

## 도심지 산악지형의 풍력발전 입지선정을 위한 전산유동해석 수치모의

\*이 화운<sup>1)</sup>, \*\*박 순영<sup>2)</sup>, 이 순환<sup>3)</sup>, 김 동혁<sup>4)</sup>

### Numerical Analysis with CFD Model for Site Designation in Urban Mountain Area

\*Hwa Woon Lee, \*\*Soon Young Park, Soon Hwan Lee, Dong Hyuk Kim

**Abstract** : When we urgently need to develop and supply an alternative energy, wind power is growing with much interest because it has relative low cost for generating power and small area for wind turbine. To estimate the wind power resource, it is necessary to make an observation first. Although the large wind farm and resources are near coast and mountain area, the wind energy in urban area has the strong thing of direct access to power generator. In this study, we estimate the probability of wind energy in urban mountain area using A2C (Atmospheric to CFD) model, which is used for horizontally urban scale phenomena. In the steady state results, the site C is most suitable for wind power in the point of the only wind speed. But, estimating the TKE and vertical wind shear, the site B is showing the better results than the site C.

**Key words** : wind power(풍력), CFD(전산유동해석), urban area(도심지), TKE(난류운동에너지)

#### abstract

CFD : Computational Fluid Dynamic  
Fr : Froud number  
TKE : Turbulence Kinetic Energy

#### 1. 서 론

풍력 에너지는 화석에너지보다 발전단가가 낮으며 다른 대체 에너지보다 발전 소요면적 또한 작기 때문에 최근 풍력발전이 화석연료에 대한 대체에너지로 부각되며 고성장세를 지속하고 있다. 또한 신재생에너지에 대한 관심이 증가하고 국가적 지원이 확대됨에 따라 발전단지 입지선정에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다<sup>(1)</sup>. 풍력발전의 경우 자연적 바람이 그 에너지원이기 때문에 지형조건과 기후특성에 영향이 민감하게 나타난다. 특히 국토의 70%가 산지로 구성되어 있고 사계절이 뚜렷하여 국지풍계를 예측하기 힘든 복잡성을 나타낸다<sup>(2)</sup>. 그러므로 무엇보다 발전 후보지의 바람환경에 관한 정확한 정보가 필요하다. 이를 제공하기 위해 실제 풍력발전기 설치 고도에서 바람을 관측하는 방법이 정확하지만 시간과 비용측면에서 수

치모의를 적극 활용하고 있다<sup>(3)</sup>.

최근 들어 교외지역의 대단위 풍력단지 뿐 아니라 에너지 손실을 최소화하기 위해 도심지의 풍력발전에 관한 전망을 하고 있다<sup>(4)(5)</sup>. 그러나 현재 수치모의는 도심지역의 건물에 의한 효과를 격자 내의 평균화된 상수 값으로 취급하여 계산하는 한계를 가지고 있다. 또한 도심지의 건물 효과를 고려하여 풍력단지의 미규모 유동장을 해석하기위해 전산유동해석 (Computational Fluid Dynamic) 방법을 활용하고 있지만 실제 대기의 바람에 대한 가변성을 반영하지 못하고 있다.

본 연구에서는 실제대기의 중규모 또는 국지 순환

- 
- 1) 부산대학교 대기환경과학과  
E-mail : hwlee@pusan.ac.kr  
Tel : (051)583-2651 Fax : (051)515-1689
  - 2) 부산대학교 대기환경과학과  
E-mail : soon@pusan.ac.kr  
Tel : (051)583-2651 Fax : (051)515-1689
  - 3) 부산대학교 환경문제연구소  
E-mail : shlee@pusan.ac.kr  
Tel : (051)583-2651 Fax : (051)515-1689
  - 4) 부산대학교 대기환경과학과  
E-mail : heakee@pusna.ac.kr  
Tel : (051)583-2651 Fax : (051)515-1689

을 고려하고 건물에 의한 미규모 유동장 또한 함께 고려하는 A2C모델(Atmosphere to CFD)<sup>(6)</sup>을 사용하여 부산지역의 산악 지형인 승학산을 대상으로 수치 시뮬레이션을 실시하고 풍력발전 입지선정에 대한 분석을 실시하였다.

## 2. 연구방법

부산의 승학산은 지상 관측 자료에 근거한 고도 80m의 평균풍속은 8.2m/s이고 풍속 5m/s이상의 비율은 전체 관측에 88%에 이르는 전국 풍속순위 4위의 지역이다<sup>(7)</sup>. 또한 수치모의에 근거한 저해상도 바람 지도에 따르면 이 지역은 풍력밀도 500w/m<sup>2</sup>의 우수한 풍력자원의 잠재성이 있다<sup>(8)</sup>. 그리고 이러한 산악지형에 발전단지가 들어설 경우 인근 도심이 그 전력 소비지가 되어 발전 효율은 극대화 될 수 있는 잠재성이 있다. 승학산 지역을 대상으로 한 수치 시뮬레이션의 구성과 계산 영역을 Table 2.1.과 Fig.2.1.에 나타내었다.

Table 2.1. The configuration of A2C.

	Domain 1	Domain 2	Domain 3
Horizontal Grid	27×27	60×64	40×40
Horizontal resolution	1km	250m	125m
Vertical layers	30 (5km)		

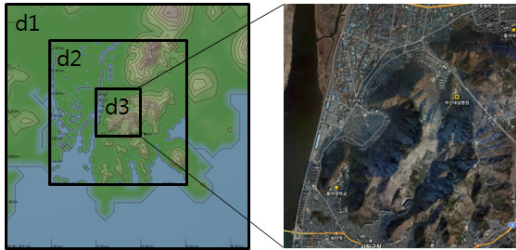


Fig. 2.1. Map depicting the three horizontal A2C domains and their topography.

사용한 모델은 Yamada Science & Art Corporation 사의 A2C모델(Yamada, 2004)로 중규모 평균장의 바람, 온도, 수증기, 난류에 관한 지배 방정식은 Yamada and Bunker<sup>(9)</sup>을 따르고 있고 난류 모수화는 2.5차 Mellor-Yamada second-moment 난류 종결 모델<sup>(10)</sup>을 사용하고 있다. 본 모델에서 건물 주변의 흐름을 모의하기 위해 사용된 방법은 HSMAC (Highly Simplified Marker and Cell) 방법으로 Hirt and Cox<sup>(11)</sup>에 설명되어 있다.

먼저 승학산의 풍상측 사면과 풍하측 사면에서 바람의 특성을 비교하기 위해 초기 풍향을 북서풍으로 정상상태(steady state)를 가정하여 살펴보았다. 그리고 초기 기상조건을 Table 2.2.에 정리한 것과 같이 36가지 경우를 고려하여 입지후보지에 대한 정량

적인 평가를 수행하였다. 또한 풍상측에 위치한 많은 아파트 건물군을 설정하여 건물에 의한 기류변화가 풍력단지 예정지에 미치는 영향을 살펴보았다. 끝으로 중규모 순환을 고려하기 위해 비정상상태(non steady state)로 대기의 일변화와 함께 건물에 의한 영향 또한 살펴보았다.

Table 2.1. Initial atmospheric conditions of A2C.

wind speed	1m/s, 5m/s, 9m/s
wind direction	W, N, E, S
stability	0.000K/m, 0.001K/m, 0.003K/m

## 3. 연구 결과

Fig. 3.1.은 정상상태를 가정한 북서풍이 승학산으로 불어 올 때 대기의 연직 안정도를 달리한 고도 50m의 결과이다. 약한 안정(Fig. 3.1.(a))의 경우 풍상측의 바람이 산 정상으로 불어가지만 산을 완전히 넘지 못하고 주변으로 돌아가는 흐름이 발생하였다. 이렇게 돌아 들어가는 바람이 풍하측 산 사면을 타고 산 정상으로 올라가는 바람이 발생하여 산 정상에서 수렴이 발생하였다. 강한 안정(Fig. 3.1.(b))을 주었을 때는 산을 넘지 못하고 돌아가려는 바람이 더욱 강해지고 일부 공기는 풍상측에서 정체되기도 하였다.

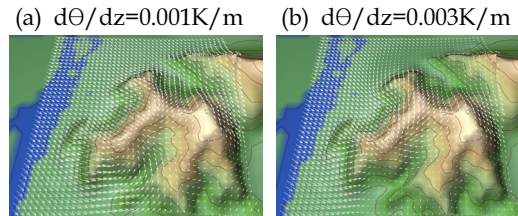


Fig. 3.1. Horizontal wind distribution of A2C results with different stability at 50m above the surface.

약한 안정도( $d\theta/dz=0.001K/m$ )조건을 고려한 경우 Fr(Froud number)는 약 1.03으로 연직 단면을 살펴보면 풍하측 산 사면에서 연직으로 회전하는 흐름이 발생하였으며 돌아들어오는 바람과 함께 반류 또한 발생하였다(Fig. 3.2.). 그리고 난류운동에너지는 풍상측에 비해 풍하측이 강하였다. 안정한 상태에서 산악에 의한 기류변화는 Froud number에 따라 다르게 발생하지만 본 연구의 대상지역은 산의 모양이 복잡하여 이상적인 종 모양의 산악에서와 같은 흐름이 명확히 나타나지 않았다. 이는 산악지역의 기류를 고려할 때 풍속과 안정도뿐만 아니라 지형에 의한 복잡한 기류변화 또한 고려해야 함을 말해준다.

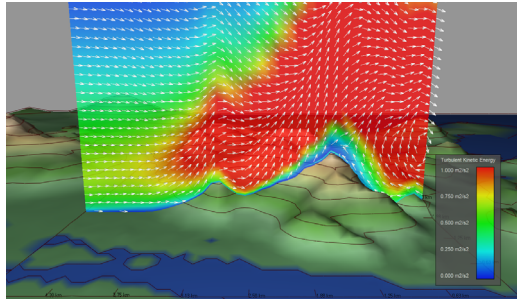


Fig. 3.2. Y-Z cross section of wind vector and turbulent kinetic energy over the Mt. Seung-hak.

입지의 풍력발전 후보지 6곳을 설정하여(Fig. 3.3.) 풍속, TKE, 연직 wind shear에 대한 36가지 실험 결과에 대한 값들을 정리하였다(표 생략). 연구 대상영역에 위치한 부산(레이더)지점의 AWS자료를 이용하여 구한 최근 5년간의 풍향별 발생빈도를 구하였고(그림생략) 그에 따른 가중평균을 구하여 Table 3.1.에 입지순위를 정하였다. 풍속에 있어서는 각 실험별 가장 높은 풍속을 보이는 지점을 표시하였고 TKE와 연직 wind shear는 가장 높은 지점을 표시하여 각 지점별 총 발생 횟수와 전체 평균값을 가중 평균한 결과이다. 풍속의 경우 발생횟수가 높고 풍속이 높은 지점인 C가 가장 우수한 풍력발전 입지를 가지고 있으나 TKE와 연직 wind shear의 발생횟수가 가장 낮고 그 크기 또한 최저를 보인 B지점이 유리한 입지를 가지고 있는 것으로 나타났다.

건물을 고려한 경우 건물의 풍상측에서 큰 연직 속도가 나타나며 마찰의 증가로 풍속이 감소하여 나타난다(Fig. 3.4.).

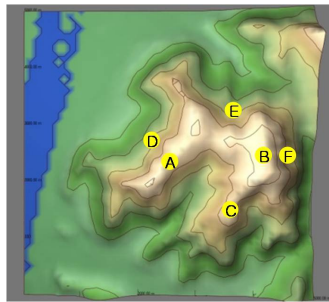


Fig. 3.3. The Location of Six proposed sites

Table 3.1. Weighting averaged wind speed, TKE, and vertical wind shear at six proposed sites

Wind Speed (m/s)			TKE (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )			Vertical Wind Shear (m/s/m)		
Site	Cnt.	Ave.	Site	Cnt.	Ave.	Site	Cnt.	Ave.
A	1.2	4.30	A	2.3	0.159	A	1.0	0.027
B	1.3	4.58	B	0.4	0.118	B	0.7	0.028
C	3.9	5.16	C	1.1	0.142	C	1.1	0.027
D	0.6	3.79	D	0.5	0.158	D	2.0	0.020
E	1.4	2.98	E	1.5	0.186	E	1.3	0.027
F	0.5	3.67	F	3.2	0.133	F	2.9	0.025

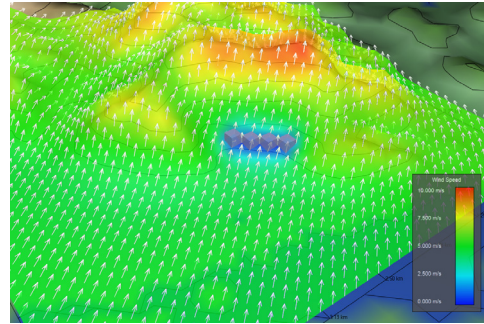


Fig. 3.4. Horizontal wind distribution of A2C results considering the building effect.

## References

- [1] 권영한, 김지영, 이민주, 2008, 환경성을 고려한 태양광, 풍력발전소 입지선정 가이드라인, 한국환경정책평가연구원, 정책보고서, 1-157.
- [2] 김현구, 최재우, 손정봉, 정우식, 이화운, 2003, 풍력발전 단지조성을 위한 바람환경 분석, 한국대기환경학회지, 19, 6, 745-756.
- [3] 이화운, 김민정, 김동혁, 김현구, 2009, 한국대기환경학회지, 25, 1, 1-14.
- [4] Gary Westerholm, "The wind energy frontier: Urban retail markets", 2004, Refocus, Vol. 5, Issue 4, pp. 42-45.
- [5] Jonathan Knight, "Urban wind power: Breezing into town", 2004, Nature, 430, 12-13.
- [6] Yamada T., 2004, Merging CFD and Atmospheric Modeling Capabilities to Simulate Airflows and Dispersion in Urban Areas, Computational Fluid Dynamics Journal, 13:47, 329-341.
- [7] 기상청, [www.kma.go.kr](http://www.kma.go.kr), 생활-산업기상 풍력자원순위.
- [8] 한국에너지기술연구원, [www.kredc.kier.re.kr](http://www.kredc.kier.re.kr), 신재생에너지 자원지도 데이터센터.
- [9] Yamada and Bunker S., 1988, Development of a nested grid, second moment turbulence closure model and application to the 1982 ASCOT Brush Creek data simulation, J. Applied Meteorology, 27, p562-578.
- [10] Mellor G. and Yamada T., 1982, Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems, Space Phys., 20, p851-875.
- [11] Hirt C. W. and Cox J. L., 1972, Calculating three-dimensional flows around structures and over rough terrain, J. Computational Phys., 10, p324-340.