

풍속표준화를 위한 산악지형의 영향에 관한 수치해석적 연구

이종훈* · 권지혁** · 이연원*** 김영덕****

A Study on flow characteristics around mountain using CFD method

Jong-hoon Lee*, Ji-hyuk Kwon**, Yeon-won Lee*** and Young-duk Kim****

Keywords : Computational fluid dynamics(전산유체역학), Atmosphere boundary layer(대기경계층), Laminar sub layer(층류저층), Weather station(기상대)

Abstract

Recently, when we conducted meteorological observations, complicated land or building around weather station has influenced on the wind distribution. So, we should understand the effect of geometry to get more accurate data. In this study, we analyze the ideal geometry whose shape is hemisphere using CFD method. And then we apply this method to real geometry. And we investigate the velocity at the location of weather station. As the results, we could find out an important relationship between geometry and flow field.

1. 서론

최근 우리나라의 기상 상황이 이전과는 많이 달라짐에 따라서 기상현상에 대한 많은 관심을 가지고 있다. 특히 국지적인 돌풍에 대해서는 보다 많은 자료를 필요로 하게 되는데 이러한 연구의 일환으로 주위 지형에 의한 영향에 대한 연구를 수행할 필요가 있다.

실제 우리나라에서는 각 지역별로 많은 기상대를 설치하여 기상 정보를 수집하고 있다. 하지만 기상대의 풍속은 주위 지형 지물 등에 따라 각기 다르게 나타난다. 따라서 이 풍속을 공학적으로 이용하기 위해서는 표준화 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 지형의 영향에 따른 유동이 어떻게 변화하는지를 전산유체역학(CFD)적 기법을 이용하여 해석을 수행한다. 특히 산이 위치할 경우 산의 영향으로 주위 유동이 어떻게 달라지는지를 알아본다.

본 연구는 실제 지형에 대한 해석에 앞서 이상적인 형태의 반구형 산을 가정하여 해석을 수행하여 보다 일반적인 방법을 수행하고, 실제 제주도 지형에서의 해석을 수행 할 것이다. 제주도 수치모사에서는 실제 기상대 위치에서 지형에 따른 유동변화를 조사할 것이다.

2. 수치 해석

2.1 선행 연구

실제 제주도 계산에 앞서 반구형 산을 수치 모사하였고, 개략적인 계산영역은 Figure 1과 같다. 각 도메인의 길이는 산의 높이인 h 를 기준으로 하여 결정하였다. 본 연구에서는 다양한 산의 높이에 대한 해석을 수행하였다. Table 1은 수치 모사된 산의 높이를 나타낸 것이다.

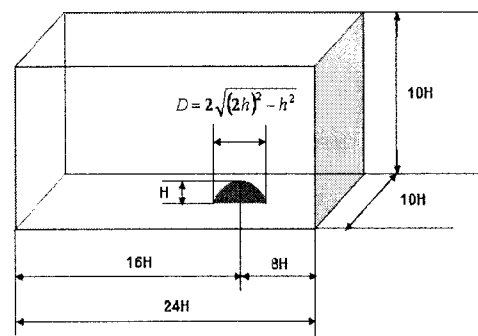


Fig. 1 Schematic diagram of computational domain

Table 1 Heights of mountain

Heights of mountain (m)				
H	100	200	500	1000

해석을 위한 경계조건으로서, 입구에서는 속도로서 식(1)과 같이 Prandtl이 제안한 1/7승 법칙을 적용하였다.

$$\left(\frac{u}{u_0}\right) = \left(\frac{z}{z_0}\right)^{1/7} \quad (1)$$

여기서 u_0 는 높이 z_0 에서의 속도를 나타낸다. 본 연구에서

* 부경대학교 대학원, cfd@pknu.ac.kr

** 부경대학교 대학원, jihyuk2@hotmail.com

*** 부경대학교 교수, ywlee@pknu.ac.kr

**** 관동대학교 교수, kimyd@kd.ac.kr

대기 경계층 (Atmosphere Boundary Layer, ABL)의 높이는 800m를 사용하였고, 다양한 입구 속도에 대한 해석을 수행하기 위하여 3가지 경우의 입구 속도를 사용하였다. 입구 속도의 경우 속도 대기 경계층 높이에서의 속도인 u_0 를 기준 속도로 하여 결정하였고 5, 10, 20m/s의 세 가지 속도를 사용하였다.

출구측은 유동에 대한 어떠한 정보도 알고 있지 않으므로 출구면 수직방향으로 구배가 0인 조건을 적용하였으며, 출구면에서의 역류를 방지하고자 산의 위치에서 16H만큼 계산영역을 길게 구성하였다. 양쪽 측면은 ABL의 속도분포가 변하지 않는다고 가정하여 전단응력이 0로 하였다. 윗면 또한 양쪽 측면과 마찬가지로 대칭조건을 주었다. 그리고, 바닥면은 No-slip 조건을 주었다.

2.2 제주도 수치 묘사

본 연구에서는 실제 제주도 지형에 대한 해석을 수행하였다. 실제 지형에 적용하기 위해 초기 인공위성에서 얻은 GPS data를 이용하여 계산영역을 구성하였다. Figure 2는 계산영역의 크기를 보여준다. 입구면과 바닥면을 제외한 곳에서 구배 0인 조건을 주기 위해 충분히 큰 도메인을 형성하였다. 또한 선행 결과인 반구에서의 해석과 동일한 조건의 경계 조건을 적용하였다. 실제 지형에서도 5, 10, 20m/s의 세 가지 속도를 사용하였다. 또한 바람의 방향은 북풍으로 가정하였다. 하지만 제주도의 경우 주위가 모두 바다이기 때문에 ABL의 높이 z_0 는 일반적으로 알려져 있는 300m를 적용하였다.

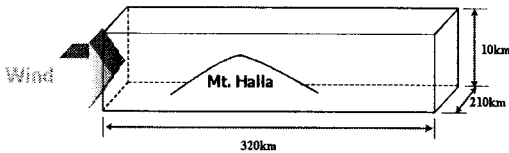


Fig. 2 Schematic diagram around Jeju island

또한 기상대에서의 속도를 알기 위하여 Fig. 3에 실제 기상대의 위치를 계산 영역에 나타내었다.

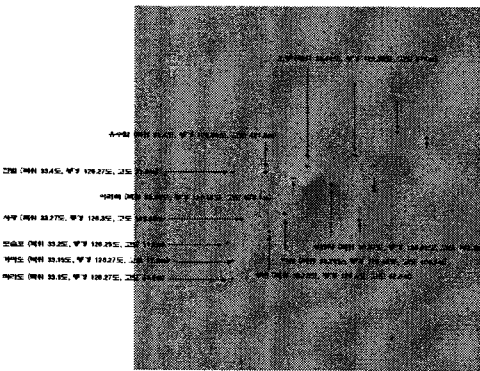


Fig. 3 Location of weather station

3. 수치 결과

3.1 반구형 산에서의 해석 결과

Figure 4는 높이 100m인 반구형 산에서 입구 속도가 5m/s 일 때의 속도를 vector로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 산의 전면부와 후면에서 역류가 일어나는 것을 관찰할 수 있다. 산의 전면부에서는 정체압력에 의해 역류가 일어나고, 후면에서는 산을 따라 흐르는 유동의 마찰에 의한 압력 상승으로 박리가

일어나는 것을 관찰할 수 있다. 산의 정상에서의 속도는 입구 속도인 5m/s보다 빠른 것을 알 수 있다.

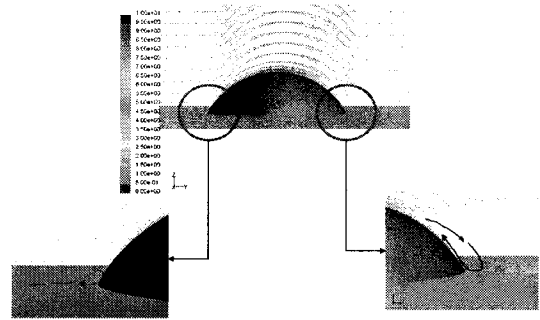


Fig. 4 Flow characteristics around mountain

Figure 5는 주류방향으로 유동변화를 알아보기 위해 입구 line-0에서 출구 line-2400까지 계산영역의 중심선 상에서 15개의 위치를 선택하였다. 여기서, line 뒤의 숫자는 입구부터의 거리를 나타내며 단위는 미터이다. 또한, line-800은 산의 정상 위치를 의미한다.

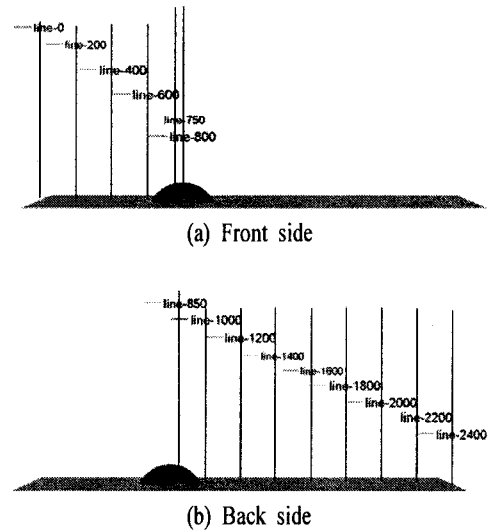
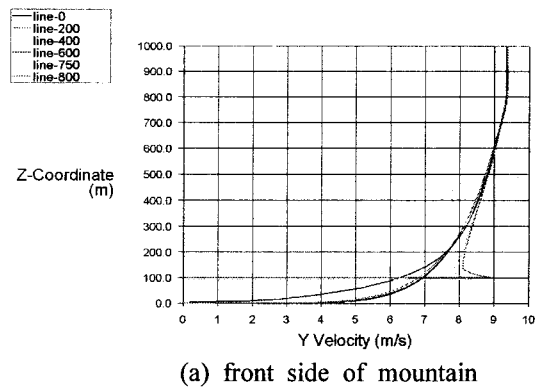
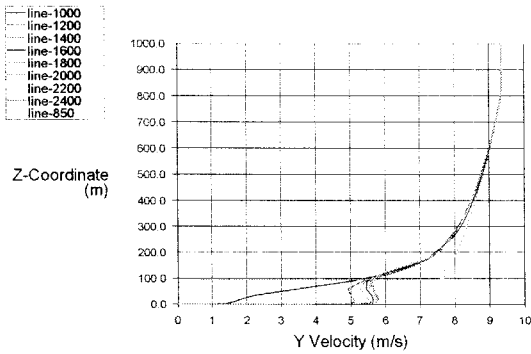


Fig. 5 Position for velocity investigation



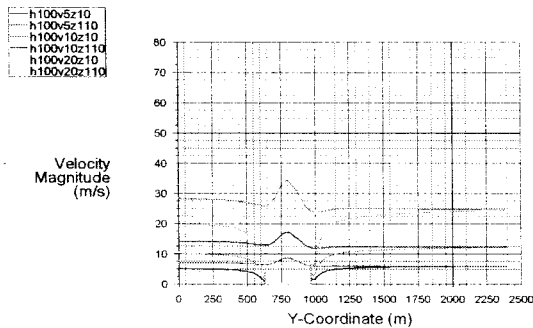
(a) front side of mountain



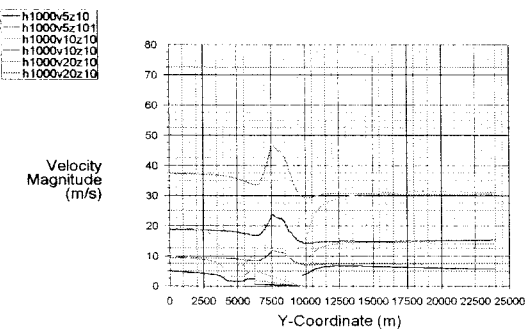
(b) back side of mountain

Fig. 6 Velocity profile at each position

Figure 6은 산의 전면부와 후면부에서 높이에 따른 주류 유동의 속도분포를 나타내고 있다. 산의 전면부에서는 높이 220[m] 이하에서는 산에 근접할수록 유동 장애로 인해 동일 고도에서 속도가 감소하지만, 고도가 220m 이상이 되면 이러한 현상은 역전이 된다. 후면부에서는 1000m 지점에서는 유동이 산을 지나면서 박리를 일으켜 산의 고도와 같은 약 100m까지 완만한 속도구배를 보여주지만, 1200m부터는 이러한 현상이 점점 사라지며, 본래의 속도구배로 회복되어져 가는 것을 보여준다. 또한 산의 정상상을 지난 바람의 속도가 감소하는 것을 관찰할 수 있다.



(a) h = 100 [m]



(b) h = 1000 [m]

Fig. 7 The change of velocity according to various inlet velocities

Figure 7은 산의 높이가 100m와 1000m일 때, 높이 지면에서의 높이 10m와 산의 정상 110[m]에서의 속도 변화를 나타내고 있다. 다양한 입구 속도에서 산 정상에서 최대의 속도를 나타내는 것을 관찰할 수 있고, 그 속도 증가 값은 입구 속도에 비례하여 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 산의 고도가 증가할수록 산의 정상에서의 바람의 속도가 증가하는 것을 알 수 있다.

Table 2 Velocity at the top of mountain

Height of Mountain (m)	Inlet velocity (m/s)		
	5 (m/s)	10 (m/s)	20 (m/s)
100	8.58064	17.139	34.3155
200	9.74667	19.5107	39.0285
500	11.0723	22.1676	43.9989
1000	11.8403	23.6885	47.3863

Table 2와 3은 입구 속도와 산 정상에서의 속도의 관계를 보여준다. 동일 고도의 산에서는 입구 속도가 증가함에 따라 산 정상에서의 속도는 선형적으로 증가하지만 동일 입구속도에서 고도에 따른 산 정상에서의 속도는 산의 고도가 높아질수록 변화가 적다는 것을 알 수 있다. 또한, 산의 고도가 동일할 때 입구속도에 따른 산 정상에서의 속도는 일정한 비를 가지며 증가한다. 산의 고도가 100, 200, 500, 1000m 일 때 그 비는 각각 1.715, 1.950, 2.184, 2.368 이다.

Table 3 Velocity ratio between inlet and top of mountain

Height of Mountain (m)	Inlet velocity (m/s)		
	5 (m/s)	10 (m/s)	20 (m/s)
100	1.716	1.714	1.716
200	1.949	1.951	1.951
500	2.214	2.217	2.120
1000	2.368	2.369	2.369

3.2 제주도에서의 해석결과

Figure 8은 한라산 주위의 유동을 vector로 나타낸 것이다. 반구형 산에서와 마찬가지로 한라산에서도 정상에서의 속도가 가장 빠르며, 후면에서 산의 표면을 따라서 역류가 발생하고 있는 것 또한 관찰할 수 있다. 하지만 정체압에 의해 생성되는 역류는 제주도에서는 발생하지 않았다. 이는 한라산의 경사가 완만하여 역류가 발생하지 않았다.

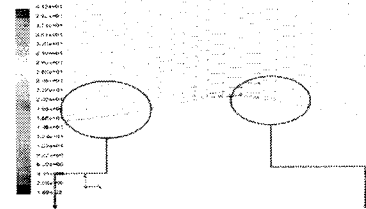


Fig. 8 Velocity vectors around Mt. Halla

또한 북쪽의 입구 속도에 따른 기상대에서의 속도를 Figure 9에 나타내었다. 본 연구에서는 한림, 오동, 하원, 구좌 기상대에서 결과를 정리하였다. 그림에서 보는 바와 같이 각 기상대 별로 입구속도가 빨라짐에 따라 기상대에서의 속도 역시 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 또한 북쪽에 위치한 오동 기상대의 위치에서 속도가 다른 기상대에서의 속도보다 느린 것으로 나타났다.

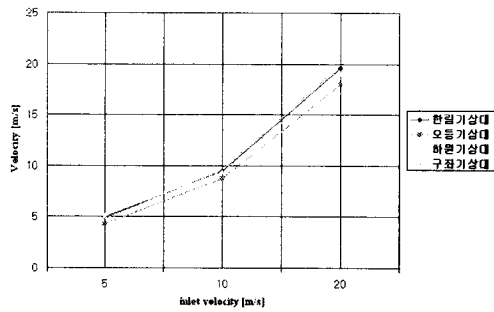


Fig. 9 Velocity change at the weather station according to various inlet velocities

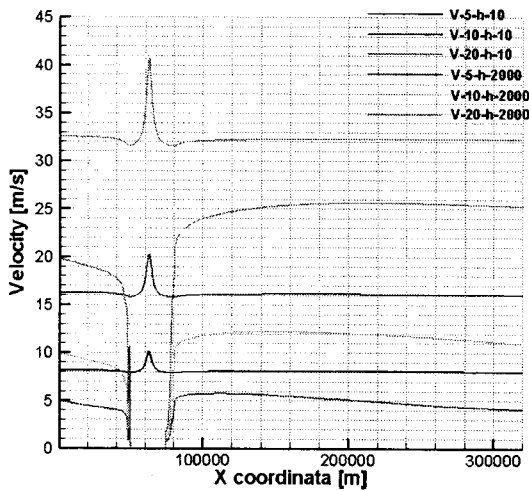


Fig. 10 The change of velocity according various inlet velocities at the height of 10m

Figure 10은 지상 10m와 산 정상에서의 높이 2000[m]일 때, centerline에서 5, 10, 20m/s의 입구 속도일 때, 속도크기를 나타낸 것이다. 지상에서의 높이 10[m]에서는 산의 전면보다 후면에서 속도가 빠른 것을 볼 수가 있는데, 이것은 산의 전면에서는 압력의 상승으로 인해 속도가 감소함에 따른다. 이것은 반구형의 산에서도 이러한 현상을 관찰할 수 있었다. 또한 산의 정상에서 역시 반구형에서와 마찬가지로 산의 정상을 지날 때 속도가 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문은 기상대 풍속의 표준화를 위한 기초 연구로서, 산 주위의 유동에 관한 수치해석을 수행하기 위해 반구형 모양의 임의의 산과 실제 제주도 한라산 주위의 유동해석을 수행하였다. 이를 통해 다음과 같은 결론과 내릴 수 있었다.

1. 반구형 산에서 입구속도에 따라 산 정상에서의 속도는 선형적으로 증가한다.
2. 동일한 고도의 반구형 산에서 입구속도에 따른 산 정상에서의 속도는 일정한 비를 가지며 증가한다.
3. 제주도에서는 산 정상에서 속도가 가장 빠르며, 산의 전면부에 비해서 후면부에서 속도가 더 빠르게 나타났다.

후기

본 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대 비시설기준강화 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

- [1] 권지혁, 이연원, 김영덕, 2006,06 “한라산 주변에서 발생하는 Karman Vortex Street 재현” 한국풍공학회지 제10권 제1호 pp.101-107
- [1] H.K.Versteeg, W.Malalasekera, 1995, "An introduction to computational fluid dynamics the finite volume method," Longman Group Ltd, pp.70 ~ 72
- [2] Oh,J.H and Lee,H,S, 2005 "Study for mesoscale vortex-streets appeared in wake of Jeju island during winter season", Proceeding of WEIK Symposium. No.8 , pp39-44
- [3] S.E.Belcher and J.C.R.Hunt, 1998, "Turbulent Flow over Hill and Waves," Annu. Rev. Fluid Mech. 1998. Vol. 30, pp.507-538
- [4] Frank M. White, 1999, "Fluid Mechanics Fourth Edition," WCB/McGraw-Hill, pp.344 ~ 346
- [5] Pierre Sagaut, 2001, "Large eddy simulation for incompressible flows", Springer, pp.31-61,