동 방어머리를 잇는 길이 12.7km의 방조제로 농어촌진흥공사의 대단위 간척종합개발사업의 일환으로 1994년 완공되었다. 시화방조제에는 홍수시 초당 약 4,000톤의 홍수량을 배제할 수 있는 배수갑문 2개소를 비롯해 길이 20km, 폭 8m의 진입도로, 어도 1개소, 통선문 1개소, 선착장 5개소, 제염암거 등이 설치되어 있다. 그러나 1994년 방조제 물막이공사가 완료되고 담수화가 추진되면서 해수유통이 차단되고 인근지역으로부터 유입된 오염물질이 시화호 내에 축적되어 시화호의 오염 문제가 심화되면서 시화호의 수질개선을 위한 종합적인 대책이 요구되어 왔다.

이에 정부는 1996년 7월 하수처리장 신·증설 등

〈표 2〉 우리나라 조력발전 개발 가능량

구분	시설용량(MW)	발전량(MWh)	유류 대체효과(Bbl)	CO ₂ 저감효과(톤)
시화호	254	552,700	810,258	232,245
가로림	520	950,532	1,393,480	399,414
인천(중규모)	1,320	2,414,000	3,538,924	1,014,363
강화(대규모)	840	1,556,000	2,281,096	653,831
새만금	400	687,000	1,007,142	288,677
천수만	720	1,206,000	1,767,996	506,761
해주만	2,300	2,999,000	4,396,534	1,260,180
합계	6,354	10,365,232	15,195,430	4,355,471

※ 에너지 열량 환산기준은 에너지 기본법 시행규칙(2006. 9. 1) 적용

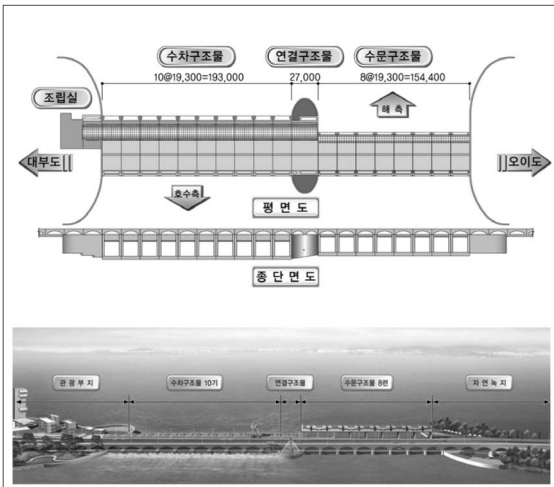
※ 이산화탄소 저감효과는 국내 기후변화대응 신재생에너지 이산화탄소 배출량 기준적용 (0.4202kg CO₂/kWh)

환경기초시설 확충을 주 내용으로 하는 4,493억 원의 규모의 수질개선대책을 확정하고, 2000년까지 2,079억 원(수공 713억 원, 지자체 1,366억 원)을 투자하여 해수화, 담수화 여부에 관계없이 기본적으로 추진이 필요한 하·폐수처리장 확충, 오점관거 개보수, 인공습지 및 산화지 설치, 배수갑문을 통한 해수유통(담수호에서 해수호로 전환) 등의 사업을 추진하여 왔다. 또한 2001년 2월, 정부는 시화호를 해수호로 계속 유지키로 하고 그에 따른 수질개선 종합대책을 조정·시행키로 하였다. 즉, 해수호의 홍수 조절능력을 유지하고, 조석간만의 차를 이용한 해수순환을 통하여 해수 정체로 인한 수질악화를 방지하는 한편 신·재생에너지 개발을 통한 탈유 전원개발과 기후변화협약 등으로 인한 CO₂ 저감대책에 부응하고자 시화호 조력발전소 건설을 추진하였다.

시화호 조력발전소 건설을 위해 시화호의 관리수위(EL. -1m)를 감안하여 한국해양과학기술원에서 창조식 조력발전 시스템 기술을 개발하였고, 이 기술을 적용하여 적정개발규모를 도출하였다. 적정개발규모로 25.4MW급 비양수 단류식 벌브형 수차발전

전기 10대(시설용량 254MW)와 수문 8대 설치가 권장되었으며, 이 경우 시화조력발전소의 연간발전량은 552.7GWh로 예상되었다.

조력발전소 주요 시설물로는 수차구조물과, 수문구조물 등이 있다. 수차구조물과 수문구조물은 가물막이 축조 후 현장타설 공법에 의해 구조물을 축조하였다. 가물막이는 외해 측은 원형셀식과 사석경사식(접속부)으로 건설하였고, 호수측은 강널말뚝식으로 설비하였다. 수차구조물은 25.4MW급 10기로 B19.3m × H29.0m × L16.1m의 규모이다. 수문구조물은 켈버트식으로 B19.3m × H24.0m × L44.3m 규모로 8련이 설치되었다. 시화 조력발전소에서 사용된 수문은 Roller Gate 8련으로 구성되어 있고, B15.3m × H12.0m이며, 방류량은 11,500m³/sec에 달한다. 그 외에도 수문구조물과 수차구조물을 연결하는 연결구조물, 구조물과 부지를 연결하는 날개벽구조물, 도로, 발전소 건축물, 관광부지 건설 등이 있다.



〈그림 5〉 시화 조력발전소 구조물 배치도



〈그림 6〉 시화조력발전소 전경 (2011년 8월)

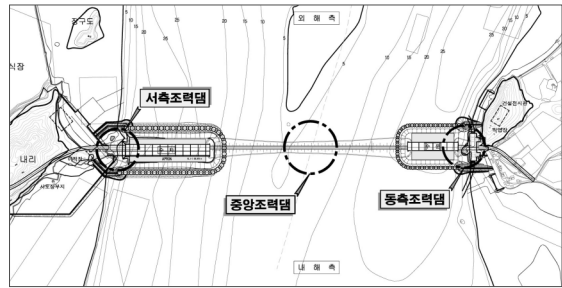
4.2. 가로림 조력발전

충남 서산군 소재 가로림만의 경우, 1981년 ‘가로림만 조력발전 타당성조사’를 통하여 기술적 및 경제적 개발타당성이 입증되었으며, 제 5차 경제사회

개발 5개년계획 투자우선순위 조정시 조력발전은 1987년 이후에 착공기로 결정되었다. 그러나 1986년 한전에서 실시한 ‘가로림 조력발전 후속조사 및 우수영 조류발전 예비타당성조사’에서는 당시 유가의 하락 추세 및 건설공사비의 상승요인에 의하여 조력발전의 개발경제성이 미흡한 것으로 평가되어 개발이 보류되었다. 1991년 중국에 조력발전 실태 조사단을 파견하여, 중국의 실용화된 조력발전기술과 저렴한 기계설비 제작비 및 수산양식을 병행하는 다목적개발 가능성을 확인하였으며, 사업비 절감방안을 수립하면 경제성이 제고될 것으로 판단하고, 그 동안의 여건변동을 고려하여 1993년에 ‘가로림 조력개발 타당성 조사’를 실시하였으나 타 사업의 개발 우선순위에 밀려 개발이 보류되었다. 2000년대 들어, 국제유가의 변화 및 청정개발체제(CDM) 사업이 유망사업으로 부상하자, 한국서부발전(주)에서는 정부의 신·재생에너지 보급정책에 부응하는 일환으로 가로림만에 대해 2007년 3월까지 조력발전 타당성조사를 실시하였고, 현재 환경영향평가 절차가 진행 중이다.

가로림 조력발전소는 서측의 충남 태안군 이원면 내리(만대)로부터 동쪽의 충남 서산시 대산읍 오지리(별말) 일원이다. 이 지역의 최대조차는 7.9m, 평균조차 4.87m, 대조차 6.81m이다. 조력댐의 총 연장은 약 2km이며, 조지면적은 96km²이고, 총 저수량은 4.46억m³ (유효저수량: 3.17억m³)이다. 가로림 조력발전소의 평면배치계획은 <그림 7>에서 보는 바와 같이 서측의 태안군 이원면 내리 쪽에 수차구조물이 설치되고, 동측의 서산시 대산읍 오지리 쪽으로 수문구조물이 배치되는 방안이 채택되었다. 가로림 조력발전소에는 낙조식 발전이 적용되며, 26MW급 수차발전기가 총 20대가 설치되어 시설용량 520MW로 건설될 예정이다. 연간발전량은 약 950GWh에 이를 것으로 예상하고 있으며, 총사업비

는 약 1조 22억 정도가 소요될 것으로 예상하고 있다. 환경영향평가 협의 후, 지식경제부로부터 실시계획 허가를 받아 2012년에 착공하여 약 60개월간 공사를 진행할 계획으로 추진 중이다.



<그림 7> 가로림 조력발전소 평면배치계획



<그림 8> 가로림 조력발전소 조감도

4.3. 인천만 조력발전

인천만 해역은 대조차 7.7m, 평균조차 5.5m로 조력발전 입지조건이 우수한 지역으로 오래전부터 주목을 받아왔다. 인천만 조력발전에 대한 구상은 1920년대부터 시작되어 일제강점기인 1929년 조선총독부 체신국에서 시행한 ‘인천만 조력발전 방안에 대한 조사’ 이후 여러 차례에 걸쳐 조사사업이 수행되었다. 조력자원을 현명하게 이용하기 위해서는 장점을 극대화하고 단점을 극복하기 위한 지속적

인 노력이 필요하며, 그 일환으로 한국해양과학기술원에서는 2000년부터 국토해양부의 국가연구개발 사업으로 ‘조력에너지 실용화 기술개발 연구’를 수행하였다. 초기 3년간 수행된 제1단계 연구가 조력발전의 장점을 극대화하기 위한 기술개발이 중심이었다면, 2006년부터 2011년 8월까지 5년간 실시된 제2단계 연구에서는 단점을 최소화하기 위한 연구에 초점이 맞추어졌다. 즉, 기획단계부터 실용화를 전제로 하되 친환경개발 또는 지속가능한 개발의 모델을 수립하는 것을 목표로 설정하였으며, 그 연구대상지역으로 우리나라에서 가장 큰 조석이 나타나며, 넓은 갯벌이 있고, 그리고 수도권에 위치해 각종 개발 수요가 집중되어 있는 강화도-영종도-장봉도-강화도를 잇는 인천만을 선정하였다. 여기서는 그 연구결과를 간략히 기술하기로 한다.

2006년부터 수행된 연구를 통해 인천만 조력발전의 기술적·경제적 타당성은 충분한 것으로 나타났다. 환경적 측면에서도 환경변화에 대한 관측 조사와 예측, 환경변화 저감기술 개발과 환경변화에 대한 대안 마련에 중점을 두고 초기단계부터 환경단체를 포함하는 환경전문가의 직접적인 참여를 추진하였다. 조류(鳥類)와 갯벌 생태계를 포함하는 환경조사를 지속적으로 실시하였고, 친환경 개발 방안을 수립하는 등 환경적 타당성 확보를 위한 실효성 있는 환경변화 저감대책 마련과 관련기술 개발에 초점을 맞추고 실시되었다.

인천만 조력발전소 기본계획에 따르면 <그림 9~11>에서 보는 바와 같은 평면배치와 같이 발전 및 수문구조물과 방조제 등이 설치된다. 방조제의 총연장은 발전구조물을 포함하여 18.3km이며, 조지면적은 157km²이다. 발전방식으로 낙조식 단류발전이 채택되었으며, 단위기 용량 30MW급 수차발전기 44대가 설치되는 시설용량 132만kW가 적정한 것으로 나타났다. 총사업비로는 2008년 말 기준으로 약 3조

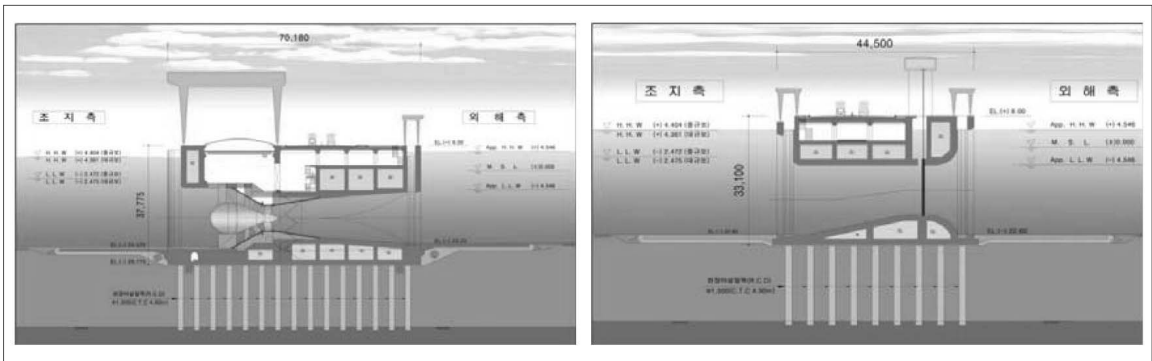
9천억 원이 소요되며, 건설기간은 7년에 이를 것으로 예상되었다. 연간 약 24억 kWh의 전력을 생산할 수 있는 것으로 예측되었으며, 이는 인구 270만 명인 인천광역시의 가정용 전력 약 60%를 공급할 수 있는 양이다. 이 연간발전량은 연간 354만 배럴의 원유 수입을 대체할 수 있으며, 원유 1배럴당 가격을 미화 100\$, 환율을 미화 1\$당 1,000원이라고 가정할 경우 연간 약 3,500억 원어치 원유에 해당한다. 또한 연간 약 100만 톤의 온실가스 저감효과가 기대된다. 간접적 효과도 기대된다. 조지를 구성하는 동측 방조제와 서측 방조제는 인천국제공항과 인천항은 물론 수도권-영종도-강화도를 연결하는 환



<그림 9> 인천만 조력발전 전체 조감도



<그림 10> 인천만 조력발전 상세 조감도



〈그림 11〉 인천만 조력발전 수차구조물 및 수문구조물 표준 단면도

상의 도로로 활용될 수 있어 관광개발을 촉진할 것으로 예상되며, 멀지 않은 남북 화해협력시대에 인천-개성-평양을 최단거리로 연결하는 기반시설로 '경제수도 인천'의 랜드마크 역할도 가능할 것으로 기대된다.

4.4. 그 외 조력발전

가로림만이나 인천만 외에도 강화 조력발전과 아산만 조력발전이 타당성 조사를 실시하였거나 실시 중이며, 해주만, 새만금 등에 대한 조력발전도 각각 다른 이유로 검토된 바 있다. 현재 우리나라에서 개발 계획이 구체화되고 있는 조력발전 추진 현황을 정리하여 <표 3>에 수록하였다. 강화 조력발전은 2009년 타당성조사를 완료하고, 현재 강화도와 석모도를 연결하는 소규모안으로 추진 중이며, 이 경우 적정시설용량은 420MW, 연간발전량은 약 710GWh인 것으로 추정되었다. 아산만 조력발전은 (주)대우건설에서 2011년 예비타당성조사를 수행한 바 있으며, 현재 타당성조사가 수행 중이다. 이들 5개의 조력발전소가 모두 건설될 경우 총 시설용량은 2,768MW, 연간발전량은 5,167GWh에 이를 것으로 예상된다. 이는 5MW급 풍력발전기 554대를 설치한 것과 같은 규모로 정확한 발전량이 예측 가능하여

국가전력계통망 내에서 조절이 가능하다는 점, 조지 내수면을 계획 관리하며 경제적 활용이 가능하다는 점, 전력 수요가 많은 수도권에 위치하고 있다는 점 등 여러 가지 장점이 많다고 할 수 있다. 그러나 이 모든 조력발전이 서해 중부지역에 집중되어 있어 환경변화에 대한 누적 효과가 나타날 수 있으므로 이에 대한 세심한 주의 또한 필요하다 할 수 있다.

5. 조력발전소 건설에 따른 환경 문제

조력에너지는 영구적으로 이용 가능하며, 운영시 오염물질이 배출되지 않는다는 장점을 가지고 있으나, 방조제 조성 등에 따라 자연 환경의 변화를 유발하게 된다. 이러한 환경변화 문제가 조력에너지 개발에 대한 가장 많은 논란과 우려의 대상이 되고 있다. 따라서 개발에 따른 환경적 영향을 면밀히 관찰하고, 이에 대한 영향 정도를 최소화할 수 있는 종합적인 환경적 검토가 필요하다.

〈표 3〉 우리나라 조력발전 추진 현황

구 분	시화호	가로림만	인천만	강화	아산
위치	경기 안산시	충남 태안군·서산시	인천 강화군·옹진군	인천 강화군	충남 당진시 경기 평택시
대조차 (평균조차)	7.8m (5.6m)	6.7m (4.8m)	7.7m (5.5m)	7.8m (5.5m)	8.0m (5.7m)
방조제 길이 (발전구조물 포함)	12.7km (기존 방조제)	2.05km	18.30km	4.45km	3.1km
조지 면적	43.15km ² (평균해수면 기준)	96.03km ² (약최고고조위해수면 기준)	157.45km ² (약최고고조위해수면 기준)	36.9km ² (약최고고조위해수면 기준)	31.4km ² (약최고고조위해수면 기준)
발전 방식	단류식 창조발전	단류식 낙조발전	단류식 낙조발전	단류식 낙조발전	단류식 낙조발전
발전 시설	수차10기수문8문	수차20기수문12문	수차44기수문20문	수차14기수문4문	수차10기수문8문
시설 용량	25.4만kW	52만kW	132만kW	42만kW	25.4만kW
연간 발전량	552GWh	950GWh	2,410GWh	710GWh	545GWh
총 사업비	4,958억 원	1조 22억 원	3조 9,214억 원	1조 2,473억 원	9,824억 원
건설 기간	8년('03~'11)	6년 3월	7년	5년 2월	5년
갯벌 감소 면적	-	73.61→50.99km ² (30.1% 감소) ※최대발전운전	104.7→86.8km ² (17.1% 감소) ※친환경운전	7.2→5.0km ² (29.9% 감소) ※친환경운전	-
시행자	한국수자원공사	한국서부발전 포스코 건설 등	한국수력원자력 GS건설	한국중부발전 대우건설	한국동서발전 대우건설
유류 대체 효과	81만 배럴 (810억 원)	139만 배럴 (1,390억 원)	353만 배럴 (3,530억 원)	104만 배럴 (1,040억 원)	80만 배럴 (800억 원)
CO ₂ 저감	23.4(만 톤/년)	40.3(만 톤/년)	102.3(만 톤/년)	30.1(만 톤/년)	23.1(만 톤/년)
추진 상황	가동 중	환경영향평가서 재보완 진행 중	공유수면매립 기본계획 반영 진행 중	공유수면매립 기본계획 반영 진행 중	타당성 조사 진행 중
특이 사항	2011년 준공 세계 최대	17만 8천 가구 전력공급	50만 3천 가구 전력공급 (인천시 가정용 전력의 60%)	13만 3천 가구 전력공급	10만 2천 가구 전력공급

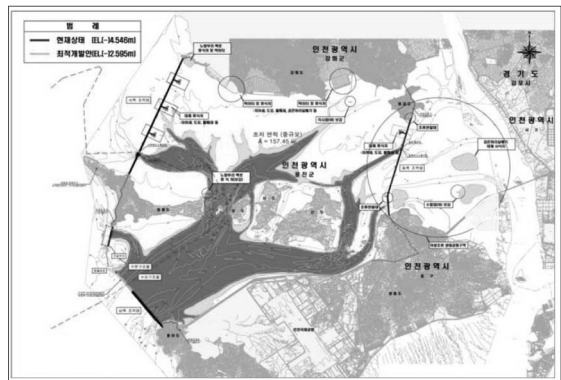
※ 에너지열량 환산기준은 에너지기본법시행규칙(2006. 9. 1) 적용
 ※ 2011년 기준 가구당 연간 전력사용량(5.32MWh) 반영
 ※ 이산화탄소 저감효과는 국내 기후변화대응·신재생에너지의 이산화탄소 배출량 기준 적용 (0.4202kg CO₂/kWh)
 ※ 갯벌감소면적은 조력발전 운전방식에 따라 달라짐
 ※ 유가 100\$/Bbl, 환율 1,000원/\$ 적용

조력발전소 건설에 따른 해안선 및 해저 지형의 변화는 해수의 흐름, 조석 그리고 조위 등 해수유동 특성의 변화에 영향을 미치게 된다. 이로 인해 발전소 건설 예정 해역과 인근 해역에서는 물리적 환경과 연안 생태환경에 변화가 나타날 것이다. 표영 생태계에서는 자연적인 해수흐름의 교란으로 인해 수질환경에 변화가 생기고 이는 기초 생산에 영향을 미치게 된다. 기초 생산의 변화는 순차적으로 먹이망에서 상위단계에 위치한 이차생산자의 변화를 초래하게 되며, 궁극적으로 유용생물을 포함한 수산자원까지 연쇄적인 영향을 미칠 수 있다. 이에 국가연구개발사업인 ‘조력에너지 실용화 기술 개발’의 2단계 연구기간(2006.2~2011.8) 동안 사업예정지역 내·외측에서 부유생태계와 저서생태계로 크게 구분하여 조사하였고, 이를 토대로 조력발전소에 따른 환경변화 예측 및 저감 방안을 도출한 바 있다.

인천만 조력발전의 경우 환경변화 예측을 위하여 대상 해역의 조석, 조류, 파랑, 퇴적물, 수질 등에 대한 현장조사를 실시하였으며, 이러한 현장 조사 자료를 토대로 조석, 파랑, 퇴적물 이동 수치모형실험을 실시하여 인천만 조력발전 기본계획 수립에 반영하였다. 조력발전소 건설 전 해양환경 모니터링과 수치모형의 입력 및 검증자료로 활용하기 위하여 자동승강식 해양환경 모니터링 부이(INBUS) 5기를 인천만 조력발전소 설치 예정해역 인근에 설치하여 DO, 유향, 유속, 전기전도도, 수온, 염분, 탁도, 클로로필, 파고-주기 등의 센서를 통해 해양환경요소(물리, 수질 및 기상 환경)를 일정한 시간 간격으로 무인 자동 측정 후, 획득한 자료를 실시간 기록과 동시에 원격지 실시간 모니터링 하였다. 또한 1) 생산된 주요 정보의 수집 및 취합, 2) 각종 연구·조사 자료의 보존, 3) 자료의 공유 및 활용성 증진 및 4) 효율적인 정보운영체계 수립을 위하여 지리정보시스템(GIS)에 기반을 둔 공간데이터베이스를 구축하

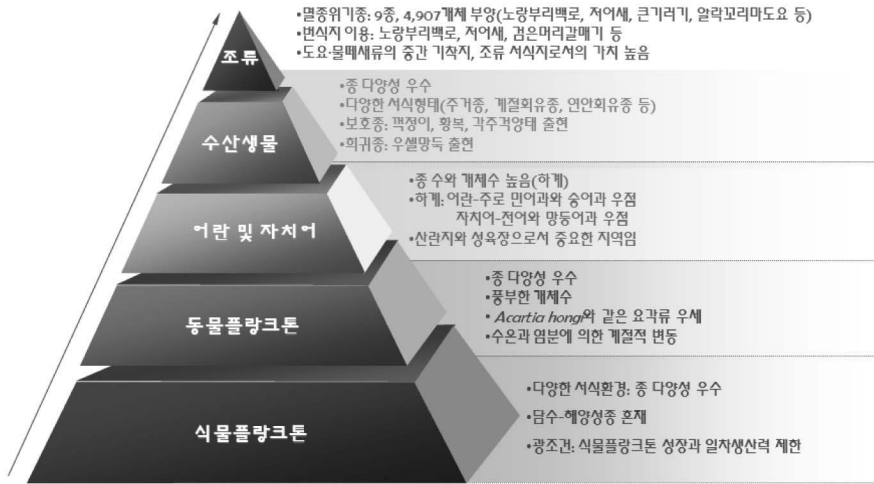
였고, 자료 활용시스템을 개발하였다. 이상과 같은 해양특성 조사, INBUS 구축·운영, GIS DB 구축, 수치모형실험 결과들은 인천만 조력발전이 생태환경에 미치는 영향 연구의 기본 자료로 활용되었으며, 향후 해양환경 변화를 추적·평가할 수 있는 토대를 구축하였다.

우선 조력발전에 따른 가장 많은 환경적 문제 제기는 갯벌의 감소라 할 수 있다. 이러한 문제의 저감을 위하여 한국해양과학기술원에서는 갯벌감소율을 획기적으로 개선할 수 있는 친환경 운전모형을 개발하였다. 이는 같은 시설규모일지라도 운전조건을 조금 바꾸어줌으로써 환경영향을 감소시킬 수 있음을 보여준다. 인천만 조력발전소에 적용해 보면, 조지 내 갯벌면적은 104.7km²이며, 최대발전량으로 운전하는 경우 갯벌감소면적은 53.8km²에 이르나(갯벌감소비율 51.3%), 친환경 운전모형을 적용하게 되면 갯벌감소면적은 17.9km²로 줄게 되어(갯벌감소비율 17.1%) 35.9km²의 갯벌을 살릴 수 있다. 이때 연간발전량은 2,451GWh에서 2,414GWh로 약 1.5% 감소하게 된다. 물론 갯벌의 위치 별로 약간의 침수시간 변화는 있으나, 이는 큰 진전이라 할 수 있을 것이다.



〈그림 12〉 친환경 운전모형 적용 시 갯벌 면적 변화 (17%감소)

인천만 부유생태계 현황

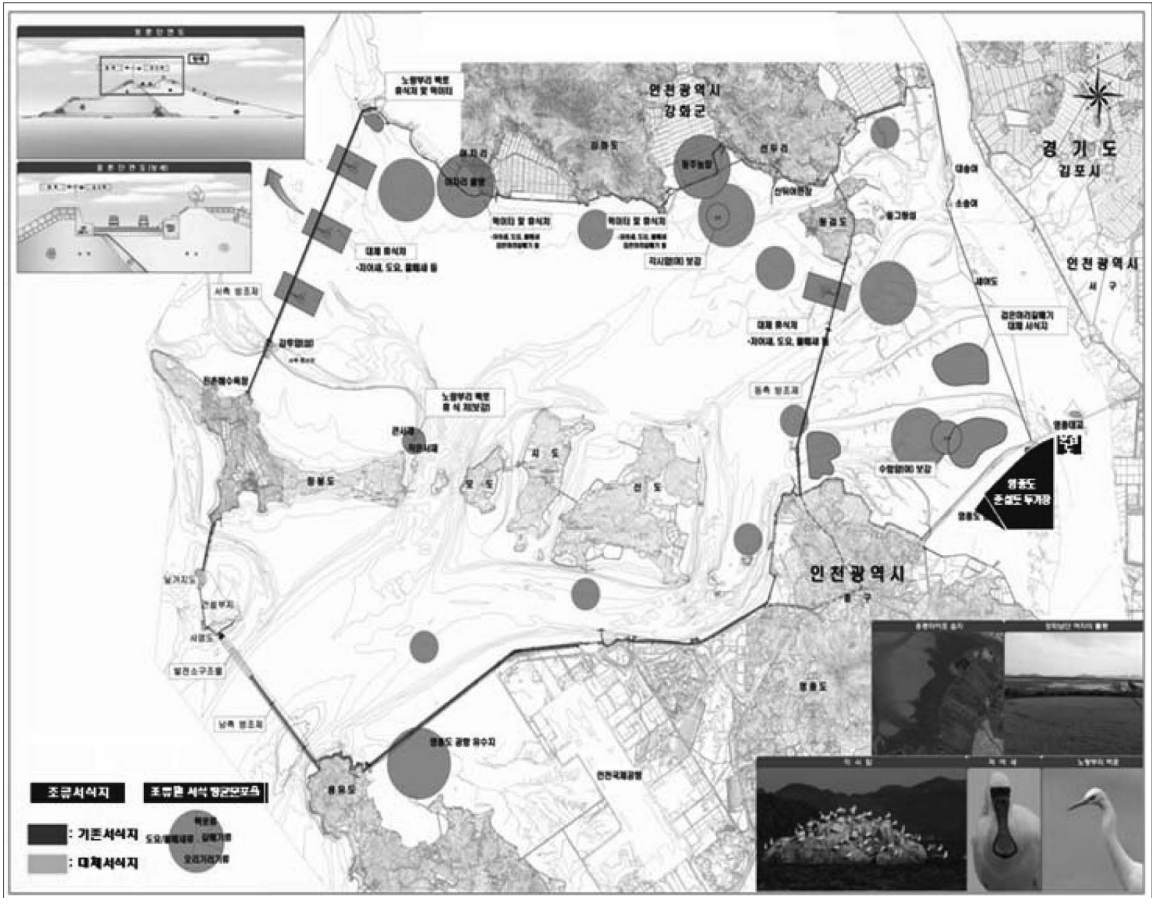


〈그림 13〉 인천만 부유생태계 조사 현황

인천만 저서생태계 현황



〈그림 14〉 인천만 저서생태계 조사 현황



〈그림 15〉 인천만 친환경 개발계획의 조류서식처 및 대체서식처 조성계획(안)

수치모형실험 결과(모의기간 2011. 5. 15~2011. 6. 30), 조력발전소 외측에서 고조위는 영종도 서측 인근해역 및 자월도~인천항 해역에서 5cm 정도 낮아지고, 저조위는 조력발전소 수문·수차 구조물 전면해역에서 5cm 정도 높아지는 것으로 나타났다. 조력발전소 건설 후 외측의 고·저조위 및 내측의 고조위는 거의 변화가 없으나, 내측의 저조위는 조력발전소 가동시 약 2m 정도 상승할 것으로 예상되었다.

해양환경변화 예측결과 1) 일부 해역 유속 및 탁

도 감소, 2) 퇴적물 세립화, 3) 동·식물 플랑크톤 개체수 변화, 4) 조간대 면적 감소로 인한 갯벌 자연정화능력 감소, 5) 해파리 서식처 제공으로 수산자원 감소 가능성, 6) 조간대 이용 조류(도요·물떼새 등) 감소, 조하대 이용 조류(오리, 기러기 등) 증가 등이 중요한 이슈로 나타났다. 이러한 환경변화를 저감하기 위한 방안으로는 1) 어류의 회유시기 및 산란시기에 공사 강도 및 시기 조절, 2) 오탃방지막 설치, 3) 친환경 방조제 조성, 4) 조류 대체서식처 조성, 5) 해수소통 수문 설치, 6) 부유사 확산 범위

최소화 기술개발, 7) 실시간 수질 및 생태계 예측 시스템 개발 및 적용, 8) 해파리 제어기술 개발 및 적용 등이 도출된 바 있다.

조력발전에 대한 또 다른 우려는 갯벌의 감소로 인한 생태계 보존과 종다양성 문제일 것이다. 여기서 우리가 구분해야 할 필요가 있는 것은 갯벌과 생태계의 파괴나 훼손이 아니라, 갯벌면적의 감소와 생태계의 변화라고 해야 할 것이다. 왜냐하면 감소되는 갯벌의 대부분은 육지화되는 것이 아니고 바다로 환원되기 때문이며, 갯벌은 생태적으로 바다의 특수한 일부분으로 간주할 수 있기 때문에 감소되는 면적의 갯벌은 갯벌의 특성은 상실하지만 바다의 특성은 그대로 유지되기 때문이다. 생태계는 외부 환경변화에 민감한 반면 생물의 생존력과 복원력은 우리가 종종 놀랄 정도인 경우도 있다. 약 40년 전에 건설되어 지금도 운영되고 있는 프랑스 랑스 조력발전소나 그 규모가 훨씬 작은 캐나다의 아나폴리스 조력발전소의 경우 생태적으로 훨씬 민감한 강하구에 건설되었음에도 불구하고 생태계의 변화는 있었으나 이를 파괴나 훼손이라고 단정 짓기는 어렵기 때문이다.

한편 ‘막으면 썩는다’라는 말이 있듯이 많은 사람들이 방조제를 쌓는다는 측면에서 조지 내 수질의 악화를 우려하고 있다. 이는 지금까지 방조제 건설에 따른 몇몇 수질 악화 사례를 경험했기 때문인 것으로 보인다. 그러나 조력발전소는 비록 해수의 유통량은 최대조차 기준으로 약 12.8% 정도 감소할 것으로 예측되나, 해수의 유통 자체를 막는 것은 아니다. 수질의 문제는 해수유통량의 감소보다 사실상 오염원을 어떻게 관리하느냐가 더 직접적이라 할 수 있다. 이러한 측면에서 조지는 수문 등 관리의 수단을 가지고 있으며 그 경계가 확실한 만큼 관리체계 또한 분명해질 수 있다는 점에서 체계적 관리가 가능하다고 할 수 있다.

다만, 환경변화 문제를 완전하게 해결한다는 것은 불가능에 가깝다고 볼 수 있을 것이다. 환경변화를 검토하기 위해서는 예측이 전제되어야 하나, 예측에는 불확실한 요소가 많기 때문이다. 그렇다고 예측에 내재된 불확실성 때문에 위험(Risk)하다고 단정해서도 안 될 것이다. 인천만 해역의 경우 인천공항, 송도신도시 등 크고 작은 개발사업으로 인해 지속적으로 누적적으로 환경변화가 나타나고 있으며, 기후변화와 해수 수온의 상승 등 생태환경에 영향을 미치는 요소를 모두 고려하여 환경변화를 예측한다는 것은 매우 어려운 과제이다. 예측을 한다 하더라도 검증 자체가 어려운 것 또한 사실이다. 특히 태풍의 직접적인 영향, 장기간의 이상 한파와 유빙의 대량 발생 등 자연적 요인에 의한 해양생태환경의 변화도 적지 않을 것으로 예상된다. 이러한 불확실성과 환경의 급격한 변화를 줄이기 위해 최선의 대안을 찾고, 이를 바탕으로 사회적 수용 가능 여부에 대한 공감대를 형성하는 것이 필요하다 할 수 있다.

6. 향후 추진 전망

세계 많은 나라들은 에너지를 국가안보전략 차원에서 접근하고 있으며, 우리나라는 2009년 기준 일차에너지 소비량은 237.5백만TOE(Ton of Oil Equivalent)로 세계 9위(석유소비 세계 9위)이며, 수요에너지의 대부분을 수입(에너지 해외의존도 96.4%, 수입액 949.8억 불)에 의존하고 있다. 또한 우리나라는 다른 선진국에 비하여 에너지 소비 증가율이 높을 뿐만 아니라 96% 이상의 에너지를 수입에 의존하고 있기 때문에 유가 등의 국제 에너지 가격이 상승하면 그만큼 에너지 수입에 많은 외화를 지출해야하며, 이는 결국 국제수지악화를 초래하게 된다. 실제로 연평균 원유 도입 단가가 1 달러 오를

경우 수입이 9억 달러 늘고 수출이 1억 달러 감소하여, 전체적으로는 무역수지가 10억 달러 적자로 악화되며 석유값은 유종별로 1~2% 포인트, 소비자 물가는 0.15~0.17% 포인트 높아질 것으로 추정되고 있다. 또한 2009년 우리나라의 이산화탄소 배출량은 5억 2813만 톤으로 전년도에 비해 1.2% 늘어나 세계 9위에서 8위로 한단계 상승했다. 국민 1인당 배출량은 10.9톤으로 세계 평균 4.5톤의 약 2.4배에 달했다. 이러한 에너지 상황과 기후변화에 선진국에 진입한 우리나라의 국가적 위상에 걸맞은 국제사회에의 기여를 고려할 때 우리나라의 경우 재생에너지의 이용은 선택이 아니라 필수적 과제라 할 수 있다.

조력발전은 이산화탄소 배출이 없는 그린에너지의 생산시설이라는 점에서 조력발전소 건설을 단순한 대규모 토목사업으로 볼 것이 아니라 녹색성장의 한 축을 담당할 수 있는 것으로 간주할 수 있을 것이다. 조력발전소 건설로 인해 만들어지는 조지는 어업활동이나 양식장 등으로 이용할 수 있으며, 만내 홍수조절, 해수면 상승과 해일 등으로부터 연안 보호, 교량효과 등의 사회적 편익도 있다. 또한 조력발전은 발전시설 설치를 위한 직접 부지 즉 매립면적이 상대적으로 작은 에너지원이다. 예를 들면, 인천만 조력발전의 경우 132만kW의 발전설비 설치가 가능한데, 이는 3MW급 풍력발전기 440기에 해당하는 것으로 이를 위해서는 약 440km²(1km²/기)의 부지가 필요하며, 태양광 발전시설 설치를 위해서도 약 22km²(16.5m²/kW)의 부지가 소요된다. 여기서 한가지 집고 넘어가야 할 것은 토목사업은 환경파괴적이라는 인식은 반드시 고쳐져야 한다는 것이다. 1980년대 이전에는 이러한 등식이 성립될 수 있었으나 서울올림픽을 전후로 일어난 활발한 환경운동과 환경보존을 위한 세계적인 조류에 맞추어 어느 분야보다도 먼저 환경문제를 고려하였으며, 환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(Environmentally

Sound and Sustainable Development)이라는 대명제에 가장 먼저 노출된 분야이며, 또한 환경 관련 기술개발이 가장 활발한 분야이기도 하다.

21세기는 해양의 시대라는 것은 부정할 수 없는 사실이다. 앞으로의 국가 성장은 누가 해양의 자원을 더 잘 보전하고 지속가능하게 이용하느냐에 달려 있다고 해도 과언이 아니다. 조력발전은 에너지원 고갈 문제, 이산화탄소 배출 저감, 그리고 에너지원 다변화 등 시급히 대처해야 할 문제의 대안으로서도 충분한 가치를 지니고 있다. 따라서, 현 시점에서 조력발전에 대한 논의는 ‘개발할 것이냐 아니냐’는 이분법적 논리보다는 ‘어떻게 개발할 것이냐 또는 환경 문제를 어떻게 풀어 갈 것인가’라는 접근이 필요하다 할 수 있다. 부정적 측면과 긍정적 측면을 모두 고려하여 사회적으로 수용 가능하냐의 문제로 보고, 현재보다는 미래를 준비하는 장기적 관점에서 이를 풀어나가는 것이 바람직한 방향일 것이다.

7. 맺음말

지속가능한 개발(sustainable development)은 1987년 국제기구인 “환경과 개발에 관한 세계 위원회(WCED, World Commission on Environment and Development)”가 “Our Common Future”라는 보고서에서 발표한 것으로 “미래세대가 그들의 필요를 충족시킬 수 있는 가능성을 손상시키지 않는 범위에서 현재 세대의 필요를 충족시키는 개발”을 일컫는 말로 환경보전과 개발을 동시에 추구하는 새로운 개발 개념이다. 이는 개발이 생태계의 수용능력, 즉 환경용량을 초과해서는 안된다는 것으로 자원의 남용과 환경파괴를 막고 현세대의 욕구를 충족하여 개발하는 것이다.

한편, 고갈성의 화석연료 사용에 따른 지구온난

화, 원자력발전소의 안전문제, 원유의 수급문제와 아울러 우리나라 에너지 자급도 제고를 위하여 우리는 재생 가능한 신재생에너지 개발에 총력을 기울여야 하는 입장이다. 신재생에너지로는 풍력·태양광·조력·조류·파력·해수온도차·지열 등이 있으며, 우리나라에서 개발 가능한 신재생에너지는 가급적 모두 개발하여야 할 것이다. 특히, 우리나라 서남해안은 지형적인 요인으로 인하여 조력·조류에너지 부존자원이 풍부해 이를 개발할 경우 기대효과가 매우 클 것이다. 조력·조류에너지의 가장 큰 장점은 에너지 밀도가 높아 대규모로 개발이 가능하고, 예측이 가능하다는 점과 아울러 일단 개발만 되면, 태양계가 존속하는 한 자원고갈 염려가 없어 안정적인 공급이 보장된 에너지이다.

조류에너지의 경우는 현재 기술개발 단계로 경제성을 향상시키기 위한 노력과 제도적인 지원을 통하여 조류에너지 상용화를 추진하여야 할 것으로 판단되나, 조력에너지의 경우 친환경 시공공법 개발, 해양환경변화를 정밀하게 모니터링하고 예측함과 아울러 환경영향 저감을 위한 노력에 만전을 기울여야 조력발전에 대한 사회적 수용성을 제고할 것으로 보인다. 다만, 지난 1968년부터 가동한 프랑스 랑스 조력발전에 대한 환경영향을 지속적으로 조사한 결과에서 조력발전이 생태학적으로 수용가능하다는 결론을 도출한 바 있어 친환경적으로 조력발전소를 건설하고 운영한다면, 조력·조류발전이 지속가능한 개발의 모범사례가 될 수 있을 것이다. 이는 ‘환경운동의 스승’으로 불리는 레스터 브라운(Lester Brown) 미국 지구정책연구소 소장이 2008년 방한 당시 신재생 에너지 기반사회를 ‘플랜 B’로 정의하고, 한국의 태양과 바람 및 조력의 잠재력을 근거로 낙관적 견해를 밝힌 것과 일맥상통한다 할 수 있다.

최근, 이상 한파로 인한 지난 겨울의 전력부족 사태, 최근 중동지역의 정정 불안에 따른 유가 급등,

일본 대지진에 따른 원전 폭발 등 에너지 수급 불안은 날로 심각해지고 있어, 조력에너지 개발을 위한 지혜를 모아 지속가능한 개발을 통하여 미래를 준비하여야 할 것이다.

〈참고문헌〉

- 국토해양부, 2008. 조력에너지 실용화 기술 개발 중간보고서 (인천만 조력발전 타당성조사 및 기본계획)
- 국토해양부, 2012. 조력에너지 실용화 기술 개발 최종보고서
- 산업자원부, 2007. 신·재생에너지 RD&D 전략 2030[해양]
- 지식경제부, 2010. 에너지통계연보
- 한국동서발전(주), (주)대우건설. 2010. 아산만 신·재생에너지단지 R&BD 제안서
- 한국서부발전(주), 2007. 가로림조력 타당성조사(2단계) 보고서
- 한국중부발전(주), 2009. 강화조력발전소 건설 타당성조사 보고서
- 해양수산부, 2006. 조력·조류에너지 실용화 기술 개발(1단계) 보고서
- 한국수자원공사, 2002. 시화호 조력발전 건설사업 타당성조사 및 기본계획 보고서
- 한국수자원공사, 2004. 시화호 조력발전 건설사업 기본설계보고서
- 한국수자원공사, 2005. 시화호 조력발전 건설사업 실시설계보고서
- Baker, A.C. 1991. Tidal power. Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom.
- ABS Energy Research, 2007, The Ocean Energy Report

IEA-OES, 2006. Ocean Energy Systems

L. B. Bernshtein, E. M. Wilson, W. O. Song. 1997.

Tidal Power Plants, KORDI, Korea.

저자 약력 이 광 수

- 1973 - 1977 : 서울대학교 공과대학(토목공학과) 학사
- 1984 - 1985 : 네덜란드 델프트 국제수리연구소 (연안수리학) 석사
- 1988 - 1998 : 영국 리버풀대학교 공과대학 (연안공학) 박사
- 1980 : 한국해양과학기술원 입사
- 현재 : 한국해양과학기술원 연안개발에너지 연구부 책임연구원

저자 약력 박진순

- 1985 - 1989 : 인하대학교 이과대학(해양학과) 학사
- 1989 - 1991 : 인하대학교 대학원(해양학과) 석사
- 1997 - 2012 : 인하대학교 대학원(해양과학과) 박사
- 1994 : 한국해양과학기술원 입사
- 현재 : 한국해양과학기술원 연안개발에너지 연구부 선임연구원