

섬의 후류가 해상 풍황자료에 미치는 영향 분석

*장 재경¹⁾, 유 기완²⁾, **이 준신³⁾, ***김 영남⁴⁾

Island Wake Effect on the Offshore Wind Data

*Jea-Kyung Jang¹⁾, Ki-Wahn Ryu²⁾, **Jun-Shin Lee³⁾, ***Young-Nam Kim⁴⁾

Abstract : This study investigates the wake effect of an island to develop the offshore wind farm. The main wind direction can be determined from the data processing of the QuikSCAT satellite data around the Wi-do island at south-west sea of the Korean peninsula. Computational fluid dynamics is adopted to analyze the wake effect. From this study the velocity defects due to the wake are revealed. In particular about 5% velocity defect is observed at 80m hub height from the sea surface.

Key words : Normal Wind Profile(정규 바람 형상), Wake Effect (후류 효과), Offshore Wind Farm (해상 풍력 단지)

1. 서론

최근 화석연료의 유한성과 온실가스로 인한 환경 문제 등으로 신재생에너지에 대한 관심이 증대하고 있다. 이 중에서 공기의 운동에너지를 전기에너지로 변환하는 풍력발전은 신재생에너지 중에서 가장 현실적인 대안으로 받아들여지고 있다. 우리나라는 국토의 70% 정도가 산지로 이루어져 있고 소음, 경관 훼손 등 기존의 육상 풍력 발전을 보완하여 대규모 단지화 가능한 해상풍력 발전을 지향하고 있다. 해상풍력발전은 상시적으로 불어오는 강한 바람을 이용하여 전력 발전효율이 높다는 장점이 있어 청정에너지원 확보에 기여가 될 것으로 기대된다. 다만 해상풍력 발전단지 건설에 필요한 해상구조물 기술, 토목 공사 기술, 염분으로 인한 부식방지 기술 등은 지속적으로 연구·개발 할 필요가 있다.

해상풍력발전단지 건설은 많은 비용이 소요되기 때문에 단지 건설에 앞서 한반도의 전체적인 풍황을 파악하여 단지 건설이 가능한 지역을 선정하고 해상 기상탑을 운용하여 대상 지역에서의 장기적이고 정확한 풍황 데이터를 얻어야 할 것이다. 특히 풍력 발전은 바람을 이용하기 때문에 정확한 풍속과 풍향 측정이 중요하다.

현재 한반도 전 해상에서의 풍력자원 분석과 입지 분석이 이루어지고 있다. 국내에서 장재경 등[1]이 QuikSCAT 위성 자료를 분석하여 한반도 해상의 풍황 자료를 분석하였으며 해상 특정 지점에서 주 풍향 방향자료를 제시하였다. 이를 근거로 해상풍력단지의 터빈 어레이 방향을 정하는데 활용이 가능하다. 그러나 수심이 낮은 근해에서는 섬의 영향이 해상풍력단지에 후류영향을 줄 수 있지만 이에 대한 연구는 아직 찾아보기 힘든

실정이다. 후류 영향에 대한 연구는 유럽의 사례를 보면 Hasager 등[2], Christiansen 등[3]과 Martin 등 [4]은 덴마크의 Hons Rev와 Nysted 지역에서 풍력 단지의 후류에 의해 10% 정도의 속도 결함이 생기는 것을 확인하고 있다.

본 논문에서는 현재 해상 풍력발전단지로 관심이 고조되는 지역 중에서 위도(N35.625°, E125.625°) 부근을 대상으로 섬의 후류가 풍력발전단지에 미치는 영향에 대해 분석하고자 한다.

2. 수치해석 방법

2.1 해석영역 및 경계조건

실측이나 풍동실험은 시간의 소요가 많을 뿐 아니라 섬 주변의 유동장에 대한 전체적인 풍속 분포를 측정하기 어렵다. 반면 전산유동해석은 다양하면서 정확한 변수를 입력할 수 있고, 실측에서 얻기 어려운 시간 공간적인 상세한 데이터를 얻을 수 있는 장점이 있다. 따라서 전산해석기법을 이용하여 위도 주변의 유동장을 해석하였다.

Fig. 1은 위도 주변의 유동장 해석을 위한 해석영역으로 40km× 20km× 5km이다. 위도는 직육면체 왼쪽 아래 모서리를 기준으로 x축 방향으로 15km, y축 방향으로 10km에 위치하고 있다.

-
- 1) 전북대학교 대학원 항공우주공학과
 - 2) 전북대학교 공과 대학 항공우주공학과
E-mail : kwryu@chonbuk.ac.kr
Tel : (063)270-4286 Fax : (063)270-2472
 - 3) 한전전력연구원
 - 4) (주)바람과 소리

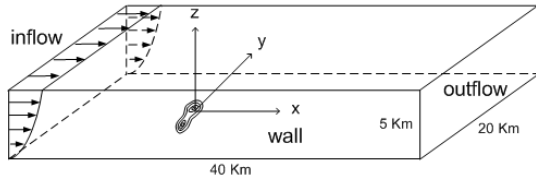


Fig. 1. 해석 영역

입구 조건으로는 80m높이에서 10m/s를 기준으로 경계층 조건을 주었고, 출구 조건은 출구영역으로 정의된 부분에 대기압력 조건을 부여하였다. 해면과 위도면의 경계조건은 접촉조건을 갖는 벽면으로 한다. 선행연구에서 QuikSCAT data를 이용하여 풍향과 풍력에너지를 밀도 분포를 살펴본 결과 북북서풍이 주 풍속을 이루고 있다[1]. 이를 바탕으로 위도를 향해 불어 들어오는 주 풍향 방향을 북북서풍으로 정하였다 (Fig. 2).

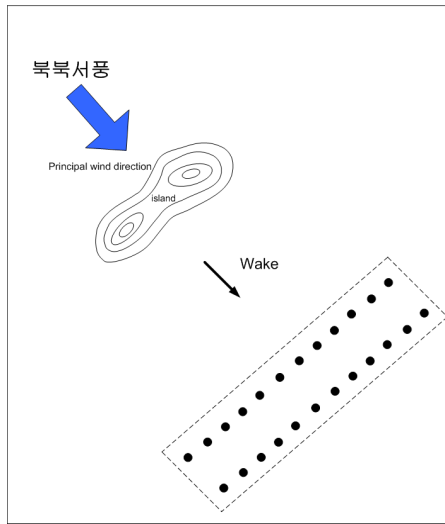


Fig. 2 주 풍향 방향

2.2 격자 생성

계산격자 생성은 수치해석 결과의 신뢰성에 큰 영향을 끼치는 중요한 부분으로 본 연구에서 난류모델을 적용함에 따라 해면에 격자를 밀집시켰으며, Fig. 3과 같이 위도를 비롯한 바다표면에 격자를 층으로 쌓아 밀집시켰다. 위도면은 삼각형 형태의 격자를 생성하였고 volume은 tet-hybrid를 이용하였다.

2.3 수치해석기법

지배방정식은 레이놀즈 평균 나비에-스톡스 (Reynolds Averaged Navier-Stokes) 방정식이며, 난류모델로는 유동박리를 수반하는 유동장 해석에 적합한 $k-\epsilon$ 난류모델을 사용하여 적용하였다. 계산 코드는 Metacomp사에서 개발한 CFD++ [5]를 이용하였다.

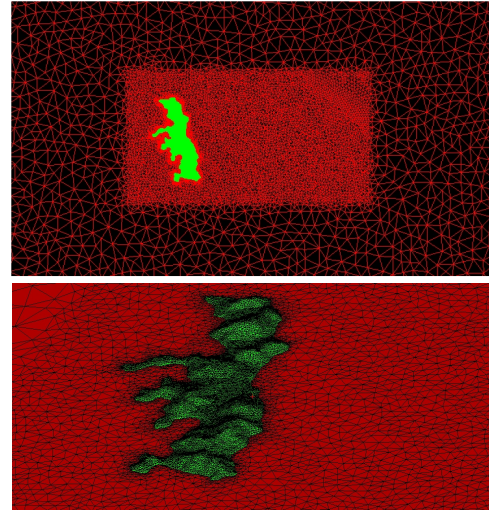
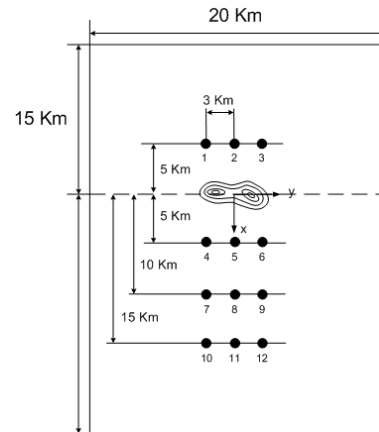
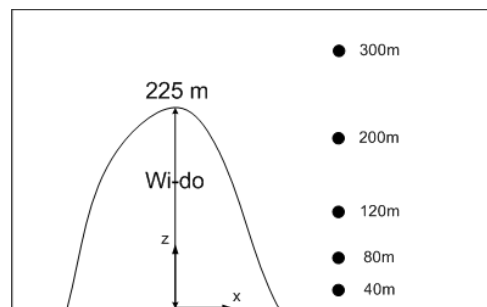


Fig. 3. 격자 생성



(a) 수평 방향 위치

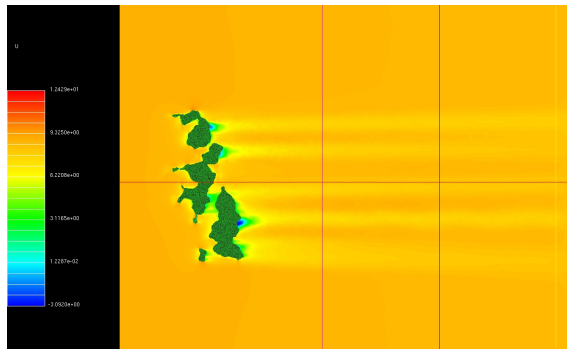


(b) 수직 방향 위치

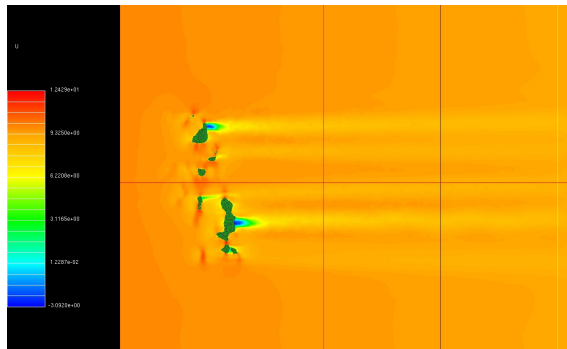
Fig. 4. 유속 측정 위치

3. 결 과

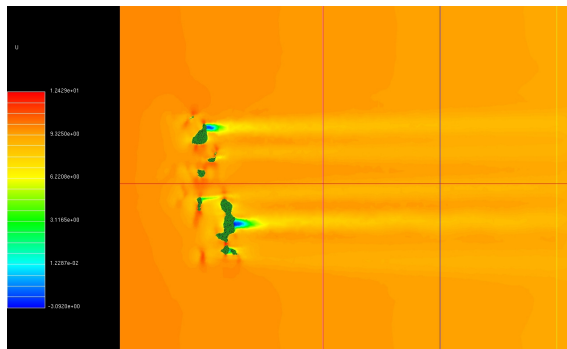
위도의 최고 높은 봉우리는 약 225m 라는 점을 감안하여 섬의 후류가 미치지 않는 높이 300m 까지도 결과를 확인하였다.



(a) 40m 높이에서 x 방향 속도



(b) 80m 높이에서 x 방향 속도



(c) 120m 높이에서 x 방향 속도

Fig. 5 높이에 따른 x 방향 속도

높이 40m, 80m, 120m 에서 각 각 x방향 속도를 살펴보면 Fig. 5와 같다. Table. 1을 보면 해수면에서 수직방향으로 40m 에서 300m 로 높이가 높아짐에 따라 후류의 영향을 덜 받는 것을 알 수 있지만 그 차이는 별로 없다. 300m 높이에서 값을 보면 거의 10m/s정도로써 섬의 후류 영향은 거의 미치지 않는 것으로 나타났다.

위도에서 x방향으로의 영향을 살펴보면 15km 까지 후류의 영향이 지속되는 것을 볼 수 있으며 10km 이후부터는 거의 변화 없이 일정한 속도를 유지한다. 5km에서 속도가 센 이유는 측정 지점이 위도의 봉우리와 봉우리 사이에 위치함으로써 바람이 그 사이를 빠져나오면서 가속이 된 것으로 판단된다.

Table. 1. 높이와 거리에 따른 평균 속도 (m/s)

-5km	position 1	position 2	position 3
40m	8.81	8.68	8.31
80m	9.44	9.24	9.19
120m	9.75	9.62	9.62
200m	9.89	9.85	9.88
300m	9.89	9.93	10
5km	position 4	position 5	position 6
40m	7.9	8.29	8.62
80m	8.74	8.92	9.24
120m	9.37	9.39	9.62
200m	9.88	9.8	9.92
300m	9.99	9.98	9.92
10km	position 7	position 8	position 9
40m	8.33	8.13	8.32
80m	8.86	8.65	8.83
120m	9.26	8.99	9.16
200m	9.72	9.54	9.67
300m	10	9.91	9.67
15km	position 10	position 11	position 12
40m	8.49	8.27	8.33
80m	8.95	8.73	8.8
120m	9.25	9.01	9.09
200m	9.75	9.57	9.52
300m	9.91	9.89	9.52

Fig. 6는 위치별 시간에 따른 속도의 변화량을 나타낸다. 속도는 약간씩 변화 하고 있으나 터빈 출력에 크게 영향을 미칠 정도는 아닌 것으로 판단된다.

5Km, 10Km, 15Km에서 200m의 각 속도의 평균을 기준으로 Power law를 이용하여 높이별 속도 분포를 그려 Table. 1 의 값들과 오차를 확인하였고 Fig. 7과 같다.

$$U(z) = U_a \times \left(\frac{z}{z_a}\right)^n \quad (1)$$

$$VD = \frac{U_\infty(z) - U_{wake}(z)}{U_\infty(z)} \times 100 \quad (2)$$

U는 속도, z는 높이이고 하첨자 a는 속도 기준 위치인 200m 높이에서의 값을 나타낸다. 식(2) VD (velocity definit)를 통해 섬의 전방과 후방의 속도를 비교하여 후류로 인한 속도 감소를 알 수 있다. $U_\infty(z)$ 는 섬의 전방 속도를 나타내며, $U(z)$ 는 섬 후방의 측정하고자하는 높이에서의 속도를 나타낸다. 식(2)를 통해 얻은 결과는 Table. 2와 같다. Fig. 7 (b)에서는 섬의 후방 지역의 결과 값을 분석한 결과이며 고도에 따른 속도 분포를 Power law를 이용하여 n 값을 0.11과 1/7로 달리하여 비교하였다. 유동해석 결과와 Power law에

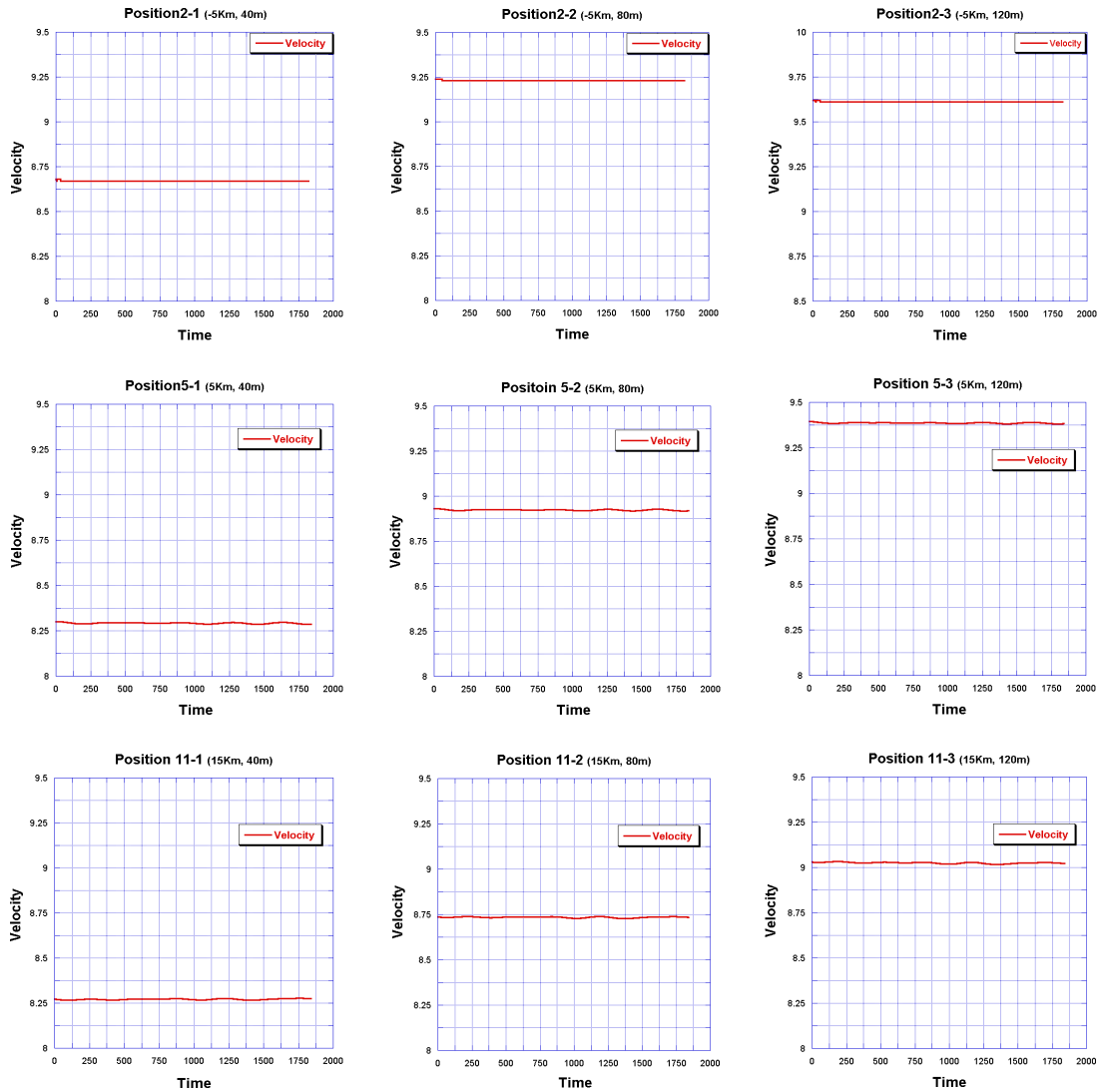


Fig. 6 위치별 시간에 따른 속도 변화

Table. 2. 섬의 전방 및 후방의 평균 속도 비교

Distance	Altitude	Mean	VD(%)	Distance	Altitude	Mean	VD(%)
-5 km	40 m	8.60	-	5 km	40 m	8.26	4
	80 m	9.29	-		80 m	8.78	5
	120 m	9.66	-		120 m	9.14	5
	200 m	9.87	-		200 m	9.64	2
	300 m	9.94	-		300 m	9.86	1
10 km	40 m	8.27	4	15 km	40 m	8.36	3
	80 m	8.97	3		80 m	8.83	5
	120 m	9.46	2		120 m	9.12	6
	200 m	9.87	0		200 m	9.61	3
	300 m	9.96	0		300 m	9.77	2

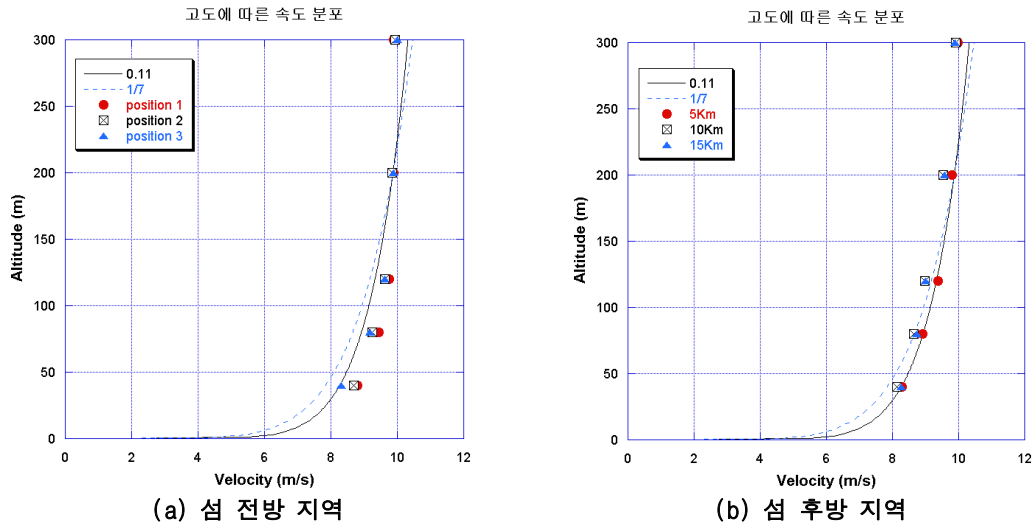


Fig. 7 고도에 따른 속도 형상

서 n 을 0.11로 하여 얻은 값은 각 position 값과 거의 차이가 없는 것을 볼 수 있다. 이 결과로부터 섬의 최대 높이보다 높은 300m 지점에서 섬의 전방과 후방의 유속에는 별 차이가 없지만 그 이하에서는 섬의 후류 영향이 존재함을 확인할 수 있다. 특히 80m 높이에서는 Table. 2로부터 대략 5% 정도의 속도 감소가 존재함을 알 수 있다. 이를 에너지 입장에서 보면 14%의 출력 감소를 의미하기 때문에 그리 작은 값이 아님을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 주풍향을 고려하여 서해상의 위도에서 발생한 후류가 풍력단지 에 미치는 영향에 대한 CFD 연구를 수행하였다.

40m 높이에서 평균 4% 속도 감소가 이루어졌으며, 80m에서는 5% 정도의 속도가 감소하였다. 이는 14% 정도의 출력 감소에 해당한다. 300m에서는 평균 1% 정도 감소가 이루어져 섬보다 높은 영역의 후류영향은 무시할 수 있지만 그 이하에서는 후류의 영향이 존재함을 확인하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 신·재생에너지기술개발사업인 “국내해역의 중형 해상풍력발전 플랜

트 타당성 조사연구” 및 국토해양부 「하늘 프로젝트」의 일환으로 수행 되었습니다.

References

- [1] 장재경, 유병민, 유기완, 이준신 “QuikSCAT 위성 데이터를 이용한 한반도 주변의 해상풍력 자원평가,” 한국항공우주학회지, 제 37권, 제11호, 2009
- [2] Charlotte Bay Hasager, Poul Astrup, Merete Barthelmie “Wind resources and wind farm wake effects offshore observed from satellite,” EWEC, Risoe National Laboratory, 2006.
- [3] Merete Bruun Christiansen, Charlotte B. Hasager “Wake effects of large offshore wind farms identified from satellite SAR,” Remote Sensing of Environment 98, 2005, pp. 251 - 268.
- [4] Martin Méchali, Rebecca Barthelmie, Sten Frandsen, Leo Jensen, Pierre-Elouan Réthoré Merete Bruun Christiansen, Charlotte B. Hasager “Wake effects at Horns Rev and their influence on energy production,” EWEC, 2006.
- [5] CFD++ 7.1.1 User's Manual.