

조류에너지의 이용기술

<http://dx.doi.org/10.5757/vacmac.3.2.11>

양창조, 황태규

Development Trends of Tidal Current Energy and Its Test Bed

Changjo Yang, T.G. Hoang

Tidal current energy is the most interesting renewable resources that have been less harnessed. Korea has globally outstanding tidal current energy resources and it is highly needed to develop a tidal current energy conversion system. It is reported that the total amount of available tidal current energy is approximately 6GW in Korea. A good tidal site candidate is required a large amount of fast moving water, bathymetry and seabed properties, no conflicts with other users and is close to a load and grid interconnection. In this review, we summarized the results of R&D projects regarding tidal current resources, utilization projects and demonstration test bed.

서론

지구 표면적의 71%를 차지하는 해양은 태양과 달로부터 끊임없이 열, 운동, 위치에너지의 형태로 에너지를 공급받으며 동일한 양을 방출하지만 대부분은 에너지원으로서 직접적으로 활용되지 못하고 있다. 해양에너지는 대기나 표층수에 저장된 열에너지와 해류, 파랑, 바람 등의 유체 흐름 형태의 에너지로 나눌 수 있는데 일반적으로 열에너지에 비해 유체 흐름 형태의 에너지 밀도가 상대적으로 높기 때문에 이를 활용하는 기술의 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

한편, 최근 신재생에너지 개발의 필요성에 따라 해양 에너지가 주목을 받고 있으며, 태양 복사에너지의 23%

를 차지하는 해양에너지는 에너지 변환효율이 높고 에너지 밀도가 높아서 개발시 경제성 확보가 유리한 무고갈성 청정에너지이다. 또한 해양에너지는 대규모로 개발이 가능한 무한한 재생에너지 자원으로써 오염문제가 없는 무공해 자원이며 미래의 유망에너지 자원이다.

해양에너지는 해양의 조수·파도·해류·온도차 등을 변환시켜 전기 또는 열을 생산하는 기술로써 전기를 생산하는 방식은 조력·파력·조류·온도차 발전 등이 있다.

- 조력(Tidal Barrage)발전 : 조차가 큰 하구나 만에 방조제를 설치한 후, 외해와 조지 내의 수위차를 이용하여 전력을 생산한다.
- 파력(Wave Energy)발전 : 입사하는 파랑에너지를 터빈 등의 원동기 구동력으로 변환하여 전력을 생산하며 설치방식에 따라 크게 부유식과 고정식으로 구분된다.
- 조류(Tidal Current)발전 : 조수간만차에 의해 발생하는 해수의 높은 유속을 이용하여 에너지를 생산하는 발전으로 수평 유체흐름을 회전운동 또는 왕복운동으로 변환시켜 전력을 생산한다.
- 해양온도차발전(OTEC, Ocean Thermal Energy Conversion) : 해양 표면층의 온수(예 : 25~30℃)와 심해 500~1000m정도의 냉수(예 : 5~7℃)와의 온도차를 이용하여 열에너지를 기계적 에너지로 변환시켜 발전하는 기술이다.

에너지 부존량의 평가로는 파력 및 온도차 발전이 많지만 에너지원별 입지조건이나, 경제성, 기술성, 환경

〈저자 약력〉

- 양창조 교수는 2004년 일본큐슈공대에서 공학박사 학위를 받고, 2006년부터 목포해양대학 교수로 재직중이다. (cjyang@mmu.ac.kr)
- 황태규 연구원은 2005년 한국해양대학교에서 공학박사학위를 받았으며, 미국 테네시대학교, 조지아텍에서 박사후 연구원을 하였고, 2008년부터 현재 한국조선해양기자재연구원 에너지기술연구센터 센터장으로 재직중이다. (andrew@komeri.re.kr)

[Table. 1] World ocean energy reserves[1]

Ocean energy	Energy reserves (TWh/year)
Tidal barrage	300
Wave	80,000
Tidal current	800
OTEC	10,000

요소 등을 고려할 때 실제로 가장 활발한 개발이 진행되고 있는 분야는 조류발전이다.

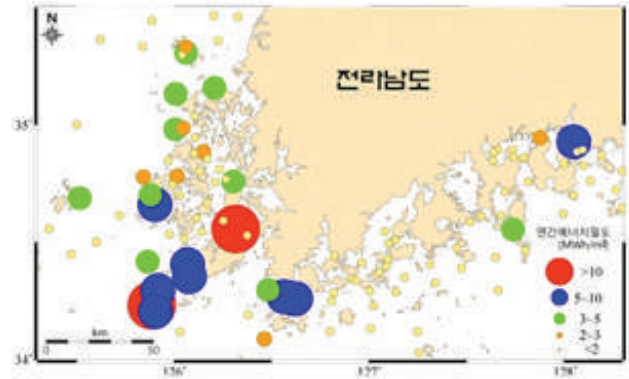
해양에너지는 고갈될 염려가 전혀 없어서 개발 후에는 태양계가 존속하는 한 이용이 가능하고 발전량을 거의 정확하게 예측할 수 있으며 환경 오염 문제가 없는 청정에너지라는 장점이 있다. 그러나 해수 중에서 운용되어야 하는 발전장치의 특성상 높은 수준의 수밀과 방식 기술이 요구되며 육상에 비해 상대적으로 높은 설치비용도 앞으로 해결해야 할 부분으로 남아있다.

조류발전 기술동향

국내에 크라이오 펌프 제조 기술이 들어오게 된 데에는 조류발전은 조류 유속이 빠른 연안에 설치되며 날씨나 계절적 요인의 영향을 받지 않아 가동률이 높고 발전량 예측의 신뢰성이 보장되는 에너지원이다. 또한 조력 발전과 같이 대규모 토목공사를 수반하는 댐이 필요 없는 구조로 초기 투자비가 적고 해안 환경에 미치는 영향을 최소화 할 수 있는 발전방식이다. 우리나라의 서해안과 남해안은 높은 조수간만의 차로 조류속도가 강한 지역이 많으며 이중 다수는 경제성 있는 조류발전이 가능한 것으로 알려져 있다.

우리나라는 세계적으로 보기 드문 조류발전의 적지이며, 국내 연안에는 약 6GW이상의 조류에너지가 부존되어 있는 것으로 추정되고 있다 [2]. 특히 우리나라의 서남해안은 조류에너지 여건이 아주 좋은 것으로 평가되고 있고, 부존량도 많아 대체에너지로서의 개발가치가 높다. 특히, 진도 울돌목, 장죽수도, 맹골수도, 완도 횡간수도 등 다도해의 빠른 조류 자원 세계적인 조류발전 최적지로 우리나라 해양에너지 자원의 보고이다.

조류발전시스템(Tidal Stream Power Plant) 구축을 위한 조류발전기술은 해수유동의 운동에너지 변환을 담당하는 터빈설계기술, 발전시스템의 설치를 담당하는 수



[Fig. 1] Tidal current energy density in southern Korea [3]

중장치설계기술, 그리고 최적의 장소를 결정하는 단지조성기술로 구분될 수 있다. 조류발전은 구미 선진국의 경우 이미 기술적으로 실용화가 가능한 단계에 접근하고 있다. 즉 조류터빈, 발전기 및 시공기술과 함께 조류발전 개발 여건은 매우 성숙되어 있다. 다만 지역 특수성을 감안하여 경제성 문제를 해결할 수 있는 개발계획의 수립에 초점을 맞추고 있는 상태이다.

조류발전장치는 수평 유체 흐름을 회전운동이나 왕복운동으로 변환시켜 에너지를 생성하며 발전장치의 회전축에 따라 수평축(Horizontal Axis Turbine)과 수직축(Vertical Axis Turbine) 및 가동 물체형으로 구분된다. 이밖에 압전소자, 와류 효과 등을 이용한 방식도 있으나 현재 조류발전장치 개발의 대다수는 수평축 및 수직축 방식이다.

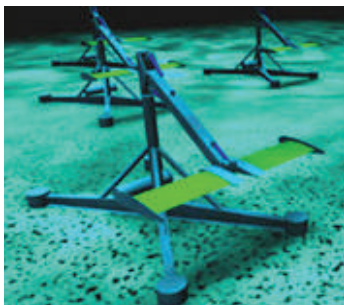
- 수평축 방식 [그림 2(a)]은 터빈의 축과 조류 방향이 평행하여 구조적으로 간단하고 안정적인 형식이다. 일반적으로 풍력발전에 사용하는 장치와 유사한 구조로 설계되며, 넓은 범위의 유속 변화에 대한 효율이 높고 발전출력이 안정적인 특징이 있다. 반면에 조류 흐름의 방향변화에 대응하기 위해서는 별도의 구조가 필요하며 발전부가 수중에 설치되기 때문에 시스템의 수밀이 필수적으로 요구된다는 부분이 난제로 남아있다.
- 수직축 방식 [그림 2(b)]은 터빈의 축과 조류 방향이 수직을 이루어 유향 변화에 관계없이 발전이 가능하고 낮은 유속에서도 운전이 가능한 장점이 있다. 반면 긴 회전축을 필요로 하는 구조상 축 상단에 발생하는 모멘트에 대한 구조강도가 확보되어야 하며 이를 위한 별도의 구조물이 요구된다.
- 가동물체형 [그림 2(c)]은 어류의 수중운동과 유사한



(a) Horizontal Axis Turbine, Hammerfest Storm, HS1000



(b) Vertical Axis Turbine, KIOST

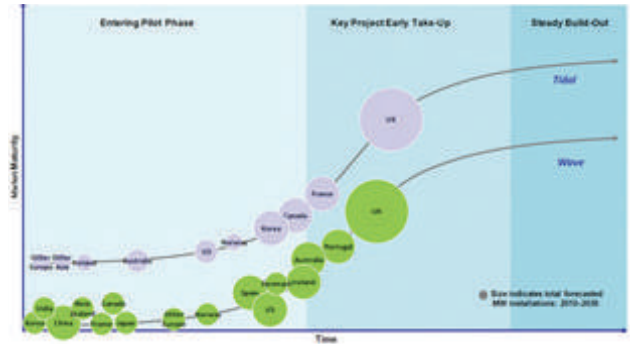


(c) Stingray, Engineering business

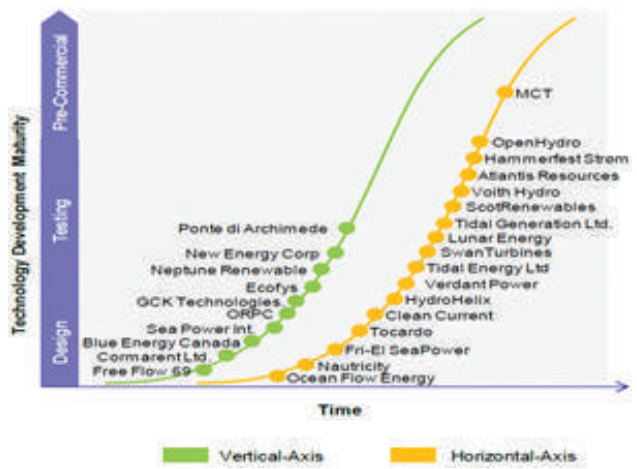
[Fig. 2] Types of tidal stream power plant

방식을 사용하는 것으로 수중 포일(Foil)등에 의해 유체흐름을 왕복운동으로 변환하여 에너지를 생성한다. 세계의 조류발전시스템의 시장 및 기술의 성숙도를 다음에 보인다.

영국, 캐나다 등의 기업들이 조류발전 분야를 선도하고 있으며, 특히, GL-Garrad Hassan사는 조류발전 터빈용으로 GH Tidal Bladed를 개발하여 기초설계 및 건설에 사용하고 있다. 또한 IEC TC114에 기반한 표준화된 터빈이나 이에 대한 체계적이고 효율적인 설계기법을



(b) Market Maturity



(b) Technology development maturity

[Fig. 3] Tidal devices technologies[3]

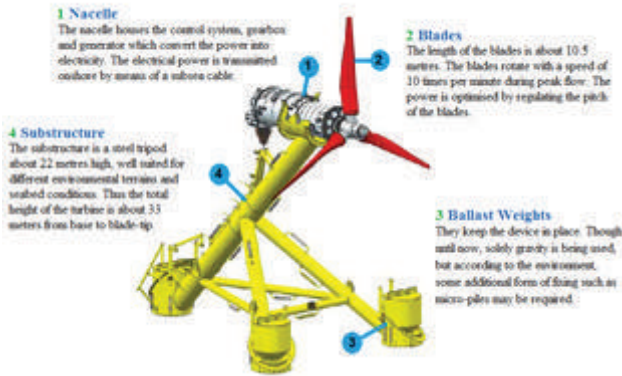
위한 다양한 추가적 연구개발이 진행 중이다. 해양에너지 개발선진국들은 국가적인 차원의 대규모투자를 통해 해양에너지 산업을 육성하려는 로드맵을 마련하고 있음. 특히 각국 정부의 해양에너지 육성 정책의 효과로 신생기업 및 지멘스(Siemens)와 안드리츠 하이드로(ANDRITZ HYDRO)와 같은 기존 대기업들의 해양에너지 분야에 대한 공격적인 투자가 증가하고 있는 추세이다. 아래 그림은 2세대 조류발전용 터빈과 구조물을 보인다.

국내 기술 동향 및 수준

- 한국중부발전과 목포해양대는 2006~2007년간 전라남도 완도 횡간수로에서 조류발전단지 개발을 위한 타당성 조사를 수행했다. 최초 계획은 2009년까지 1차로 Lunar Energy사의 1MW 급 덕트형 수평



(a) Marine Current Turbine Co.[4]



(b)Hammerfest Co.[5]

[Fig. 4] 2nd generation of turbine and structure

축 터빈 1기를 설치하고, 2015년까지 300MW급 발전단지를 조성을 계획하였다.

- 한국남동발전은 8,000억원을 투자하여 2018년까지 200MW 급 조류발전단지를 개발할 계획이다. 2009~2010년간 웅진군 덕적도 인근 해역에 대해 조류발전단지의 타당성 조사를 수행한 결과 비용편익(B/C)비율 1.2로 경제성이 있는 것으로 확인되었다. 해당 사업에는 인천광역시와 웅진군, 한국남동발전, 포스코건설, 인하대가 참여하고 있고 50MW급 발전단지 4개를 조성하는 것을 목표로 하고 있다. 그러나 단지조성해역 중 일부가 생태경관보존지역으로 지정된 상태이고 발전단지와 육상 전력망 간 거리도 30~50km 로 다소 먼 편이라 송전로를 구성하는데 어려움이 있다는 의견도 나오고 있다. 최초의 사업계

획은 2013년 6월에 착공하여 2018년 12월에 완공하는 것이었으나 현재는 착공시기가 2015년으로 늦춰진 상태이다.

- 이밖에도 한국남동발전은 2016년까지 포스코 건설과 함께 1조원을 투자하여 전라남도 신안군에 260MW 급 조류발전단지를 개발할 계획으로 현재 타당성 조사를 수행중이다.
- 한국동서발전은 포스코 건설, 레네테크, 독일의 Voith Hydro사 등과 공동으로 장죽수도와 맹골수도에서 각각 150MW, 250MW 급 조류 발전단지를 개발할 계획으로 타당성 조사를 수행중이다. 2018년까지 1조 5천억원이 투입될 예정이며 발전장치 제작사인 레네테크는 Voith Hydro사와 공동으로 2010년 장죽수도에서 110kW 급 수평축 조류발전장치의 시제품 운전에 성공했다.
- 국내 최대의 중공업사인 현대중공업은 2010년, 500kW급 조류발전장치를 자체적으로 개발하여 2011년 6월, 전라남도 울돌목에서 시운전에 성공했다. 장치 개발 완료 후 테스트 해역을 확보하는데 1년가량의 시간이 지연되었으며 현재는 2014년까지 MW급 단지용 조류발전장치 개발을 목표로 남부발전, 남동발전 등과 컨소시엄을 구성해 상업화에 필요한 구조물 설계와 계통 연계기술을 연구 중에 있다.
- 한국해양과학기술원은 2003년 국내 최초로 100kW급 수직형 헬리컬 조류발전장치를 개발하여 울돌목에 설치했고, 2009년에는 500kW급 수직형 헬리컬 조류발전장치를 개발하여 같은 해역에서 시험운전에 성공하고, 현재는 능동제어형 조류발전 기술을 개발하고 있다.

한편, 조류자원 실용화를 위하여 조류에너지원에 대한 자료수집 등의 현황분석과 수치모델링 등을 통하여 조류에너지 분포도를 조사하고 이용가능한 발전량을 산정, 조류발전장치로부터 발생하는 후류의 영향평가 등의 간섭기술의 분석을 통하여 계통연계과 관련된 효과적인 최적의 조류발전단지 구성기술을 개발에 대한 연구기술이 최근 부각되고 있다.

조류에너지 실패역 실증시험장

가혹한 환경에서 운용되는 해양에너지 발전장치의 신뢰성을 확보하기 위해서는 실패역 실증시험이 필수적으



(a) EMEC(UK)



(b) FORCE(Canada)

[Fig. 5] Test bed of tidal power plant

로 요구된다. 조류발전을 비롯한 해양에너지의 개발에는 해양환경에서 운용되어야 하는 장치의 특성상 높은 부식성과 가혹한 물리적 환경에 대한 내구성이 필요하며 해수중에 위치하는 장치의 경우 추가로 고도의 수밀성이 요구된다. 이에 더해 발전장치 시스템을 설치하고 운영하는 방법이나 유지/보수에 관한 노하우를 획득하는 것도 해양에너지 분야가 성장하는데 반드시 필요한 부분이다. 특히 해양에너지 상용화시에는 시스템의 유지/보수 수행이 육상 시설에 비해 상대적으로 어려운 만큼 이를 최소화할 수 있는 신뢰성을 확보하는 것이 필수적이다. 시스템의 신뢰성을 높이기 위해서는 실제 운용환경과 동일한 조건에서 충분한 시간을 거친 검증이 필요하기에 해외에서는 다수의 해양에너지 실험실 검증시험장이 운

용되고 있다.

영국, 미국, 캐나다 등 해양에너지개발선진국들은 국가적인 차원의 대규모 투자를 통해 해양에너지 산업을 육성하려는 로드맵을 마련하고 있다.

- 영국은 해양에너지 관련 산업으로의 투자유인 및 실증사업 활성화를 위해 2011년 신재생에너지 공급의무화(Renewable Portfolio Standard)제도에 따른 해양에너지의 공급인증 가중치를 높였다. 또한 2020년까지 700MW 규모의 해양에너지 발전시설을 확보할 계획이다. 이 계획에 부합하기 위해서는 현재 기업들이 수행하고 있는 실증사업을 5년 내에 상업적 생산 규모로 확대해야 하므로 실증시험장에 대한 수요는 폭발적으로 증가할 것이다.
- 미국의 해양신재생에너지연합(Ocean Renewable Energy Coalition)은 해양에너지 개발이 산업화에 이르기까지 3단계의 실증과정을 거쳐야 하며 2030년까지 15GW 규모의 해양에너지 발전시설이 조성될 것으로 예상하고 있다. 이를 위한 실증사업의 확보를 위해 정부, 기업, 학계 간 긴밀한 협업이 이루어지고 있는 중이다.
- 캐나다 해양 신재생에너지 그룹(Ocean Renewable Energy Group)은 해양에너지 발전시설을 2016년까지 75 MW, 2020년까지 250 MW, 2030년까지 2GW 규모로 확대하여 연간 20억 달러의 수입을 창출한다는 계획을 수립했다. 이를 위한 국가차원의 사업육성을 통해 2020년까지 세계 해양신재생에너지 개발사업의 30%, 2030년까지 50%를 차지한다는 목표를 세우고 있다.

각국 정부의 해양에너지 육성 정책의 효과로 신생기업 및 기존 대기업들의 해양에너지분야에 대한 공격적인 투자가 증가하고 있는 추세이다. 그러므로 국가의 한정된 R&D 자원을 효과적으로 사용하기 위해서는 범용으로 활용 가능한 공공시험장을 개발해야 한다. 지속적인 유가상승 추세와 우리나라를 비롯한 각국 정부의 적극적인 신재생에너지 분야 지원 환경 아래 해양에너지 발전장치의 연구개발은 급성장할 것으로 예상되지만 상용화에 필수적인 실험실 검증시험이 개발 주체별 독자적으로 추진될 경우 시험해역 확보의 난항을 매 사업마다 겪을 뿐 아니라 막대한 설비 비용이 중복으로 투자될 우려가 있다. 제 2의 조선 산업으로 육성 가능한 해양에너지 산업 활성화에 한정된 R&D 자원을 효율적으로 사용하기

위해서는 범용으로 활용가능한 공공시험장을 개발해야 한다.

요약 및 전망

조류발전의 국내 동향은 조류터빈의 기술개발 수준이 아직 중소기업 개발단계에 머물러 있으며, 각 해역에 적합한 여러 가지 조류터빈의 개발과 향후 실용화 기술개발 과정이 매우 필요한 실정이다. 또한 선진국 중심의 기술개발 경쟁 및 기술 보호주의는 더욱 더 심화될 전망이어서 우리의 독자적 기술 확보가 시급하다.

조류발전의 국내시장 개척 및 수출산업화를 위하여 반드시 확보해야 하는 핵심원천기술인 터빈설계기술 및 조류발전단지 평가기술을 개발하여 구축된 요소기술을 바탕으로 향후 산업계 주도형 조류발전장치설계 및 조류발전 단지평가를 위한 핵심기술개발사업으로 추진할 필요가 있다.

한편, 해양에너지 상용화를 위해서는 시스템의 O&M 수행이 육상 시설에 비해 상대적으로 어려운 만큼 발전장치 시스템의 내구성을 확보하는 것이 매우 중요하며, 또한 가혹한 환경에서 운용되는 해양에너지 발전장치의 신뢰성을 확보하기 위해서는 국내에 실험실증시험장 구축이 시급히 요구된다.

References

- [1] IEA-OES, Policy Report, International Energy Agency, (2006).
- [2] 이광수, et. al., 해양에너지 실용화기술개발(1): 조력 조류에너지, 해양수산부(2001).
- [3] Global ocean energy markets and strategies :2010-2030, IHS Emerging energy research, (2010).
- [4] <http://www.marineturbines.com>
- [5] <http://www.hammerfeststrom.com>
- [6] <http://www.emec.org.uk>
- [7] <http://www.fundyforce.ca>

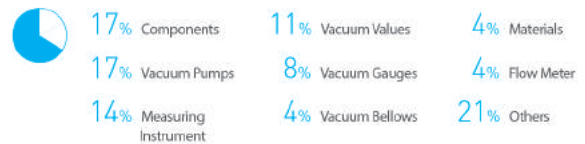
제20회 세계진공학술대회 및 전시회 한국진공학회 창립 25주년 기념 학술대회

2016년 8월 21일 - 26일 부산 벅스코 www.ivc20.com

세계 진공인의 올림픽!



국내외 90개 업체 150부스



Global Leader들에게 듣는 진공에 대한 모든 것

Joanna Aizenberg Director Harvard University, USA	Jean-Marie Dubois Scientific Advisor Institute Jozef Stefan, Slovenia <i>*IUVSTA Prize Winner for Science</i>	Taeghwan Hyeon Director IBS/Seoul National University, Korea <i>*IUVSTA Prize Winner for Technology</i>	Kinam Kim President SAMSUNG ELECTRONICS Korea	Erwin Neher Director MPI for Biophysical Chemistry, Germany <i>* Nobel Laureate in Physiology or Medicine</i>	Hideo Ohno Professor Tohoku University, Japan	Qi-Kun Xue Vice President Tsinghua University, China	Chang-Ho Oh Senior Vice President LG Display, Korea <i>* ITC 2016 Plenary</i>
-------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------

