

한국형 산악지형에서의 풍력발전 최적지 선정을 위한 2차원 유동분석

2D CFD for determining optimal location of wind turbine on Korean mountain

김대형^{1*}, 김표진¹, 이창훈¹, 최정일¹
연세대학교¹

초 록

본 연구에서는 풍력발전에 충분한 가능성을 가진 산악 지형을 모델링하여 유동의 흐름을 분석하였다. 실제 지형(설악산, 점봉산)에 대한 1/500 축소모형을 Gaussian 함수로 표현하였다. EDISON_CFD를 사용하여 산악지형의 난류유동을 해석하였으며, 해석결과의 신뢰성 확인을 위해 격자분해능에 따른 속도분포를 비교하였다. 산악지형에 따른 유동현상을 속도분포 및 유선함수 등에 의해 분석하였다. 또한 풍력 터빈 설치 높이 기준에 의거하여 지형변화에 따른 주 유동방향 속도분포를 살펴보았다. 지형효과에 따른 유동해석결과를 기반으로 풍력 발전 가능 영역이 논의되었다.

Key Words : Mountain Terrain (산악 지형), Turbulent wake and separation (난류 후류 및 박리), Wind energy (풍력에너지)

1. 서 론

석유연료 고갈에 따른 에너지 수급 불안정이 지속됨에 따라 국제유가가 지속적으로 상승하고 있다. 또한 사용하는 에너지의 대부분을 수입하는 우리나라는 새로운 에너지원이 필수적이라 할 수 있다. 국토의 약 70%가 산간지역으로 이루어진 우리나라의 경우 풍력 에너지를 얻기 위해서는 산악지형에서의 유동 특성을 파악하는 것이 매우 중요하다. 이에 대한 많은 연구들이 선행되어있고, 국내 지형에 대한 풍력자원지도⁽¹⁾가 이미 작성되어있다. 단일 원뿔형 산의 유동을 파악하기 위한 연구는 조강표, 조기성(2008)⁽²⁾에 의하여 수행된바 있었다. 하지만 한국지형에서는 대부분의 산이 인접해 있다. 그럼에도 위치특성에 따른 산봉우리에 의한 유동 특성에 대해서는 해석이 거의 이루어지지 않았다. 본 연구는 위치특성에 대한 산악지형의 유동을 파악하여 한국형 산악지형에 적합한 유동분석을 하였다. 또한 EDISON_CFD의 신뢰도를 확인하기 위해 격자분해능에 따른 유동 비교연구를 하였다. 이를 통해 한국형 산악지형에서의 풍력발전 최적지 설정의 기반연구를 수행하였다.

2. 수치해석 대상 및 방법

2.1 수치해석 대상

한국의 대표적인 풍력발전단지인 강원도 설악산(1708m)을 대상으로 선정하고 그 주변의 가장 높은 봉우리인 점봉산(1424m)을 포함하여 모델링을 하였다(봉우리의 지표면 거리는 8610m). 수치해석에 사용될 두 산의 높이를 각각 1900m, 1500m로 설정하여 지표면을 형성 하였다. 산의 형태는 기존의 연구에 사용된 단순한 삼각뿔에서 더욱 나아가 Gaussian 함수를 사용하였으며 이는 3개의 변수(높이, 중심, 너비)를 손쉽게 변동 가능함으로서 다양한 실험 데이터를 얻기 위함이다. 사용된 함수는 아래 Table 1과 같다. 각 산봉우리의 높이는 기준 길이 $L = 500(m)$ 에 의해 3.8, 3으로 무차원화 하였다. 산의 종횡비 인자 (w)는 3으로 가정하였다. Fig 1은 산악지형 모형 및 계산영역을 나타내고

있다.

Table 1. 두 산의 Gaussian 함수 모델

Case	h (height)		c (center)		D (봉우리 사이의 거리)	function
	앞산	뒷산	앞산	뒷산		
Case 1	3.8	3	22.5	31.5	9	$f(x) = h \times e^{-\frac{(x-c)^2}{w}}$
Case 2	3	3.8	22.5	31.5	9	
Case 3	3.8	3	22.5	36	13.5	
Case 4	3	3.8	22.5	36	13.5	

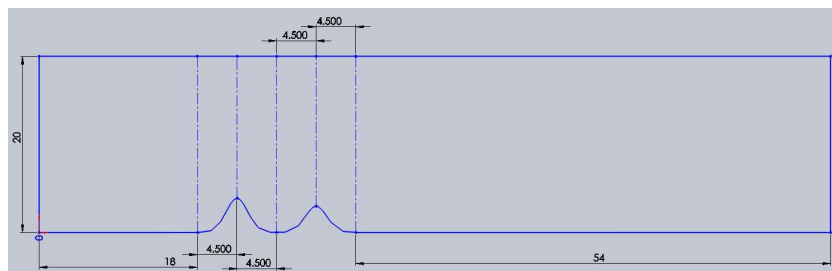


Fig 1. 계산 영역

2.2 수치해석 방법

격자 분해능을 비교하기 위해서 Fig 2에 제시한 바와 같이, 세 가지 격자계를 고려하였다. 주유동방향 (x축)으로는 0.6, 0.3, 0.2을 기준으로 균일격자를 사용하였으며, 벽면 수직방향 (y축)으로는 EDISON_CFD에 포함된 Hyperbolic Sine 함수를 이용하였으며 변수는 0.001로 하였다. Grid1-3은 각각 151×150, 301×300, 451×450으로 구성하였다.

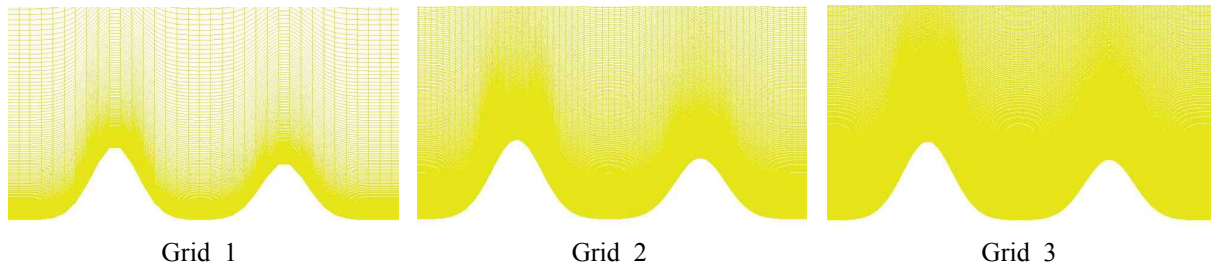


Fig 2. 3종류의 격자; 151×150, 301×300, 451×450

산의 높이, 설악산 실측 풍속을 고려한 Reynolds 수는 8×10^8 이다. 여기서 풍속은 6.9m/s(3) 으로 가정하였다. 산악지면은 점성벽면 조건을 부여하였으며, 입구, 출구, 상부경계에서는 입, 출구 경계조건을 사용하였다. 유동해석 인자로서 비압축성 난류모형을 적용하여 정상유동해석을 수행하였다.

3. 결과 분석

3.1 유동해석결과

실제지형과 유사한 모형인 Case 1에 대한 유동특성을 살펴보기로 한다. Fig 3은 주 유동방향 속도분포 및 유선을 나타내고 있다. 여기서 사용된 격자는 Grid 3으로서 451×450 이다. 앞산 정상부근에서 강한 유동이 관찰되었고 계곡에서는 유동 흐름이 거의 없고 재순환 영역이 발생함을 볼 수 있다.

해석된 유동의 신뢰성을 검증하기 위해서, 격자분해능에 따른 유동분포를 살펴보고자 한다. 주 유동 속

도분포를 세 가지 특징적인 위치들 (앞산정상, 계곡, 뒷산정상)에서 추출하였으며, 이를 CFX를 이용하여 유사한 격자계에서 얻어진 결과와 비교하였다. CFX를 사용하여 경계층 분해가 가능하도록 첫 번째 격자위치를 지표로부터 10^{-6} 높이로 정하였다. Fig 4에서 알 수 있듯이, 지면으로부터 6 (3km) 이상인 영역에서는 격자별로 예측된 속도 차이가 크게 나지 않지만, 지표면 부근에서는 큰 차이를 보인다. 특히, 첫 봉우리에서의 지표 부근 속도에 대해 EDISON_CFD는 상부영역에서 균일유속 보다 빠른 속도를 나타내고 있으며, 계곡영역에서의 재순환영역의 예측이 CFX 보다 작게 나타났다.

위의 결과를 살펴보면 지표 경계층에 근접할수록 격자분해능에 의한 차이가 많이 발생함을 알 수 있다. 모든 격자에서 Hyperbolic Sine 함수를 사용하여 지표에 집중시켰으나 CFX(10^{-6})의 분해능을 따라 오지 못해 Grid1, 2에서는 경계층을 제대로 계산하지 못한 것을 볼 수 있다. 그러나 격자분해능이 높아짐에 따라 EDISON_CFD에서 해석된 결과들은 동일한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 지형변화에 따른 유동해석을 451×450 격자를 이용하고자 한다.

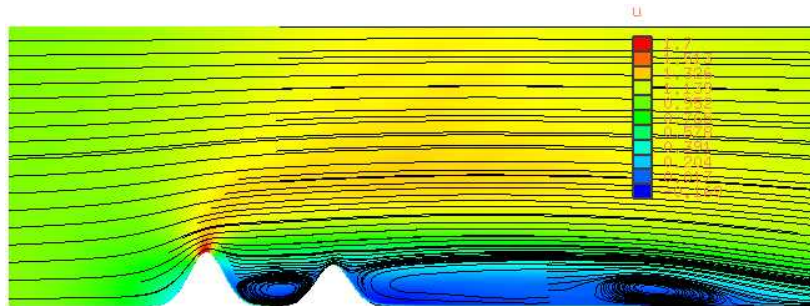


Fig 3. 주유동방향 속도분포 및 유선 (Case 1).

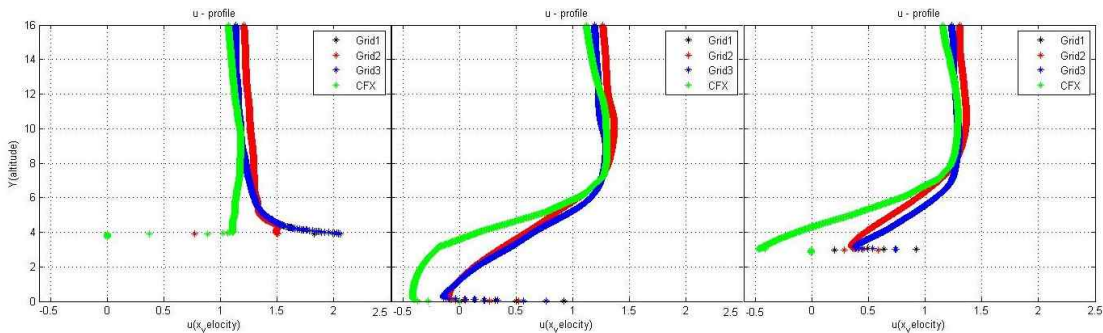


Fig 4. 특정위치의 주유동방향 속도; 앞산정상 (left), 계곡 (middle), 뒷산정상(right). 2)

3.2 터빈 높이를 고려한 추출가능 에너지 분포

유체 운동 에너지는 $P = \frac{1}{2} \dot{m} v^2 = \frac{1}{2} (\rho v A) v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3$ 이므로 이명성 등(2009)(4)의 설명과 같이 $E \sim v^3$ 임을 알 수 있다. 상용 풍력발전기의 축 높이가 100m(5) 인 점을 고려하여 이에 해당하는 0.2높이에서의 주유동방향 속도를 Fig 5에 표시하였다. 앞산정상에서는 높이에 관계없이 비슷한 최대풍속을 보였다. Case 1의 경우, 뒷산정상의 풍속이 Erich Hau(6)의하여 언급된 풍력 (wind power)으로 전환 가능한 속도의 범위(6m/s~12m/s: $0.86 \sim 1.74$)에 미치지 못함을 볼 수 있다. 하지만 계곡간격이 증가된 경우(Case 3, 4)에서 뒷산정상의 유동 일부를 이용 할만하다. 앞산정상의 경우 풍력 전환 가능 속도 범위를 상회하는 부분이 관찰 되었다. 속도가 임계속도 (12m/s)이상인

2) ANSYS에서 사용한 격자는 경계층 분석을 위해 첫 번째 격자점을 10^{-6} 으로 설정하였으며, 격자증가율을 1.5로 정의하였다. 실제 높이 $x_0 \times 10^{-6} = 500m \times 10^{-6} = 0.5 \times 10^{-3}m = 0.5mm$ 로 예상할만한 경계층의 수준을 만족시켰다.

경우, 풍력발전량의 지속적인 증가가 나타나지 않음을 고려해 볼 때(6), 앞산 정상에 경우 예측된 속도가 임계속도보다 크고 풍력터빈의 피로를 증가시킬 수 있다. 그러므로 Case 4와 같은 지형의 앞산의 가운데와 뒷산의 정상부근에 풍력단지를 설치하는 가장 효과적이고 지속적인 발전을 할 수 있을 것으로 예상된다.

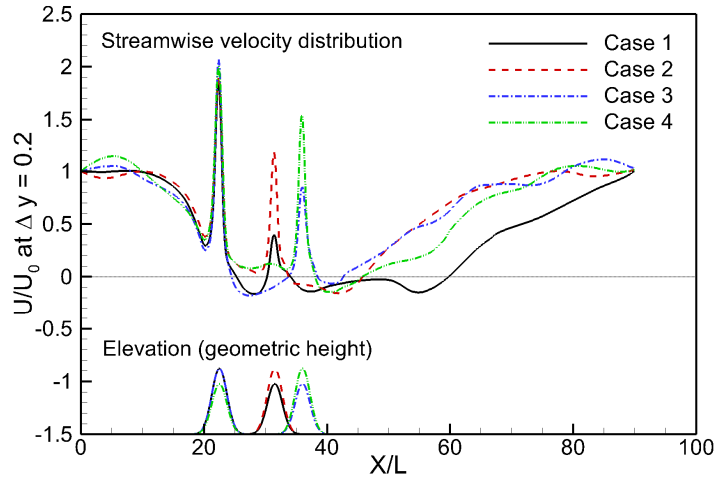


Fig 5. 터빈의 높이($y=0.2$)에서의 주 유동속도 분포

4. 결론

본 연구에서는 EDISON_CFD를 활용하여 산악지형의 2차원 난류유동을 해석하였다. 해석결과를 검증하기 위해 격자분해능에 따른 속도분포를 살펴보았으며, CFX 결과와 비교하였다. 높은 고도에서의 격자분해능은 신뢰할 만했으나 지표부근에서는 격자에 따라 큰 차이를 보였다. 하지만 격자의 밀도가 높아짐에 따라 같은 경향으로 수렴함을 알 수 있었다. 풍력에너지는 주 유동방향 속도의 세제곱에 비례한다고 알려져 있다. 이에 근거하여 산악지형에서의 주 유동 방향속도분포를 살펴보았다. 산악지형에서는 유동을 직접 받는 첫 번째 산 정상에 가장 높은 주 유동 속도를 보였다. 하지만 앞산의 높이가 뒷산에 비해 낮고, 두 산사이의 거리가 충분히 크면 두 번째 산의 정상에도 풍력 발전이 가능한 유동이 형성됨을 알 수 있었다.

참고문헌

- (1) 기상청 홈페이지, "<http://www.kma.go.kr>"
- (2) 조강표, 조기성, 2008, "독립된 원뿔형 산지의 기류 특성", 한국풍공학회, 한국풍공학회논문집, 제1호, pp.61-70
- (3) 한국에너지 기술 연구원 신재생 에너지 자원 데이터 센터 홈페이지, "<http://kredc.kier.re.kr>"
- (4) 이명성, 이승호, 허남건, 2009, "지형에 따른 발전기 배치가 풍력 발전단지의 성능에 미치는 영향에 관한 수치해석 연구", 대한기계학회, 2009년도 추계학술대회 강연 및 논문 초록집, pp.2338-2343.
- (5) General Electrics 홈페이지, "www.gewindenergy.com"
- (6) Erich Hau, 2006, Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, application, Economics, Springer, Germany, pp.504
- (7) Yunus A. Cengel, John M. Cimbala, 2006, Fluid Mechanics Fundamentals and Applications, 2nd edition, Mc Grow Hill, New York, pp.284-317