

수치모형실험을 활용한 조류발전단지의 후류 특성에 관한 연구

정해창* · 김부기** · 김준호*** · † 양창조

*목포해양대학교 기관시스템공학부, **,**,***목포해양대학교 해양메카트로닉스학부, † 목포해양대학교 기관시스템공학부

요약 : 최근 정부의 RPS(신재생에너지 의무할당제, Renewable Energy Portplio Standard) 확대 시행과 신재생 3020 정책이 맞물려 정부 뿐만 아니라 기업체의 신재생에너지 발전설비용량과 발전량의 확대가 요구되는 시점이다. 특히 조류에너지는 환경친화적이며 지속가능한 에너지원으로서 그 관심이 더욱 커지고 있다. 그러나 조류발전 후보지는 유속이 매우 빠르고, 설치가 어려워 그에 따른 제반사항들이 다른 에너지원에 비해 상대적으로 많다는 단점이 있어, 조류발전단지 구축 시에는 후보지를 선정하고 타당성 조사를 수행하는 과정이 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 최대의 조류에너지를 얻을 수 있는 해역을 선정하여 조류발전단지를 설계하고 후류의 특성을 분석하였다. 먼저 전지해도의 상세 수심 자료를 추출해 상용 프로그램인 ADCIRC 프로그램에 실제 지형을 수치 모형화하였고, 잠재적 에너지 분포가 높은 해역에 1MW급 수평축 조류발전 터빈을 설계하여 적용하였다. 또한 조류발전단지 내의 터빈의 배치 방법(Centered, Staggered Layout)에 따른 후류의 특성을 분석하여 연간 전력 생산량을 계산하였다.

핵심용어 : 수치모형모델, 조류에너지, 조류터빈 성능평가, 후류특성(Wake characteristics), TIDAL FARMING

I. 연구개요 및 필요성

< 국내 조류발전 시장 규모 >

구분	2015년	2020년	2025년
국내시장규모 (억원)	2,000 (40MW)	18,250 (365MW)	29,750 (595MW)

· 세계시장규모는 Global Tidal Energy Analysis(Douglas-Westwood, 2011.11)와 2012~2016년간 시험용 조류발전 장치와 설치량으로부터 추산함
** 한국 시장 규모는 세계시장규모의 10%로 예상

II. 해수유동모델링(Tidal current simulator)

Models	Dimensions	Grid structures
ADCIRC	2D 3D	unstructured
ADH	1D 2D 3D	structured
CH2D CH3D	2D 3D	structured(curvilinear)
DELFT	2D 3D	structured(orthogonal, rectilinear and spherical)
DIVAST	2D 3D	structured(orthogonal, curvilinear)
EFDC	3D	unstructured
ELCIRC	3D	unstructured, flexible
ELCOM	3D	structured(orthogonal)
GEMSS	1D 2D 3D	structured
GETM	3D	structured(orthogonal curvilinear)
HRCs	2D 3D	structured
Mars	2D 3D	structured
Mike Models	1D 2D 3D	structured
RICOM	2D 3D	unstructured
RMA Models	2D 3D	unstructured
ROMS	2D 3D	curvilinear structured
SELFE	3D	unstructured
SUNTANS	2D 3D	unstructured
TELEMAC	2D 3D	structured
TFD	1D 2D 3D	structured
TRIM	2D 3D	structured
UnTRIM	2D 3D	unstructured

<List of hydrodynamic models>

III. 해수유동모델링(Tidal current simulator)

전남 서남해안 광역 수심도

<계산해역의 유한요소 격자망도(광역)>

<전남 서남해안 일대 광역 수심도(3D)>

III. 해수유동모델링(Tidal current simulator)

해수유동모델링

- 조류발전과 통력발전이 병행 가능한 우이도 해역 선정
- 수치해석 모델 ADCIRC(Advanced CIRCulation)
- 기본적으로 4대 초석 분조(M_2 , S_2 , K_2 , O_1) 적용

Parameters	Set up
Model type	2DDI(2D-Depth Integrated)
Bottom stress/friction	Constant Quadratic
Friction coefficient	0.005
Start time	00:00am, 1st October, 2006
Ramping time	1 day
Specified run time	15 days
Time steps	5 seconds
Mesh nodes	55,146

<우이도 주변 해역 격자 구성도>

† 교신저자 : cjyang@mmu.ac.kr
* jeonghc2@gmail.com
** kim60091@mmu.ac.kr
*** junho.kim@mmu.ac.kr

III. 조류발전 터빈 설계 및 성능평가(CFD MODEL)

BEMT를 이용한 블레이드 설계

```

    graph TD
      START --> Input[Input parameters  
(U, μ, R, C, N)]
      Input --> Estimate[Estimate axial and tangential flow induction factors(a, a')]
      Estimate --> Calc[Calculate non-dimensional chord length]
      Calc --> Read[Read lift and drag coefficient(CL, CD)]
      Read --> CalcRel[Calculate relative flow angles(β)]
      CalcRel --> CalcAng[Calculate angle of attack(α=β-θ)]
      CalcAng --> CalcSol[Calculate solidity(σ0=NC/2πrR)]
      CalcSol --> CalcTip[Calculate Prandtl's tip losses(f)]
      CalcTip --> Recalc[Recalculate axial and tangential flow induction factors(a, a')]
      Recalc --> Convergence{Converge?}
      Convergence -- No --> Recalc
      Convergence -- Yes --> Output[Coordinates of designed rotor blade]
      Output --> END
  
```

- ▶ 날개 요소들은 서로 어떤 영향도 미치지 않고 독립적이라고 가정
- ▶ 날개 요소에 작용하는 양력, 항력 및 토크 등을 계산
- ▶ 축 간섭계수 및 회전 간섭계수를 각 요소에 계산하여 설계 마는 것이 특징

III. 조류발전 터빈 설계 및 성능평가(CFD MODEL)

1MW급 대형 터빈의 성능예측

Station No.	Section (r/R)	Chord (mm)	Twist (degree)	Hydrofoil
1	root	0	000	-
2	0.05	2128.1	-	-
3	0.1	1756.0	-	-
4	0.15	2096.0	-	-
5	0.2	2096.0	23.7	SH14
6	0.25	2005.0	25.0	SH14
7	0.3	1925.0	27.1	SH14
8	0.35	1825.0	34.3	SH14
9	0.4	1725.0	39.0	SH14
10	0.45	1645.0	42.9	SH14
11	0.5	1565.0	46.2	SH14
12	0.55	1485.0	49.2	SH14
13	0.6	1375.0	53.0	SH14
14	0.65	1255.0	56.8	SH14
15	0.7	1135.0	60.8	SH14
16	0.75	1015.0	64.8	SH14
17	0.8	1015.0	65.0	SH14
18	0.85	925.0	62.0	SH14
19	0.9	585.0	47.0	SH14
20	0.95	745.0	49.0	SH14
21	1	605.0	0	SH14

IV. 조류발전단지 설계 및 최적화 (TIDAL FARMER)

조류발전단지 최적화 설계

	Site A(500kWx6)		Site B(1MWx30)	
	Longitudinal spacing	Lateral spacing	Longitudinal spacing	Lateral spacing
Layout 1 (Centered)	10.0D	2.0D	10.0D	2.5D
Layout 2 (Centered)	10.0D	2.0D	10.0D	2.0D
Layout 3 (Staggered)	10.0D	2.0D	10.0D	2.5D
Layout 4 (Staggered)	10.0D	2.0D	10.0D	2.0D

	Nominal operating depth [m]	Rotor diameter [m]	Hub height above seabed [m]	Number of rotor TECs in array	Swept area [m ²]
Tidal farm A	19	13.0	9	6	10,100
Tidal farm B	36	19.8	20	30	273,600

IV. 조류발전단지 설계 및 후류분석(TIDAL FARMER)

조류발전단지 연간 전력 생산량 분석

▶ 전방 터빈의 후류가 후방 터빈에 직접적으로 영향을 끼치며, 가로배열에 의한 상호 간섭이 활발함.

IV. 조류발전단지 설계 및 후류분석(TIDAL FARMER)

조류발전단지 연간 전력 생산량 분석

▶ Centered layout보다 Staggered layout의 연간 전력 생산량(Net energy)이 1.4Gwh정도 더 높음.
▶ 터빈 후류의 방향이 후방의 터빈과 같아 Net energy 증가율이 제한됨.

결론 및 토론

1. ADCIRC 수치모형 모델을 이용해 우이도 해역의 조류에너지 잠재량을 산정하였으며, 우이도 부근에서 최대 1.75kW/M²의 에너지 밀도 보였다.
2. 조류발전단지 후보지 수심을 반영하여 500kW와 1MW급 조류발전터빈을 설계하였으며, 성능효율 최대 42%를 얻을 수 있었다.
3. IEC TC 114 62600의 제안서를 반영해 가로배열 이격거리 10.0D, 세로배열 이격거리 2.0D 및 2.5D를 기준으로 Centered, Staggered layout의 조류발전 후보지를 설계하였다.
4. Centered Layout보다 Staggered Layout이 연간 전력생산량이 약 1.6Gwh정도 많았으며, 또한 Staggered Layout이 후류의 속도 손실률 측면에서 더 큰 이점이 있음을 알 수 있었다.

사 사

본 연구는 한국해양과학기술진흥원(KIMST)의 해양청정에너지기술개발사업 “조류발전 실험역 시험장 구축” 과제에 의뢰로 수행된 과제입니다.