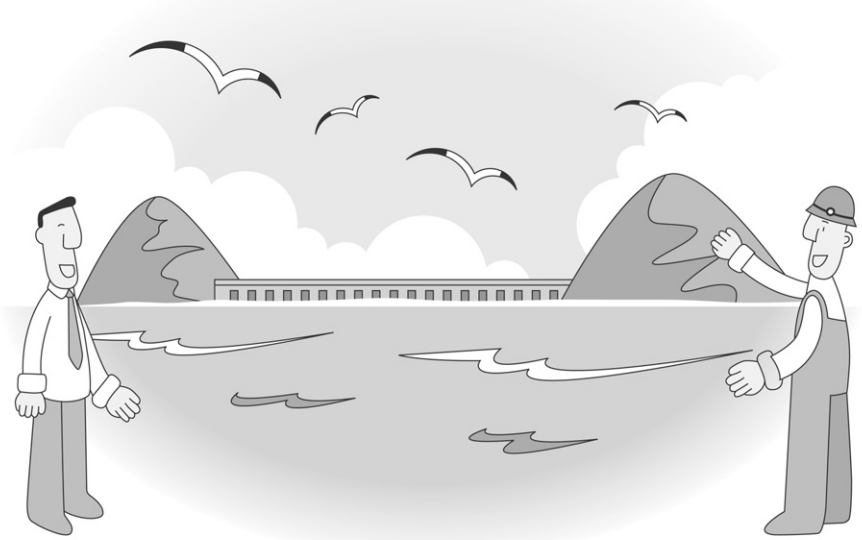
조력발전, 대규모 건설공사 파급효과 커

이종수 / 투데이에너지 기자(차장대우)

2008. 12월호	지열에너지	2009. 1월호	태양광에너지
2009. 2월호	풍력에너지	2009. 3월호	바이오에너지
2009. 4월호	연료전지	2009. 5월호	소수력에너지
2009. 5월호	**조력 · 조류발전**		

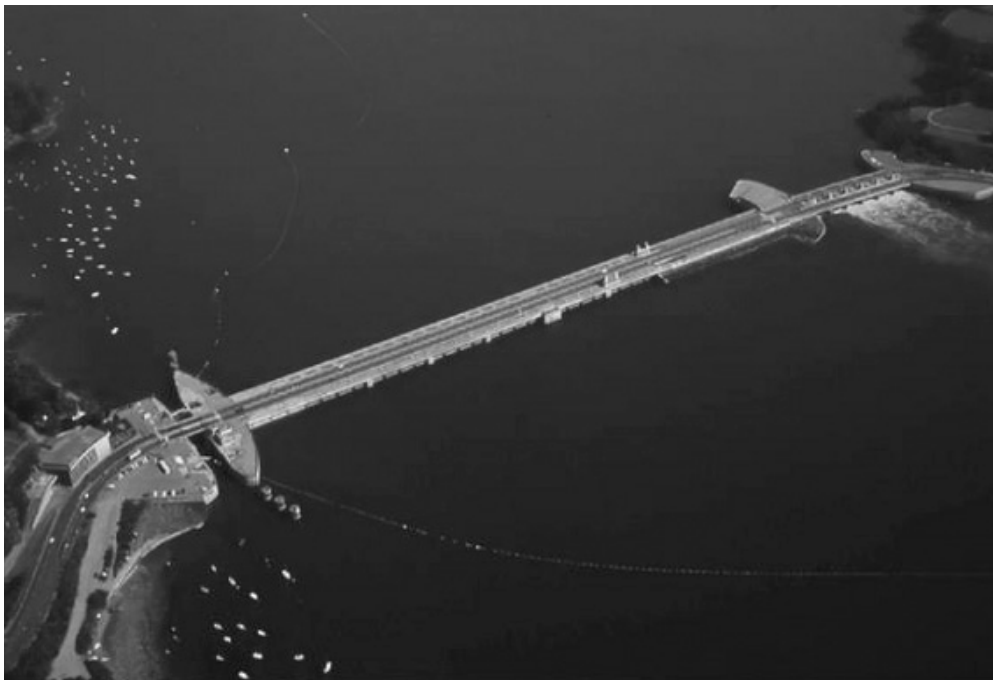


해양에너지는 해양의 조수 · 파도 · 해류 · 온도차 등을 변환시켜 전기 또는 열을 생산하는 기술로서 전기를 생산하는 방식은 조력 · 파력 · 조류 · 온도차 발전 등이 있다. 해양에너지는 타 신재생에너지에 비해 부존량이 풍부하고 에너지 밀도가 높으며 대규모 개발이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 특히 조력과 조류발전은 발전량의 정확한 장기예측이 가능해 전력계통망 운영에 유리하다는 큰 장점이 있다.

그러나 전 세계적으로 해양에너지의 보급은 미미한 실정이다. 화석에너지에 비해 경제성이 낮기 때문이다. 특히 조력발전은 막대한 초기건설비가 소요되고 입지가 제한적이다. 하지만 전문가들은 에너지자원 빈국인 우리나라의 경우 해양에너지 산업화가 시기적인 문제만 있을 뿐 향후 이에 따른 건설 및 서비스 시장도 확대될 것으로 전망하고 있다. 조력 · 조류발전의 경우 대규모 건설공사가 수반되며 이로 인한 산업적 파급효과는 막대할 것으로 예상되고 있다. 국내의 경우 시화호 조력발전소, 가로림 조력발전소, 울돌목 조류발전소의 경우 각각 약 3,600억원, 약 1조원, 약 2,500억원의 총 건설비가 소요될 것으로 전망되고 있다. 이중 토목건설 부분이 약 50%, 기계 · 전기 부분이 약 50%를 차지한다. 이는 향후 5년간 약 1조 6,000억원 정도의 토목건설과 기계 · 전기 설비시장이 새롭게 형성될 수 있다는 것을 의미한다.

이번 호에는 해양에너지 중 가장 집중적으로 추진되고 있는 조력 · 조류발전에 대해 알아본다. [편집자 주]

▣ 해양에너지 '조력 · 조류력'



▲ 프랑스 Rance 조력발전소

해양은 장차 밀어닥칠 자원난에 대비해 지구상의 마지막 보고로서 그 가치가 점차 높아지고 있다. 특히 해양에너지 자원의 개발은 점차 심화되고 있는 전 지구적인 환경오염 문제에 효과적으로 대응할 수 있는 방안의 하나로서 그 중요성이 커지고 있다.

해양에는 이용 가능한 다양한 형태의 에너지가 부존한다. 태양, 달, 지구 등 천체운동에 의한 조석에너지, 바람, 파랑 또는 해류와 같은 운동에너지, 그리고 해양에 저장되는 열에너지 등으로 크게 나눌 수 있다.

조석에너지는 조력과 조류력으로 이용되며, 운동에너지는 풍력, 해류력, 파력 등으로 이용될 수 있고, 열에너지 부분은 부존자원은 크지만 온도가 낮아 효율적인 이용은 어렵다. 그러나 이는 축적된 에너지이기 때문에 자연에너지 중에서 비교적 안정된 에너지라는 이점이 있어 열대 해역에서는 해양온도차발전 등을 통해 에너지 추출이 가능하다.

달, 태양과 지구의 상호작용에 의해 발생하는 바다의 밀물과 썰물, 즉 조석현상은 지형적 특성에 따라 그 크기나 형태가 다르게 나타난다. 우리나라의 서해를 비롯해 지구상의 몇몇 해역에서는 조석현상이 아주 강하게 발생해 밀물과 썰물의 수위차를 이용하는 조력발전을 통해 대규모의 전력생산이 가능하다.

조력에너지는 이미 수세기 전에 방앗간을 움직이는 동력원으로 유럽에서 사용된 예가 있고 프랑스를 위시한 몇몇 나라에서는 이미 중소형의 조력발전소를 건설 · 운영하고 있다. 또한 지형적인 특성에 따라 강한 조류가 발생하고 있는 곳에서는 바닷물의 흐름을 직접 이용하는 조류발전도 가능하다. 이러한 조석현상은 규칙적인 천체운동에 의해 발생하므로 바다에서 발생하는 현상 가운데 가장 규칙적이며 정확한 장기예측이 가능하다. 이에 따

라 조석에너지 또한 정확한 장기예측이 가능하다는 가장 큰 장점을 갖고 있다.

해양에너지는 일단 개발되면 태양계가 존속하는 한 이용이 가능하고 오염문제가 없는 무공해 청정에너지라는 장점을 가지고 있다. 조력, 파력, 해양온도차 에너지의 경우 몇몇 선진국가에 의해 일부 실용화단계까지 기술이 개발되고 있고 지속적이고 장기적인 연구개발 노력을 통해 관련 핵심기술을 축적하고 있다.

▲ 울돌목 조류발전소 조감도

그러나 해양에너지는 석탄, 석유, 원자력 등 현재 사용 중인 에너지원에 비해 에너지 추출비용이 상대적으로 높고 해양에너지로부터 전력을 추출할 경우 출력변동과 육상으로의 송전에 따른 비용문제가 있다. 따라서 해양에너지를 실용화하기 위해서는 경제성 측면에서 개발비용의 저렴화와 이용의 측면에서 안정성과 신뢰성의 확보가 앞으로의 개선과제로 지적되고 있다.

조력발전은 조석간만의 차를 동력원으로 하고 해수면의 상승하강 운동을 이용해 전기를 생산하는 기술이다. 조력발전은 △평균 조차가 3m 이상 △폐쇄된 만의 형태 △해저의 지반이 견고 △에너지 수요처와 근거리라는 입지조건을 갖춰야 한다.

조류발전은 해수의 유동에 의한 운동에너지를 이용해 전기를 생산하는 발전기술로 △ 조류의 흐름이 2m/s 이상인 곳 △ 조류흐름의 특징이 분명한 곳이라는 입지조건을 갖춰야 한다.

▣ 국내외 시장동향

국내의 경우 해양에너지를 이용해 전력을 생산하기 위한 노력은 오래 전부터 있었지만 올해 5월14일 준공한 울돌목 조류발전소(시험발전소) 외에는 발전시설이 건설된 사례가 없어 시장 또한 형성돼 있지 않다.

다만 우리나라에 부존량이 풍부한 것으로 알려진 조력발전, 조류발전, 파력발전을 중심으로 실용화기술 개발 연구가 활발하게 수행되고 있다. 국토해양부(구 해양수산부)가 지난 2004년 발표한 해양수산발전기본계획에 따르면 1단계로 오는 2010년까지 민자유치 등을 통해 총 810MW의 조력 · 조류 상용발전소 건설을 추진할 계획이다. 810MW 중 조력발전이 720MW를 차지한다. 2011년부터 2020년까지(2단계)는 1,570MW(조력 1,320MW, 조류 200MW, 파력 및 온도차 50MW), 2021년부터 2030년까지(3단계)는 2,590MW(조력 2,040MW, 조류 400MW, 파력 및 온도차 150MW)의 상용발전소 건설을 추진한다.

현재 민간과 공공부문에서 추진 중인 해양에너지 개발계획을 보면 올해 준공을 목표로 한국수자원공사가 건설 중인 시설용량 254MW의 시화조력발전소, 한국서부발전이 추진 중인 가로림 조력(2013년 준공 계획, 시설용량 520MW), 한국동서발전이 추진 중인 울돌목조류발

전소(2013년 준공 계획, 시설용량 50MW)를 들 수 있다. 이들 조력 · 조류발전소가 건설되면 연간 약 1,600GWh의 전기를 생산할 수 있다. 이는 연간 약 34만 가구(2007년 가구당 연평균 소비전력 약 4.75MWh/년 기준)에 공급이 가능한 전력량으로 연간 약 2,660억원의 에너지수입 대체효과가 있다.

이외에 강화조력(인천시, 대우건설 등, 시설용량 약 800MW), 인천조력(한국수력원자력, GS건설 등, 시설용량 약 1,400MW), 장죽 및 맹골 조류발전소(한국동서발전, 시설용량 각각 150MW와 250MW) 등이 계획돼 있다. 이 계획들이 순조롭게 추진된다면 오는 2018년까지 총 3,420MW의 조력 · 조류에너지가 개발될 전망이다. 이는 2MW급 풍력발전기 약 1,700기에 해당하는 규모이다.

조력 · 조류발전의 경우 대규모 건설공사가 수반되며 이로 인한 산업적 파급효과는 막대할 것으로 예상되고 있다. 시화조력, 가로림조력, 울돌목조류발전소의 경우 각각 약 3,600억원, 약 1조원, 약 2,500억원의 총 건설비가 소요될 것으로 전망되고 있다. 이중 토목건설 부분이 약 50%, 기계 · 전기 부분이 약 50%를 차지한다. 이는 향후 5년간 약 1조 6,000억원 정도의 토목건설과 기계 · 전기 설비시장이 새롭게 형성될 수 있다는 것을 의미한다.

국외시장을 살펴보면 현재 건설돼 가동 중인 대표적인 조력발전소는 프랑스 Rance(시설용량 240MW), 캐나다 Annapolice(시설용량 20MW), 러시아의 Kislaya Guba(시설용량 400kW), 중국의 Jiangxia(시설용량 3.2MW)를 들 수 있다. 중국에는 Jiangxia 조력발전소 이외에 8개가 가동되고 있으나 그 규모가 작고 발전량이 미미한 것으로 알려져 있다.

이중 가장 규모가 크고 근대적 의미의 조력발전소 모델이 되는 프랑스 Rance발전소의 경우 수차발전기 전면 보수작업이 완료된 1983년 이후 수입 극대화를 목표로 운전되고 있다. 평년운전을 한 것으로 간주되는 1990년의 경우 연간 총 발전량은 579GWh였으며, 양수용 소비전력 81GWh를 제외한 연간 순발전량은 497GWh였다. 개략적으로 발전원가를 100원/kWh로, 설비이용률을 25%로 가정해 추정해보면 연간 약 580억원 규모의 전력시장이 형성돼 있음을 알 수 있다.

영국은 가까운 장래에 시설용량 약 2,000MW 정도의 조력발전 건설을 계획하고 있다. 중국도 약 500MW 정도의 추가 건설계획이 있어 이를 바탕으로 추정하면 2015년 이후에는 전 세계적으로 연간 약 7,500억원 규모의 해양에너지 전력시장이 형성될 것으로 예측된다. 그 외 미국, 호주, 스페인, 인도, 러시아, 아르헨티나에서도 조력발전 건설계획을 추진하고 있어 그 시장 규모는 더욱 확대될 것으로 전망되고 있다.

▲ 국가별 조력발전 시장규모 추정치

국가	계산내역	금액(억원)
프랑스(Rance)	240,000kW×365일×24시간×0.25×100원	525.6
중국(Jiangxia)	3,200kW×365일×24시간×0.25×100원	7.0
캐나다(Annapolis)	20,000kW×365일×24시간×0.25×100원	43.8
합계	576.4	

▣ 기술개발 현황

해양에너지 개발기술은 여러 가지 형태로 부존하는 해양에너지를 경제적으로 개발하고 효율적으로 활용하는 일련의 집합적 기술 체계로 정의할 수 있다. 해양에너지자원의 이용이 실현되기 위해서는 우선 해역의 특성이 에너지자원 개발에 적합해야함은 물론 개발비용의 확보와 함께 관련 산업기술의 발전이 필수적이다. 특히 해양에너지 플랜트는 수많은 컴포넌트가 포함된 복잡한 시스

▲ MC 조류발전시스템

템으로 건설 및 운용에 있어서는 고도의 지식과 시스템 기술이 축적돼야 한다.

해양에너지 관련 기술 중 실용화돼 상용발전이 행해지고 있는 것은 조력발전과 소규모의 파력발전이다. 아직 실용화 단계에는 이르지 못했으나 기초연구단계를 거쳐 파일롯 설비에 의한 실증단계에 있는 것으로는 해양온도차발전과 중규모의 파력발전이 있다.

현재 세계 주요 해양에너지기업들은 조력, 조류력, 파력, 해상풍력 및 복합발전시스템을 대상 시장으로 관련 설비의 '고효율화'와 '저비용화'를 통해 생산단가를 낮추기 위한 기술개발에 초점을 맞추고 있다.

해양에너지 개발기술은 해양, 환경, 토목, 기계, 전기, 전자, 조선(중공업) 등 종합적인 기술 분야이므로 각 분야별 핵심기술의 개발 및 실용화와 시스템 통합기술이 중요하다.

이러한 기술 영역별 핵심기술은 후보지 해양특성 평가 및 예측기술, 환경영향 분석 및 피해저감 기술, 에너지 집적 · 추출 · 변환기술, 해양에너지 구조물 설계 및 시공기술, 수차발전기 및 전력변환 기술, 해양에너지 단지를 포함하는 발전시스템 기술, 복합발전 시스템 기술 등으로 나눌 수 있다.

조력발전의 경우 시험발전소를 설계 · 시공해 실제 운전하고 있는 프랑스, 캐나다, 중국이 선두권을 유지하고 있다. 특히 중국은 최근까지 조력발전에 상당한 관심을 가지고 저낙차 벌브형 수차 발전기 개발을 중심으로 많은 노력을 기울이고 있다. 달과 태양의 인력에 의해 발생하는 조석에너지의 지구 전체 부존량은 약 1~4×106MW 정도로 추산되고 있으며, 지형적인 영향으로 인해 지역에 따라 조차와 조류의 크기가 다르다. 따라서 조력 · 조류발전이 가능한 곳도 전 세계적으로 제한돼 있다. 개발이 유망한 조력입지로는 캐나다의 Fundy만, 프랑스의 대서양 연안, 영국의 Severn강 하구, 한국의 경기만, 미국의 Cobscook만 등을 들 수 있다. 이러한 조력자원을 개발하기 위해 조력입지를 가지고 있는 나라를 중심으로 기술개발이 진행돼 왔다. 프랑스를 중심으로 일부 국가에서 대규모 조력자원 개발을 위한 시험발전소 수준의 조력발전소를 건설해 기술은 실용화돼 있지만 그 후 대규모 조력에너지 개발은 경제성 미흡으로 수행되지 않았다.

국내에서도 한국해양연구원을 중심으로 기술의 실용화 연구를 추진하고 있다. 이를 바탕으로 시화조력발전소가 건설 중이며, 가로림 조력이 추진되고 있다. 조력발전의 경우 대규모 방조제를 조성하기 때문에 환경에 미치는 영향분석이 중요하며, 이를 정밀히 예측하고 그 영

향을 저감할 수 있는 기술개발이 시급하다.

국내의 조력발전 기술을 살펴보면 조력개발에 선행 또는 수반되는 해양특성평가 및 환경영향분석을 위한 현장조사, 자료분석, 수치모델 및 수리모형실험기술을 보유하고 있으며, 현재 3차원 가상현실을 구현하는 단계에 있다.

첨단 IT기술과 개발된 다양한 센서를 이용해 차세대 종합해양특성조사 시스템을 수립 중에 있으며, 자료 분석 및 적용의 자동화시스템도 개발 중이다. 또한 위성영상, 레이더 및 비디오 영상을 이용하는 관측기술도 이미 상당한 수준에 이르고 있다. 조력자원개발을 위한 기초조사와 요소기술을 개발해 우리나라 주변해역의 조력에너지 분포를 파악하고 조석의 변동특성을 분석한 바 있으며, 현재 조력발전시스템엔지니어링에 대한 핵심요소기술의 실용화 연구를 수행 중이다.

이러한 연구결과를 바탕으로 2009년 완공을 목표로 시화호 조력발전소가 건설 중이며, 2013년 완공을 목표로 한 가로림 조력발전소의 실시설계가 진행 중이다.

조류발전의 상용화는 아직 본격적으로 실현되지는 않고 있지만 조류발전 수차와 발전기 및 전력변환장치 등 시스템 기술을 중심으로 영국, 미국, 캐나다 및 노르웨이 등지에서 연구를 활발히 진행하고 있다. 또한 조류발전은 풍력발전과 그 원리가 유사해 풍력발전에 관한 조사 연구자료로부터 조류발전에 관한 특성을 추정하기도 한다. 그러나 연구의 대부분은 에너지 밀도가 상대적으로 작은 조류력을 이용하기 위한 장치, 즉 조류발전 수차 등의 개발 및 효율 개선 등에 초점이 맞춰져 있으며, 이에 따르는 실험실 규모의 시험에 그치고 있지만 해양발전단지(ocean power farm) 건설 등이 제시돼 이의 실현을 위한 구체적 방안에 대한 연구도 일부 수행 중에 있다.

현재까지 개발된 조류발전수차를 살펴보면 1931년 다리우스(Darrieus)가 개발한 원통형의 반동수차(Darrieus 수차)는 평이한 모양과 유속이 적은 경우에도 높은 회전속도를 유지할 수 있다는 점과 수차의 지름을 증가시키지 않아도 넓은 접촉면을 유지할 수 있다는 점에서 관심을 집중시켰다. 그러나 회전에 의한 맥동현상과 상대적으로 낮은 효율 때문에 실용화되지는 못했고 1994~1995년 고를로프가 다리우스 수차의 단점을 개선한 형태의 Helical 수차를 개발했다.

나선형 배열의 축차날을 가지고 있는 이 수차는 흐름의 방향과 상관없이 일정한 방향으로 유속이 작은 경우에도 높은 속도로 일정하게 회전하며, 진동과 공동현상(cavitation)이 없다는 특징이 있다. 특히 다리우스 수차에 비해 효율이 약 50% 정도 높아 발전효율을 크게 개선한 것으로 평가되고 있다.

Helical 수차의 개발에 따라 2000년부터 미국의 Maine주에서 Helical 수차를 이용하는 시험을 수행 중이며, 브라질의 아마존강 유역에서도 관련 실험을 수행 중인 것으로 알려져 있다.

한편 영국의 Engineering Business사는 2002년과 2004년에 stingray형 150kW급 조류에너지 장치에 대한 현장실험을 실시한 바 있으며, Marine Current(MC) Turbine 회사는 풍력발전기와 유사한 형태를 갖는 수평축 프로펠라 조류발전기를 개발하고 단위기 용량 300kW급 MC 수차발전기를 2003년 Northern Devon 연안에 설치해 시험 가동 중이다. 특히 영국에서는 2008년 6월 OpenHydro를 전력계통망에 연결시켰으며, 7월에는 MCT사에서 프로펠라형 터빈 2개가 부착된 단주형 1.2MW급 Marine Current Turbine을 현장설치하고 현장실험을 실시하고 있다.

또한 Lunar Energy사는 독자적으로 덕트형 조류발전장치를 개발해 지난 2007년 현장실험을 수행했고 추후 대용량으로 개발해 현장에 투입하기 위한 연구를 수행 중이다.

캐나다의 Blue Energy사는 tidal fence 개념의 H형 수직축 터빈인 Davis 수차를 개발해 그 실용성에 대해 실험 중에 있는 것으로 알려져 있다. 노르웨이의 경우 Hammerfest사는 지난 2003년 세계 최초로 100kW급

조류발전 프로펠라형 수차를 개발해 현장실험을 실시한 바 있으며, 2009년까지 약 13MW의 조류력 개발을 계획하고 있다.

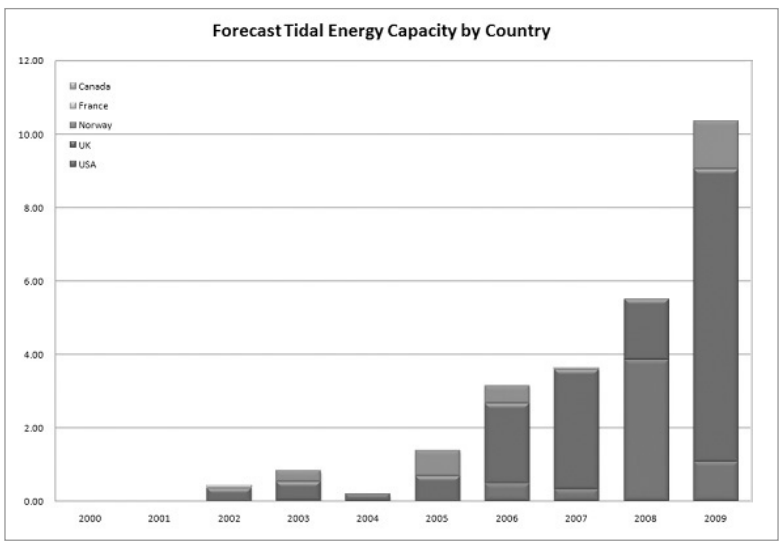
우리나라의 경우 지난 수년간 집중적인 R&D를 통해 상당한 기술적 성과를 이뤘다. 이 성과에는 조류에너지 타당성조사, 수차 설계 · 제작기술, 조류발전 지지구조물 설계 · 설치기술 등이 포함된다. 국내 조류발전에 관한 연구로는 한국해양연구소가 1986년 진도수도 주변해역에 대한 조류발전 가능성 조사를 수행한 바 있다. 이때 여러 가지 형태의 조류발전용 수차발전기가 검토됐지만 실용성과 시공성 측면에서 bulb형을 채택했고 시공방법은 쌍동선(catamaran)형태의 구조물을 module식으로 육상에서부터 연결, 구조물 하부에 수차발전기를 설치하는 방안이 제시된 바 있다. 이후 2001년부터 국토해양부 R&D사업의 일환으로 울돌목을 대상으로 실용화 연구를 추진 중이다.

조류에너지 개발을 위한 필수 요소는 조류발전설비와 지지구조물로 분류할 수 있으며, 조류발전설비(조류발전시스템)는 수차, 증속기, 발전기 및 전력변환장치 등으로 구성된다. 이 중에서 1차 에너지 변환장치인 수차의 효율은 조류발전 시스템의 중요한 요소이며, 왕복성 흐름 특성을 갖는 조류에너지를 효과적으로 추출할 수 있는 수차는 수직축 수차이다.

현재 울돌목 조류발전 시스템에서 채택하고 있는 터빈은 수직축 나선형 수차(helical형)이다. 조류발전시스템 엔지니어링 기술개발을 위해 helical 터빈 현장 적용성 실험 및 효율개선을 위한 각종 실험을 실시한 바 있다. 수차 이외에 중요한 시스템 요소의 하나인 500kW급 조류발전용 권선형 유도발전기용 및 동기발전기용 전력변환장치를 개발한 바 있다.

울돌목 조류에너지 개발을 위한 모듈화 방식의 1MW급 시험조류발전소가 올해 5월 14일 준공한 바 있다. 시험조류발전소에는 다양한 형태의 수차, 발전기 및 전력변환장치 등이 설치돼 조류발전 시스템에 대한 실증실험이 실시될 예정이다. 이를 토대로 우리나라의 주요 조류발전 후보지인 전라남도의 울돌목, 장죽수도 및 맹골수도와 경상남도의 대방수도 등의 해역에 적합한 조류발전 시스템을 도출해 조류에너지 실용화를 실현할 것으로 기대된다.

수평축 형태의 조류수차의 경우 여러 형태의 수차 단면과 블레이드 수에 따른 효율과 특성에 관한 연구가 수행된 바 있으며, 속도별 수차형태별 성능에 대한 연구결과가 발표된 바 있다. 또한 저수심에서 발전할 수 있는 모듈 형태의 지지구조 특성과 멀티 배치에 따른 수차의 축 방향, 가로 방향에 대한 연구도 수행한 바 있으며 부유구조물, 계류장치 등에 대한 연구가 수행 중이다. 이 연구가 완료되는 2009년 이후에는 많은 관련 분야의 국내 기술이 확보될 것으로 전망된다. 이후 수중발전기, 가속장치, 기어 등 수밀과 수압에 견딜 수 있는 장치 등의 연구개발이 앞으로의 과제로 떠오르고 있다.



▲ 해외 주요 국가의 조류에너지 시설용량 전망 (Westwood, 2005년). 단위:MW

▲ 해양에너지 이용기술의 선진국 대비 기술수준

구 분	기술분류	2007년	2012년	2020년
조력발전	조력에너지 변환 기술	81.7	90.0	95.0
	조력발전 구조물 설계 및 시공 기술	88.3	93.3	96.7
	조력에너지 발전시스템 기술	73.8	85.0	92.5
조류발전	조류에너지 변환 기술	78.8	87.5	92.5
	조류발전 구조물 설계 및 시공 기술	91.7	96.7	100
	조류에너지 적용기술	71.7	81.7	90.0
발전시스템	발전기	80.0	88.3	93.3
	전력변환장치	75.0	85.0	95.0
	계통연계장치	71.7	85.0	95.0
	증속기	75.0	87.5	97.5

▣ 보급현황

전 세계적으로 해양에너지의 보급은 미미한 실정이다. 이의 주된 이유는 화석에너지에 비해 경제성이 낮기 때문이다. 특히 조력발전은 막대한 초기건설비가 소요되고 입지가 제한적이다.

현재 상업용으로 가동 중인 조력발전소는 1966년 프랑스 북서부 연안 Rance 하구에 설치된 시설용량 240MW의 Rance 조력발전소가 유일하다. 이는 Chausey 대규모 조력개발사업의 시험발전소로 건설됐으며, 1967년 국가전력계통망과 자동 연계해 상용발전을 시작한 이래 현재 평균가동률은 97%를 유지하고 있다.

▲ 시화조력발전소 조감도

▲ 에너지원별 측정 발전단가

(단위:C/kWh)

구분	Oil	조력 · 조류력	파력	풍력	태양	지열	바이오	소수력
최저	3.0	**7.0**	3.0	2.5	20.0	7.0	2.9	5.0
최고	5.0	**10.0**	12.0	10.0	40.0	9.0	8.0	10.0
평균	4.0	**8.0**	9.0	5.0	26.0	8.0	6.0	7.0

캐나다는 1984년 대서양 연안의 Fundy만 내 Annapolis에 시설용량 20MW의 시험 조력발전소를 설치해 운영 중이다. 러시아는 1968년 Kislaya-Guba에 시설용량 400kW의 조력발전소를, 중국은 규모는 작지만 시설용량 3,200kW의 Jiangxia 조력발전소 등 9개의 조력발전소를 건설해 가동 중이다.

인도 북서측 해안의 파키스탄과 인접한 구자랏주의 캄밧만의 하구에 64km에 이르는 방조제를 건설해 조력발전과 담수호를 개발하기 위한 '칼파사 프로젝트'가 2008년 6월 예비타당성 단계를 거쳐 본격적인 조사단계로 접어들고 있다. 칼파사 프로젝트에서 조력발전을 통한 발전량은 5,880MW로 시화호 조력발전소의 23배 시설용량을 계획하고 있다.

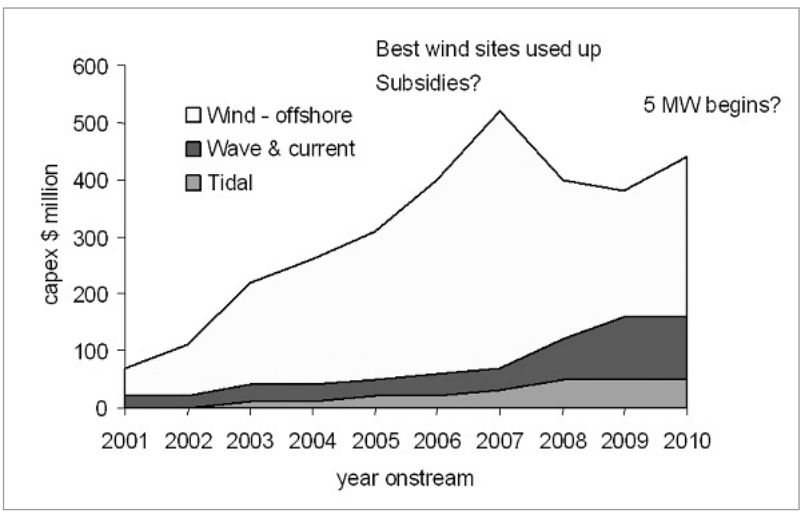
또한 아르헨티나의 San Jose 조력개발을 비롯해 호주 등의 국가에서도 조력에너지 실용화 사업을 추진하고 있다.

국내에서의 조력발전 추진현황을 보면 경기도 시화호의 수질개선을 도모하고 무공해 전력도 생산할 수 있는 방법으로 시설용량 254MW급 조력발전소를 2009년 완공 목표로 건설하고 있어 가까운 장래에 조력발전을 통한 전력생산이 현실화될 전망이다. 시화 조력발전소는 단조지 단류식 창조발전을 채택하고 있으며 연간발전량은 약 553GWh에 이를 것으로 예측되고 있다.

조류발전과 파력발전의 경우 상업용 발전이 실시된 예는 없으며 수차발전기 효율 향상과 경제성 제고를 위한 실용화 연구가 실해역 실험을 중심으로 활발히 수행되고 있다. 우리나라에서는 현재 울돌목 조류에너지를 개발하기 위해 수직축 helical 수차를 적용한 1MW급 시험조류발전소가 올해 5월 14일 준공됐다. 한국동서발전은 향후 울돌목에 상용조류발전소 건설을 계획 중이므로 조류발전의 상용화가 이뤄질 것으로 기대된다.

▣ 향후 전망

우리나라의 경우 동 · 서 · 남해역이 모두 해양에너지 개발 유망지역으로 개발가능한 부존량은 시설용량 규모로 서해역의 조력에너지 약 6,500MW, 남 · 서해역의



▲ 세계 해양에너지 시장 전망

조류에너지 약 1,000MW, 파력에너지는 우리나라 주변 전해역에 걸쳐 약 6,500MW 등 총 1만4,000MW 정도로 추정되고 있다.

해양에너지는 타 신재생에너지에 비해 부존량이 풍부하고 에너지 밀도가 높으며 대규모 개발이 가능하다는 장점을 가지고 있어 화석연료를 대체할 수 있는 실질적인 대안이 될 수 있을 것으로 평가되고 있다. 특히 조력과 조류발전은 발전량의 정확한 장기예측이 가능해 전력계통망 운영에 유리하다는 큰 장점이 있다. 에너지자원 빈국인 우리나라의 경우 해양에너지 산업화가 시기적인 문제만 있을 뿐 향후 이에 따른 건설 및 서비스 시장도 확대될 전망이다.

국토해양부는 해양에너지의 보급 확대를 위해 1단계로 2010년까지 810MW, 2단계로 2020년까지 1,570MW, 3단계로 2030년까지 2,590MW의 해양에너지를 개발 · 보급한다는 장기목표를 수립한 바 있다. 국토해양부와 지식경제부를 중심으로 조력, 조류, 파력 및 해상풍력 등 해양에너지원별 R&D를 강화하고 있으며 핵심요소기술의 실용화를 집중적으로 추진하고 있다.

국토해양부에서는 해양생물 바이오에너지 기술개발을 위해 2008년부터 기획연구에 착수했으며 2009년부터 국가적 차원에서 추진하고 있다. 이를 바탕으로 기후변화협약에의 적극적 대응과 자연자원의 수급안정, 지속가능한 개발을 통한 해양영토의 효율적 활용에 크게 기여할 것으로 기대된다. 또한 해양에너지 이용기술 선진국 도약을 가능케 하고 부가가치가 높은 수출기술로서 경제적 부를 창출할 것으로 전망되고 있다.

해양에너지 개발에 있어 핵심이 되는 에너지 변환기술은 에너지원별 특성에 따라 유사한 기술과 판이한 기술이 혼재하므로 이를 병렬 매트릭스 구조화로 개발하는 전략이 필요하다는 지적이다. 해양, 환경, 토목, 기계, 전기, 조선(중공업) 등 다양한 분야의 기술을 통합해 시스템화하고 기계와 전기 분야의 경우 협의체 구성 등을 통해 수차발전기, 전력변환장치 등에 대해 표준화하는 기술개발과정이 필요하다는 지적이다.

해양구조물 설계 및 시공 분야의 경우 우리나라의 현재 기술력은 세계적 수준인 것으로 평가되지만 설계 및 시공에 대한 경험과 자신감 부족이 문제점으로 지적되고 있다. 따라서 우선적으로 소규모 시험발전소를 건설 · 운용함으로써 이에 대한 문제를 극복하고 경험을 축적할 필요가 있다는 설명이다.

해양공간 이용의 다변화와 해양산업의 발전으로 다양한 규모의 에너지 이용체계가 요구될 것으로 전망됨에 따라 대규모 상업발전의 최적규모 결정, 발전시스템의 최적화와 운영의 자동화 등에 기술개발이 요구됨은 물론 해양공간에서 요구되는 에너지는 해양에서 조달한다는 목표 아래 다양한 에너지원을 복합적으로 이용하는 다양한 규모의 복합발전시스템의 실용화 기술 개발이 요구되고 있다.

해양에너지 개발 및 이용이 주변 해양환경에 미치는 영향을 최소화하기 위한 기술개발연구가 필요하고 연안생태환경과 생산성을 향상시켜 국가 환경 및 식량관리 정책과도 연계시켜 나가는 종합적 관점에서 접근할 필요가 있다는 지적이다.

해양에너지를 개발하기 위한 많은 부분이 현재 기술적으로 실용화가 가능한 것으로 알려져 있어 개발 여건은 충분히 성숙돼 있는 것으로 판단되고 있다. 다만 지역에 따른 특수성을 감안해 적절한 개발계획을 수립함으로써 경제성 문제를 해결하는 데 초점을 맞출 필요가 있다는 지적이다.

이를 위해 신재생에너지로서 지구온난화 대응기술이라는 사회성과 더불어 해양에너지 기반 구조물로서 방조제 등 해양기간시설을 활용하는 기술개발과 정책적 지원에 의해 경제성을 향상시키는 노력도 병행돼야 한다는 것이다. 특히 선진국 중심의 기술개발경쟁 및 기술보호주의는 심화될 전망이어서 우리의 독자적 기술 확보가 시급하다.