

신개념 조력발전(DTP, Dynamic Tidal Power) 소개



조재희

(주)이산 해양사업팀 전무, 항만 및 해안기술사
coastal21@hanmail.net

1. 서론

오늘날 산업사회의 고도 발달과 저개발국가의 경제성장에 따라 전 세계적으로 에너지 수요는 폭발적으로 증가하고 있으나, 화석에너지의 고갈과 일본 후쿠시마 원전 사고로 인한 원자력 발전소 건설에 대한 저항, 국제사회의 온실가스 감축 압력 가중 등 에너지 환경이 급격히 변화하고 있다.

이러한 에너지 환경변화에 능동적으로 대처하기 위하여 전 세계적으로 신재생에너지의 확보를 위한 다각적인 노력이 기울여지고 있으며, 우리나라도 신재생에너지 개발을 통한 에너지 자급율을 높이기 위하여 국가적 차원에서 대응책을 마련하고 있다.

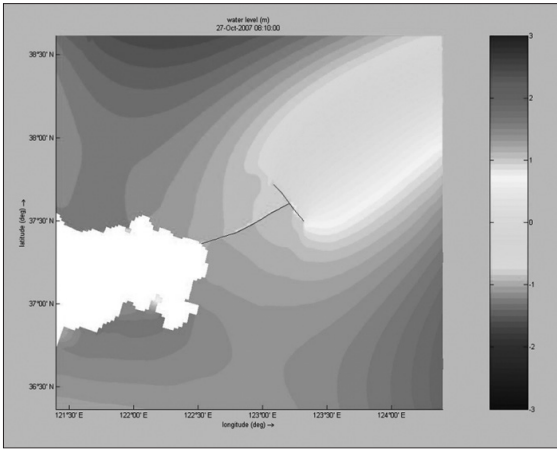
신재생에너지는 풍력, 태양광, 조력, 조류 등 여러 종류가 있지만 우리나라의 개발여건, 기술수준 등으로 볼 때 가장 적합한 신재생에너지로 조력을 꼽을 수 있을 것이다. 현재 실용화된 조력발전 방식은 조지식으로, 큰 조석이 발생하는

하구나 만에 조력댐을 건설하여 조류 흐름을 인위적으로 막아 수위차를 발생시켜 발전하는 방식이다. 이 경우 조류의 흐름이 제한됨으로써 조지 내측의 수위, 침·퇴적 및 염분농도 등 해양환경과 해양생태의 변화가 초래되는 단점이 있다. 따라서 조력발전소 건설에 대한 환경운동가 및 어민들의 많은 반대로 현재 추진 중인 조력발전소 개발 사업들이 어려움을 겪고 있다.

따라서, 본고에서는 조력댐에 의한 해수 차단 없이 발전이 가능한 신개념 방식인 DTP(Dynamic Tidal Power)에 대해 그 개념과 연구 진행상황을 소개하고자 한다.

2. DTP의 개념

DTP는 1997년 네덜란드의 해양공학 기술자인 Kees Hulsbergen과 Rob Steijn에 의해 발표된 새로운 개념의 조력발전 기술로서, 해안에서 외해쪽 연직 방향으로 30km 이상 뻗어나가 댐 형태의 구조물을 축조하는



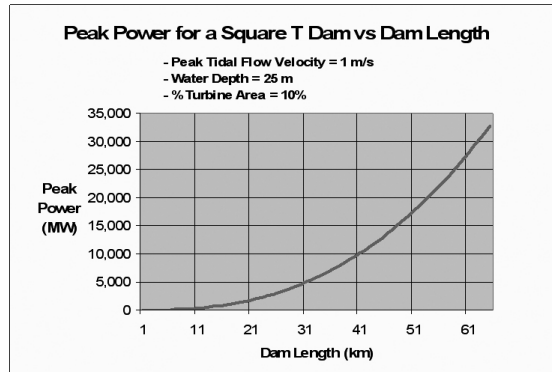
〈그림 1〉 조력댐 주변 조석변화 예시
(중국, 산둥반도 지역)

방식이다. 댐 형태의 구조물은 해안선과 평행하게 축조되어 T자 형태의 모양을 갖추게 되며, 댐 주변 해역은 막히지 않는다. 전 세계 많은 해안에서의 조석운동은 해안선과 평행하게 이루어진다. DTP 댐의 길이는 댐 양쪽의 수두차를 발생시키는 수평 조석운동에 영향을 미칠 정도로 충분히 길게 한다. 그 수두차는 댐에 연속적으로 설치된 양방향 저수두 터빈을 이용하여 전기로 전환할 수 있으며, 이러한 왕복 조석흐름은 중국, 남/북한 및 영국지역의 대륙붕 연안에서 많이 발생하고 있다.

DTP는 일반적인 조력발전, 조류발전 및 파력발전과 같은 해양에너지 발전과는 다른 형태로서, 앞서 언급된 국가들에서의 DTP 성공 가능성이 다른 해양에너지 보다 더 높다.

2.1 DTP의 장점

- ① 적은 환경영향 : 기존의 조력발전과 비교했을 때, 만 또는 연안지역이 봉쇄되지 않으므로 결과적으로 환경영향을 줄일 수 있다.
- ② 높은 전력생산량 : 약 15GW의 전력을 생산할



〈그림 2〉 조력댐 연장에 따른 발전출력 예시

것으로 예상된다. 이는 수백만 가구에 공급할 수 있는 양이다.

- ③ 안정적인 전력생산 : 기후 또는 날씨변화의 영향을 받지 않을 뿐만 아니라 예측 가능한 조석의 특성상 전력생산에 대한 예상이 쉽다.
- ④ 고 가용성 : DTP는 조수의 전달이 해안가를 따라 미치는 개방형태의 해안을 필요로 한다. 그러한 DTP의 이론적 잠재성이 매우 높은 조수의 조건은 세계의 여러 곳에서 찾을 수 있다.
- ⑤ 복합기능의 잠재성 : 긴 댐은 해안보호, 심해항구, 양식시설, 간척 및 육지/섬 연결 등의 다양한 기능을 가질 수 있다.

2.2 DTP의 과제

- ① 대규모 : 길이가 짧은 댐은 충분한 수두를 만들 정도로 조수와 적절한 작용을 할 수 없으므로 작은 규모의 프로젝트는 타당성이 없다.
- ② 선박운항 지장 : 긴 댐 형태의 구조물은 선박의 운항에 영향을 미칠 수 있다. 즉, 대형 선박들은 본 시설을 비켜가야 한다. 반면에 소형 선박은 댐에 설치된 전용 통선 갑문을 이용할 수 있다.
- ③ 조석 및 생태계 영향 : 조석체계의 변화로 해양 생태계에 영향을 미칠 수 있다. 해안을 따라



연도	발전소	시설용량 (MW)	사업비 (백만원)
2011	시화조력	254	313,500
2015	가로림조력	520	1,065,397
2017	인천만조력	1,320	3,763,394
	강화조력	840	2,352,950
장래	아산만조력	254	783,376
	계	3,188	8,278,617

〈그림 3〉 국내 조력발전소 추진현황

이동하는 어류 및 바다 포유류를 위한 전용통로가 댐에 설치되어야 할 것이다. 이에 대한 대책으로 어류보호용 터빈(Dedicated Fish-Friendly Turbines)이 사용되어 어류피해를 거의 없도록 할 수 있을 것이다.

2.3 DTP 시범사업

DTP에 적합한 환경을 가진 지역에 DTP 시범시설이 축조된다면 해상교량, 섬 연결, 심해 항, 간척 및 해상풍력발전 등과 같은 해안 개발사업과 복합적으로 이루어질 수 있다.

3. 국내 조력발전 사업 추진 현황과 문제점

우리나라의 경우 해양에너지를 이용하여 전력을 생산하고자 하는 노력은 오래전부터 있었으나, 그 성과는 아직 미미한 실정이다. 다만, 2011년 8월에 시화조력발전소가 가동을 시작하여 시험 운영되고 있으며 연간 553GWh의 전기 생산이 가능하며 89.8만 배럴의 원유수입 대체효과와 74.1만 톤의 온실가스 저감효과를 기대할 수 있게 되었다.

현재 민간과 공공 부문에서 추진 중인 구체적인 조력발전 개발계획을 살펴보면 2011년 준공된 시설용량 254MW의 시화조력발전소를 비롯하여, 한국서부발전(주)에서 추진 중인 가로림조력(시설용량 520MW), 그리고 타당성조사가 완료된 강화조력(인천시, 대우건설(주) 등, 시설용량 약 800MW), 인천조력(한국수력원자력(주), GS건설(주) 등, 시설용량 약 1,400MW) 등이 계획되고 있으며, 제 5차 전력수급기본계획(지식경제부, 2010)에 반영되어 있다. 국내 조력발전계획의 시장규모는 전력수급기본계획에 반영되지 않은 아산만 조력발전을 포함하여 약 8조 2천억 원으로 평가된다.

그러나, 앞서 언급한 조력발전소 개발 사업은 해역에 댐을 축조하여 해수의 흐름을 차단하는 기존 방식으로, 환경단체, 지역어민 등의 강한 반대로 사업이 보류되거나 지연되고 있는 실정이다.

4. 해결방안으로서의 DTP 활용

DTP는 우리나라가 직면한 조력발전 개발의 문제점들을 해결할 수 있는 하나의 방안이 될 수도 있다. 앞으로 많은 조사와 연구가 이루어져야 하겠지만, 개념적으로 볼 때, 특히, 기존의 조력발전과 비교했을 때 DTP라는 방법은 아주 흥미로운 제안이라는 것이며,

아주 막대한 양의 재생가능 에너지가 서해안에서 개발될 수 있을 것이다. 특히, 현재 진행 중이거나 계획 중인 해안개발사업들과 유기적으로 연계하여 개발하게 된다면 빠른 시일 내에 활용 가능할 것으로 보여진다.

네덜란드 연구진은 이미 기초 수치모델링을 수행하였으며, 약 50GW의 에너지가 DTP를 통하여 얻을 수 있을 것으로 예상하고 있다.

경제적, 사회적, 환경적 측면에서 바라본 DTP의 장단점은 아래와 같다.

4.1 경제적 측면

DTP의 경제적 비용과 이익은 위치 선정에 달려있다. 비용에 대한 더 깊은 이해를 위하여 세부적인 분석이 필요하다. 하지만 서해안 근처의 도시에 인접한 15GW 규모의 재생가능 에너지를 고려해 보았을 때, 경제적 이익은 아주 분명하다.

DTP댐이 다른 경제적 기능들과 결합하였을 때에는 경제성은 더욱 증가할 것이다. DTP의 긴 댐은 해안보호, 심해 항, 양식장, 간척, 해상연결로 및 풍력발전소 건설 등과 함께 복합적으로 추진될 수 있다.

4.2 사회적 측면

서해상의 한 개 또는 그 이상의 아주 긴 댐은 선박의 항로에 영향을 미칠 것이고 이는 많은 비용과 복잡한 문제를 초래할 것으로 판단된다. 그러나 대형 선박들이 댐 주위를 돌아가게 함으로써 DTP는 해양환경 보호지역을 형성할 수 있고 결과적으로 어류의 자연산란장 비율을 증가시킬 수도 있을 것이다.

4.3 환경적 측면

DTP는 해당 지역을 막지 않고 댐이 없을 때의 조건과 유사하게 조수 간만이 일어나도록 함으로써, DTP의 환경적 영향은 기존의 조력발전보다 훨씬 더

적을 것이다.

유사의 이동이 영향을 받을 수 있을 것이다. 하지만 양방향으로 흐르는 막대한 양의 조류의 흐름을 고려하고, 저감대책을 세우게 되면 심각한 환경적 영향은 일으키지 않을 것이다.

5. 중국 내 DTP 진행상황 및 향후 계획

5.1 네덜란드와 중국 간 협력 및 최근 진행상황

지난 2년 여 간 전 세계적으로 특히 중국에서 DTP에 대한 관심이 눈에 띄게 증가하였다. 최근의 주요 진행상황은 아래와 같다.

- 2011년 8월: China State Oceanic Administration Second Institute of Oceanography는 DTP 시범사업 예정지인 Fujian성의 Ningde지역 인근에 대한 예비타당성 조사에 착수
- 2011년 11월: POWER 컨소시엄이 구성되었고 네덜란드 정부의 보조금 지원으로 210만 유로 규모의 사업을 중국과 함께 착수
- 2012년 1월: 메사추세츠 공과대학(MIT)의 C.C. Mei 교수는 DTP 이론적 배경을 검증
- 2012년 9월: 중국과 네덜란드 정부는 DTP관련 합동연구, 개발 및 시범사업을 위한 정부 대 정부의 양자 간 협약 체결

네덜란드-중국 간의 협력은 학계, 산업 및 정부 등의 차원에서 이루어지고 있다. 네덜란드 측에서는 주관사인 Strukton Engineering과 TU Delft, ARCADIS, DNV KEMA, 품질관리를 맡은 Deltares 등을 포함한 8개 민간기업 및 연구기관이 컨소시엄을 이루었다.

POWER 프로그램은 고위 공무원과 학계 지도자로 구성된 운영위원회에 의해 운영되고 있다.

중국 측에서는 8개 민간기업 및 연구기관 등이

중국에너지관리국 및 장관급 정부기관에 의해 유사한 컨소시엄을 이루었다. 중국 컨소시엄은 주관사인 Hydropower and Water Resources Planning and Design General Institute(HPGI) 및 Longyuan and Huaneng 등의 기업체와 Tsinghua University, IWHR, NHRI, and Hohai University 등의 연구기관으로 구성되었다.

중국 내 국제연합 공업개발기구(UNIDO) 공업기술투자진흥사무소(ITPO)가 그러한 협력을 가능하게 하였다. POWER 프로그램은 유엔의 Sustainable Energy for All Initiative에 등록되었으며, 그 목표는 2015년까지 타당성조사 완료 및 정보 공유에 맞춰져 있다.

5.2 네덜란드와 중국 간 협력 및 향후 계획

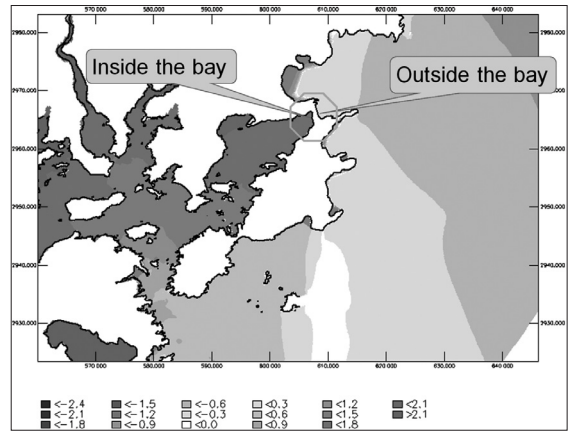
앞으로 양국 컨소시엄은 DTP를 함께 개발할 예정이다. 우선 시범사업개발에 착수 할 것이고 동시에 실제규모의 DTP에 대한 연구도 계속 해나갈 것이다.

가) 중국 Ningde지역 DTP 시범사업의 예

중국-네덜란드 컨소시엄은 댐 건설을 하지 않고 대신에 중국 Fujian성 Ningde지역에 위치한 좁은 지협을 낀 긴 반도를 관통하는 수로를 건설하는 18MW급의 시범사업 진행을 추진 중에 있다.

해당 반도는 DTP 댐과 같은 방식으로 조수의 움직임과 작용하여 반도와 본토를 연결하는 지협에 수두를 증가시키는 특이한 위치이다. 수로건설을 하고 그에 맞는 양방향 저수두 터빈을 설치함으로써 DTP에 필요한 대부분의 기술과 원리가 증명될 것이다. 또한, 본 시범사업의 참여자들은 다음 단계(실제 크기의 DTP)에 필요한 개념에 대한 증명과 값진 경험을 얻을 수 있을 것이다.

현재 컨소시엄은 Ningde 시범발전소의 경제 및 설계의 성과를 극대화 하도록 노력하고 있다. 만약



〈그림 4〉 Ningde지역 DTP시범사업 예시

계획대로 진행이 된다면 시범발전소는 2015년에 완공될 것이다.

우리나라의 시화호 조력발전소 경험을 고려해 보았을 때 우리 기업과 연구기관이 Ningde DTP 시범사업에 참여할 수 있는 기회가 있을 것 같다. 그렇게 하는 것이 시범사업으로부터 얻은 경험에 접근할 수 있고 또 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

나) 실제규모 DTP에 대한 중국 내 연구

이와 동시에 중국 내 DTP에 적합한부지를 찾기 위한 연구가 병행되고 있다. 또한, 이후의 DTP 시범사업을 위해 해상교량, 심해 항, 간척, 해양풍력발전소 등과 같은 해양사업과 복합적으로 이루어질 수 있는 위치를 찾을 것이다.

적당한 위치가 발견된 이후에는 해당 위치에 대한 경제적, 사회적, 환경적인 측면에서 연구가 이루어질 것이다. 네덜란드/중국 양측 모두 실제규모의 DTP의 실행은 아직 갈 길이 멀다는 것은 잘 알고 있다. 많은 평가, 연구, 승인 등의 절차가 필요한 것을 감안했을 때 실제규모의 DTP가 2025년경에 실현될 수 있다면 성공적이라고 볼 수 있을 것이다.

6. DTP 대한 국내 연구의 필요성

우리나라의 해양에너지 개발 로드맵에 있어서 DTP에 대한 심도 있는 연구/평가가 꼭 포함되어야 할 것이다. 해결되어야 할 많은 문제가 있을 것으로 예상되지만 DTP의 잠재성은 너무나 크기 때문에 간과해서는 안 될 것이다. DTP는 전 세계에서 몇 안 되는 우리나라의 막대한 조력자원을 이용하기 위한 가장 효과적인 방법이 될 수 있을 것이다. 우리나라를 포함한 전 세계의 국가들은 저탄소경제로 계속해서 변화하고 있는 시점에서 조력과 같은 재생가능 에너지원에 대한 필요성은 점점 더 커질 것이다.

DTP는 다른 해양개발과 함께 복합적으로 이루어져야 한다. DTP가 기타 해양시설물과 복합 개발될 수 있을 시기를 인지하기 위해서는 DTP에 대한 기본적인 이해를 하고 있어야 한다. DTP에 대한 이해 없이는 한국의 해양자원 이용 극대화 및 DTP의 복합개발을 할 수 있는 아주 가치 있는 기회를 놓쳐버릴 수 있다.

이미 중국은 DTP 개발 가능성에 대한 활발한 연구를 진행 중에 있고 시범사업을 통하여 경험을 축적하게 될 것이다. 우리나라도 지금이 바로 DTP 연구에 참여할 수 있는 적당한 시점이 될 수 있다. 시화호 조력발전소와 더불어 한국은 현재 조력발전분야에서 선두주자이다. 선두주자로서의 위치를 계속 유지하고자 한다면 DTP 개발 연구에 적극 참여할 필요가 있을 것이다.

7. 결론 및 제언

본 저자는 4년 전 DTP의 공동 제안자인 Kees Hulsbergen로부터 공동 연구를 제안 받았으나, 조석체계에 미치는 영향, 항로문제 등 해결하기 어려워 보이는 문제로 참여를 보류한 바 있다. 그러나 최근 들어 우리나라와 바다를 공유하고 있는 중국의 움직임을 알게

되었으며, 국내의 많은 해안, 해양 연구자나 기술자들이 이에 대해 관심을 가질 필요가 있다고 생각되어 소개하게 되었다.

DTP는 현재 매우 초기단계에 있고 해결해야 할 많은 문제가 있지만 앞으로 많은 조사와 연구를 통해 문제들이 상당부분 해소된다면, DTP는 우리나라가 직면한 조력발전 개발의 문제점들을 해결할 수 있는 하나의 방안이 될 수 있을 것이다. 아주 막대한 양의 재생가능 에너지가 서해안에서 개발 가능할 것이며, 현재 진행 중이거나 계획 중인 해안개발사업들과 유기적으로 연계하여 개발하게 된다면 빠른 시일 내에 활용 가능할 것으로 보인다.

DTP 개발의 초기 단계인 지금이 바로 한국 역시 DTP 연구에 참여할 수 있는 적당한 시점이 될 수 있다. 새롭게 변화하는 기술에 대한 끊임없는 연구노력만이 우리나라가 어렵게 확보한 조력발전분야에서의 우위를 유지하는 길이 될 것이다.

참고문헌

1. Hulsbergen, K., Steijin, R.C., Hassan, R., Klopman, G. and Hurdle, D., "Dynamic Tidal Power," 6th European Wave and Tidal Energy Conference EWTEC, pp.215-221, Aug. 29th - Sep. 2nd, Glasgow, 2005
2. Hulsbergen, K., Steijin, R.C., Banning, G. van, Klopman, G. and Fröhlich, A., "Dynamic Tidal Power(DTP)- A New approach to exploit tides," 2nd Int. Conf. on Ocean Energy, 15th-17th, Oct., Brest, 2008
3. Mei, C.C., "Note on tidal diffraction by a coastal barrier", Applide Ocean Research 36(2012) pp.22-25
4. Hulsbergen, K., Boer, D de., Steijin, R.C., Banning, G. van, "Dynamic Tidal Power for korea", 1st Asian Wave and Tidal Conference, 2012.

저자 약력

- 1996. 2 : 충북대학교 대학원 토목공학과
해안공학) 공학박사
- 1991-2011 : (주)삼안 항만부
- 현재 : (주)이산 해양사업팀