

지리정보를 이용한 풍속지형계수 산정

Estimation of Topographic Factor of Wind Speed Using Geographic Information

성민호* 박경식** 최세휴***
Min Ho Seong Kyung Sik Park Se Hyu Choi

요약 최근 이상기후로 인한 강풍 및 태풍이 자주 발생하여 많은 인적, 물적 피해가 발생함에 따라 구조물 설계 시 적용하는 풍하중 산정에 관한 연구의 중요성이 강조되고 있다. 지형에 따른 풍속지형계수의 증가는 풍속의 증가를 의미하며 풍속의 증가는 제곱에 비례하여 풍하중에 영향을 미치기 때문에 풍속지형계수 산정을 위한 지리정보를 정확하게 측정하는 것이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 BIM (Building Information Modeling) 프로그램인 ArchiCAD를 이용하여 정확하고 합리적인 풍속지형계수 산정 방법을 제시하고자 한다. 풍하중을 고려한 구조물 설계 시 본 연구에서 제안한 방법을 이용함으로써 설계의 합리성과 경제성을 더 높일 수 있을 것이다.

키워드 : 풍속지형계수, 지리정보, BIM, 풍하중

Abstract Due to the frequent gales and typhoons by anomaly climates and its subsequent loss of life and property, the importance of the research estimating wind load is being emphasized when structure is designed. It is necessary to measure geographical information exactly to estimate topographic factor of wind speed because the increase of topographic factor of wind speed means the increase of wind velocity and the increase of wind velocity has an influence on wind load proportionate to a square. Therefore, the accurate and reasonable estimation method of topographic factor of wind speed is presented in this study using ArchiCAD, an architectural BIM (Building Information Modeling) software. When the structure subjected to wind load is designed, reasonability and economic performance of design will be more improved by using the proposed method.

Keywords : topographic factor of wind speed, geographic information, BIM, wind load

1. 서론

최근의 기상이변에 따른 자연재해 발생빈도가 증가하고 피해 규모도 대형화, 광역화되는 것을 볼 수 있다. 특히 최근 10년간 자연재해 피해의 60% 이상이 태풍으로 인한 것임을 감안할 때 풍하중을 고려한 구조물 설계의 필요성은 더욱 중요시되고 있다.

구조물 설계 시 고려해야하는 풍하중은 풍속변수인 풍속의 제곱에 비례하여 증가하며, 구조물의 구조안전에 큰 영향을 주게 된다. 특히 산 또는 언덕 지형에서는 지형효과로 나타나는 기류변화로 인하여

돌풍의 발생, 풍속의 증가 및 감소 등 여러 가지 현상이 발생되고 있어 국내의 설계기준에서는 풍하중 산정 시 풍속에 영향을 미치는 지형계수를 반드시 고려하도록 하고 있다(조강표와 정승환, 2010).

풍속지형계수에 대한 연구는 국내외에서 활발히 진행되고 있다. Miller와 Davenport(1998)는 산등성이나 급경사지에서의 풍속할증 비율을 주요 하중 기준들이 제시하는 비율과 비교하였고, Ishhara와 Hibi(1999)는 3차원 급경사 지형에 대한 난류의 특성에 대한 연구를 수행하였다. 국내의 경우 김무진 등(2000)은 다양한 3차원 산악지형에서의 풍속분포

† 이 논문은 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

* 경북대학교 공간정보학과 석사과정, mhseong@knu.ac.kr

** 경북대학교 건축토목공학부 박사과정, parkks@knu.ac.kr

*** 경북대학교 건축토목공학부 부교수, shchoi@knu.ac.kr (교신저자)

를 조사하기 위한 풍동실험을 수행하였고, 조강표와 홍성일(2006)은 국내에서 적용되는 지형계수 개선을 위해 미국, 일본 등에서 적용되는 풍속지형계수를 비교·분석하였다.

우리나라 건축구조설계기준(2005)에서는 산, 언덕에서의 풍하중 산정 시 풍속의 할증이 적용되는 범위를 수평 및 수직 거리로 주고, 풍속에 대한 할증계수를 풍상측 경사각에 따라 4가지로 구분하여 제안하였다. 그러나 풍속할증범위 내에서는 수평 및 수직거리에 상관없이 동일한 할증계수를 사용하므로 지형의 특성을 정확히 반영하지 못하고 과풍속을 적용하게 되어 설계 풍하중이 과도하게 커지는 과설계의 문제점이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 건축구조기준(2009)에서는 산, 언덕 등의 지형에 따른 풍속의 증가를 경사각, 수평거리, 수직거리를 변수로 하는 풍속지형계수 산정식을 통해 값을 구하도록 하고 있다. 이는 산, 언덕 등의 지형에서 임의의 높이, 임의의 수평거리를 지형계수 산정에 반영하기 때문에 지형의 효과를 보다 정확하게 예측할 수 있으나, 고려해야 할 변수가 많아짐에 따라 실제 설계 시 풍속지형계수 산정에 설계자의 과도한 시간과 노력을 요구하는 경우가 많은 실정이다. 또한, 최근 공간정보기술 분야에서 수치지도에 대한 중요성과 활용성이 증가하고 있어 수치지도상에 더욱 다양한 정보가 필요한 실정이다(우재윤 등, 2001; 김형수 등, 2009).

따라서 본 연구에서는 풍하중 산정 시 지리정보를 이용한 풍속지형계수 산정 방법을 제시하고자 한다. 또한, 이를 통해 구조물의 설계 시 위치별, 풍향별, 고도별로 산정한 풍속지형계수를 이용함으로써 설계의 합리성과 경제성을 더 높이고자 한다. 본 연구에서는 보다 정확한 지리정보를 반영하기 위하여 수치지도와 BIM프로그램을 이용하였다.

2. 풍속지형계수 산정

2.1 풍하중과 풍속지형계수

구조물 설계 시 적용해야 하는 풍하중 산정방법은 구조물의 목적이나 용도 등에 따라 조금씩 차이가 있지만 전체적인 과정은 그림 1과 같이 간략히 나타낼 수 있다. 이때 풍하중은 기본적으로 설계높이에 대한 설계 속도압(q_z)에 비례하며 설계 속도압은 다시 설계풍속(V_z)의 제곱에 비례하게 된다.

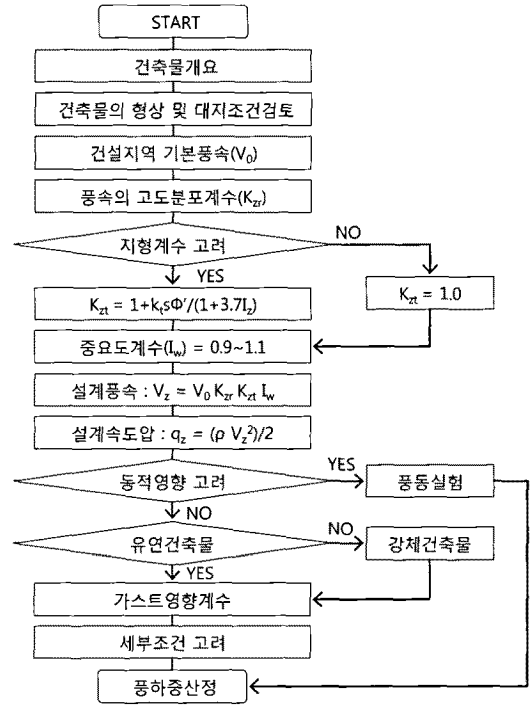


그림 1. 풍하중 산정절차

건축구조기준(2009)에서 제시하는 설계풍속은 식 (1)과 같다.

$$V_z = V_0 K_{zt} K_{zd} I_w \tag{1}$$

여기서, V_0 는 지역에 따른 기본 풍속이며, K_{zt} 은 풍속의 고도분포계수, K_{zd} 는 지형의 효과를 고려하는 풍속지형계수, I_w 는 건축물의 중요도계수이다.

특히 풍속지형계수(K_{zd})는 풍속에 영향을 미치는 지형의 영향을 수치화하여 나타냄으로써 풍속의 증가정도를 결정하게 된다. 예를 들어 지형의 영향을 고려한 풍속지형계수가 1.3으로 결정되면 이는 설계 풍속이 30%증가되는 것을 의미하며 설계풍속의 제곱에 비례하는 풍하중은 약 70%가 증가하는 것을 의미하므로 안전하고 경제적인 구조물의 설계를 위해서는 풍하중에 대한 지형의 영향이 정확하게 반영되어야 한다.

2.2 풍속지형계수 산정절차

건축구조기준(2009)에 제시하는 풍속지형계수 산정식을 바탕으로 산악지역 등의 지형에 위치하는 구조물의 풍하중 산정을 위한 풍속지형계수는 다음과 같은 절차를 따라 결정된다.

- 1) 수치지도에서 필요한 지리정보를 추출한 후 지리정보를 기반으로 BIM프로그램을 이용하여 해당지역의 지형을 3차원 모델링한다.
- 2) 구조물이 위치하는 산 또는 언덕지역의 정점의 고도(H)를 산정한다.

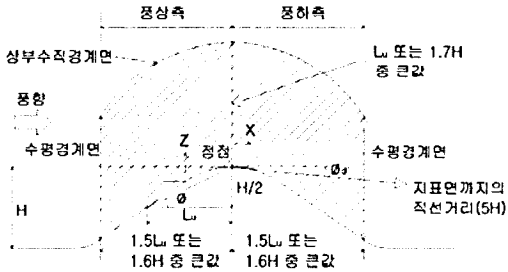


그림 2. 풍속지형계수의 적용범위

- 3) 정점으로부터 하부로 $H/2$ 지점에서 풍상측까지의 수평거리(L_u)를 측정하고 유효경사($\phi = \frac{H}{2L_u}$) 및 적용범위($1.5L_u$ 와 $1.6H$ 중 큰 값)를 산정한다. 그림 2에서 풍속지형계수의 적용범위를 빗금 친 영역으로 표시하였다. 풍속에 영향을 미치는 지형의 영향은 빗금 친 영역 내에서만 고려되며 상부수직경계면과 수평경계면을 벗어난 지역에서는 풍속에 대한 지형의 영향이 고려되지 않는다.
- 4) 정점을 기준으로 풍향별로 나누어진 단면을 활용하여 정점에서 풍하측 지표면 방향 $5H$ 되는 거리까지의 수평거리를 측정하고, 평균경사($\phi_d = \frac{H}{5H}$ 까지의 수평거리)를 산출한다.
- 5) 평균경사(ϕ_d)로부터 식(2)를 이용해 형상계수(k_t)를 산정한다.

$$k_t = 1.4 + 3.6(\phi_d - 0.05) \leq 3.2 \quad (2)$$
- 6) L_u 와 H 로부터 식(3)을 이용해 L^* 를 계산한다.
 풍상측 : $L^* = L_u$ ($\phi \leq 0.3$ 일때) (3a)
 $L^* = 1.7H$ ($\phi > 0.3$ 일때) (3b)
 풍하측 : $L^* = L_u$ 와 $1.7H$ 중 큰 값 (3c)
- 7) 식(4)를 통해 H , L_u , L^* 및 산 정점을 원점으로 한 구조물 수평좌표(x)와 x 좌표의 지표면 상부의 임의 높이(z)를 적용하여 위치계수(s)

를 계산한다.

$\phi > 0.3$ 일때

$$s = \left(1 - \frac{|X|}{1.5L^*}\right) \left(1 - \frac{0.6z}{H}\right) \quad (4a)$$

$\phi \leq 0.3$ 일때

$$s = \left(1 - \frac{|X|}{1.5L^*}\right) \left(1 - \frac{z}{L_u}\right) \quad (4b)$$

- 8) 풍상측부의 유효경사(ϕ)와 0.3 중 작은 값을 경사각(ϕ')으로 결정한다.
- 9) 식(5)를 통해 주변 지표면 상태 및 높이에 따른 난류강도(I_z)를 결정한다.

$$I_z = 0.1 \left(\frac{z}{Z_g}\right)^{-\alpha - 0.05} \quad (5)$$

여기서, Z_g 는 기준경도풍 높이, α 는 풍속고도분포지수이며, 지표면 상태에 따라 기준경도풍 높이와 풍속고도분포지수는 표 1.에 의해 결정된다.

- 10) 식(6)를 이용하여 정점에서의 풍속지형계수와 풍향별 각 지점의 풍속지형계수를 산정한다.

$$K_d = 1 + \frac{k_t \phi'}{(1 + 3.7I_z)} \quad (6)$$

여기서, K_d 는 풍속지형계수, k_t 는 형상계수, s 는 위치계수, ϕ' 는 경사각, I_z 는 난류강도이다.

표 1. 지표면조도구분

지표면 조도구분	주변지역의 지표면 상태	Z_g	α
A	대도시 중심부에서 10층 이상의 대규모 고층건축물이 밀집해 있는 지역	500	0.33
B	높이 3.5m 정도의 주택과 같은 건축물이 밀집해 있는 지역, 중층건물이 산재해 있는 지역	400	0.22
C	높이 1.5~10m 정도의 장애물이 산재해 있는 지역, 저층건축물이 산재해 있는 지역	300	0.15
D	장애물이 거의 없고, 주변 장애물의 평균높이가 1.5m 이하인 지역, 해안·초원·비행장	250	0.10

* 풍하중 해설 및 설계 참조(대한건축학회, 2001).

3. 풍속지형계수 산정절차의 적용

3.1 시범적용 개요

시범적용의 대상지역은 현장조사와 자료취득의 용이성을 위하여 대구 산격동으로 선정하였다. 산격동에는 두 개의 산악지형이 있고, 주변지역이 대부분 학교와 주거, 밀집되어 있는 상가, 유통종합단지 가 위치하고 있어 경제적·인문적 조건이 우수하며 향후 산악지형에 복합단지와 대규모 구조물이 개발 될 가능성이 있다.

시범대상지역에 적용되는 풍향을 선정하기 위하여 기상청에서 제시하고 있는 자료를 근거로 분석한 결과 대구지역의 주요풍향은 서(West)풍이지만 비율이 28.2%이므로 연중 다양한 방향에서 바람이 불어온다고 사료된다. 또한, 돌풍이나 급속한 기류 변화로 발생하는 강풍의 경우 풍향을 예측할 수 없어 본 연구에서는 동, 서, 남, 북, 북동, 북서, 남동, 남서의 8방향의 풍향을 모두 적용시켜 풍속지형계수를 산정하였다.

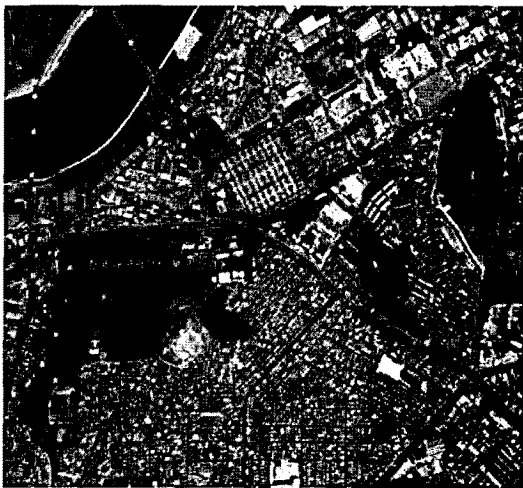


그림 3. 시범대상지역 위성사진

3.2 시범적용

그림 4와 같은 수치지도에서 등고선 및 지리정보를 추출한 뒤 BIM(Building Information Modeling) 프로그램 중 하나인 ArchiCAD를 사용하여 그림 5와 같이 시범대상지역의 지형을 3차원으로 모델링하였다.

현재 건축구조기준(2009)에서 제시하고 있는 풍

속지형계수는 특정 풍향에 대하여 2차원적인 지형

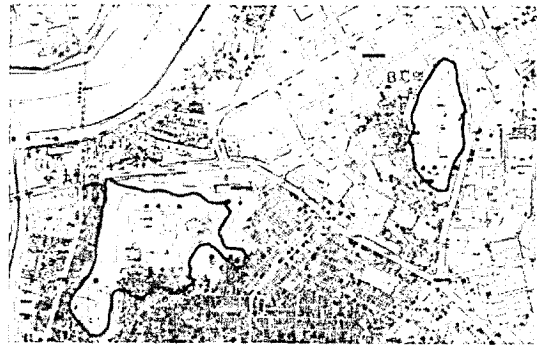


그림 4. 시범대상지역 수치지도

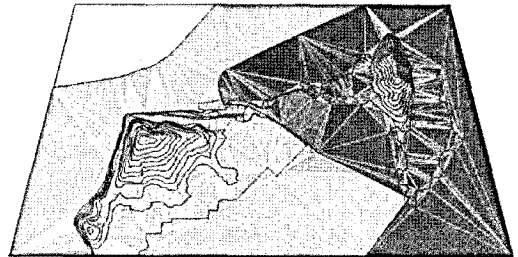


그림 5. 3차원 지형모델

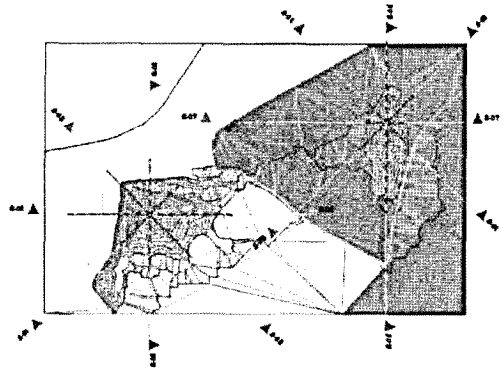


그림 6. DEM의 풍향별 색선구분

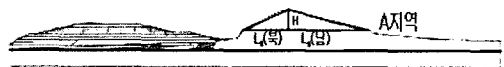


그림 7. A지역 남북방향 단면

의 영향을 고려하고 있다. 따라서 본 연구에서는 특정 풍향에 따른 풍속지형계수를 고려하기 위해 그림 6과 같이 지형모델을 풍향별로 나누어 단면을 생성하였다.

DEM(Digital Elevation Model)의 생성 시 A지역과 B지역의 산자락 하단부 지표면의 고도는 A지역과 B지역에서 각 6개의 지점을 선정하여 각 지점의 고도를 산술평균한 값으로 정하였다. 그 결과 A지역의 지표면의 고도는 31m, B지역의 지표면의 고도는 32m로 산출되었다.

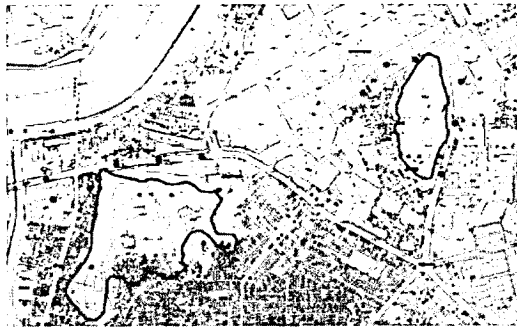


그림 8. 산자락 하단부 기준표시

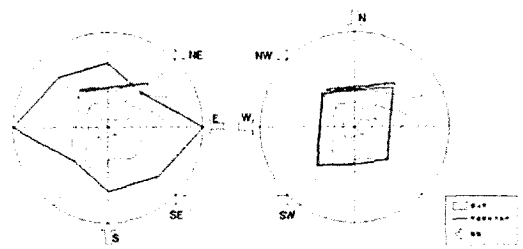
표 2. 산자락 하단부 지표면 고도 산정

A지역 (m)	지점1	지점2	지점3	지점4	지점5	지점6	평균
	27.1	30.1	28.7	28.5	30.8	43.5	31
B지역 (m)	지점1	지점2	지점3	지점4	지점5	지점6	평균
	29.1	29.4	30.2	33.5	34.5	34.3	32

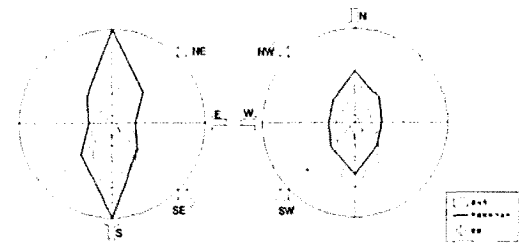
A지역과 B지역의 각 산악지형의 고도(H)를 산정한다. 고도(H)는 수치지도 정점의 고도 값에서 각 지표면의 고도를 뺀 값이다.

풍속지형계수 산정절차 3)을 통해 수평거리(L_u)를 측정하고 유효경사(ϕ), 적용범위를 산정한다. 여기서 적용범위는 풍속에 대해 지형의 영향이 고려되는 한계로서 본 연구의 시범지역에 대한 수평 적용범위는 그림 9와 같이 나타난다.

정점을 기준으로 풍향별로 나누어진 단면을 활용하여 정점에서 풍하측 지표면 방향 $5H$ 되는 거리까지의 수평거리를 측정하고, 평균경사(ϕ_d)를 산출한다. 산정절차 5)를 통해 평균경사(ϕ_d)로부터 형상계수(k_t)를 산정하고 산정절차 6)에서 L 를 계산한다. 그리고 풍속지형계수 적용 범위 내의 위치별 풍속지형계수를 계산하기 위해서는 산정절차 7)에 따라 산 정점을 원점으로 한 위치별 수평좌표(x)와 지표면 상부의 임의 높이(z)를 적용하여 위치계수(s)를 계산한다. 적용범위 내 풍속지형계수 산정위치는 풍



(a) A지역



(b) B지역

그림 9. 풍속지형계수의 수평적용범위

향별 고도 10m 간격의 등고선 위치를 선정하였다. 그리고 산정절차 8)을 통해 풍속지형계수 계산을 위한 경사각(ϕ)을 결정한다.

위치계수를 제외한 고도(H), 수평거리(L_u), 유효경사(ϕ), 수평적용범위, 평균경사(ϕ_d), L 값은 적용범위 내에서 풍속지형계수를 산정하기 위한 기본 값들이다. 표 3에 A지역과 B지역에서 풍속지형계수를 산정하기 위해 적용되는 기본 값들을 나타내었다.

또한, 산정절차 9)를 통해 주변 지표면 상태 및 높이에 따른 난류강도(I_2)를 결정한다. 시범대상지역인 대구 산격동은 경북대학교와 도청 등의 주요 시설이 위치해 있고, 주택과 상가들이 밀집해 있는 지역으로 지표면조도구분이 표 1의 B에 해당하므로 기준경도풍 높이(Z_g)는 400, 풍속고도분포지수(α)는 0.22의 값을 가지며, 이를 통해 계산되는 높이에 따른 난류강도는 그림 10과 같이 나타난다.

이렇게 계산된 형상계수(k_t), 위치계수(s), 경사각(ϕ) 및 난류강도(I_2)를 바탕으로 산정절차 10)의 건축구조기준(2009) 풍속지형계수 산정식을 이용하여 A지역과 B지역의 정점 및 풍향별 풍속지형계수를 산정하였다. 표 4와 표 5에서는 각 위치별, 풍향별, 고도별 풍속지형계수를 풍상측과 풍하측으로 구분하여 고도 10m간격의 등고선 위치에서 임의의 높이 20m, 50m, 100m, 200m에서 계산되는 풍

표 3. A지역과 B지역의 풍속지형계수 산정을 위한 기본 값

구 분	동풍	서풍	남풍	북풍	북동풍	북서풍	남동풍	남서풍		
A 지역	$H(m)$ 76.5									
	$L_u(m)$	322.13	118.38	216.02	124.60	161.61	154.99	237.32	182.20	
	ϕ	0.1187	0.3231	0.1771	0.3070	0.2367	0.24680	0.1612	0.2100	
	적용범위(m)	483.19	177.57	324.03	186.90	242.41	232.48	355.98	273.30	
	Φ_d	0.2041								
	k_t	1.9549								
	$L^*(m)$	322.13	130.05	216.02	130.05	161.61	154.99	237.32	182.2	
	ϕ'	0.1187	0.3000	0.1771	0.3000	0.2367	0.2468	0.1612	0.2100	
B 지역	$H(m)$ 49.2m									
	$L_u(m)$	79.85	89.71	315.93	173.35	149.28	105.97	122.68	114.79	
	ϕ	0.3081	0.2742	0.0778	0.1419	0.1648	0.2321	0.2005	0.2143	
	적용범위(m)	119.77	134.56	473.89	260.02	223.92	158.95	184.02	172.18	
	Φ_d	0.2041								
	k_t	1.9548								
	$L^*(m)$	83.64	89.71	315.93	173.35	149.28	105.97	122.68	114.79	
	ϕ'	0.3000	0.2742	0.078	0.1419	0.1648	0.2321	0.2005	0.2143	

속지형계수의 값을 나타내었다.

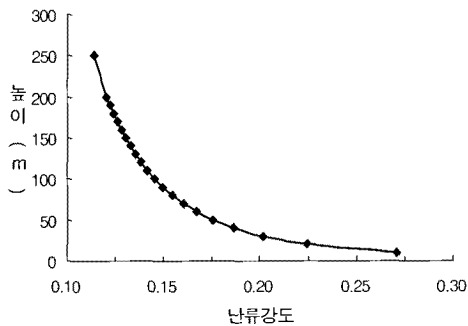


그림 10. 높이에 따른 난류강도

또한, 풍속지형계수 데이터 지도를 작성하여 그림 11과 그림 12와 같이 나타내었다. 그림에 나타난 각 위치는 풍속지형계수 적용범위 안의 동, 서, 남, 북, 북동, 북서, 남동, 남서의 풍향에서 일직선상에 있는 고도 10m간격의 등고선 위치를 나타내고 있으며 각 풍향에 대해 풍상측과 풍하측으로 구분하여 표시하였다. 그림 11과 그림 12에 표시된 적용범위 수평경계선 밖의 풍속지형계수 값은 1.0이 된다. 이는 풍속에 대한 지형의 영향이 고려되지 않는다는 것을 의미하므로 풍하측의 산정 시 설계 풍속은 증가하지 않는다.

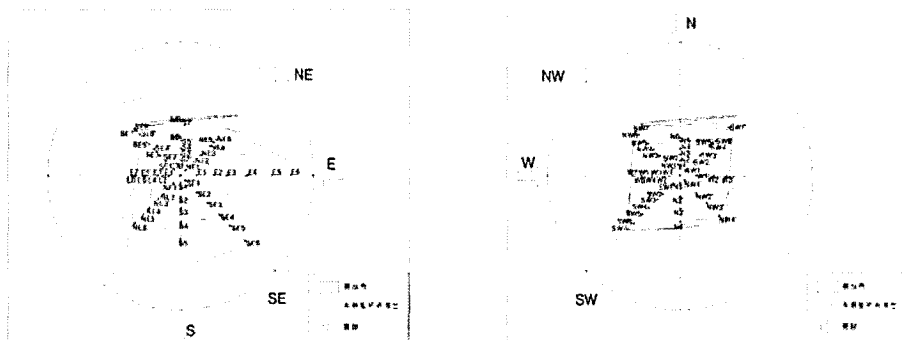


그림 11. A지역 풍속지형계수 지도

표 4. A지역 풍속지형계수

지표에서 높이(z)	구분	수평 위치	동풍	서풍	남풍	북풍	북동풍	북서풍	남동풍	남서풍	
			20m	풍상층	7	-	1.037	-	-	-	1.014
		6	1.021	1.078	-	1.080	1.057	1.049	1.011	1.025	
		5	1.037	1.093	1.052	1.096	1.068	1.078	1.046	1.059	
		4	1.059	1.131	1.085	1.134	1.084	1.095	1.070	1.081	
		3	1.078	1.157	1.111	1.166	1.126	1.127	1.097	1.115	
		2	1.089	1.183	1.133	1.194	1.158	1.156	1.121	1.135	
		1	1.104	1.214	1.160	1.237	1.197	1.193	1.147	1.173	
	정점	0	1.119	1.270	1.172	1.270	1.221	1.230	1.158	1.200	
	풍하층	1'	1.109	1.189	1.159	1.239	1.188	1.207	1.141	1.180	
		2'	1.103	1.103	1.142	1.170	1.140	1.148	1.125	1.149	
		3'	1.099	1.039	1.132	1.111	1.116	1.095	1.112	1.124	
		4'	1.094	-	1.119	1.044	1.073	1.034	1.097	1.102	
		5'	1.088	-	1.105	-	1.046	-	1.090	1.082	
		6'	1.085	-	1.099	-	1.003	-	1.077	1.075	
		7'	1.077	-	1.068	-	-	-	1.061	1.027	
		8'	1.075	-	1.065	-	-	-	1.054	-	
50m	풍상층	7	-	1.030	-	-	-	1.012	-	1.001	
		6	1.021	1.062	-	1.064	1.050	1.043	1.011	1.023	
		5	1.037	1.075	1.049	1.077	1.059	1.067	1.044	1.054	
		4	1.059	1.105	1.080	1.107	1.074	1.082	1.067	1.073	
		3	1.078	1.125	1.104	1.133	1.111	1.110	1.093	1.104	
		2	1.089	1.146	1.125	1.155	1.138	1.135	1.116	1.122	
		1	1.105	1.172	1.150	1.190	1.173	1.166	1.141	1.156	
		정점	0	1.119	1.216	1.161	1.216	1.194	1.198	1.151	1.181
		풍하층	1'	1.109	1.151	1.149	1.192	1.164	1.178	1.135	1.163
			2'	1.103	1.082	1.134	1.136	1.123	1.128	1.119	1.135
			3'	1.099	1.031	1.124	1.089	1.101	1.082	1.107	1.112
			4'	1.094	-	1.112	1.035	1.064	1.029	1.093	1.092
			5'	1.088	-	1.099	-	1.040	-	1.086	1.075
			6'	1.085	-	1.093	-	1.003	-	1.074	1.068
			7'	1.078	-	1.064	-	-	-	1.058	1.024
			8'	1.075	-	1.061	-	-	-	1.051	-
100m	풍상층	7	-	1.011	-	-	-	1.007	-	1.001	
		6	1.018	1.024	-	1.024	1.029	1.024	1.009	1.015	
		5	1.033	1.028	1.036	1.029	1.035	1.038	1.035	1.036	
		4	1.052	1.040	1.060	1.041	1.044	1.046	1.053	1.049	
		3	1.068	1.048	1.078	1.050	1.066	1.062	1.073	1.069	
		2	1.078	1.056	1.094	1.059	1.082	1.076	1.091	1.081	
		1	1.091	1.065	1.113	1.072	1.102	1.093	1.111	1.104	
		정점	0	1.104	1.082	1.121	1.082	1.115	1.111	1.119	1.120
		풍하층	1'	1.095	1.058	1.112	1.073	1.097	1.100	1.106	1.109
			2'	1.090	1.031	1.100	1.052	1.073	1.072	1.094	1.090
			3'	1.086	1.012	1.093	1.034	1.060	1.046	1.084	1.075
			4'	1.082	-	1.084	1.013	1.038	1.016	1.073	1.062
			5'	1.077	-	1.074	-	1.024	-	1.067	1.050
			6'	1.074	-	1.070	-	1.002	-	1.058	1.045
			7'	1.068	-	1.048	-	-	-	1.046	1.016
			8'	1.065	-	1.046	-	-	-	1.040	-
200m	풍상층	7	-	1.000	-	-	-	1.000	-	1.000	
		6	1.011	1.000	-	1.000	1.000	1.000	1.002	1.000	
		5	1.019	1.000	1.005	1.000	1.000	1.000	1.010	1.000	
		4	1.030	1.000	1.009	1.000	1.000	1.000	1.015	1.000	
		3	1.040	1.000	1.011	1.000	1.000	1.000	1.021	1.000	
		2	1.046	1.000	1.014	1.000	1.000	1.000	1.026	1.000	
		1	1.053	1.000	1.017	1.000	1.000	1.000	1.032	1.000	
		정점	0	1.061	1.000	1.018	1.000	1.000	1.000	1.034	1.000
		풍하층	1'	1.056	1.000	1.016	1.000	1.000	1.000	1.031	1.000
			2'	1.053	1.000	1.015	1.000	1.000	1.000	1.027	1.000
			3'	1.051	1.000	1.014	1.000	1.000	1.000	1.024	1.000
			4'	1.048	-	1.012	1.000	1.000	1.000	1.021	1.000
			5'	1.045	-	1.011	-	1.000	-	1.019	1.000
			6'	1.043	-	1.010	-	1.000	-	1.017	1.000
			7'	1.040	-	1.007	-	-	-	1.013	1.000
			8'	1.038	-	1.007	-	-	-	1.012	-

표 5. B지역 풍속지형계수

지표에서 높이(z)	구분	수평 위치	동풍	서풍	남풍	북풍	북동풍	북서풍	남동풍	남서풍
			20m	풍상측	6 -	-	-	1.013	-	-
		5	1.018	-	1.013	1.040	1.072	1.066	1.025	-
		4	1.079	1.067	1.025	1.054	1.087	1.095	1.056	1.054
		3	1.128	1.116	1.034	1.076	1.103	1.125	1.081	1.111
		2	1.176	1.151	1.050	1.101	1.122	1.151	1.111	1.142
		1	1.230	1.200	1.074	1.127	1.148	1.182	1.166	1.173
	정점	0	1.242	1.228	1.078	1.134	1.152	1.201	1.179	1.189
		1'	1.211	1.217	1.076	1.123	1.142	1.184	1.164	1.182
	풍하측	2'	1.155	1.170	1.067	1.046	1.123	1.112	1.140	1.141
		3'	1.114	1.128	1.059	-	1.104	1.074	1.121	1.110
		4'	1.059	1.085	1.052	-	1.069	1.041	1.098	1.084
		5'	-	1.032	1.048	-	-	1.000	1.075	1.060
		6'	-	-	1.039	-	-	-	-	-
		6	-	-	-	1.012	-	-	-	-
	풍상측	5	1.011	-	1.013	1.036	1.062	1.048	1.019	-
		4	1.046	1.043	1.025	1.049	1.074	1.069	1.044	1.041
		3	1.074	1.073	1.034	1.068	1.088	1.091	1.064	1.084
		2	1.101	1.095	1.050	1.091	1.104	1.109	1.087	1.107
		1	1.132	1.127	1.074	1.114	1.126	1.132	1.130	1.131
	정점	0	1.139	1.144	1.078	1.120	1.130	1.145	1.141	1.143
		1'	1.121	1.137	1.076	1.110	1.121	1.133	1.129	1.138
	풍하측	2'	1.089	1.107	1.067	1.041	1.105	1.081	1.110	1.107
		3'	1.066	1.081	1.059	-	1.089	1.053	1.095	1.083
		4'	1.034	1.054	1.052	-	1.058	1.030	1.077	1.063
		5'	-	1.020	1.048	-	-	1.000	1.059	1.046
		6'	-	-	1.039	-	-	-	-	-
		6	-	-	-	1.007	-	-	-	-
	풍상측	5	1.000	-	1.011	1.023	1.033	1.005	1.006	-
		4	1.000	1.000	1.021	1.031	1.040	1.008	1.015	1.010
		3	1.000	1.000	1.029	1.043	1.047	1.010	1.021	1.021
		2	1.000	1.000	1.043	1.058	1.056	1.012	1.029	1.026
		1	1.000	1.000	1.065	1.072	1.067	1.015	1.044	1.032
	정점	0	1.000	1.000	1.068	1.076	1.069	1.017	1.047	1.035
		1'	1.000	1.000	1.066	1.070	1.065	1.015	1.043	1.034
	풍하측	2'	1.000	1.000	1.059	1.026	1.056	1.009	1.037	1.026
		3'	1.000	1.000	1.052	-	1.047	1.006	1.032	1.020
		4'	1.000	1.000	1.046	-	1.031	1.003	1.026	1.016
		5'	-	1.000	1.042	-	-	1.000	1.020	1.011
		6'	-	-	1.034	-	-	-	-	-
		6	-	-	-	1.000	-	-	-	-
	풍상측	5	1.000	-	1.006	1.000	1.000	1.000	1.000	-
		4	1.000	1.000	1.012	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		3	1.000	1.000	1.017	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		2	1.000	1.000	1.025	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		1	1.000	1.000	1.037	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	정점	0	1.000	1.000	1.039	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		1'	1.000	1.000	1.038	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	풍하측	2'	1.000	1.000	1.033	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
		3'	1.000	1.000	1.029	-	1.000	1.000	1.000	1.000
		4'	1.000	1.000	1.026	-	1.000	1.000	1.000	1.000
		5'	-	1.000	1.024	-	-	1.000	1.000	1.000
		6'	-	-	1.019	-	-	-	-	-

B 지역

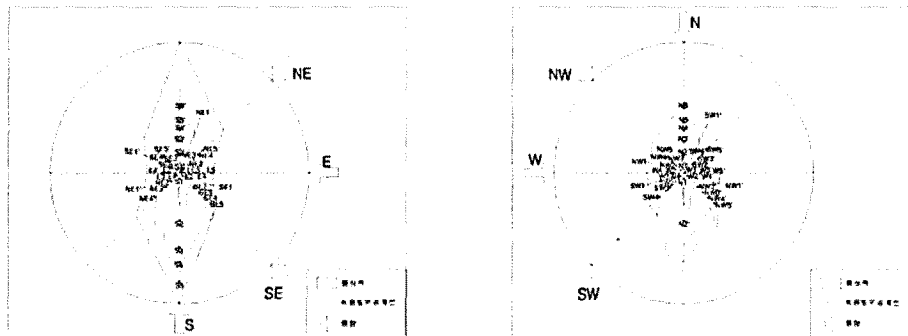


그림 12. B지역 풍속지형계수 지도

3.3 적용결과 분석

본 연구에서 제시한 풍속지형계수 산정절차에 따라 구조물 설계 시 반드시 고려해야하는 풍속지형계수를 위치별, 풍향별, 고도별로 구분하여 산정하였으며 산정된 데이터 분석결과를 다음과 같이 요약·정리하였다.

풍속지형계수 산정 결과, 두 지역의 산악지형에서 풍속지형계수는 바람의 방향에 상관없이 정점으로 올라갈수록 큰 값을 나타내고 있다. 이를 통하여 구조물이 산 정상에 위치할 경우 풍속지형계수를 고려하여 더 큰 풍하중을 적용해야 한다는 것을 알 수 있었다.

산악지형에서 산 중턱에 세워질 구조물을 설계할 경우 풍하중 산정을 위한 풍속지형계수는 풍향별 풍상측에 대한 값과 풍하측에 대한 값을 함께 고려하여 결정해야 한다. 예를 들어 A지역의 E2위치에서 높이 20m에 대한 풍하중을 고려할 경우, 표 4를 통해 동풍에 대한 풍상측에서 지형계수는 1.089, 서풍에 대한 풍하측에서 풍속지형계수는 1.103임을 확인할 수 있었다. 이는 서풍에 대한 풍속증가량이 동풍에 대한 풍속증가량 보다 약 1.4%더 크다는 것을 의미하고 풍하중은 풍속의 제곱에 비례하므로 동일한 기본 풍속의 경우 서풍일 때 약 2.8% 더 큰 풍하중을 고려해야한다는 것을 알 수 있었다. 또한, 풍속에 대한 지형의 영향을 고려하지 않았을 경우 보다 약 10%이상 더 큰 풍속을 고려해야 하는 것을 나타내며 이는 21%이상 더 큰 풍하중을 고려해야 한다는 것을 의미한다.

산 정점에 구조물을 설계할 경우에는 모든 풍향에 대하여 풍속지형계수를 고려할 필요가 있다. 표 4에서 A지역 정점에서 각 풍향에 따른 높이 20m의 풍속지형계수를 비교하면 서풍, 북풍일 때 풍속지형계수가 최대값 1.270을 나타내고, 동풍일 때 최소값 1.119를 나타낸다. 이는 산 정점에서는 서풍과 북풍일 때 동풍보다 약 15%이상 더 빠른 풍속이 작용한다는 것을 의미하며 서풍과 북풍에 대한 풍하중이 동풍보다 약 32% 더 크게 작용한다는 것을 나타낸다.

풍속지형계수는 임의 높이(z)에 따라 그 값이 달라지므로 산 정점의 경우 풍하중을 산정할 때 다양한 풍향에 대한 높이에 따른 풍속지형계수의 값을 파악할 필요가 있다. 그림 13에서 보듯이 풍향별 높이에 따라 풍속지형계수가 증가하다가 어떠한 높이 이상에서는 다시 감소하여 1.0에 수렴하는 것을 볼 수 있다. 이것은 그림 2에서 보듯이 수평적용범위뿐만 아니라 상부수직경계면이 존재하므로 그 이상의 높이에서는 모두 풍속지형계수 값이 1.0으로 주어진다. 이를 통하여 구조물 높이에 따라 적용되는 풍속지형계수의 값을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 풍하중 산정 시 보다 정확한 지리정보를 반영하기 위하여 수치지도와 BIM프로그램을 이용한 풍속지형계수 산정 방법을 제시하였다.

풍속지형계수 산정 시 BIM프로그램을 이용한 3차원 지형 모델링을 통하여 지형의 영향을 보다 합

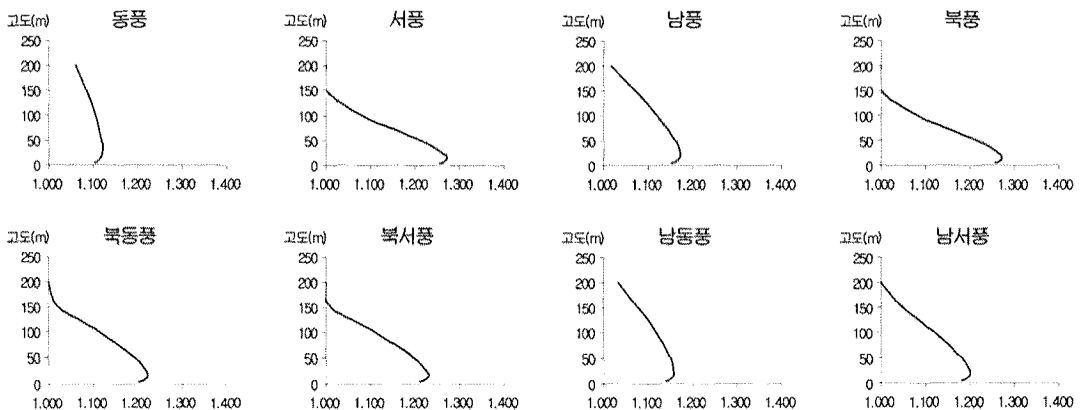


그림 13. A지역 정점에서의 고도별 풍속지형계수

리적으로 반영할 수 있었다. 풍하중을 고려한 구조물 설계 시 위치별, 풍향별 및 고도별로 산정한 풍속지형계수를 이용함으로써 설계의 합리성과 경제성을 더 높일 수 있을 것이다.

향후 풍속지형계수 값을 수치지도에 입력하여 데이터 지도를 생성함으로써 풍하중 산정 시 GIS의 활용을 위한 속성데이터를 구축하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Miller, C.A., Davenport, A.G., 1998, "Guidelines for the calculation of wind speed-ups in complex terrain", J. Wind Eng. & Indust. Aerodyn., Vol.74-76, pp.189-197.
- [2] Ishihara, T., Hibi, K., 1999, "A Wind Tunnel study of Turbulent Flow over a Three-dimensional Steep Hill", Journal of Wind Engineering, Vol. 83, pp.95-107.
- [3] 김무진, 이석중, 하영철, 2000, "3차원 산지형의 풍속분포특성에 관한 풍동실험연구", 대한건축학회 논문집, 제16권 제7호, pp.25-32.
- [4] 대한건축학회, 2005, "건축구조설계기준".
- [5] 대한건축학회, 2009, "건축구조기준".
- [6] 조강표, 홍성일, 2006, "지형에 따른 풍속할증계수에 관한 세계 주요 풍하중 기준의 재고", 대한건축학회논문집-구조계, 제22권 제1호, pp.27-34.
- [7] 조강표, 정승환, 2010, "주변 구조물이 산악지형의 풍속 증가에 미치는 영향", 대한건축학회논문집-구조계, 제26권 제1호, pp.55-62.
- [8] 대한건축학회, 2001, "풍하중 해설 및 설계".
- [9] 우재운, 구지희, 홍창희, 김태훈, 2001, "수치표고 모형(DEM)구축을 위한 지형별 보간 방법 및 격자크기에 관한 연구", 한국공간정보시스템학회 논문지, 제3권 제2호, pp.5-19.
- [10] 김형수, 김상엽, 이양구, 서성보, 박기석, 류근호, 2009, "UFID를 이용한 객체기반 수치지도 공간 데이터 모델", 한국공간정보시스템학회 논문지, 제11권 제1호, pp.71-78.



성 민 호

2009년 계명대학교 건축공학과 졸업 (공학사)
2010년~현재 경북대학교 공간정보학과 (석사과정)

관심분야는 방재GIS, 공간정보 관리시스템



박 경 식

2005년 경북대학교 토목공학과 졸업 (공학사)
2007년 경북대학교 건축토목공학부 졸업 (공학석사)
2009년~현재 경북대학교 건축토목공학부 (박사과정)

관심분야는 방재GIS, 공간정보 관리시스템



최 세 휴

1990년 경북대학교 토목공학과 졸업 (공학사)
1995년 경북대학교 토목공학과 졸업 (공학석사)
2000년 경북대학교 토목공학과 졸업 (공학박사)

2004년~현재 경북대학교 건축토목공학부 부교수
관심분야는 방재GIS, 공간정보 관리시스템