한국신·재생에너지학회 2006년도 추계학술대회논문집 pp.134~137

국내외 해양 조류발전 기술

조 철희[1], 박관규[2]

Recent Ocean Tidal Stream Power Generation Technology

Chul H. Jo, and K.K. Park

Key words : Tidal Stream Power (조류발전), Tidal Current (조류), Current Power (해류발전), Ocean Power (해양발전), Clean Energy (청정에너지), Power Generation Technology (발전 기술)

Abstract : Tidal power can use conventional technology to extract energy from the tides. It is usually best deployed in areas where there is a high tical range which includes Western and Southern coastal areas in Korea. However, to extract tical energy, a barrage across an estuary or a bay is to be constructed that is now very hard due to severe environmental impact on local estuary. The recent technology of application of tidal stream provides a new window to extract power minimizing the adverse environmental impact. Tidal stream technology which directly exploits these currents is relatively new but is presently generating considerable interest. Turbine rotors can be used to extract energy from the flows. Prototype devices currently on test in the UK include the 300kW SeaFlow turbine. In this paper, the recent technology and research on ocean tical stream power are addressed.

1. 서 론

해양에서 개발되고 있는 에너지는 해류발전, 조력발전, 파력발전, 온도차발전, 풍력발전 등이 대표적으로 연구되고 있다. 조류를 이용한 조류발전은 해류발전에 포함된다. 그러나 이러한 대부분의 대체에너지원은 환경적인 영향에 매우 지배적이다. 특히 낙차를 이용한 조력발전은 건설 및 개발비용이 많이 들고, 유지관리비가 높으며, 해양 환경에 막대한 영향을 미친다. 특히, 갯벌의 황폐화는 물론 방대한 지역이 요구된다. 또 하나 대체에너지의 단점은 발전량 예측이 어렵다는 것이다. 즉 앞으로의 해양 환경 예측이 불가능함으로 정확한 발전량 산출이 어렵고, 발전량 또한 연속적이지 못 하다. 해양의 발전방식은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 해류발전 : 해량의 유체 흐름을 이용한 발전방식으로 수차발전기 종류에 따라, 헬리칼식, HAT 식, VAT 식으로 구분
- 조력발전 : 조수 간만의 차를 이용 낙차를 이용한 발전
- 파력발전 : 파도의 위치에너지를 이용한 발전
- 온도차발전 : 수면과 해저의 온도차를 이용
- 해상풍력발전 : 해상풍력을 이용한 발전
- 염도차 발전: 삼투압 차이의 압력으로 발전
- 조류발전 : 조류를 이용하며 발전 (해류발전에 포함됨)
- 소수력 발전 : 물의 수위차에 의해 전기생산
- 바이오 발전 : 해조류를 발효시켜 발전

간만에 의한 빠른 유속을 이용하는 조류발전은 연속적이며, 예측 가능할 뿐 아니라 신뢰성 있는 에너지원으로 각광을 받고 있다. 특히 우리나라의 서해안과 남해안과 같이 조수 간만의 차가 큰 지역에서는 매우 효과적으로 적용이 가능하며 날씨 변화와 상관없이 계속적인 발전이 가능하며 오염 없는 청정에너지원으로 사용될 수 있다.

2. 국내외 조류발전 연구

대체 에너지를 포함한 재생, 비재생 에너지들

1) 인하대학교
E-mail : chjo@inha.ac.kr
Tel : (032)860-73427 Fax : (032)864-5850
2) 인하대학교
E-mail : alapro@hanmail.net
Tel : (032)860-73427 Fax : (032)864-5850

의 특성 및 경제성비교는 다음 표 1과 같이 발표되었다. 조류발전은 타 에너지원과 비교해 볼 때 발전에 제한 조건이나 단점을 거의 찾아볼 수 없으며, 국내 자연환경에 적용하기에 많은 장점을 지니고 있다.

표 1 에너지 발전비용 (Garbuglia et. al., 1993)

에너지 발전 방식	Unit Cost (USC $ / kWh)	비 고
해류 발전	3 ~ 6	조류를 이용할 경우 예측가능
태양력 발전	20 ~ 50	기상 조건에 좌우됨, 발전지역의 황폐화
수력 발전	3 ~ 5	큰 낙차와 높은 시설비 요구
풍력 발전	11 ~ 22	기상조건에 좌우, 넓은 부지 필요
천연가스 발전	3 ~ 4	공해
기름발전 (Oil)	5 ~ 6	공해
석탄발전 (Coal)	4 ~ 5	공해
원자력 발전	3 ~ 4	핵폐기물 처리의 곤란

3.1 국내 조류발전 현황

아직 국내에서는 조류발전에 관한 본격적인 연구가 수행되지는 않았다. 국내 대학으로는 2000년대 초부터 인하대학교와 영국의 Strathclyde 대학과 해류발전 연구 교류가 이루어지고 있다.

국내에서는 삼천포화력발전소에서 냉각수로 사용되고 방류되는 해수는 많은 에너지를 보유하고 있으나, 현재 활용되지 못하고 그대로 해양으로 방류되고 있어 이에 대한 활용을 고려하였다.

그동안 대형 화력발전소의 해수 방류수를 이용하는 방안에 대한 검토가 개략적으로 시도되어 기술적 가능성은 충분한 것으로 밝혀졌고 국내의 발전회사가 조류발전을 시도하려는 계획을 갖고 있다.

조류발전은 조수간만에 의해 발생되는 해수의 흐름이 빠른 곳을 선정하여 그 지점에 수차발전기를 설치하고 조류의 흐름을 이용하여 설치된 수차발전기를 가동시켜 발전하는 것이다. 해수의 운동에너지를 이용하여 전기를 생산하는 발전으로 댐을 설치할 필요가 없어 비용이 적게 들고 해안 환경 파괴를 최소화 할 수 있다.

조류발전에 사용되는 수차발전기의 종류는 헬리칼 식, HAT, VAT 식으로 크게 나눌 수 잇다. 수차발전기 설치방법에 따라 부유식, 착지식으로 구분된다.

국내 조류발전에 관한 조사는 1986년 한국전력공사의 위탁으로 한국해양연구소가 진도수도 주변해역에 대한 조류발전 가능성 조사를 실시하였다. 조사대상 해역은 전라남도 진도 연안의 명량해협내 진도수도 주변해역으로 이 해역의 대조차는 3.0m 정도로 크지 않은데 반해, 폭이 가장 좁은 울돌목에서의 최고유속은 5.5 m/sec에 달하는 것으로 알려져 있다. 2003년 울돌목에 해양연구소 주관으로 헬리칼 조류발전이 시험적으로 건설되었고, 현재 1MW급 시험조류발전소를 건설 중이며 2007년 완공예정이다. 이 지역의 수심 평균 최강 유속은 5.5m/s로 개발 가능한 조류에너지 잠재량이 5만에서 9만 kW로 추정된다.

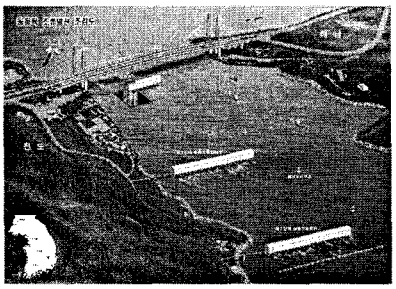

Fig. 1 Wooldolmoog Tidal Stream Power Facility

대방수도는 전남 울돌목과 장죽수도, 맹골수도와 함께 해양수산부에서 해양에너지 유망 후보지로 선정되었다. 그 후 대방수도 조류발전시설 설치방안에 대한 검토가 실시되었고, 경상남도와 한국남동발전(주)은 2010년부터 500억원을 투자하여 발전시설을 개발한다는 양해각서를 교환하였다. 이 지역은 밀물 때 유속이 10.7km, 썰물 때 유속이 12km로 조류발전에 매우 좋은 여건을 갖고 있다. 이 시설이 완성되면 약 2만 kW의 전력생산이 가능하리라 예측된다.

국내에서는 대학을 중심으로 단방향, 양방향 및 블래이드 수에 따른 로트의 성능분석 연구를 하였다.(그림 2)

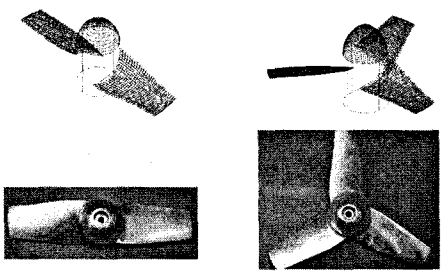

Fig. 2 Various Blade Types for Experiment

또한 모듈화 된 HAT 발전기의 상호 간섭 분석 연구를 수행하였다 (그림 3).

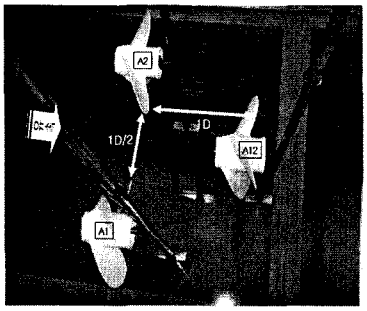

Fig. 3 Rotor Interaction Experiment

3.2 해외 조류발전 현황

조류발전의 경우 본격적인 대규모 발전이 실현되지 못하고 있는데, 이는 빠른 해수의 흐름이 나타나는 해역이 전 세계적으로 제한되어 있고, 사용 가능한 수차발전기의 발전효율도 발전 경제성을 확보하기에 미흡하기 때문이다. 그러나 1990년대 후반 미국과 캐나다 그리고 영국을 중심으로 조류발전용 수차발전기에 대한 활발한 연구 개발이 진행되면서 미국의 경우 Northeastern 대학의 Helical Turbine, MIT의 Schneider Turbine 등의 개발, 실용화되어 실제 해역 시험발전 단계에 있고, 캐나다의 Davis Turbine도 실용화 단계까지 개발이 완료되었는데 기존의 조류발전 수차발전기(효율 : 15~35%)에 비해 발전효율 측면에서 50% 이상 향상된 성능을 보여주고 있어, 발전 경제성이 확보되는 상용발전 규모의 조류발전이 적용되기 시작하고 있다. 2003년도에는 영국에서 300kwh급 HAT 타입 조류발전기가 설치되어 시험 가동되고 있다.

-. 영국 : 1990년대 초부터 활발히 해류발전을 비롯한 대체에너지 연구가 진행되고 있다. 모형실험 및 수치 시뮬레이션을 통한 기술을 토대로 영국남서부 Servern강 하구에 타당성 검사를 실시하였고 실험 가동 중이다. Strathclyde대학을 중심으로 해양에너지 연구가 활발히 진행되고 있고 현재는 EU 과제인 Supergen Project 수행중이다. Stingray Project은 35미터 수심에 150KW 생산을 목적으로 USD 2.6 Million을 투입하여 프로토 타입 연구를 진행 중이다.

2003년에는 5년 동안 5백만 유로를 투입하여 SEAFLOW과제를 성공적으로 완료하여 영국 남서부의 Lynmouth 지역의 Foreland Point 해양에 300 KW 급 파이로트 발전 시스템을 설치하였다. 수심 11미터에 설치된 시스템은 HAT 형식으로 두 개의 블래이드 로터를 장착하였고, 유지/보수를 위해 블래이드와 발전기가 수심위로 올라올 수 있도록 모노파일에 가이드를 설치하여 상하 이동이 가능하도록 하였다. 블래이드의 각도는 해류의 입사속도에 따라 변환이 가능하여 발전효율을 높였다.

Fig. 4 SeaFlow Tidal Stream Power

MCT (Marine Current Turbines)사는 북아이랜드의 Stranford Narrows지역에 상업 조류발전 시설인 Seagens를 2008년 완공 목표로 건설 중에 있다. Seagens는 두 개의 로터를 가진 터빈 형태로 약 1MW 급으로 Seafow와 같이 로터와 파워트래인(Power Train)을 해수면위로 이동시킬 수 있다. 약 3미터의 지름을 갖는 파일을 사용하고 해저에서 약 10에서 20 rpm으로 회전하는 두 개의 로터와 외부 해양환경에 안정하도록 설계되었다.

Fig. 5 MCT Power Facility Plan

The Engineering Business (EB)사는 수심 100미터내에서 설치가 가능한 Stingray 해류발전 시스템을 개발하였다. 이제까지 발전방식과 다른 새로운 형태로 페달의 상하 운동을 적용하여 마치 가오리가 지느러미를 상하로 움직여 추진력을 얻는 식으로 개발되었다. 2002년에는 Yell Sound 해역에서 180톤 무게의 150kW급 실험용 발전기가 설치되어 유용한 자료를 수집하였다. 2003년에는 개선된 Stingray 발전시설을 설치하여 제어장치 및 자료수집 방식이 한층 향상되었다. 앞으로 5MW급 상용화 시스템을 개발하여 전력을 생산할 계획을 갖고 있다.

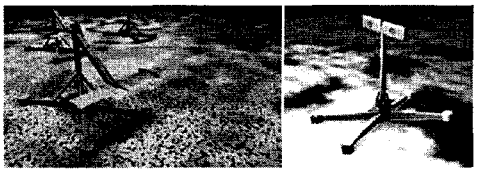
Fig. 6 Stingray Power Generation

SMD Hydrovision 사는 2개의 500kW급 로터를 동시에 장착한 조류발전기를 개발하여 실해역 실험을 실시하였다. 이 시스템의 특징은 자체 부력으로 물위에 뜨며 일정한 수심 밑에 위치시키기 위하여 해저에 연결된 계류 체인으로 고정시킬 수 있다. 또한 해류의 입사 방향 변화에 자체적으로 방향을 조절할 수가 있어 발전 효율을 높일 수 있는 장점이 있고 본 장치를 위해 추가적인 구조물이 필요 없는 특징을 갖고 있다.

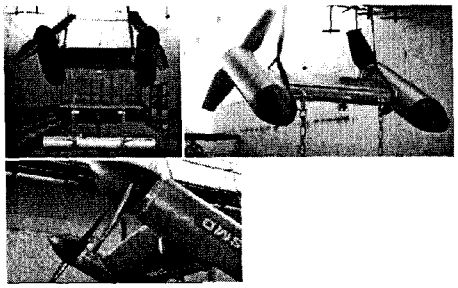

Fig. 7 SMD Power Generation System

-. 캐나다 : 정부(National Research Council of Canada)의 지원으로 대체에너지 관련 연구가 오랫동안 꾸준히 진행되어왔다. The bay of Fundy 에서 이미 발전시스템을 설치하여 가동중이다. 관련 대체에너지 개발 기술은 이미 실용화 단계로 접어들었으며 전문적인 대체에너지 회사들이 사업을 하고 있다. 특히 Blue Energy Canada Inc. 에서는 자체적인 Davis 터빈을 개발하여 필리핀, 멕시코 등지에 기술을 수출하여 시설물을 설치하고 있다. 캐나다에서는 아주 활발히 관련 연구가 진행되고 있다. Blue Energy Canada와 Canoe Pass사가 대표적인 조류발전 상용화 기업이다.

Fig. 9 Davis Turbine

2006년 빅토리아에서 약 10마일 남서쪽에 위치한 Race Rocks지역에 4Million 비용을 들여 조류발전 시설을 계획하고 있다. 약 20미터 수심 지역에 설치될 발전설비는 65kW 발전기를 해양환경에서 실험하고 신뢰성을 입증할 예정이며 이를 근거로 상용화를 할 계획이다. 캘고리에 있는 EnCana Corp 회사는 약 3Million을 투자하여 해양환경에 최적인 조류발전 연구를 하고 있다. Canoe Pass 사는 250kW에서 500kW 급 시험 발전을 2006년까지 완료하고 2007년에는 상용화 시설을 공급할 계획을 갖고 있다.

-. 미국 : 2010년까지 13.1%의 대체에너지 보급비율을 목표로 대체에너지 연구에 박차를 가하고 있다. 해류발전시스템은 영국이나 캐나다에 비해 많은 연구가 되고 있지는 않으나 Tidal Electric Inc.에서는 독자적인 기술을 개발하여 대상지역을 연구하고 있다. Alaska, Chile, Europe, India, Mexico에 이미 Project를 수주하여 실용화 시설을 연구하고 있다. HAT 형태와 달리 헬리칼 발전기에 대한 연구도 활발하며, 특히 한국해양연구원의 울독목 조류발전 시험 설치 시 미국으로부터 헬리칼 발전 기술을 도입하였다.

Verdant Power사는 뉴욕의 동쪽 강변에 약 4.5Million 달러를 투자하여 해류발전을 계획하고 있다. 해저에 6기의 발전기를 설치하여 200kW 전력생산을 계획하고 있다.

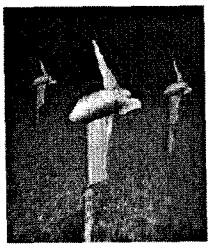

Fig. 8 Verdant Power System

-. 일본 : 2010년까지 5.2%의 대체에너지 보급비율을 목표로 여러 가지 종류의 대체에너지 연구를 수행하고 있다. 해류발전 시스템은 1984년부터 연구가 시작되었고 조력발전과 연계하여 타당성 조사가 이루어졌다. 특히 대리어스 터빈을 도입하여 많은 실험이 행하여 졌다.

이외 자체기술은 미약하지만 필리핀과 멕시코에서도 외국기술을 도입하여 유속이 높은 지역에 조류발전을 도입하려는 계획을 갖고 있다.

3. 결 론

조류발전은 조수간만의 차에 의해 발생하는 유속을 이용하여 발전하는 방식으로 댐이 필요 없으므로 막대한 시설비와 갯벌 파괴와 같은 해양환경의 악영향을 피할 수 있는 환경 친화적인 발전 방식이다. 터빈 형태에 따라서는 해저에 설치됨으로 선박의 항해에 영향을 주지 않으며, 해수면위에 특정 구조물이 없게 설치도 가능하다. 다른 대체에너지와는 달리 기상과 계절의 영향을 받지 않으며, 일일 11.7~13.1 시간 동안 꾸준히 전력을 공급할 수 있을 뿐 아니라, 예측 가능한 연속적인 발전이 가능하다는 장점을 갖고 있다. 조류발전은 섬이나 해안 시설물에 계속적인 전력원으로 도입이 가능하며 시스템을 모듈화 할 경우 남서해안 지역의 지속적인 전력공급이 가능하므로 앞으로 많은 연구와 관심이 요구된다.

References

Garbuglia, E., Rosa A. D. and Berti, D. (1993). "Exploitation of Maine Current Energy", Offshore Technology Conference, pp 509-519.

조철희등, "수평축 해류발전 로터의 설계와 성능해석", 한국해양공학회지 제 16권 제 1호, pp. 58-63, 2002

한국해양연구원, "한반도 조력자원 개발 타당성 검토" 2006