

2011년 8월

Korea Institute of
S&T Evaluation and Planning

Green-tech Research



- 조류발전의 국내외 동향과 향후 발전 전략

발간사



세계는 에너지 소비 급증에 따른 온실가스 감축과 대체에너지 개발을 위해 신재생 에너지 기술개발 투자를 확대하고 있습니다. 과거 역사를 뒤돌아 볼 때 해양을 지배하는 국가가 세계의 패권을 지배하는 국가로 발돋움하였습니다. 특히 한국은 삼면이 바다인 조선강국으로서 그 위상이 높으며, 해양에너지 자원이 많이 분포되어 있습니다. 해양에너지 중에서도 조류발전은 계절이나 날씨에 영향이 거의 없이 연속적으로 발전이 가능하고 예측 가능한 신뢰성 있는 전력원으로 해안도시나 섬, 항만 등에 전력을 공급할 수 있는 잠재력이 높은 에너지원입니다.

현재 한국의 해양에너지 핵심요소 기술력은 선진국과 대등한 수준까지 와 있으나 실증개발 및 기반 시설이 부족한 실정입니다. 그러나 한국의 서해와 남해는 세계에서조차 흔하지 않은 조력 및 조류발전의 최적입지 조건을 갖추고 있어 이를 적극 활용한 해양에너지 개발이 기대되고 있으며, '09. 5월에 국내 최초로 울돌목에 1MW급 헬리컬 조류 발전을 설치하여 시험운용하고 있습니다. 정부나 민간에서는 저탄소 녹색성장 정책기조에 부합하는 조류발전의 잠재성을 높이 평가하여 지속적인 관심을 가지고 있습니다.

과학기술정책기획 및 R&D평가 전문연구기관인 KISTEP은 '녹색기술연구개발종합대책', '녹색기술 개발과 상용화전략' 등 녹색기술 R&D전략을 총괄 수립한 바 있습니다. 또한 '녹색기술사업실(GTSC)'을 신설하여 녹색위·국과위의 녹색기술 예산배분 방향 설정, 녹색기술 정책 및 동향 분석 등의 업무를 수행하고 있으며, 그 일환으로 주요 녹색기술에 대한 동향분석 리포트인 'Green-tech RESEARCH'를 발간하게 되었습니다. 본 'Green-tech RESEARCH'는 주요 녹색기술별로 국내외 기술, 정책, 산업 및 시장 동향을 분석하고 이에 따른 국내 R&D 전략에 대한 시사점을 제공하고자 합니다.

보고서 발간을 위해 'Green-tech 전략 SEMINAR'의 발표 및 토론에 참여해 주시고, 그 결과를 원고로 작성해 주신 조철희 교수 등에게 깊은 감사를 드립니다. 또한 본 분석 자료가 녹색기술 정책 및 전략 수립에 유용한 정보로 활용되기를 기대합니다.

2011년 8월

한국과학기술기획평가원 원장 이 준 승

Contents

07 조류발전의 국내외 동향과 향후 발전 전략

- I. 해양에너지 개요
- II. 조류발전 해외기술 동향
- III. 조류발전 국내기술 동향
- IV. 조류발전의 국내 적용 가능성
- V. 조류발전 정책적 시사점

조류발전의 국내외 동향과 향후 발전 전략

I 해양에너지 개요

1. 해양에너지 환경

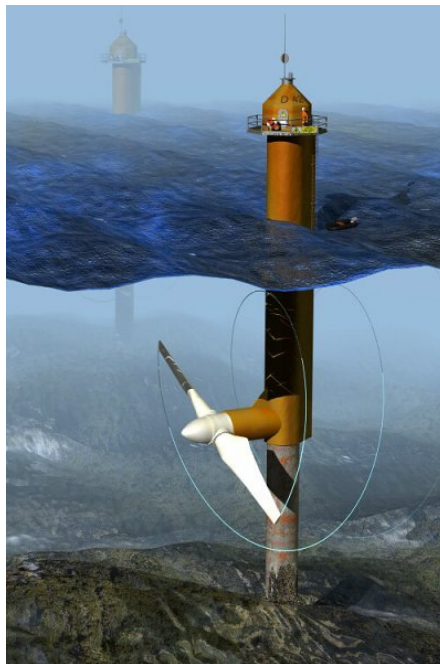
- 우리나라는 3면이 바다로서 해양에너지 자원이 상당히 많이 분포되어 있음
 - 해양자원에 대한 유효 잠재량의 상세 조사가 필요하며, 해양자원 조사나 타당성 조사가 필요함
- 해양에너지 자원 중 국내의 환경에 가장 이용 가능한 에너지원은 서남해에 광범위하게 발생하는 높은 조류를 이용하는 조류발전과 조수간만의 차가 높은 서해안의 조력발전을 들 수 있음
 - ※ 발전량은 밀도와 비례하기 때문에 공기보다 850배 이상의 밀도를 갖고 있는 해수는 850배 이상의 큰 에너지를 가지고 있음
- 해양에너지 중 파력발전은 국내에 높은 파도가 오랫동안 지속되는 지역이 매우 제한적이고, 해수면과 해저의 온도차를 이용한 온도차 발전은 국내에 적용하기에는 어려움이 많음
- 우리나라의 서해안이나 서남해안은 세계적으로 매우 좋은 조류에너지 자원을 확보한 지역으로 청정에너지의 확보를 통한 화석 연료 사용의 절감과 녹색성장 및 온실가스 저감을 통한 기후변화 협약 대응 및 신재생에너지 의무할당 제도(RPS)의 충족을 위한 가장 좋은 대안으로 부각되고 있음

2. 해양에너지 종류

대표적인 해양에너지는 조류, 조력, 파력, 온도차, 해상풍력으로 알려져 있고 이를 제외한 염분차 발전과 해양바이오 에너지를 포함함

가. 조류발전

- 조류발전은 밀물과 썰물에 의해 발생하는 빠른 유속을 이용하여 터빈을 돌려 전기를 생산하는 방식
- 인천지역과 서해안 그리고 남해안은 조수차 및 지형적인 특성으로 높은 흐름이 발생하는 지역이 여러 곳 있음
- 조류발전의 가장 큰 장점은 타 재생에너지와 달리 계절적 요인이나 날씨에 관계없이 항상 일정하게 가동하며, 발전량을 예측할 수 있는 신뢰성 있는 에너지원임
- 조류발전은 조력발전과 달리 물을 모아두는 댐이 없으며, 유체의 흐름을 이용하여 발전하고 해수유통이 자유롭기 때문에 주변 해양환경에 거의 영향을 끼치지 않는 친환경적인 발전 방법



[그림 1] 조류발전 장치 개념도

나. 조력발전

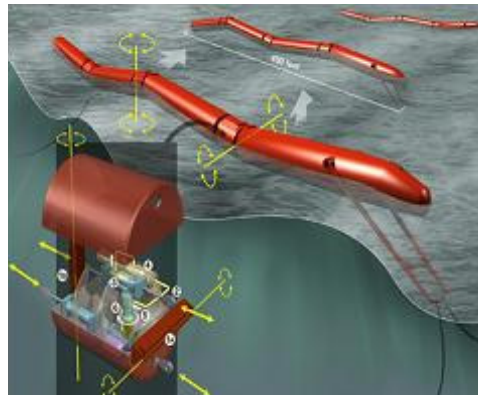
- 조력발전은 조석에너지를 이용한 발전으로 조수간만의 차가 큰 하구나 만을 방조제로 막아 호수를 만들고 밀물과 썰물에 의해 발생하는 수위 차를 이용해 전기를 생산해 내는 발전방식
- 터빈을 회전시켜 발전하는 방식은 조류발전과 유사하나 댐을 이용하여 인위적으로 유체를 흘려보내기 때문에 조류발전과 구분
- 조력발전은 물을 가둘 수 있는 댐이 요구되고 발전량은 수위차가 클수록 커짐. 즉 조수간만의 차가 큰 지역일수록 조력발전에 적합
- 조력발전의 장점은 발전량이 타 에너지원에 비해 대규모이며 발전시간 및 발전량 예측이 가능하며 연속적이고 날씨의 변화에 영향을 거의 받지 않는다는 점
- 조력발전의 가장 큰 문제는 물을 가둠으로써 대상 지역의 갯벌이나 연안환경에 큰 변화를 가져오는 것임
- 이런 이유로 조력발전 후보지의 발전량뿐만 아니라 환경영향에 대한 충분한 조사와 검토 필요



[그림 2] 시화호 254MW 조력발전 조감도

다. 파력발전

- 파력발전은 파도의 위치 및 운동에너지를 이용하여 터빈을 구동하거나 기계장치나 유압장치를 사용하여 전기를 생산하는 발전 형태
- 파력발전 장치는 그 원리에 따라 세 종류로 나눌 수 있는데, 가동물체형, 진동수주형, 월파수류형임
- 가동물체형은 내부에 유압장치로 물체의 운동을 유압에너지로 변환시키며, 진동수주형은 밀폐된 내부에 공기의 상하운동으로 터빈을 회전시켜 발전하는 방식이며, 월파수류형은 파도가 발전장치를 넘어와서 중앙부 끌대기관 안의 터빈을 회전시켜 발전하는 방식
- 파력발전은 다른 청정에너지와 같이 친환경적이고 해양생태계를 위협하지 않는다는 점이 장점. 국내에서는 제주도와 동해 일부 지역 등 파고가 높은 지역이 제한적으로 적용이 가능
- 우리나라는 높은 파도가 오래 지속되지 않는다는 것과 파도의 크기 및 발생시점을 정확히 예측하기 어려운 점이 있음



[그림 3] Pelamis사의 가동물체형 파력발전 개념도

라. 해수온도차 발전

- 해수온도차 발전은 해수온도가 25도 이상인 표층수를 이용하여 끓는 점이 약 20도인 용매를 끓여 기화된 증기로 터빈을 가동시켜 전기를 생산하는 방식
- 그 후 해저의 낮은 온도의 해수를 이용하여 증기를 다시 액화시켜 용매를 재사용하는 순환 에너지 변환장치를 사용

- 일반적으로 수심 약 300미터 이상 되면 해수온도는 약 4~6도 정도로 거의 일정
- 해수표면 온도는 계절적으로 많은 변화를 보이나, 적도지방은 해수온도가 높고 또한 계절적인 영향이 적으므로 해수온도차 발전을 하기에 매우 적합
- 우리나라 서해안 및 동해안의 표층과 해저의 해수온도차가 20도 미만이기 때문에 해수온도차 발전을 적용하기에 적합하지 않음. 단, 끓는 온도가 매우 낮은 용매가 개발된다면 해양에너지 분야에 혁신적인 계기가 될 것으로 기대됨



[그림 4] 온도차 발전 개념도

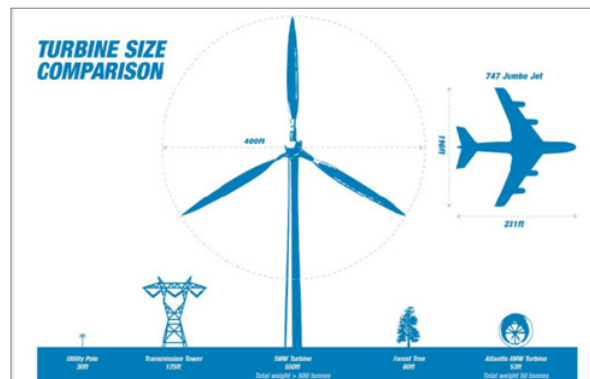
마. 기타 해양에너지

- 해양에너지는 앞에서 언급한 4가지 이외에 여러 가지가 존재. 그 중에서도 염분차 발전과 해양 바이오매스가 잘 알려져 있음
- 염분차 발전은 해수와 담수의 염분차를 이용하여 밀도가 다른 두 액체가 갖고 있는 삼투압, 농도 전위차, 혼합에 의한 희석열 및 흡수열을 이용하여 발전하는 방식
- 또 다른 해양에너지는 해양 생물체를 열분해하거나 발효시켜 메탄·에탄올·수소와 같은 연료를 만드는 해양 바이오매스 에너지
- 각종 해조류, 수생식물 등이 바이오매스 에너지원으로 사용될 수 있음. 특히 세계최대의 해조인 자이언트켈프나 다시마, 번식이 빠른 갈조류를 원료로 이용할 수 있고 이들 해조류의 메탄발효를 통해서 에너지 창출이 가능

3. 조류발전의 특성과 종류

(1) 조류발전 특성

- 조류발전은 조수간만의 차에 의해 발생하는 높은 유속을 이용하며 수평 흐름을 회전 운동으로 변환시켜 전력을 생산
 - 조수간만에 의해 밀물과 썰물 즉 창조류와 낙조류가 발생하며 조수간만의 차가 심할 수록 유속이 빠름
 - ※ 인천지역과 서해안 같이 최고 약 10미터의 높은 조수간만의 차가 발생하는 지역의 유속은 자연히 높으므로 조류발전에 매우 적합한 많은 후보지를 갖고 있음
 - ※ 남해안은 조수간만의 차에 의한 흐름과 지형적인 특성으로 높은 흐름이 발생하는 지역이 여러 곳 있음. 조수간만의 차는 서해안처럼 크지 않지만 조류와 섬 사이의 좁은 협곡 지형으로 인해 유속이 강한 지역이 있고 이를 이용하여 조류발전이 가능
- 조류발전은 거의 정확한 발전량 예측이 가능하고, 해상풍력에 비해 물과 공기의 밀도차가 850배 이상임으로 풍속보다 850배 이상의 운동에너지를 가짐
- 조류의 경우 매우 높은 에너지 밀도를 가지므로 같은 출력의 발전을 위해서 터빈의 크기가 풍력발전에 비해 8.4배 정도 작아도 됨(ex. 풍력터빈 134m vs 조류터빈 16m)



[그림 5] 해상풍력과 조류발전의 비교

- 조류발전의 가장 큰 장점은 타 재생에너지와 달리 계절적 요인이나 날씨에 관계없이 발전할 수 있는 친환경 에너지원이라는 점
- 조류발전은 댐이 필요 없고 단지 유체의 흐름을 이용하여 발전하고 해수유통이 자유롭기 때문에 주변 해양환경에 거의 영향을 끼치지 않는 친환경적인 발전 방법

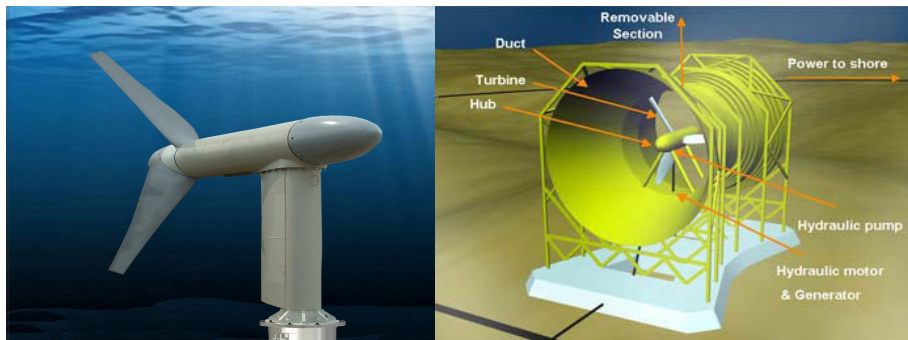
〈표 1〉 조력발전과 조류발전의 장점과 단점

		조력발전	조류발전
장점	공통점	날씨나 계절에 관계없이 발전 가능한 무공해의 무한한 자원 규칙적이고 연속적인 발전이 가능해 장기적 예측 가능 기계 전기 조선해양 등 타산업과의 산업연관성이 높음	
	차이점	관광수요 유발, 내만의 양식단지 개발 등이 가능 교량형성을 통한 교통 연결 대규모의 전력생산 가능 홍수조절 가능	해수를 막는 댐과 둑 등의 불필요 해수 유통이 자유롭고 해양환경에 미치는 영향이 미미 기존의 풍력발전기술 등을 적용할 수 있어 관련산업에 큰 파급효과 국내의 기반기술로 국산화에 용이
단점	공통점	적용 가능한 지역이 제한적임 해양설치비, 전력 계통연결비용 등 대규모 초기투자 비용 소요 타 신재생에너지와 같이 발전단가가 상용발전에 비하여 높음	
	차이점	인위적으로 생태계를 변화시키는 등 생태계에 큰 영향을 줌	유속이 빠른 지역에 설치가 가능하고 특수한 설치기술이 요구됨

(2) 조류발전 종류

가. 회전축에 따른 분류

- 조류발전의 터빈 회전축이 유체의 방향과 수평이면 수평축(HAT), 수직이면 수직축(VAT) 조류발전으로 분류될 수 있음
- 수평축 조류발전은 전 세계적으로 주로 적용되고 있는 형태도 프로펠라 모양의 터빈을 사용하는 것이 일반화되어 있음. 대부분 상용화된 조류발전은 수평축 형태 적용함



[그림 6] 수평축(HAT) 조류발전 시스템

- 수직축 조류발전 형태는 주로 소형 용량에 적용되었고 1MW급은 한국에서 처음 울돌목에 설치되었으나 심한 진동과 쓰레기 간섭으로 실용화 단계까지는 아직 해결해야 할 문제점을 갖고 있음



[그림 7] 수직축(VAT) 조류발전 시스템

나. 고정방식에 따른 분류

- 조류발전 장치를 고정하는 방식에 따라 파일고정식, 계류고정식, 자중고정식으로 분류
- 파일고정식은 주로 해저에 강관파일로 시스템을 고정하며 특히 해저면이 암반일 경우 많이 적용
- 계류고정식은 수심이 깊거나 부유체를 이용한 발전방식일 경우 적용. 해저면에 계류 라인을 고정할 수 있는 앵커링 요구
- 자중고정식은 발전장치 자체 무게로 위치를 고정하는 방식으로 무게가 많이 나가고 수중 지지구조물이 크나 설치비가 저렴하고 설치기간이 짧은 장점이 있음



[그림 8] 파일고정식



[그림 9] 계류고정식



[그림 10] 자중고정식

II 조류발전 해외기술 동향

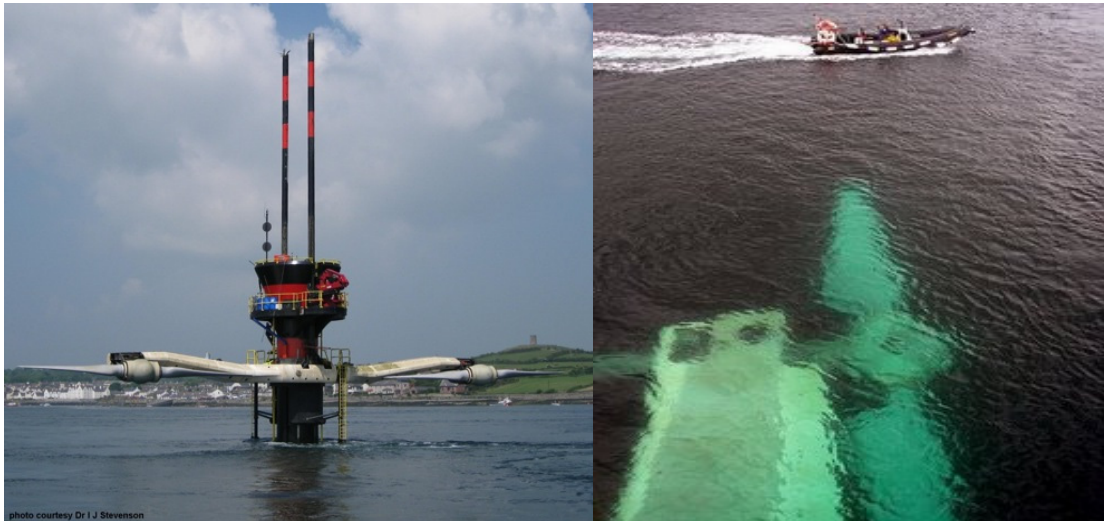
1. 영국

- 조류발전 분야는 영국이 가장 앞서고 그 외 캐나다, 독일, 미국 등 선진국을 중심으로 연구개발이 이루어지고 있음
- 영국은 2020년까지 해양에너지 개발로 국내 전력 소비량의 20%를 충당하기 위해 관련 정책을 의욕적으로 추진 중이며, 정부의 확고한 정책과 지원으로 현재 많은 회사들이 창업되었고 관련 산업도 활발히 팽창하고 있음
- 스코틀랜드는 2020년까지 전체 소비전력의 80%를 재생에너지로 공급할 계획을 세우고 여러 정책과 지원프로그램을 시행하고 있음
- 영국의 MCT(Marine Current Turbines)사는 1998년부터 5년동안 5백만 유로를 투입하여 2003년에 영국 남서부의 Lynmouth 지역의 Foreland Point 해안에 Seaflow라 불리는 300kW급의 파이로트 발전 시스템을 설치하였음
 - 수평축 형식으로 두 개의 블레이드를 장착하였고, 유지/보수를 위해 터빈과 발전기가 수심 위로 올라올 수 있도록 모노파일에 가이드를 설치하여 상하 이동이 가능하도록 하였음



[그림 11] Seaflow 조류발전 장치

- SeaGen 프로젝트는 북아일랜드의 Strangford Narrows 지역에 설치하여 계통연계에 성공한 세계 최초 상업용 조류발전 장치임. 이곳은 평균 최대유속이 3.6m/s에 달하며 발전장치는 약 3m의 모노파일 지지구조물과 2개의 600kW 로터가 설치되었고 전체 중량은 약 300톤으로 알려져 있음. 향후 10기 이상을 설치하여 10MW 규모의 조류발전단지를 개발할 예정



[그림 12] 영국 MCT사의 SeaGen



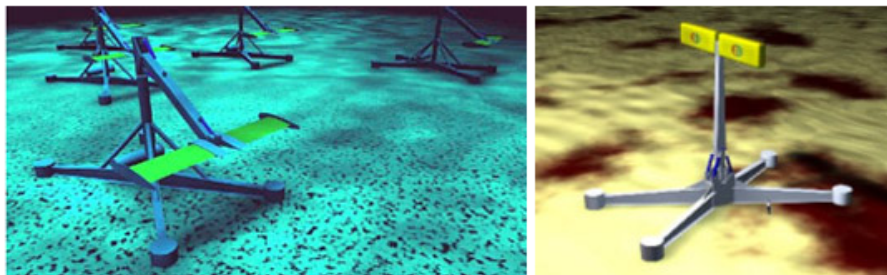
[그림 13] 영국 MCT사의 조류발전단지 조감도

- Lunar Energy사는 독자적으로 1MW급 덕트형 조류발전 장치를 개발하였으며 cartridge pod 방식의 특수한 유지보수 방법을 적용함



[그림 14] 영국 Lunar Energy사의 덕트형 조류 발전

- 영국의 EB(Engineering Business)사는 2002년 2.6 백만달러를 투자하여 Yell Sound 해역 35 m 수심에서 150kW Stingray(가오리) 터빈형태의 조류발전 실험을 성공리에 수행하였음. 앞으로 5MW급 상용화 시스템을 개발하여 전력을 생산할 계획을 갖고 있음



[그림 15] 영국 EB사 조류발전

- 영국 SMD Hydrovision사는 2개의 피치고정 장치를 사용한 터빈장착을 하여 15m 로터를 사용하여 최대출력 1MW 계류식 조류발전을 개발하였음. 자체 부력으로 물위에 뜨며 해저에 계류체인으로 고정시켰으며, 조류의 입사 방향 변화에 자체적으로 방향을 조절할 수가 있어 발전 효율을 높일 수 있는 장점이 있음



[그림 16] 영국 SMD사 계류식 조류발전

- 영국 롤스로이스사는 영국 인근 해안에 300MW 단지 조성을 계획하고 있음. 발전기 형태는 착저식 Tripod 파일방식이며 3 블레이드형태라는 것 이외에는 별로 알려진 특징이 없음
- 아틀란티스사는 1MW급 조류발전 장치를 개발하여 2011년 유럽해양에너지센터(EMEC)에 시험 설치. 터빈 직경은 18m로 양방향 구동 형태로 설계되었으며 블레이드는 Double 3-blade로 구성



[그림 17] 아틀란티스 사의 AK-1000

- 영국의 오픈하이드로에서 개발한 원형터빈은 제트엔진형태로 2개의 수직파일이 구조물을 지지하며 6m 원형 발전장치가 유지/보수를 위해 파일의 상하로 이동할 수 있게 설계. 2008년에 오크니의 유럽해양에너지센터(EMEC)에서 250kW 장치를 성공리에 테스트 후 1MW급 장치를 개발하여 유럽해양에너지센터(EMEC)에서 실험역 성능검증을 거쳐 상용화를 추진할 예정



[그림 18] Openhydro사 원형 조류발전 터빈

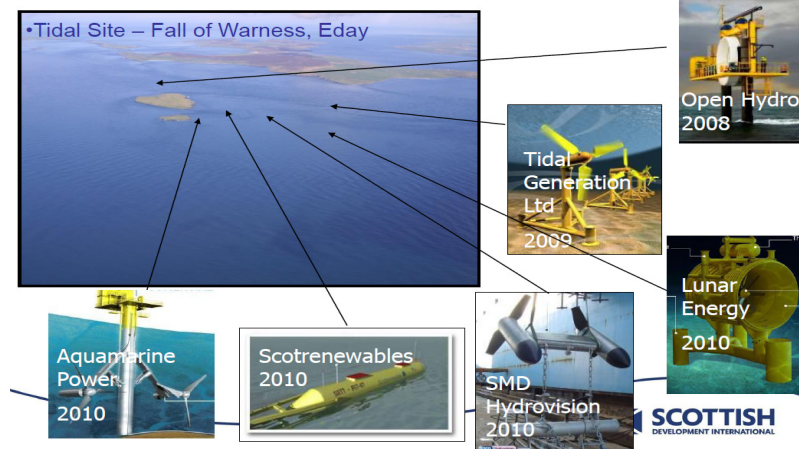
- 영국의 Nautiricity사에서 개발한 조류발전 장치는 두 개의 로터가 반대로 돌아가는 구조로 발전장치 후류를 억제하고 발전효율을 높일 수 있음. 현재까지 300kW급이 개발되었고, 런던 템스강에서 실험중임



[그림 19] Nautiricity사 조류발전 장치

- 영국 스코틀랜드의 EMEC(European Marine Energy Center)는 Orkney Island에 그동안 R&D를 통해 개발된 조류 발전 5가지 및 파력발전 5가지 장치들의 실험을 통합적으로 수행하여 발전 장치의 성능 검증과 인증을 통해 상업화를 도와주고 있음
- 해상 및 성능 데이터 관측, 환경 및 생태 영향 평가, 해양 조사 및 운항 영향 평가, 설계 기준 제정 등의 업무를 수행하고 있으며, 다년간의 운영 및 유지 보수를 통해 실험 터빈 개발시 노하우를 축적하고 고효율 조류발전 터빈 개발을 추진하고 있음

Tidal Device Deployment at EMEC



[그림 20] 유럽해양 에너지센터의 조류발전 Test 장치들

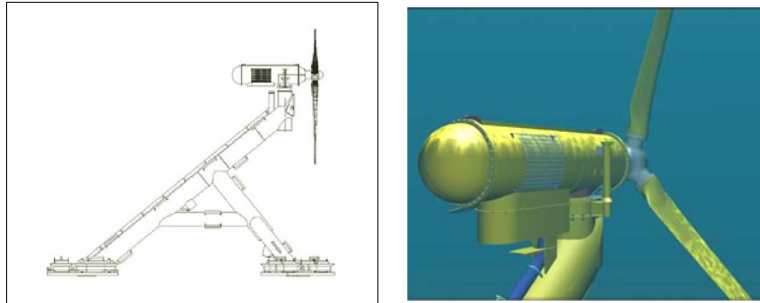
2. 독일

- 독일의 보이시지만스가 개발한 조류발전 장치는 HAT 착저식으로 알려져 있음. 발전기 형태는 영구자석 동기발전기(PMSG)를 사용하여 변화하는 유속에 따른 출력을 효과적으로 대처할 수 있게 설계



[그림 21] Voith - Siemens사의 조류발전 장치

- 독일의 햄머페스트(Hammerfest)사는 2003년 노르웨이의 Kvalsund, Finnmark에 300kW급 조류발전 장치를 설치하여 2008년까지 4년 동안 정비 없이 테스트 운전 수행. 2011년 부터 10-20기의 조류발전 장치로 구성된 상업용 조류발전 단지를 계획 중임



[그림 22] Hammerfest 조류발전 장치

3. 미국

- 미국은 2010년까지 13.1 %의 대체에너지 보급비율을 목표로 기술개발에 박차를 가했으며 독자적인 기술을 개발하여 대상지역을 연구
- Verdant Power사는 뉴욕의 동쪽 강변에 200kW급 조류발전 시스템을 개발하여 6기를 설치해 일부지역에 전력 공급



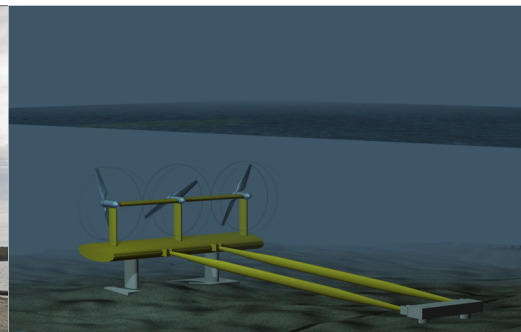
[그림 23] Verdant 조류발전 장치

4. 캐나다

- 캐나다의 조류발전량은 약 42GW로 추정하고 있고 노바스코티아(Nova Scotia)의 Bay of Fundy의 조류발전량만 8,000MW이며 이중 약 2,000MW가 실제로 발전가능한 양으로 추정
- 노바스코티아 주정부는 Bay of Fundy의 조류발전을 위해 실제적인 정책을 실시하고 있음. 80MW 이하 규모의 조류발전에서 생산한 1kW에 대해 65.2센트를 주는 FIT(Feed-in Tariff) 정책을 시행 중
- 노바스코티아 주정부는 FORCE(Fundy Ocean Research Centre for Energy)를 설립하여 조류발전 기술개발을 주도함
- 주정부의 지원하에 Bay of Fundy에 Open Hydro, Alstorm, MCT, 아틀란티스사 등의 1MW급 대형 조류발전기를 설치 중임



[그림 24] Open Hydro 조류발전 장치



[그림 25] MCT 조류발전 장치

- 이외 500kW급 중소형 조류발전 장치를 개발하고 있고 Brier Island에 여러 형태의 중소형 조류발전 단지개발을 추진중임



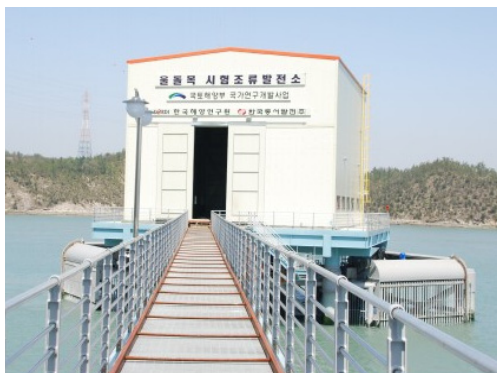
[그림 26] 캐나다의 중소형 조류발전 장치



Ⅲ 조류발전 국내기술 동향

1. 울돌목 헬리컬 조류발전

- 2003년 국내 최초로 미국 Gorlov의 기술을 제공받아 한국해양연구원에서 100kW 시험 VAT 헬리컬 조류발전 장치를 울돌목에 설치
- 2005년 4월부터 국토해양부의 지원을 받아 한국해양연구원 주관으로 1MW급 수직축 헬리컬 조류발전 장치를 2009년 5월에 설치
- 그러나 해양의 상·중층 이물질 및 쓰레기가 블레이드에 달라붙어 심한 진동으로 인해 유지·보수에 많은 문제 발생
- 헬리컬 조류발전 장치는 구조상 해저면과 해수면을 연결하는 수직회전축이 요구되고 이를 지지하기 위한 대형 구조물이 필수적임. 이로 인해 수직축의 휨하중과 변형에 대비한 설계 필요



[그림 27] 울돌목 조류발전 장치

2. 100kW 수평축 조류발전

- 2008년 6월 오션스페이스와 인하대가 개발하고 남동발전이 참여한 25kW 조류발전 장치를 삼천포 방수로에 시험 설치
- 전 세계적으로 조류발전 기술을 최초로 방수로에서 시험하여 발전장치의 실용화 가능성을 확인하였다는데 그 의의가 크며 대규모 설치 및 해양에 조류발전 장치 설치를 위한 기초 데이터를 확보하였음



[그림 28] 25kW급 수평축 조류발전 장치

- 2011년 국내 최초로 100kW 수평축 부유식 조류발전 장치의 해양에서 성능시험 완료



[그림 29] 100kW급 부유식 조류발전 장치

IV

-



[그림 30] 국내 조류발전 후보지(검정원으로 표시)

-

〈표 2〉 현재까지 발표된 국내 조류발전개발 현황

지역	용량(MW)	기간	현황
인천	200	2012 - 2015	타당성 조사중
신안	260	2012 - 2016	타당성 조사중
완도	300	2015	계획
울돌목	50	2018	실증시험중
대방	20	2011 부터	예비타당성조사 후 보류
맹골	250	2018	계획
장죽	150	2018	계획

- 국내 서해안은 조류속도가 강한 지역이 상당히 많은 지역에 분포되어 있음. 서해안의 많은 지역이 조류발전 추천 유속인 1.5m/s 보다 높은 곳이 여러 지역에서 조사. 소야도 부근에서는 최강 유속이 3.9m/s로 조류발전에 매우 적합하며 그 외 많은 지역에서도 2m/s 이상의 유속이 발생하는 것으로 조사되었음
- 인천지역에는 높은 유속을 갖고 있는 지역이 광범위하게 산재되어 있음. 특히 덕적도 주변은 최대 유속이 4m/s가 되는 조류발전에 적합한 환경을 갖고 있음



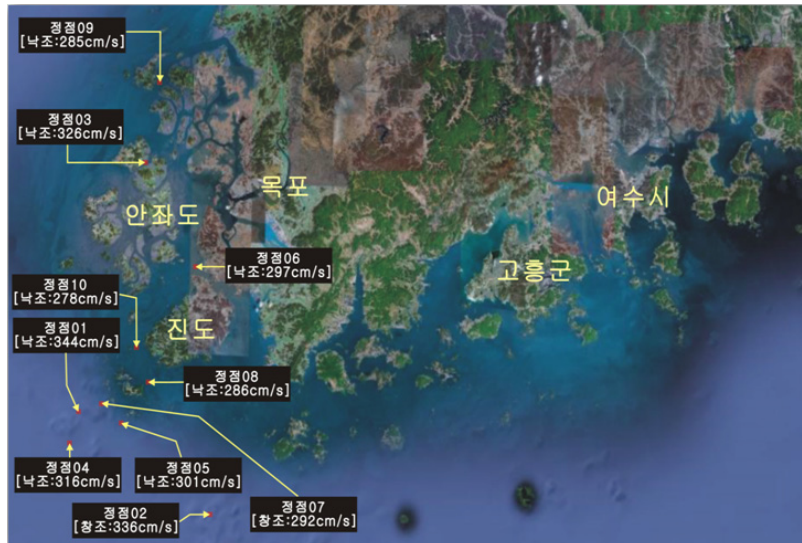
[그림 31] 인천지역 조류속도 분포

- 2009년 4월 인천광역시, 옹진군, 남동발전, 포스코건설, 인하대학교가 인천지역에 200MW 조류발전단지 조성을 위한 MOU를 체결
- 본 타당성 조사를 거쳐 2013년 공사를 착수하여 2015년 1단계 상업운전을 목표로 하고 있음



[그림 32] 인천 조류발전단지 공동개발 사업

- 남해지역은 지형적인 특성과 조석에 의한 강한 조류가 발생하는 여러 지역이 있음. 울돌목, 횡간수도, 장죽수도, 대방수도, 맹골수도 등이 조류발전 적합지라 알려지고 있음
 - 전라도 지역의 장죽수도, 맹골수도, 횡간수도 등 조류속도가 빠른 지역이 많이 있어서 조류발전 적용이 가능함
- 2009년 울돌목에 세계 최초로 1MW 시설용량의 헬리컬 조류발전 장치가 설치되었으며 25kW, 100kW급 수평축 조류발전 장치가 개발되어 2008년 삼천포방수로 및 2011년 시험발전을 실시하였음
- 섬이 많고 유속이 빠른 신안지역에 260MW 조류발전단지 개발계획이 발표되어 예비 타당성조사가 2010년 실시되었음



[그림 33] 전라도 지역 조류속도 분포

- 그러나 아직까지 구체화되거나 사업이 시작된 프로젝트는 없음. 이는 조류발전에 대한 인식부족과 세계적으로 실용화된 사례가 아직 많지 않아 정부 및 관련 기관에서 이 분야에 대한 적극적인 지원이 부족한 실정임
- 더욱이 더 큰 문제는 현재까지 조류발전은 발전단가 차액 기준이 마련되어 있지 않고, 2012년부터 적용되는 RPS(Renewable Portfolio Standards)의 REC(Renewable Energy Certificates)적용 기준이 확정되지 않고 있는 상황임

V 조류발전 정책적 시사점

1. 현황 진단

- 우리나라의 해양에너지 핵심요소 기술력은 선진국과 대등한 수준까지 와 있으나 실증 개발 및 기반시설이 부족한 실정임. 특히 우리나라는 전 세계적으로 주목받는 조류발전의 최적 입지조건을 갖추고 있어 해외 업체가 국내 진출을 통한 주요입지 선점을 위해 적극적으로 노력하고 있음
- 조류발전은 ‘저탄소 녹색성장’이라는 새로운 국정기조에 부합하는 기술로써 좁은 국토의 한계를 가지고 있는 우리나라에 매우 유망한 에너지원임. 에너지밀도가 타 에너지원에 비해 월등이 높아 대용량 발전에 유리하므로, 기후변화 협약 대응 및 신재생에너지 의무 할당제도(RPS)의 충족을 위한 가장 좋은 대안으로 부각되고 있음
- 세계적으로 조수간만의 차가 높아 조류속이 높거나, 지형적인 영향으로 해류 속이 높은 지역이 그리 많지 않음. 다행히 국내의 서해안과 남해안은 높은 간만의 차 및 지형적인 영향으로 조류 및 해류 속도가 매우 빠른 지역이 많기 때문에 조류 발전의 과급효과는 매우 큼

〈표 3〉 조류에너지 관련기술의 선진국 대비 기술 수준

(단위 : 선진국 = 100)

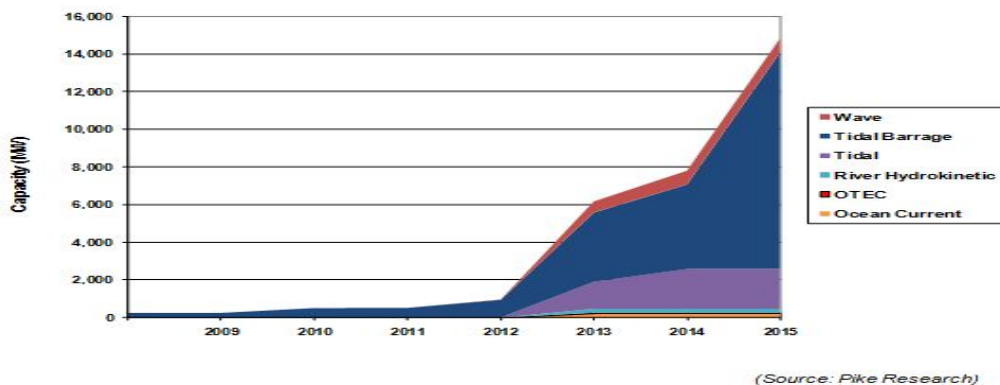
분 류	소 분 류	2007	2012	2020
조류에너지 변환기술	타당성 및 환경평가	80	90	95
	조류에너지 변환	80	90	95
	발전기	80	85	90
	에너지 흡수, 수송 장치	75	85	90
	평 균	78.8	87.5	92.5
조류발전 구조물 설계 및 시공기술	설치 및 시공	90	95	100
	구조물 설계	95	100	100
	구조물 지지	90	95	100
	평 균	91.7	96.7	100
조류에너지 적용기술	전력제어	80	90	95
	운용 및 유지보수	70	80	90
	적용 및 단지화	65	75	85
	평 균	71.7	81.7	90.0
평 균		80.5	88.5	94

자료 : 『신·재생 에너지 R&D전략 2030』, 에너지관리공단

2. 해외 조류발전 전망

- 에너지 비즈니스 분석기관인 더글러스 웨스트우드(Douglas-Westwood)에서는 전세계 파력·조력에너지 시장전망 보고서가 발표되고 있음. 현재까지 발표된 조류발전 개발 계획은 영국이 약 300MW이상을 비롯하여 캐나다, 미국 등을 포함 약 600MW이상이 추진 중이고 앞으로 더 많은 조류발전 개발을 계획하고 있음
- 향후 2015년까지 전 세계적으로 조류에너지 발전 시설이 시설용량 기준 300MW 정도가 건설될 전망. 더글러스 웨스트우드는 향후 2015년까지 100여개의 기술이 실증화 및 실용화 테스트 단계를 거칠 것으로 전망하고 그 중 절반 정도의 기술은 상업용 규모까지 발전할 것으로 전망
- 특히 영국은 전 세계의 시설용량 중 약 50%정도의 발전시설을 설치할 계획으로 당분간 영국은 가장 큰 조류에너지 시장을 차지할 것으로 전망
- 그 뒤를 이어 미국이 두 번째로 큰 시장을 형성할 것이며, 포르투갈과 캐나다는 각각 9MW, 6MW 규모의 시설 추가계획을 가지고 시장을 넓혀갈 것으로 보임
- 미국은 2015년의 해양에너지 조류발전이 약 2.2GW로 전망하고 있으며, 개발된 조류발전기는 수평축 조류 발전기의 수가 가장 많음
- 조류발전 형태는 수평축이 단연 우세하며 영국이 관련 연구, 상용화 기술 및 관련 회사수에서 가장 앞서고 있음

Hydrokinetic Capacity Forecasts by Technology, World Markets: 2008-2015



[그림 34] 2015년까지의 해양에너지 용량전망(Pike Research, 단위 : MW)

3. 정책 방향

(1) 시장 창출을 위한 정부의 정책적 지원 필요

- 조류발전은 국내 시장규모가 작고 위험부담이 커서 민간 주도의 상업적 시장이 형성되기 어려움. 조류발전의 지속적 설치를 위해서는 경쟁력 있는 발전단가의 확보 필요
- 조류발전에 대한 신재생의무할당제도(RPS : Renewable Portfolio Standards), 정부기준의 조속한 확립 필요
 - 관심 기업들이 조류발전 상용화를 위한 참여를 유도하기 위해서는 시급히 RPS REC (Renewable Energy Certificates)* 기준에 대한 결정 필요. 현재 조류발전에 대한 정부 기준이 부재하여 기업들이 타당성 분석조차 할 수 없는 환경임

〈표 4〉 신재생에너지원별 가중치

구 분	공급인증서 가중치	대상에너지 및 기준		
		설치유형	지목유형	용량기준
태양광에너지	0.7	건축물 등 기존시설물을 이용하지 않는 경우	5개 지목 (전, 답, 과수원, 목장용지, 임야)	
	1.0		기타 23개 지목	30kW 초과
	1.2			30kW 이하
		1.5	건축물 등 기존 시설물을 이용하는 경우	
기타 신·재생에너지	0.25	IGCC, 부생가스		
	0.5	폐기물, 매립지가스		
	1.0	수력, 육상풍력, 바이오에너지, RDF 전소발전, 폐기물 가스화 발전, 조력(방조제 유)		
	1.5	목질계 바이오매스 전소발전, 해상풍력(연계거리 5km이하)		
	2.0	해상풍력(연계거리 5km초과), 조력(방조제 무), 연료전지		

자료 : 지정부 신재생에너지 공급의무화제도(RPS) 세부방안에 대한 고시 제정 보도자료('10. 12)

○ 조류발전 활성화를 위한 관련 법규의 정비 필요

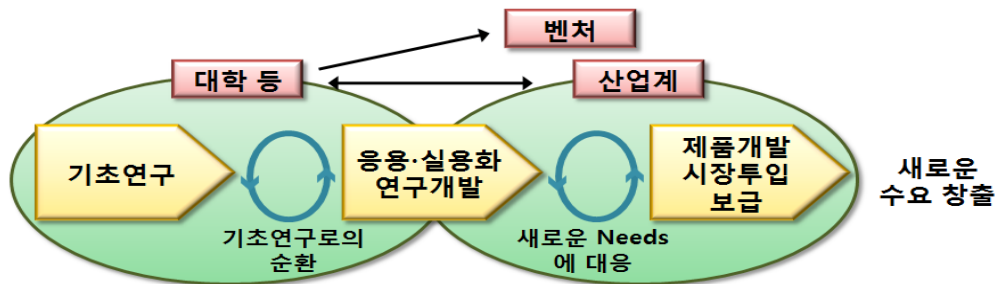
- 정부와 지방자치단체, 유관기관과 제도적인 방안이 확립되어야 하며, 복잡한 인허가 절차 및 관련법규를 단순하고 체계적으로 수정 및 제정하여 개발된 기술이 현실적으로 적용 보급될 수 있게 정책적인 지원체계 마련 필요

* RECs는 신재생에너지 설비를 이용해 전력을 생산했다는 증명서로, 인증기관이 발전사업자의 신재생에너지 설비와 발전량을 검증하고 이를 기준으로 발전량에 따라 배포

(2) 정부와 민간역할 분담을 통한 핵심기술의 전략적 개발

○ 정부의 체계적인 R&D 지원을 통한 기술개발체계 확립 필요

- 대형조류발전 장치(500kW급 이상) 개발을 통한 조류발전단지 조성이 가능한 지원과 도서 지방이나 섬에서 적용이 가능한 중소형 조류발전 장치개발을 구분하여 지원 필요
- 조류발전 산업화 및 상용화를 위한 과제는 기업주관, 기초연구는 대학, 기업 지원이나 장기적인 연구는 출연 연구소 등 특성에 맞는 개발주체를 구분하여 지원하는 정책 마련 필요



○ 조류발전의 성능실험 및 인증을 위한 실증시설의 조성 필요

- 영국의 유럽해양에너지센터(EMEC)와 같이 조류발전 장치에 대한 성능실험 및 성능 인증 나아가서는 인증까지 할 수 있는 테스트베드 시설을 조성해야 함. 이를 통해 국내 장치산업 및 요소기술 개발을 촉진 필요
- 국내에서도 조류발전 실증개발을 통한 기술 확보가 요구되고 세계 해양에너지 시장에 진출하기 위해서는 지속적인 연구투자 필요

※ 다른 6개 신재생에너지 테스트베드 선정 현황(7개 주관기관)

- 태양광(3) : 충청권(충북TP), 대경권(구미전자정보기술원), 호남권(전북대·생산기술연구원)
- 풍력(2) : 풍력시스템-호남권(전남TP), 풍력부품-동남권(경남TP·생산기술연구원)
- 연료전지(1) : 대경권(포항공대)

2010 Green-tech 리서치 발간 현황

차수	발간일	기술명	내용 및 필자
1호	2010.5.27	이차전지	이차전지 기술개발 동향 및 관련 이슈 - 조재필 교수 (울산과기대)
		CCS	지속가능 발전을 위한 CCS 기술 - 박상도 단장 (CDRS사업단)
		그린카	그린카 관련 국내외 기술동향 및 주요이슈 - 강건용 박사 (한국기계연구원)
		고효율원자력	친환경 핵비확산성 고속로 및 순환핵주기 시스템 - 김영일 부장 (한국원자력연구원)
2호	2010.7.2	태양전지	태양전지 산업의 해외시장 현황 및 전망 - 유권중 단장 (한국에너지기술연구원)
		연료전지	SOFC 기술 분석 보고서 - 이해원 박사 (한국과학기술연구원)
		고도수처리	고도수처리 분야의 기술, 시장 및 정책동향 - 이석현 박사 (한국과학기술연구원)
		LED조명	LED조명 기술 관련 국내외 기술 동향 및 주요 이슈 - 조용훈 교수 (카이스트)
3호	2010.8.16	친환경저에너지건축	저탄소 녹색성장의 실현을 위한 제로카본 그린빌딩 동향 - 이진호 박사 (건기연)
		폐기물재활용	국내 유기성 폐자원 에너지화 - 임태인 교수 (한밭대)
		스마트그리드	한국의 스마트그리드 기술개발 추진정책 - 임영민 팀장 (한국스마트그리드사업단)
		기후변화영향평가 및 적응	기후변화 영향평가 및 적응 관련 동향 - 김연주 박사 (한국환경정책평가원)
4호	2010.9.20	개량형경수로	개량형 경수로 개발 동향 - 백세진 처장 (한국전력기술(주))
		바이오에너지	수송용 바이오연료 생산기술 현황 및 전망 - 김용환 교수 (광운대)
		석탄가스화복합발전	석탄가스화 복합발전(IGCC)의 기술 동향과 이슈 - 윤용승 박사 (고등기술연구원)
		유해성물질 모니터링	유해물질 모니터링 분야 기술개발 현황 및 전망 - 구만복 교수 (고려대)
5호	2010.10.18	친환경식물성장촉진기술	식물공장 자동화시스템 및 기술동향 - 김유호 박사 (국립농업과학원)
		핵융합로 설계 및 건설기술	핵융합로 설계 및 건설 기술 현황 및 전망 - 장한수 팀장 (국가핵융합연구소)
		수계수질평가 및 관리	국내외 수계 수질 평가 및 관리 기술의 현황과 고찰 - 김익재 박사 (물환경연구소)
		지능형 교통물류기술	지능형 교통체계(ITS)의 소개 및 국내외 현황 - 이재준 박사 (교통연구원)
6호	2010.11.22	수소제조 및 저장	수소에너지 제조 및 저장기술 동향 및 이슈 - 김종원 박사 (수소에너지사업단)
		Non-CO ₂	Non-CO ₂ 온실가스 저감기술의 동향 및 주요 이슈 - 문승현 박사 (에너지기술연구원)
		생태공간 및 도시재생	생태공간 및 도시재생기술 - 오충현 교수 (동국대)
7호	2011.1.10	기후변화 예측모델링	기후변화 예측 모델 기술 - 조천호 과장 (국립기상연구소)
		가상현실	가상현실 기술 관련 동향 및 이슈 - 김동현 교수 (세종대)
		그린프로세스	그린프로세스 기술 현황 및 전망 - 김상용 박사 (한국생산기술연구원)

2011 Green-tech 리서치 발간 현황

차수	발간일	기술명	내용 및 필자
4월	2011.04	스마트그리드	국내의 기술 개발 현황과 한국형 스마트그리드 구현 방안 - 유남철 그룹장 (한전KDN)
		고온초전도 전력케이블	국내외 기술 개발 동향과 기술 개발 시사점 및 정책 제언 - 심기덕 선임연구원 (한국전기연구원)
5월	2011.05	해상풍력발전	국내외 발전 현황과 해상풍력발전산업 활성화 방안 - 김석우 풍력발전센터장 (한국에너지기술연구원)
6월	2011.06	태양광 발전	태양광 발전 R&D 현황분석과 정책방안 - 윤재호(한국에너지기술연구원), 천세봉, 홍정석(kistep)
7월	2011.07	지열 에너지	지열에너지활용의 국내외동향과 발전전략 - 송윤호(한국지질자원연구원)

저자
소개

■ 조철희

- 인하대학교 기계공학부 교수
- 전 화 : 032) 860-7342
- e-mail : chjo@inha.ac.kr

■ 천세봉

- KISTEP 녹색기술사업실 부연구위원
- 전 화 : 02) 589-2824
- e-mail : sbc@kistep.re.kr



KISTEP Green-tech Research 2011 - 08

발 행 / 2011년 8월

발행인 / 이 준 승

발행처 / 한국과학기술기획평가원 사업조정본부 녹색기술사업실
서울특별시 서초구 마방길 68(양재동) 동원산업빌딩 8~12층
전화 : 02) 589-2824 / 팩스 : 02) 589-6991
<http://www.kistep.re.kr>

본 자료의 내용은 필자의 개인적 견해로 KISTEP의 공식적인 의견이 아닙니다.