

경사가 다른 3차원 산악지형에서의 풍동실험을 통한 풍속할증평가

Estimation of Topographic Effects over 3-Dimensional Hills with Different Slopes through Wind Tunnel Tests

조 강 표† 정 명 채* 조 기 성**

Cho, Kang-Pyo Cheong, Myung-Chae Cho, Gi-Sung

(논문접수일 : 2007년 2월 26일 ; 심사종료일 : 2007년 5월 24일)

요 지

본 논문에서는 풍동실험을 수행하여 3차원 산악지형에서의 풍속할증현상을 정량적으로 평가하고, 3차원 산악지형의 풍속할증현상에 대해 고찰하고자 한다. 풍속할증현상을 평가하기 위하여 건축구조설계기준에서 분류하고 있는 기울기에 준하여 다음의 5.71°, 11.31°, 16.70°, 21.80°, 그리고 26.57° 의 각각 다른 경사를 가진 5가지 산악지형모형을 제작하였다. 풍동실험결과, 다양한 위치에서 풍속할증계수가 평가되었다. 풍동실험결과를 바탕으로 풍속할증영역을 산정해 보면 수평방향의 영역은 산의 전체 지역, 수직방향의 영역은 산의 높이의 3.5배로 산정되었다. 풍속할증현상은 산의 정상부에서 크게 발생하였고, 경사Ⅰ은 57%, 경사Ⅱ는 75%, 경사Ⅲ은 79%, 경사Ⅳ는 81%, 경사Ⅴ는 61%의 풍속이 증가하였다. 또한 산의 정상에서 같은 거리에 있는 풍방향의 위치보다 풍직각방향의 위치에서의 풍속이 더 크게 평가되었고 풍직각방향의 경사시작면에서 10~30%의 풍속이 증가하였다.

핵심용어 : 산악지형, 풍동실험, 풍속할증계수, 풍속할증현상, 풍속할증분포, 풍하중

Abstract

In this paper, topographic factors over 3-dimensional hills were estimated through wind tunnel tests. Topographic models having five different slopes of 5.71°, 11.31°, 16.70°, 21.80°, and 26.57°, which were based on Korean Building Code(KBC(2005)), were made for wind tunnel tests. From the result of wind tunnel tests, topographic factors over 3-dimensional hills were obtained at various locations, and the ranges of topographic effects were decided. The ranges of topographic effects was whole area of the hills in the horizontal ranges and heights of 3.5 times of the hills in the vertical ranges. Topographic effects was large at the top of hills, and wind velocity was increased 57% over hill of 5.71°, 75% over hill of 11.31°, 79% over hill of 16.70°, 81% over hill of 21.80°, and 61% over hill of 26.57°. Wind velocity was bigger over surface of across-wind direction of hills than one over surface of wind direction of hills, and wind velocity was increased 10~30% at locations of across-wind direction.

Keywords : hills, wind tunnel tests, topographic factor, topographic effects, distribution of topographic factor, wind loads

1. 서 론

최근 국토의 균형발전과 도시화가 가속되면서 도시주변지역의 산지 또는 경사지에 아파트 등의 대규모 구조물을 건설하는 경우가 많아졌다. 또한 송전철탄과 같은 기간시설물은

험난한 산악지형에도 건설되고 있는 실정이다.

산지 및 경사지에서는 기류가 다양하게 변화하고, 지형효과로 인해 풍속이 증가하는 현상이 발생하거나 혹은 차폐효과로 인하여 풍속이 감소하는 현상이 발생한다. 지형효과로 인한 풍속할증현상은 이미 국내외의 연구자에 의해 많은 연구가 진행

† 책임저자, 정회원 · 원광대학교 건축학부 조교수

Tel: 063-850-6708 ; Fax: 063-851-3076

E-mail: kpcho@wonkwang.ac.kr

* 전주대학교 건축공학과 부교수

** 원광대학교 대학원 건축공학과 석사과정

• 이 논문에 대한 토론을 2007년 8월 31일까지 본 학회에 보내주시면 2007년 10월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

되어 왔다(김동우 등, 2000; 김무진 등, 1999; Cao 등, 2006; Kim 등, 2000; Weng 등 2000; Ishihara 등, 1999; Taylor 등, 1984; Bowen, 1983).

풍하중이 풍속의 제곱에 비례하는 것을 고려할 때 산악지형과 경사지형에 건설되는 구조물의 내풍 안전성을 확보하기 위해서는 반드시 풍속할증을 고려한 내풍 설계가 이루어져야 한다. 국내의 '건축구조설계기준(KBC(2005))'에서도 풍속할증현상을 고려한 내풍 설계가 이루어지고 있다.

최근 이상기후에 의한 강풍 또는 태풍이 자주 발생하여 많은 인적, 물적 피해가 발생하고 있다. 특히 산악지형에 있는 송전철탑과 같은 기간시설물들이 지형효과로 인한 풍속할증에 의해 예상하지 못한 풍하중을 받아 피해를 입는 일이 잦아지고 있다. '건축구조설계기준'에서 제시하고 있는 산악지형에 적용가능한 풍속할증계수는 2차원 산지모형실험을 통하여 제안되었다. 그러므로 각 기준의 풍속할증계수를 실제 복잡한 산악지형에 그대로 적용하는 경우는 주의를 하지 않으면 안 된다.(조강표 등 2006)

본 논문에서는 산악지형의 풍속할증계수 일반화를 위해 이상화된 3차원 산악지형에서 발생하는 풍속할증현상을 경사도에 따라 정량적으로 평가하고 3차원 산악지형의 풍속할증현상에 대해 고찰하고자 한다. 풍속할증현상을 평가하기 위하여 3차원의 산악지형을 각기 다른 경사를 가진 5가지의 산악지형모형으로 제작하여 경계층풍동에서 풍동실험을 수행하였다. 풍동실험을 통해 3차원 산악지형의 풍속할증계수와 풍속할증영역을 정량적으로 평가하였다.

표 1 KBC(2005)에서의 경사에 따른 풍속할증계수

풍상층 중 가장 불리한 경사 ($\phi = \frac{H}{2L_u}$)	풍속할증계수 (K_{zt})	
	경사지 ($\phi_d \leq 0.05$)	언덕, 산 ($\phi_d \geq 0.1$)
0.05	1.05	1.11
0.1	1.09	1.21
0.2	1.18	1.41
≥ 0.3	1.27	1.61

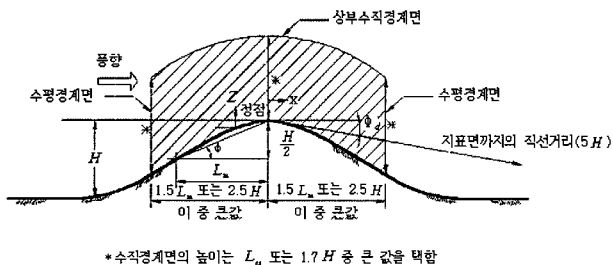


그림 1 KBC(2005)의 산악지형에서의 풍속할증적용범위

2. 풍동실험 개요

2.1 3차원 산악지형 제원

'건축구조설계기준'에서는 경사지와 산악지형에서 표 1과 같이 경사에 따라 각기 다른 풍속할증계수를 정하고, 표 1에 나타나 있지 않는 경사에 대해서는 직선 보간하여 사용하도록 하고 있다. 가장 가파른 경사의 산에서 풍속할증계수 1.61은 평지에서의 풍속보다 풍속이 61%증가된 것을 의미한다. 그림 1의 빗금 친 영역 안에서 풍속할증적용범위 내에서 풍속이 증가하는 것으로 평가하고 있다(대한건축학회, 2005).

3차원 산악지형에서의 풍속할증현상을 평가하기 위하여 그림 2와 같은 대칭이고, 원뿔의 형태를 가진 각기 경사가 다른 5가지의 3차원 산악지형을 제작하였다. 5가지의 경사는 표 1과 같이 '건축구조설계기준'의 경사 분류와 동일한 경사 I($\theta = 5.71^\circ$), 경사 II($\theta = 11.31^\circ$), 경사 III($\theta = 16.70^\circ$), 경사 IV($\theta = 21.80^\circ$), 경사 V($\theta = 26.57^\circ$) 등 5가지의 산악지형모형을 제작하였다. 그림 2에서 H 는 산의 높이이고, L_u 는 산의 정상으로부터 $H/2$ 내려온 높이의 경사면까지의 수평거리이고, θ 는 L_u 와 산의 정상을 연결하여 생기는 각이고, 각각 5가지의 경사에 따른 산악지형모형의 제원은 표 2와 같다.

표 2 3차원 산악지형모형의 제원

	경사 I	경사 II	경사 III	경사 IV	경사 V
경사도 (θ)	5.71° ($\tan\theta = 0.1$)	11.31° ($\tan\theta = 0.2$)	16.70° ($\tan\theta = 0.3$)	21.80° ($\tan\theta = 0.4$)	26.57° ($\tan\theta = 0.5$)
높이, H (mm)	120	120	120	120	120
L_u (mm)	600	300	200	150	120

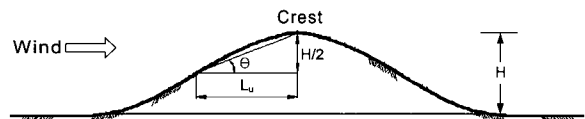


그림 2 3차원 산악지형의 형태

2.2 풍동실험 개요

풍동실험은 현대건설기술연구소의 대형 경계층 풍동에서 수행하였다. 풍동의 제원으로서 풍동실험실 측정부의 길이는 25m이고, 측정부의 단면은 폭4.5m×높이2.5m이다.

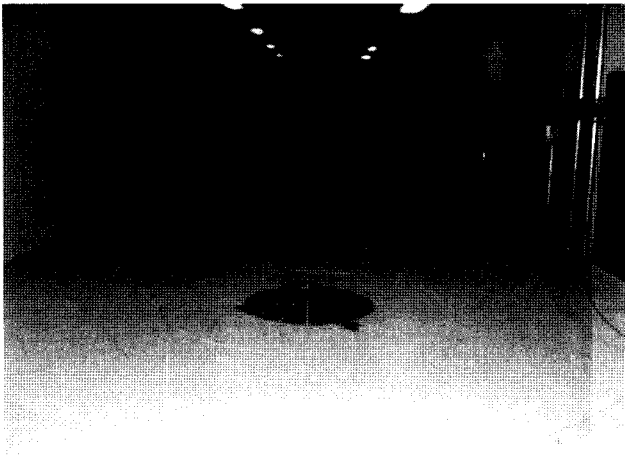


그림 3 경사Ⅲ의 산악지형모형의 풍동 내 전경

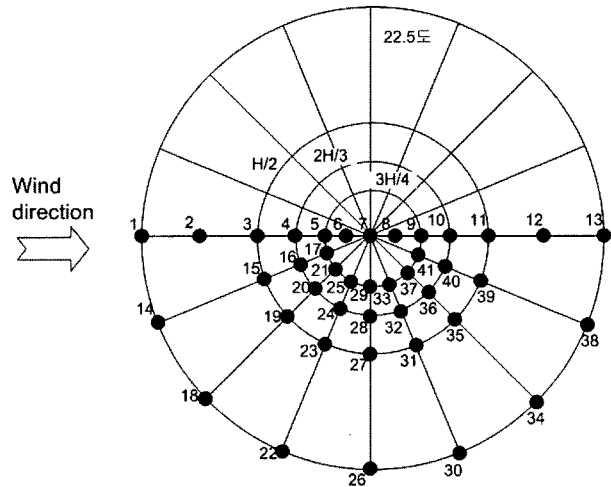
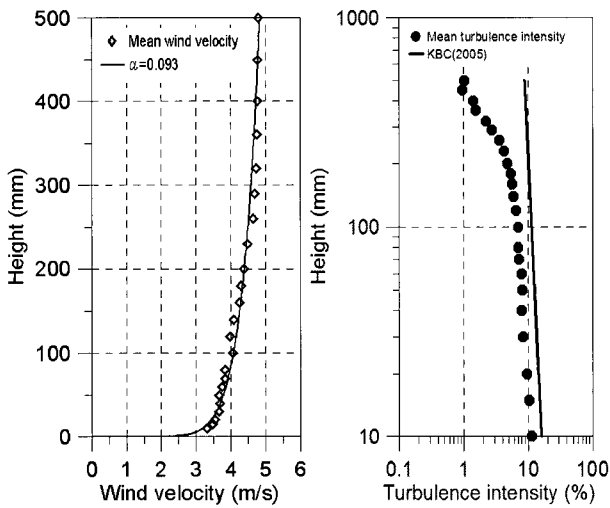


그림 5 3차원 산악지형의 풍속계측지점



(a) 기준평균풍속의 연직분포 (b) 기준난류강도의 연직분포

그림 4 기준평균풍속과 기준난류강도의 연직분포

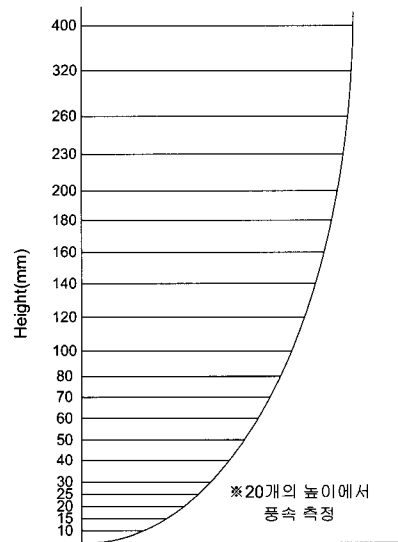


그림 6 각 풍속계측지점에서의 계측높이

그림 3은 5가지의 실험모형 중 경사Ⅲ의 실험모형을 경계 층풍동 내에 설치한 것이다. 풍동실험은 그림 3과 같이 조도 블록과 spire를 설치하지 않은 Smooth floor에서 수행하였다. 실험풍속은 높이 140mm에서 4.0m/s로 하였고, 평균풍속과 난류강도의 연직분포는 그림 4와 같다. 평균풍속의 연직분포는 $\alpha=0.093$ 이었다. 그림 3(b)의 KBC(2005)는 노풍도 D일 때의 난류강도의 연직분포를 나타낸 것이다.

계측지점은 3차원 산악지형에서의 풍속할증현상을 전반적으로 평가하기 위하여 다양한 지점에서 풍속을 계측하였다. 3차원의 산악모형이 원뿔의 형태이고 대칭이므로 그림 5와 같이 총 41개점을 선정하여 각 지점에서 높이별로 측정하였다. 풍동실험을 수행하지 않은 부분은 1번과 13번을 이은 직선을 기준으로 대칭하여 알고자 하는 위치에서의 풍속할증계수를 예상할 수 있다.

계측높이는 그림 6에서 표기된 것처럼 10mm~30mm는

5mm간격으로, 30mm~80mm는 10mm간격으로, 100mm~200mm는 20mm간격으로, 그리고 230mm, 260mm, 320mm, 400mm으로 총 20개이다. 풍속계측시간은 계측높이마다 100Hz로 10초간 열선풍속계(Hot-wire)를 이용하여 계측하였다.

3. 풍동실험 결과

3.1 풍속할증계수의 정의

풍속할증계수는 실험모형의 각 풍속계측지점에서 높이에 따라 계측한 풍속과 모형을 제외하고 모형의 중심이 놓여졌던 위치에서 높이에 따라 계측한 풍속의 비로 정의하였다. 따라서 1.0보다 큰 경우에는 지형효과에 의해 풍속이 증가된 경우이고, 1.0보다 작은 경우에는 지형에 의한 차폐효과로

인해 풍속이 감소한 것이다.

그림 5의 각 지점에서 산의 지표면에서 같은 높이일 때의 풍속할증계수를 평가하고, 계측높이를 산의 높이로 무차원화시켜 풍속할증계수분포도를 표현하였다. $z/H=0.08$ 은 풍속 계측높이 중 가장 낮은 높이이고, $z/H=3.33$ 은 풍속 계측높이 중 가장 높은 높이이다.

그림 8~그림 12는 풍속을 계측한 20개의 높이 중 그림 7과 같이 가장 낮은 높이와 가장 높은 높이, 산의 높이, 그리고 산 높이의 약 2배가 되는 높이 등 4가지의 경우에 대해서 경사에 따라 풍속할증계수분포도를 나타낸 것이다. 풍속할증계수분포도에서 X 와 Y 는 각각 산의 정상을 기준으로 풍방향과 풍직각방향으로 떨어진 거리를 나타낸다.

3.2 경사 I의 경우

그림 8의 가장 완만한 경사인 경사 I은 그림 8(a)와 같은 경사를 가졌고, 산의 정상에서 $z/H=0.08$ 인 지표면 부근에서 풍속이 평지에서서의 풍속보다 약 57% 증가된 것으로 평가되었다. 풍속의 제곱에 비례하는 풍하중은 평지에서의 풍하중보다 2.5배 이상 증가하는 것을 의미한다. 그림 7(b), (c), (d)는 높이에 따른 풍속할증계수의 분포도이다.

산의 다양한 위치에서 풍속이 증가되거나 감소하는 것을

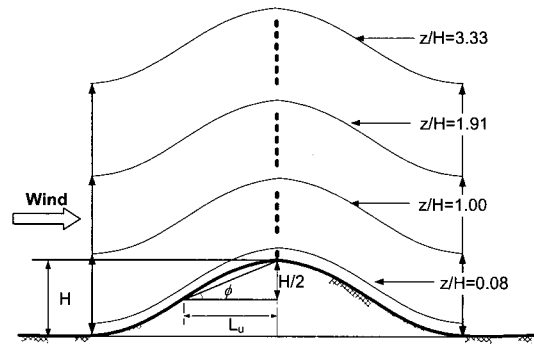


그림 7 높이별 풍속할증분포도의 평가 높이

볼 수 있다. 특히 풍방향의 경사면에서 풍상측과 풍하측 모두 $X/2L_u$ 가 약 0.8이 되는 위치안에서 풍속이 증가되었다. 하지만 풍직각방향의 경우에는 $Y/2L_u=1.0$, 즉 풍직각방향의 경사가 시작되는 위치에서도 약 10%의 풍속이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 기류의 특성상 기류가 산의 경사면을 따라 산을 감싸고도는 현상에 의해 풍직각방향의 경사 시작면에서 풍방향의 위치와는 달리 풍속이 크게 증가하는 것으로 판단된다. 산 높이(그림 7(c)), 산 높이의 2배가 되는 높이(그림 7(d))에서는 산의 정상부근과 풍방향의 경사면 위에서 약 10%의 풍속이 증가하였다. 경사 I의 산지의 경우 풍속할증현상은 그림 8(e)의 $z/H=3.33$ 되는 높이까지 발생하였다.

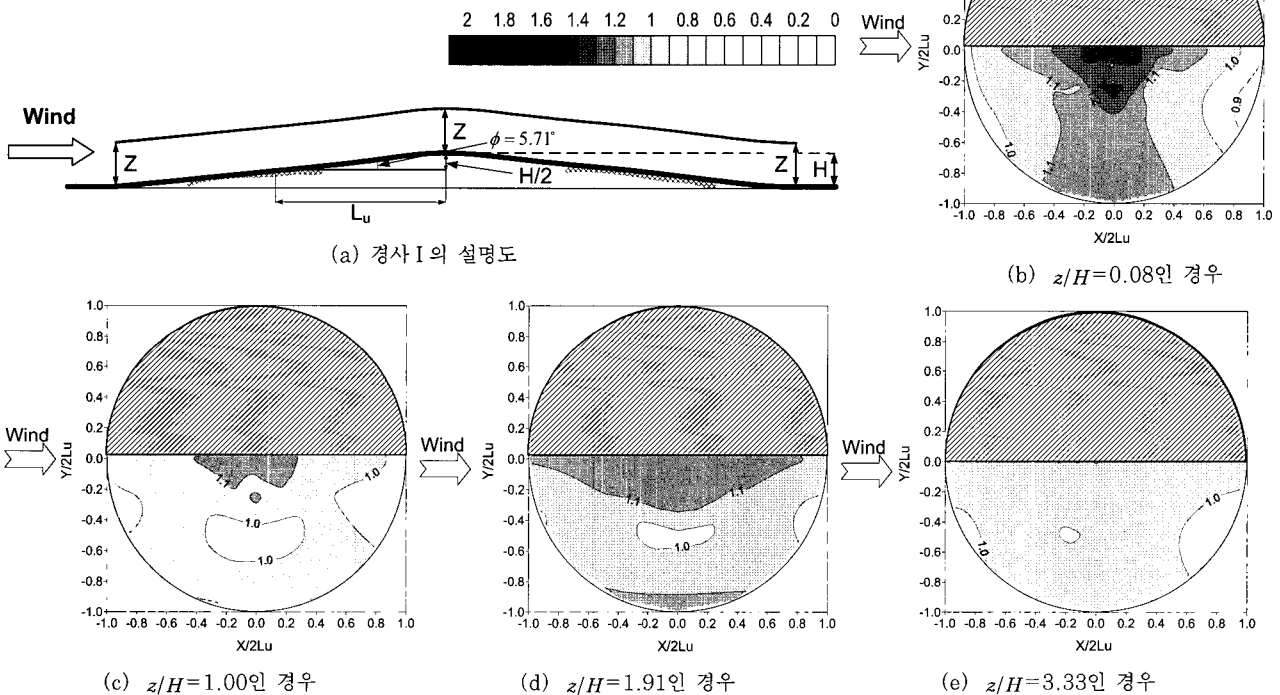
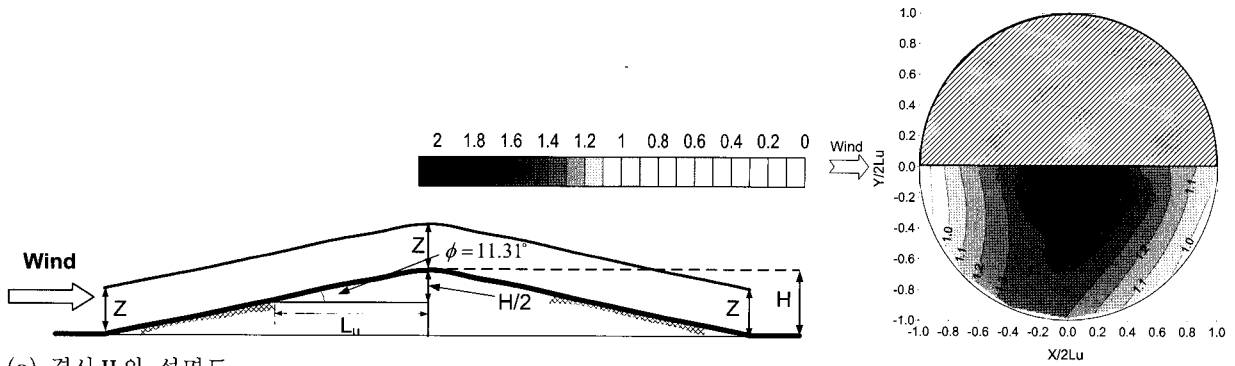
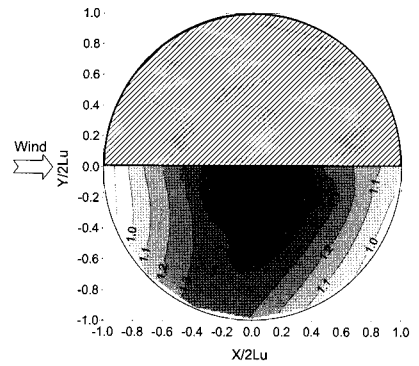


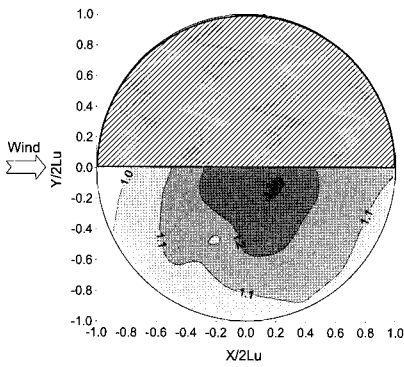
그림 8 경사 I의 높이에 따른 풍속할증계수의 분포도



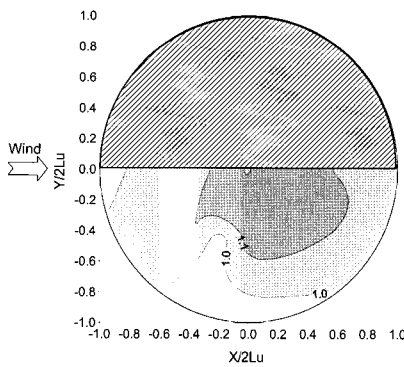
(a) 경사Ⅱ의 설명도



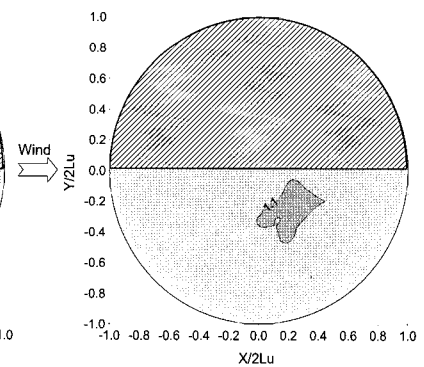
(b) $z/H=0.08$ 인 경우



(c) $z/H=1.00$ 인 경우

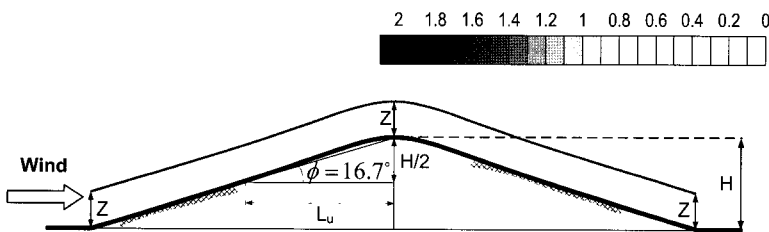


(d) $z/H=1.91$ 인 경우

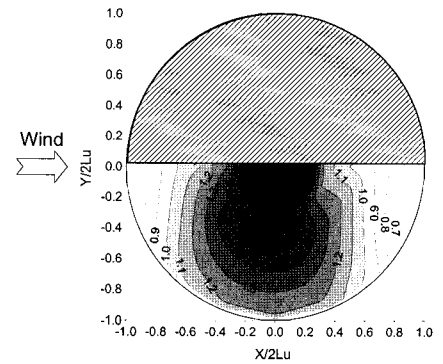


(e) $z/H=3.33$ 인 경우

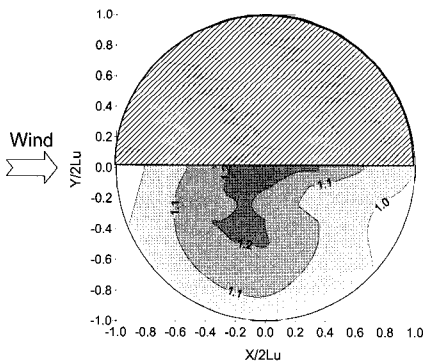
그림 9 경사Ⅱ의 높이에 따른 풍속할증계수의 분포도



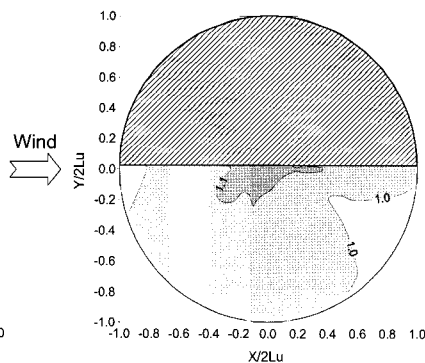
(a) 경사Ⅲ의 설명도



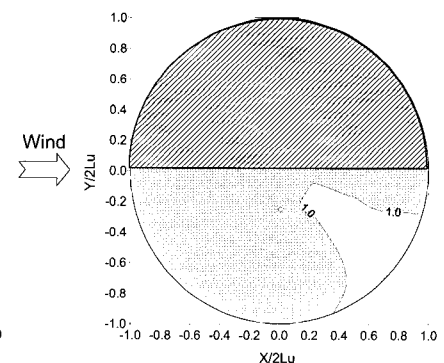
(b) $z/H=0.08$ 인 경우



(c) $z/H=1.00$ 인 경우

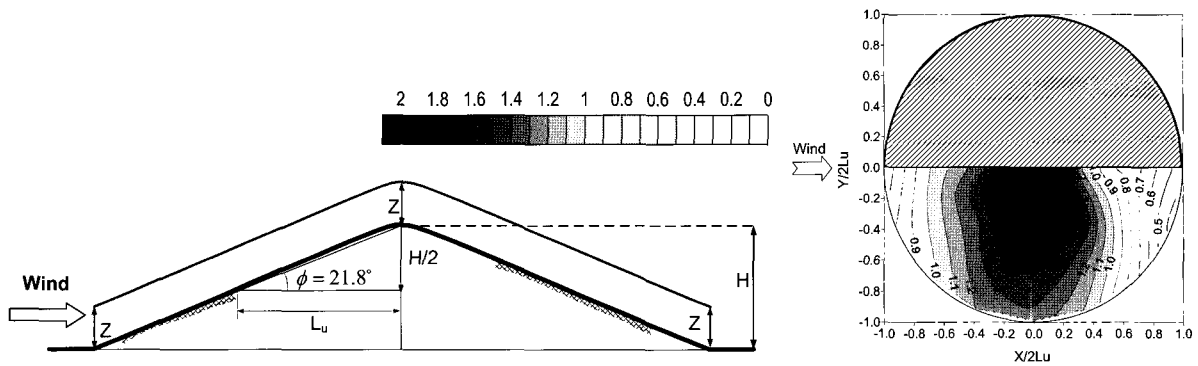


(d) $z/H=1.91$ 인 경우



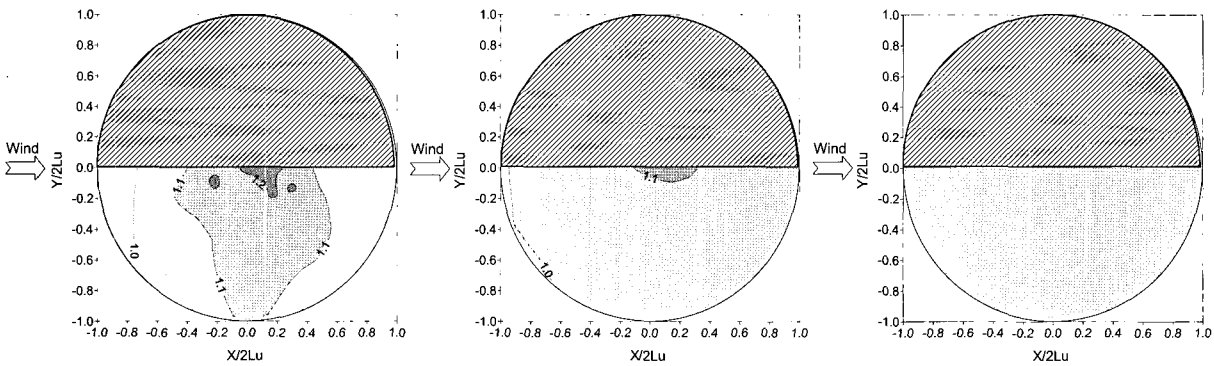
(e) $z/H=3.33$ 인 경우

그림 10 경사Ⅲ의 높이에 따른 풍속할증계수의 분포도



(a) 경사Ⅳ의 설명도

(b) $z/H=0.08$ 인 경우

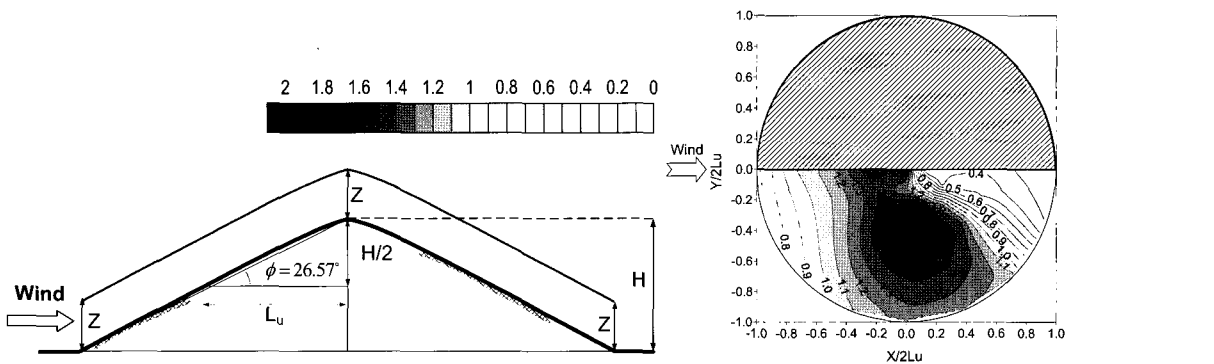


(c) $z/H=1.00$ 인 경우

(d) $z/H=1.91$ 인 경우

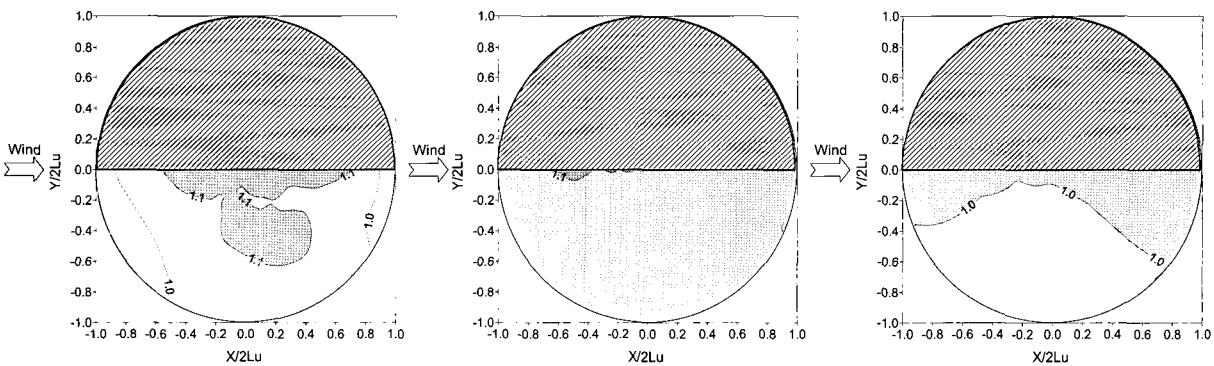
(e) $z/H=3.33$ 인 경우

그림 11 경사Ⅳ의 높이에 따른 풍속할증계수의 분포도



(a) 경사Ⅴ의 설명도

(b) $z/H=0.08$ 인 경우



(c) $z/H=1.00$ 인 경우

(d) $z/H=1.91$ 인 경우

(e) $z/H=3.33$ 인 경우

그림 12 경사Ⅴ의 높이에 따른 풍속할증계수의 분포도

3.3 경사Ⅱ의 경우

11.31°의 경사를 가진 경사Ⅱ(그림 9)에서도 산의 정상에서 풍속이 가장 크게 증가하였고, $z/H=0.08$ 인 산 정상에서의 지표면 부근에서 풍속이 평지에서의 풍속보다 75%나 증가하였다. $z/H=0.08$ 인 그림 9(b)에서는 풍상측의 풍방향의 경사가 시작하는 위치에서 산의 경사면을 따라 지나가는 바람이 상부의 기류에 영향을 받아 와류가 발생하여 풍속이 감소된 것으로 사료된다. 또한 풍하측의 풍방향의 경사에서는 기류가 산의 차폐효과로 인해 지표면 부근에서는 풍속이 감소하는 것으로 확인되었다. 또한 경사Ⅰ과 마찬가지로 풍직각방향의 경사면에서 30%의 풍속이 증가하는 것으로 확인되었고, 산 정상에서 같은 수평거리인 $X/2L_u$ 와 $Y/2L_u$ 가 0.5인 위치에서의 풍속의 증가는 $X/2L_u=-0.5$ 일 때는 1.25, $Y/2L_u=-0.5$ 일 때 1.45로 풍직각방향의 경사면에서 풍속이 더 증가하였다. 이는 산을 감싸고 도는 기류의 현상에 의해 산의 정상에서 같은 거리에 있는 풍직각방향의 위치에서 풍방향의 위치와는 달리 풍속이 더 크게 증가하는 것으로 판단된다.

3.4 경사Ⅲ의 경우

그림 10의 경사Ⅲ에서는 풍속증계수가 $z/H=0.08$ 인 산 정상에서의 지표면 부근에서 1.79로 평가되었고, 산의 정상부근에서 풍속의 증가가 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 그림 10(b)에서도 풍직각방향의 경사 시작위치에서 20%의 풍속이 증가하였다. 그림 10(c)의 $z/H=1.00$ 되는 높이까지 산의 정상에 20%의 풍속이 증가하였다.

3.5 경사Ⅳ의 경우

그림 11(a)와 같이 21.8°의 경사를 가진 경사Ⅳ에서도 산의 정상에서 풍속이 가장 크게 증가하였고, $z/H=0.08$ 인 산 정상에서의 지표면 부근에서 풍속증계수는 1.81이었다. 그림 11(b)에서도 풍상측과 풍하측에서 풍속이 감소하는 현상이 발생하였고, 산의 지표면 부근에서 풍직각방향의 경사면이 시작하는 위치에서 1.2의 풍속증계수가 평가되어 20%의 풍속이 증가하였다. 그림 11(c)의 $z/H=1.00$ 인 경우에도 풍직각방향의 경사시작면에서 약10%의 풍속이 증가하였다. 풍속증현상은 그림 11(e)에서 산 높이의 3.33배높이까지 발생하였다.

3.6 경사Ⅴ의 경우

그림 12(a)와 같이 산악지형 모형중 경사가 가장 가파른 경사Ⅴ는 $z/H=0.08$ 인 산 정상에서의 지표면 부근에서 61%나 되는 풍속이 증가하는 것으로 확인되었다. 그림 12(b)에서 산의 정상부근과 풍직각방향의 $Y/2L_u$ 가 0.2~0.6가 되는 수평거리에서 풍속이 크게 증가하였고, 산의 경사면을 따라 산의 정상을 지나 풍속이 급감하는 것을 볼 수 있다. 또한 풍직각방향의 경사면에서 20%의 풍속이 증가하는 것으로 평가되었다. 그림 12(c)에서도 산의 정상부근과 풍직각방향의 산의 중턱에서 약 10%의 풍속이 증가하였다.

4. 고 찰

5가지의 경사에서 공통적으로 풍속증현상은 산의 정상부에서 크게 발생하였다. 또한 기류의 특성상 기류가 산의 경사면을 따라 산을 감싸고도는 현상으로 인하여 산의 정상에서 같은 거리에 있는 풍직각의 위치에서 풍방향의 위치와는 달리 풍속이 더 크게 증가하고 풍직각방향의 경사시작위치에서부터 풍속이 증가였다.

풍동실험결과를 바탕으로 3차원 산악지형의 풍속증현역을 산정한다면 풍속증현역의 수평거리는 산의 전체지역으로 정할 수 있다. 그 이유는 바람은 임의의 방향에서 불기 때문에 풍방향과 풍직각방향의 경사면에서의 풍속은 풍향이 바뀔 때마다 바뀔 수 있기 때문이다. 예를 들어 그림 5의 1,13,26의 위치에서의 풍동실험으로 얻은 풍속증계수는 5가지 경사에 따라 각각 모두 값이 다르다. 16.7°의 경사를 가진 경사Ⅲ의 그림 10에서 지표면으로부터 가장 낮은 $z/H=0.08$ 일 때 1번은 약 10%, 13번은 약 30% 풍속이 감소하였지만, 26번은 풍직각방향 경사면으로 풍속이 오히려 20%정도 증가하였다.

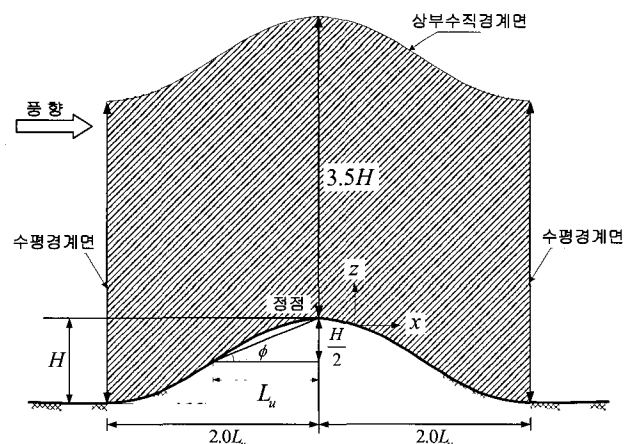


그림 13 풍동실험을 근거한 산악지형의 풍속증현역

만약 1번의 위치에 구조물을 설계할 때 풍방향의 풍속할증만을 고려한 1.0의 풍속할증계수를 적용한다면, 구조물은 풍향에 따라 풍속이 20%증가하여 예상하지 못한 44%의 풍하중을 더 받게 되어 구조물의 안전에 위협을 줄 수 있다. 따라서 3차원 산악지형의 풍속할증적용범위의 수평거리를 산의 전체지역으로 정해야 할 것이다. 실험결과를 보면 3.3 H되는 높이까지 풍속이 증가하고 있다. 이를 바탕으로 수직거리 풍속할증영역은 3%의 실험오차를 감안하여 산 높이의 3.5배인 3.5 H로 정할 수 있다. 풍동실험을 근거하여 풍속할증영역을 도식화하면 그림 13과 같이 나타낼 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 풍동실험을 바탕으로 이상화된 3차원 산악지형에서의 풍속할증현상을 정량적으로 평가하여 다음과 같은 결론들을 도출하였다.

1. 풍동실험결과, 산의 전체 지역에 걸쳐 산 높이의 3.5배 되는 높이까지 풍속이 증가하는 것으로 확인되었다.
2. 풍동실험결과, 풍속할증현상은 산의 정상부에서 크게 발생하였고, 경사Ⅰ은 57%, 경사Ⅱ는 75%, 경사Ⅲ은 79%, 경사Ⅳ는 81%, 경사Ⅴ는 61%의 풍속이 증가하였다.
3. 기류가 산의 경사면을 따라 감싸고도는 현상으로 인하여 산의 정상에서 같은 거리에 있는 풍방향의 경사면보다 풍직각방향의 경사면에서 풍속이 더 크게 증가하였고 풍직각방향의 경사시작면에서 10~30% 증가하였다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

김동우, 하영철(2000) 다양한 경사지형의 풍속분포특성에 관한 풍동실험 연구, 대한건축학회 논문집, 16(12), pp.49~

55.
 김무진, 김동우, 이석중, 하영철(1999) 3차원 산지형의 풍속 분포특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 대한건축학회, 19(2), pp.211~216.
 대한건축학회(2005) 건축구조설계기준, 대한건축학회, 서울
 조강표, 홍성일(2006) 지형에 따른 풍속할증계수에 관한 세계 주요 풍하중 기준의 재고, 대한건축학회 논문집, 22(1), pp.27~34.
 조강표, 홍성일(2006) 태풍에 의해 송전철탑이 붕괴된 산악지형의 풍속할증, 대한건축학회 논문집, 22(2), pp.51~58.
 조강표, 홍성일, 조기성(2006) 3차원 산악지형의 풍속할증영향 검토, 대한건축학회 학술발표논문집, 대한건축학회, 26(1), pp.65~68.
 Bowen, A.J.(1983) The Prediction of Mean Wind Speeds above Simple 2D Hill Shapes, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic*, 15, pp.259~270.
 Kim, H.G., Patel V.C., Lee, C.M.(2000), Numerical simulation of wind flow over hilly terrain, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 87, pp.45~60.
 Ishihara, T., Hibi, K.(1999) A Wind Tunnel study of Turbulent Flow over a Three-dimensional Steep Hill, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic*, 83, pp.95~107.
 Cao, S., Tetsuro T.(2006) Experimental study on roughness effects on turbulent boundary layer flow over a two-dimensional steep hill, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 94, pp.1~19.
 Taylor, P.A., Lee, R.J.(1984) Simple Guidelines of Estimating Wind Speed Variation due to Small Scale Topographic Features, *Climatological Bulletin (Canada)*, 18(22), pp.3~32.
 Weng, W., Taylor, P.A., Walmsley, J.L.(2000), Guidelines for airflow over complex terrain : model developments, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 86, pp.169~186.