

해설논문

풍력발전단지에서의 후류 영향 분석 An analysis of wake effect in a wind farm



고 경 남
Kyung-Nam Ko
· 제주대학교 조교수
· gnkor2@jejunu.ac.kr



박 미 호
Mi-Ho Park
· 제주대학교 석사과정
· miho4862@jejunu.ac.kr



허 중 철
Jong-Chul Huh
· 제주대학교 교수
· jchuh@jejunu.ac.kr

1. 서 론

풍력발전은 발전단가가 저렴하여 기존의 발전 양식을 대체할 수 있는 유망산업 분야이다. 예를 들어 2007년 HSBC, Power for a new generation 보고서에 의하면 육상풍력 1kWh 생산에 €0.054의 비용이 소요되어, 석탄화력 €0.06 및 가스화 복합발전 €0.05와는 경쟁이 가능한 수준이다.¹⁾

2013년 2월 현재 국내 누적 풍력발전용량은 491.6MW로 2000년 이후로 연평균 54%에 육박하는 증가율을 보여주고 있다.²⁾ 그러나 현재 시행 중인 RPS(신재생에너지 공급의무화제도)의 의무 공급량을 채우기 위하여 각 발전회사들이 가능한 빠른 시일 내에 풍력발전단지를 건설하려고 하다 보면 충분한 타당성 조사를 거치지 않고 사업을 진행하는 오류를 범할 수 있다.

풍력단지의 타당성 조사를 진행할 때, 연간 전력생산량(AEP : Annual Energy Production)은 프로젝트의 성공여부를 결정하는 중요한 인자이다. AEP를 정확히 예측하는 기술은 매우 중요하나

실제 신뢰성 있는 장기간 바람 데이터 습득이 어렵고 오랜 시간 동안 지속적인 연구가 필요하기 때문에 일부 대학에서 연구를 진행 할 뿐 많은 국내 풍력연구자들의 관심배제영역이 되어 왔다.

지속적인 연구를 통해 잠재적인 풍력단지의 AEP 예측 정확도를 높이고, 이로 인한 투자자의 리스크를 줄임으로서 풍력산업에 적극적인 투자가 이루어질 수 있도록 해야 할 것이다.

이 연구에서는 연간전력생산량의 예측 정확도를 높이고 풍력발전기 배치 최적화를 위한 고려 대상 중 운전 중인 풍력발전기의 후방에 발생하는 후류(Wake)에 대한 내용을 다룬다.

2. 풍력발전단지 내의 후류

현대의 풍력발전단지는 바람으로부터 에너지를 최대한 추출하여 최대의 전력을 생산할 수 있도록 개개의 풍력시스템을 최적의 위치에 배치하고 있다. 이러한 최적의 풍력시스템 배치를 위하여 흔히 풍력단지설계 전용 소프트웨어인 WAsP,

WindPRO, WindFarmer 등이 사용되고 있다. 그러나 풍력발전단지 내에서 전방에 위치한 풍력시스템에서 발생하는 후류로 인하여 후방에 위치한 풍력시스템의 출력을 감소시키게 된다.

Table 1은 실제 풍력발전기를 운전하면서 발생할 수 있는 전형적인 손실의 정도를 AEP에 대한 비율로 나타낸 것이다.³⁾ 여러 가지 손실들 중 후류로 인해 생기는 손실이 가장 높다는 것을 보여주고 있고, 따라서 후류의 정확한 예측이 개개의 풍력시스템의 정확한 AEP 예측으로 이어질 수 있다는 것을 시사하고 있다.

Table 1 Loss categories and typical value³⁾

Loss category	Low (%)	Typical (%)	High (%)
Wake effects	3.0	6.7	15.0
Availability	2.0	6.0	10.0
Electrical	2.0	2.1	3.0
Performance	0.0	2.5	5.0
Environmental	1.0	2.6	6.0
Curtailments	0.0	0.0	5.0
Total losses	7.8	18.5	37.0

따라서 풍력발전단지 설계자는 후류를 중요한 인자로 고려하여 풍력발전단지를 설계해야 하며, 이를 통하여 각 풍력발전기 간의 배열간섭(Array interference)을 최소화하고 전력생산량을 극대화시켜야 한다.

2.1 후류 효과

물체에 유체의 흐름이 부딪칠 때, 물체 배후의 흐름을 후류라고 한다. 이러한 후류는 일반적으로 육안으로는 보이지 않지만 후방에 위치하는 물체에 영향을 미친다. Fig. 1은 실제 해상풍력단지에서의 후류를 보여주는 유명한 사진⁴⁾이며 후류를 시각적으로 잘 보여주고 있다.

바람이 풍력시스템으로 유입되면서 날개의 회전력에 의해 섭동이 생기고 이에 의해 접선방향 성분을 얻게 되어 날개 배후에서의 유동은 축방향과 접선방향의 회전을 갖는 유동으로 변하게

된다. 이렇게 변화된 바람은 풍력발전단지 내에서 개개의 풍력시스템 사이의 간섭을 일으켜서 풍속이 감소하게 되는데 이러한 현상을 후류 효과라고 한다. 후류 효과는 풍속의 감소와 난류강도(Turbulence intensity)의 증가를 야기하여 풍력발전기의 발전량을 감소시키고 풍력시스템의 고장 및 구성부품의 마모 등의 원인이 되고 있다.



Fig. 1 Wake effect⁴⁾

풍력발전기 후방의 유동에 섭동현상을 일으키는 요인으로는 타워도 포함되지만 로터블레이드에 비하면 그 영향이 적다고 할 수 있다. 이러한 후류를 분석하기 위해 경험적인 또는 수치적인 모델을 이용할 수 있다.

2.2 후류의 발생원리 및 특성⁵⁾

풍력시스템에서의 후류 발생 원리는 1차원 운동량이론으로 설명할 수 있다. Fig. 2는 액추에이터 디스크를 통과하는 1차원 흐름을 나타낸다.

실제 풍력발전기의 로터 블레이드는 2개 또는 3개의 블레이드가 중심부의 허브와 함께 회전하고 있다. 여기서는 간단히 하기 위하여 실제 로터 블레이드 대신 단순히 바람의 운동에너지를 출력으로 변환시키는 가상의 액추에이터 디스크를 사용하여 나타내었다.

바람이 액추에이터 디스크를 통과하는 동안 운동에너지가 감소하게 되고, 풍속은 U_∞ (Free wind velocity)로부터 U_w (Wake wind velocity)까지 점진적으로 감소하게 된다. 유동을 1차원으로 고려하면, 연속방정식 및 질량보존의 법칙에 따라 다음

과 같이 나타낼 수 있다.

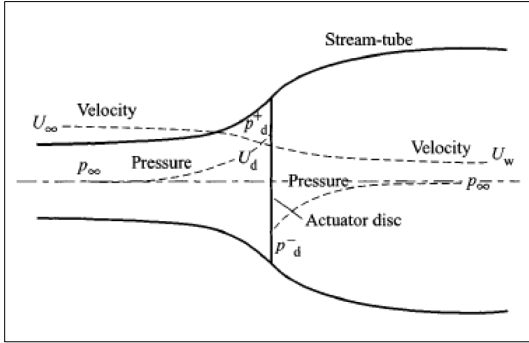


Fig. 2 1D flow through an actuator disc⁵⁾

$$\dot{m} = \rho A_{\infty} U_{\infty} = \rho A_d U_d = \rho A_w U_w \quad (1)$$

\dot{m} 는 질량유량, ρ 는 공기밀도를 나타내며, A_{∞} , A_d , A_w 는 대기압, 디스크, 후류에서의 유관의 면적을 나타낸다. U_{∞} , U_d , U_w 는 대기압, 디스크, 후류에서의 속도를 나타낸다.

디스크의 전방과 후방 사이에 발생하는 압력차에 의해 디스크에 가해지는 추력 T는 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \dot{m}(U_{\infty} - U_w) = (p_d^+ - p_d^-) A_d \quad (2)$$

p_d^+ , p_d^- 는 디스크 직전 및 직후에서의 +압력 및 -압력을 나타낸다.

U_{∞} 와 U_w 의 풍속 차에 의해 발생하는 에너지 추출량 E는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = \frac{1}{2} \dot{m} (U_{\infty}^2 - U_w^2) \quad (3)$$

여기서 m은 질량이다.

풍속의 저감과 질량유량에 의해서 아래 식 (4)와 같이 출력 P(Power)를 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} (U_{\infty}^2 - U_w^2) \quad (4)$$

디스크에 가해지는 추력을 고려하여 변형하면 식 (5)로 나타낼 수 있다.

$$P = TU_d = \dot{m}(U_{\infty} - U_w) U_d \quad (5)$$

따라서 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$U_d = \frac{1}{2}(U_{\infty} + U_w) \quad (6)$$

위 식들을 잘 정리하고 $a = 1 - \frac{U_d}{U_{\infty}}$ 로 정의되

는 축방향 유도계수(Axial induction factor)를 적용한다. 그러면 풍력터빈으로부터 추출할 수 있는 출력과 자연풍이 보유하고 있는 출력의 비로 정의되는 출력계수(Power coefficient)를 아래 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_P = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^3 A_d} \quad (7)$$

식 (7)은 a의 함수인 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_P = 4a(1-a)^2 \quad (8)$$

식(8)을 미분하여 $C_{P_{max}}$ 를 계산하면 $a = \frac{1}{3}$ 에서 0.59를 구할 수 있다. 이것이 풍력터빈의 이론적 최대 효율이라 할 수 있는 베츠(Betz)계수이다.

마찬가지로 추력계수(Thrust coefficient) C_T 를 식 (9)에 의해 구할 수 있다.

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 A_d} = 4a(1-a) \quad (9)$$

C_P 가 최대가 되는 $a = \frac{1}{3}$ 에서 추력계수는 0.89로 높은 값을 보여준다. 또한 디스크를 통과한 풍속 U_d 와 대기의 자유풍속 U_{∞} 의 비는 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$U_d/U_{\infty} = (1-2a) = \sqrt{1-C_T} \quad (10)$$

따라서 후류를 해석하는 데에 추력계수 C_T 값이 중요하게 사용되고 있고, 식 (10)은 뒤에 설명

하는 N.O. Jensen 모델에서 사용된다.

2.3 후류의 분류

Fig. 3에 보이는 바와 같이 풍력시스템 후방에서의 후류는 보통 근접후류(Near wake)와 원거리 후류(Far wake)로 나뉘게 된다.

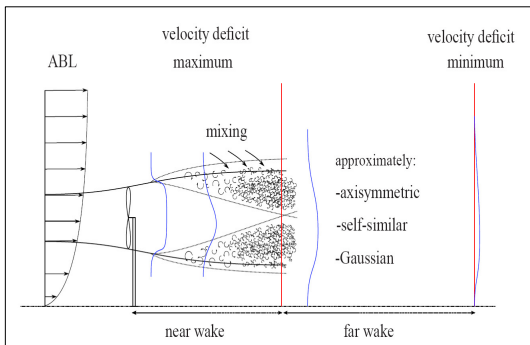


Fig. 3 Velocity profile in the wake of a wind turbine⁵⁾

풍력발전기의 후방으로부터 약 1D(D는 회전자 직경을 의미)안에서는 풍력시스템의 에너지흡수로 인한 압력이 급격히 감소된다. 이 지역은 풍력시스템의 기하학적 형상에 영향을 받는 구간이다. 여기서, 축방향 압력구배는 후류손실(Wake deficit)의 성장속도에 아주 중요한 영향을 미친다. Ainslie⁶⁾은 최대 속도 손실(Maximum Velocity Deficit)은 1D ~ 2D에 위치한다고 예측하였다. 그러나 경계선 밖의 난류강도가 상대적으로 낮게 되면 이 구간은 증가한다. 실제 측정에 기반한 연구를 진행한 Schepers⁷⁾는 후류가 최대로 팽창하는 구간을 2.25D라고 명시하였다.

이후 경계선 밖의 상대적으로 강한 풍속이 경계선 안으로 유입되면서 회전자로부터 발생한 후류와 섞이게 된다. 이 지역이 약 2D ~ 4D지역이다. 이 지역은 후류 모델, 후류에 의한 간섭, 난류 모델, 지역적인 영향에 따라 특성이 변한다. 보통 2D ~ 5D 사이에서 경계선 밖의 풍속과 경계선 안의 후류와 혼합되는 구역이 허브 중심축까지 확대되면 근접후류가 지속되는 구간이 끝나게 된다.⁸⁾ 이후 압력구배는 별로 중요하게 되지

않고 풍속의 감소가 둔해지는 원거리 후류가 되며 후류가 완전히 발달하게 된다.

일반적으로 후류에 의해 후방에 위치한 풍력발전기에 가해지는 기계적 하중은 증가하게 된다. 정상운전 중인 풍력발전기가 후류로 인한 반복하중을 받게 되면 피로하중이 증가하게 되는데 덴마크에 위치한 Vindeby 해상풍력단지에서는 약 80%의 피로하중 증가가 측정되었다.⁵⁾ 따라서 후류효과를 최소화시키기 위해서 풍력발전기 사이의 이격거리 선정이 매우 중요하게 되는데, 일반적으로 주풍향으로는 6D 이상, 옆바람방향으로는 3D 이상을 적용하여 설계한다.³⁾ 그러나 Hojstrup⁹⁾는 기계적인 난류발생에 대하여 15D까지 고려해야 한다고 언급하였다. IEC 61400-12-1¹⁰⁾에서는 후류의 영향이 최대 20D까지 유효함이 명시되어 있다.

2.4 후류모델

풍력단지 내의 후류의 영향을 평가하기 위해 많은 연구가 이루어져 왔다. 여기서는 덴마크에서 개발한 풍력단지설계 전용 소프트웨어인 WindPRO에서 사용하는 3가지 후류 모델을 설명한다.¹¹⁾

2.4.1 N.O. Jensen 모델

이 후류 모델은 단일 후류 모델로 Katic에 의해서 문서화 되었다. Fig. 4와 같이 운동에너지 모델로서 1차원 흐름만을 고려하였으며, 후류의 성장은 선형적이다. 후류 내의 난류강도는 고려

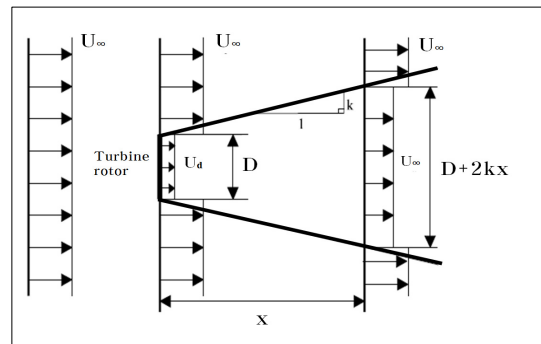


Fig. 4 N.O. Jensen's wake model¹¹⁾

되지 않았다. 각 지점에서의 후류의 지름은 식 (11)에 의해 유도되며, 완전히 발달된 후류에서의 풍속은 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$D_w = D(1 + 2ks) \quad (11)$$

$$U_w = U_\infty \left(1 - \frac{1 - \sqrt{1 - C_T}}{(1 + 2ks)^2}\right) \quad (12)$$

위의 두 식은 회전자 후방으로부터의 각 거리에 따른 상대 거리, $s=X/D$ 에 의해 변하며, k (후류손실계수; Wake Decay Constant)는 육상에서는 0.075를 주로 사용하며, 해상에서는 0.04가 추천된다.

2.4.2 Eddy Viscosity 모델

Eddy Viscosity와 Navier-Stokes 방정식을 이용하여 축대칭을 가정하여 계산한다. 원통 좌표계를 사용하며 난류를 고려한다. 풍력발전기 주위의 개략적인 유동흐름을 Fig. 5에 나타내었다. 이 모델은 축대칭 풍속분포를 가정하고 있으므로 이 그림에서는 풍속분포의 절반만 표현한 것이다.

위에 적용되는 경계조건을 나타내기 위해 식 (13)을 이용한다.

$$1 - \frac{U_w}{U_\infty} = D_M \exp\left[-3.56\left(\frac{r}{b}\right)^2\right] \quad (13)$$

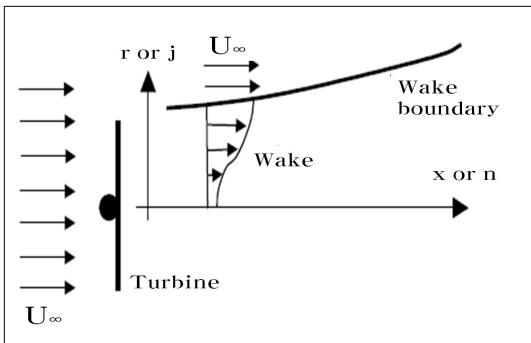


Fig. 5 Eddy Viscosity Model¹¹⁾

여기서 D_M (초기 속도 손실; Initial velocity deficit)과 b (후류 폭; Wake width)는 실험데이터에

의해 식 (14) 및 식 (15)로 나타낼 수 있다.

$$D_M = C_T - 0.05 - (16C_T - 0.5)I/1000 \quad (14)$$

$$b = \frac{3.65C_T}{8D_M(1-0.5)D_M} \quad (15)$$

여기서, I = 난류강도이다.

2.4.3 EWTS II 모델¹²⁾

이 모델은 Prandtl의 난류경계층 이론에 기초한 것이다. 비회전, 비압축성이며 점성을 적용시켰고, Wind Shear는 무시되어 축대칭 형태를 이룬다.

후류의 반경은 식 (16)을 사용하며, 축방향속도 손실량(Axial Velocity Deficit)은 식 (17)을 사용한다.

$$R_w(x) = \left(\frac{35}{2\pi}\right)^{\frac{1}{5}} (3c_1^2)^{\frac{1}{5}} (C_T A(x+x_0))^{\frac{1}{3}} \quad (16)$$

$$(\Delta U)_1(x, r) = -\frac{U_\infty}{9} (C_T A(x+x_0)^{-2})^{\frac{1}{3}} \times \left[r^{\frac{3}{2}} (3c_1^2 C_T A(x+x_0))^{-\frac{1}{2}} - \left(\frac{35}{2\pi}\right)^{\frac{3}{10}} (3c_1^2)^{-\frac{1}{5}} \right]^2 \quad (17)$$

여기서 c_1 은 무차원 혼합 길이로 $c_1 = l(C_T A x)^{-1/3}$ 로 구할 수 있으며, 여기서 l 은 Prandtl의 혼합길이, A 는 회전자 투영면적을 나타낸다.

참고로 이제까지 설명한 WindPRO 소프트웨어에서 계산되는 3가지 후류모델들은 후류가 두 개 이상 겹쳤을 경우에도 단일 후류모델(Single wake model)을 사용하여 계산하고, 이러한 경우에 얻어진 결과는 경험적인 후류의 결합법칙을 이용하여 재계산되어 그 결과 값을 최종 산출하고 있다.

3. 후류모델과 실제 풍력단지 분석

3.1 후류모델에 따른 풍력단지 효율 분석

제주도 삼달 풍력발전단지에서 모든 풍력발전기들이 정상 작동된 이후 1년간 나셀에서 측정된 SCADA 데이터를 이용하여 후류의 영향을 분석하였다. Fig. 6은 제주 삼달풍력발전단지의 풍력

시스템 배치도이다.

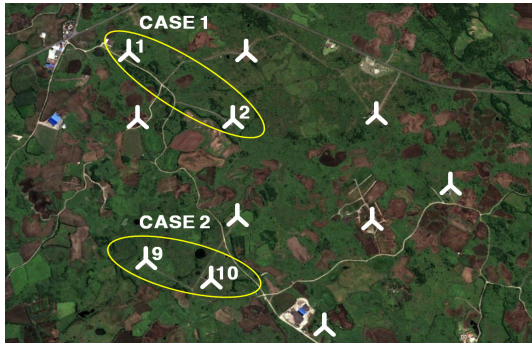


Fig. 6 Jeju Samdal Wind farm

후류의 영향을 조사하기 위해서는 복잡지형의 영향을 최대한 배제할 필요가 있으므로, 다른 풍력발전기들이 설치된 지형에 비하여 비교적 평평한 지대에 설치된 풍력발전기 두 쌍을 선정하였다. Table 2는 선정된 풍력발전기의 CASE별 조건을 나타낸다.

Table 2 Description of each case

	No.	Elevation (M)	Distance (M)	Angle (°)
CASE1	WTG 1	145.8	572 (6.3D)	353.2
	WTG 2	140.5		
CASE2	WTG 9	125.0	287 (3.2D)	308.1
	WTG10	125.7		

CASE 1의 경우 WTG(풍력발전기) 1호기와 WTG 2호기, CASE 2의 경우 WTG 9호기와 WTG 10호기를 선택하고 전술한 3가지의 후류모델을 적용하여 WindPRO로 예측한 값과 실제 발전량을 비교하였다. WindPRO(Ver. 2.7)에서는 각 CASE 모두 전방의 풍력터빈에서 발생하는 후류를 후방의 풍력터빈이 직접적으로 영향을 받도록 가상의 풍향 각을 설정하였고, 7m/s의 바람을 가상으로 발생시켜 적용하였다. 실제 발전량 데이터는 WindPRO에서 설정한 풍향 및 풍속에 대해서만 추출하여 그 평균값을 구하였다.

Table 3 Comparison between measured and simulated data

	Measured data	Prediction with wake model of WindPRO		
		N.O. Jensen	Eddy Viscosity	EWTS II
CASE 1 (WTG2/WTG1)	65%	77%	87%	83%
CASE 2 (WTG10/WTG9)	59%	65%	81%	75%

Table 3은 실제 발전량으로부터 구한 후류의 영향과 WindPRO에서 예측된 값을 보여주고 있다. 즉, 전방에 위치한 풍력발전기 출력량에 대한 후방의 풍력발전기 출력량의 비를 구한 결과이다. CASE 1과 CASE 2 모두 각 후류모델 중 N.O. Jensen 모델이 가장 실제 발전량 비와 가깝게 예측하고 있다. 그러나 실제 발전량은 가장 근사하게 예측한 N.O. Jensen 모델보다도 낮은 발전량을 보여주고 있으며, 이 경우 후류의 영향이 과소평가되어 계산되고 있음을 알 수 있다.

3.2 CFD를 이용한 풍력단지 후류 해석

전술한 후류모델들은 풍력단지설계 전용 소프트웨어인 WindPRO에서 모두 실행시켜서 그 결과 값을 비교적 빠른 시간 안에 얻을 수 있다. 그러나 이들은 모두 1차원 계산 결과들이고, 풍력터빈이 임의의 풍향에 대하여 2개 이상 중첩되었을 때에는 직접 계산하지 않고 경험적 결합 법칙에 따라 그 결과 값을 보여준다. 또한 해석하는 풍력단지 전반에 대하여 후류의 영향이 어디까지 미치고 있는지 시각화하여 보여주지 않는다. 이러한 단점을 극복하고 보다 정확한 결과 값을 얻기 위하여 CFD 기술이 후류해석에 사용되고 있다.

Fig. 7은 제주도 성산 풍력단지에서의 CFD 해석 결과로서 풍력발전기 허브높이에서의 풍속분포를 보여주고 있다. Fig. 7에서 +는 풍력발전기의 위치를 나타내고 있고, 단지 주변에 작은 산(오름)들이 분포하고 있음을 알 수 있다. Reynolds

Averaged Navier Stokes(RANS) 방정식과 Shear Stress Transport(SST) 난류모델이 사용되었다. 후류모델은 전술한 액추에이터 디스크 모델을 사용하였고, 체적당 일정한 추력계수로 계산되었다.

Fig. 7에서 상류측 풍력발전기에서 발생하는 후류가 하류측 풍력발전기에 직접적으로 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이러한 후류는 풍력발전기 후방으로 2~3 km 계속되고 있다. 주변에 작은 산들로부터도 후류가 발생하고 있고, 이들

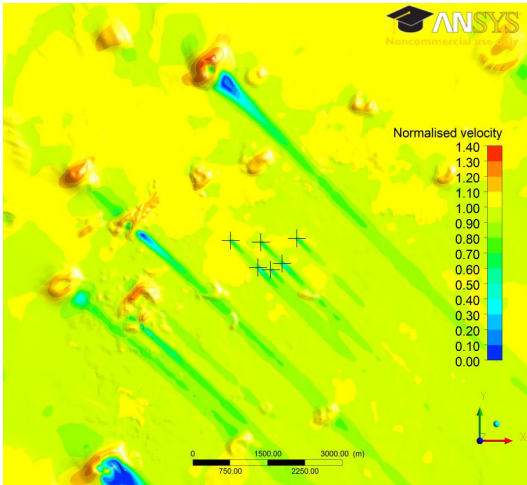


Fig. 7 Wind velocity distribution (wind direction of 315°)

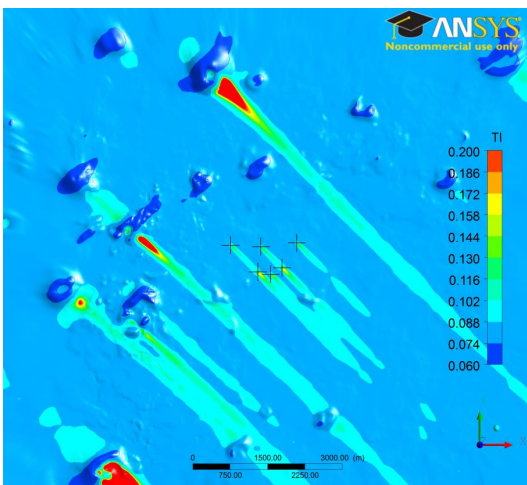


Fig. 8 Turbulence intensity distribution (wind direction of 315°)

은 5 km 이상 지속되며 후방의 풍속에 영향을 미치고 있음을 쉽게 시각적으로 알 수 있다.

Fig. 8은 Fig. 7과 같은 조건에서의 난류강도 분포를 나타낸다. 풍력발전기 후류에서 난류강도가 증가하고 있고, 특히 후류의 영향을 받은 후방 풍력발전기에서 조금 더 강한 난류강도가 발생되고 있다. 또한 작은 산들 바로 뒤에는 매우 강한 난류강도가 발생하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

이 논문에서는 풍력발전기의 로터 블레이드가 회전하면서 보이지는 않지만 후방에 발생하는 후류에 대하여 설명하였고, 실제 풍력발전단지에서 발생하는 후류를 후류모델을 이용한 예측 값과 비교해 보았다. 더욱이 CFD 기술을 이용하여 후류를 시각화 하여 후류의 영향이 어느 정도 지속되는지 예측하였다.

풍력단지를 건설한 후 발생할 수 있는 전력량 손실은 후류손실, 설비가동률 손실, 전기적 손실, 환경적 요인에 의한 손실 등이 있지만 가장 큰 손실은 후류로 인한 손실이다. 이러한 후류손실을 최소화하면서 최적의 풍력시스템 배치를 위하여 보통 풍력단지설계 전용 소프트웨어인 WAsP, WindPRO, WindFarmer 등이 사용되고 있다. 이 연구에서는 WindPRO에서 사용되는 3가지 후류모델인 N.O. Jensen 모델, Eddy Viscosity 모델, EWTS II 모델에 대하여 약술하였고, 실제 풍력단지에 3가지 후류모델을 적용하여 그 결과 값을 실제 생산된 전력량과 비교하였다. 그 결과 N.O. Jensen 후류모델이 가장 실제 값과 가깝게 예측하였다. 나머지 두 모델은 N.O. Jensen 모델 보다 후류손실을 과소평가하였다. 이러한 결과가 나온 원인에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다. 또한 CFD를 이용한 후류해석에서는 후류의 영향이 풍력발전기 후방으로 2~3 km 계속되고 있음을 시각화하여 보여주었다.

후류의 영향권에 들어가는 풍력발전기는 풍속 감소로 인한 발전량 저하는 물론 난류강도의 증가로 인한 풍력발전기의 고장, 부품의 마모, 나아

가 풍력발전기의 수명까지 단축시킬 수 있다. 이러한 후류에 대한 연구는 외국에서는 활발히 이루어지고 있지만, 우리나라에서는 아직 활발하게 연구되고 있지 않다고 생각된다. Lidar 또는 Sodar 같은 장비를 이용하여 실제 풍력단지에서 발생하는 후류를 직접 측정하며 기존 후류모델들과 그 결과 값을 비교하고, 나아가 외국에서 개발한 후류모델과 차별화된 한국형 후류모델 개발이 필요할 때라고 생각된다.

후 기

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP) 풍력특성화대학원 인력양성사업의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (NO.20094020200020)

참고문헌

1. HSBC, 2007, "Power for a new generation".
2. Korea Wind Energy Industry Association, <http://www.kweia.or.kr>
3. M. C. Brower, 2012, "WIND RESOURCE ASSESSMENT", WILEY.
4. C. Steiness, <http://www.ict-aeolus.eu/about.html>.
5. B. Sanderse, 2009, "Aerodynamics of wind turbine wakes", Energy research Centre of the Netherlands, ECN-E--09-016.
6. J. F. Ainslie, 1988, "Calculating the field in the wake of wind turbines", Journal of wind engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 27, pp. 213-224.
7. J. G. Schepers, 2003, "ENDOW: Validation and improvement of ECN's wake model", Technical Report, Energy research Centre of the Netherlands, ECN-C-03-034.
8. A. Crespo, J. Hernández and S. Frandsen, 1999, "Survey of modelling methods for wind turbine wakes and wind farms", Wind Energy, Vol. 2, pp. 1-24.
9. J. Hojstrup, 1999, "Spectral coherence in wind turbine wakes", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 80, pp. 137~146.
10. IEC International Standard, IEC 61400-12-1 : 2005, Wind turbines Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines.
11. EMD International A/S, "Introduction to Wind Turbine Wake Modelling and Wake Generated Turbulence", WindPRO/PARK.
12. D. J. Renkema, 2007, "Validation of wind turbine wake models", Master of Science Thesis, TUDelft.