

GIS를 이용한 지형에 의한 풍속할증계수 산정 방법

최세휴^{1*} · 서은수²

Estimating Method of Topographic Factor of Design Wind Speed Using GIS

Se-Hyu CHOI^{1*} · Eun-Su SEO²

요 약

국토의 70%이상이 산지로 구성되어 있는 한국은 도시내부에 크고 작은 산, 언덕이 위치하고 있다. 따라서 건축구조기준에서는 건물의 풍하중 설계 시 지형의 영향에 따른 풍속의 증가를 고려하도록 하고 있지만 지형에 의한 풍속할증계수 산정 시 건물 주변에 두 개 이상의 산지가 위치하거나 지표면의 정의와 높이가 명확하지 않을 경우 설계자의 주관에 의해 지형에 의한 풍속할증계수를 산정함으로써 비합리적인 내풍설계가 이루어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고 보다 합리적인 지형에 의한 풍속할증계수를 산정하기 위하여 ArcGIS를 이용하여 지형에 의한 풍속할증계수를 산정하는 방법을 제시하고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 비교적 높은 위치정확도를 가진 1:5,000 수치지형도를 이용하여 지형에 의한 풍속할증계수 산정 시 적용범위를 명확하게 정의함으로써 지표면과 정점을 명료하게 산정하여 보다 합리적으로 지형에 의한 풍속할증계수를 산정하였다.

주요어 : 풍하중, 설계풍속, 풍속할증계수, GIS

ABSTRACT

With more than 70% of the country consisting of mountains, Korea has large and small mountains, and hills located in the inner cities. Therefore, Korea's architectural structure laws stipulate that an increase in wind speed due to the influence of terrain should be considered in the design of wind loads of buildings. But if more than two mountains are located around the building or if the boundaries of the land surface are not clear when calculating topographic factors of wind speed, the designer has subjectively selected the coverage of the topographic factors of wind speed or the

2013년 7월 20일 접수 Received on July 20, 2013 / 2013년 9월 13일 수정 Revised on September 13, 2013 / 2013년 9월 27일 심사완료 Accepted on September 27, 2013

1 경북대학교 건축토목공학부 School of Architecture and Civil Engineering, Kyungpook National University

2 경북대학교 공간정보학과 Department of Spatial Information, Kyungpook National University

* Corresponding Author E-mail : shchoi@knu.ac.kr

surface. This may lead to unscientific design of wind loads. This study attempts to analyze topographic factors of wind speed by using a 1:5000 topographic map with relatively high location accuracy and thereby to reflect changes due to the topographic characteristics and influence at the point where the building is located. By also selecting terrain surfaces and vertexes through Arc GIS and presenting a scientific approach to determine the range of topographic factors of wind speed, this study is expected to make a contribution for more rational and cost-effective wind-resistant design of buildings.

KEYWORDS : Wind Load, Wind Velocity, Topographic Factors, GIS

서 론

국토의 70% 이상이 산지로 구성되어 있는 한국은 도시의 팽창으로 인해 산지에 건축물들이 들어서고 있을 뿐만 아니라, 분지에 도시가 형성된 경우가 많아 도시내부에 크고 작은 산, 언덕이 위치하고 있다. 산의 능선이나 정상, 언덕, 경사지 등에서는 국지적인 지형의 영향으로 풍속이 증가하며, 산 정상에서는 풍속의 증가율이 2배, 경사면의 경우에는 정상에서 풍속의 증가율이 1.8배 정도 증가한다(Mason and Sykes, 1979; Bradley, 1990; Kim *et al.*, 2000; Kim and Ha, 2000; Lee *et al.*, 2000; AIK, 2001). 특히 최근 이상기후에 의해 자주 발생하는 강풍 또는 태풍이 지형효과로 인해 풍속할증을 받아, 산악지형에 있는 송전철탑과 같은 시설물들에 예상치 못한 풍하중을 가함으로써 피해를 주는 일이 잦아지고 있다(Cho *et al.*, 2006).

따라서 건축구조기준(AIK, 2009)에서는 건물의 풍하중 설계 시 지형의 영향에 따른 풍속의 증가를 고려하도록 하고 있지만, 지형에 의한 풍속할증계수 산정 시 건물 주변에 두 개 이상의 산지가 위치하거나 지표면의 경계가 명확하지 않을 경우, 설계자가 주관적으로 지형에 의한 풍속할증계수를 산정함으로써 비합리적인 풍하중 설계가 이루어지고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 Cho *et al.*(2007)은 독립된 3차원 산악지형의 풍속할

증을 풍동실험을 통해 연구함으로써 산악지형의 풍속할증계수 일반화를 건축물의 내풍설계에 반영하고자 하였다. 풍동실험은 지형에 의한 풍속할증계수와 같이 지형이 고려되는 계수를 정확히 산정하여 내풍설계를 하기에 적합하지만, 시행하는데 비용과 시간이 많이 들어, 건물이나 기타 구조물의 내풍설계 시 매번 시행하기는 어렵다는 문제점이 있다. 한국은 대부분의 지역에 수치지형도가 구축되어 있으며, 수치지형도의 표고점과 등고선의 높이정보를 이용하여 어느 지역에서나 수치표고모델을 구축할 수 있는 여건이 마련되어 있다. 또한 가격이 저렴할 뿐만 아니라 정확도 역시 비교적 높아 다양한 분야에서 활용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 GIS를 이용하여 지형에 의한 풍속할증계수를 산정하는 방법을 제안하고자 한다. 이를 위해 비교적 높은 위치정확도를 가진 1:5,000 수치지형도를 이용하여 지형에 의한 풍속할증계수 산정 시 적용범위를 명확하게 정의함으로써 지표면과 정점을 명료하게 산정하는 방법을 제시하였다.

지형에 의한 풍속할증계수

지형에 의한 풍속할증계수란 산, 언덕 또는 경사지 등 지형의 영향을 받은 풍속과 평탄지에서 풍속의 비율로서 산의 능선이나 정상, 언덕 등에서는 국지적인 지형의 영향으로 인하여 풍속이 증가하는 것을 고려하기 위한 계수이다. 건축구조기준(AIK, 2009)에 따르면 산, 언덕

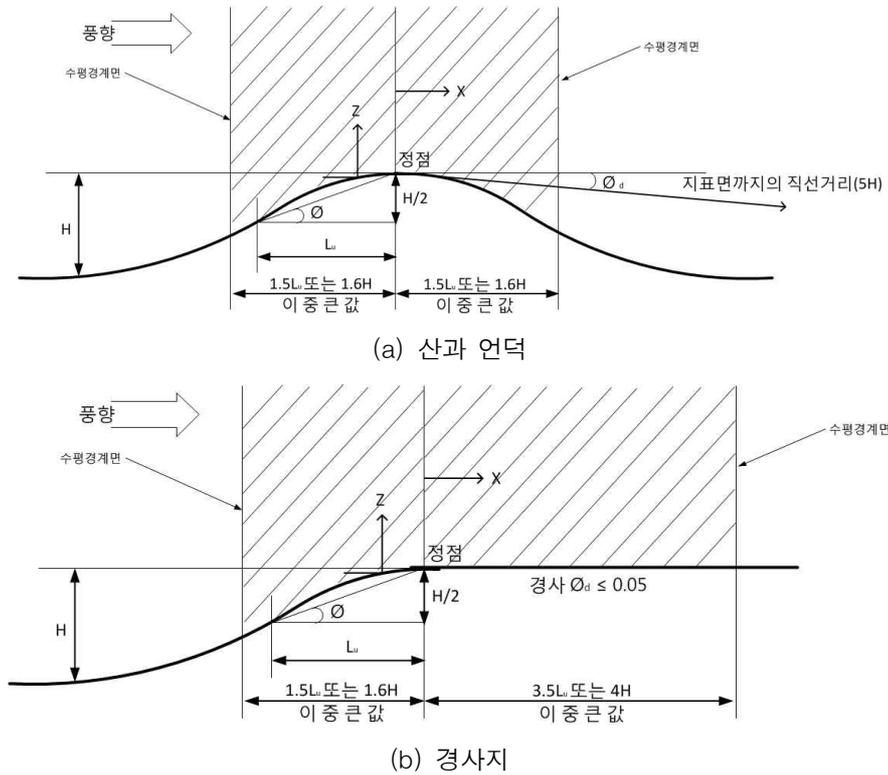


FIGURE 1. Topographic factor(AIK, 2009)

및 경사지의 영향을 받지 않는 평탄한 지역에 대한 풍속할증계수 K_{zt} 는 1.0이며, 그림 1과 같이 산, 언덕 및 경사지 정상 부근 등 풍속할증이 필요한 부분에 대한 풍속할증계수 K_{zt} 는 식 (1)과 같이 산정한다.

$$K_{zt} = 1 + \frac{k_t s \phi'}{(1 + 3.7L_z)} \quad (1)$$

- K_z : 형상계수
- s : 위치계수
- ϕ' : 풍상측 경사 또는 0.3 중 작은 값
- L_z : 높이 z 에서의 난류강도

형상계수 K_z 는 식 (2)와 같이 산정한다.

$$k_t = 1.4 \text{ ; 경사지} \quad (2)$$

$$k_t = 1.4 + 3.6(\phi_d - 0.05) \leq 3.2 \text{ ; 언덕, 산}$$

ϕ_d : 언덕, 산, 경사지의 정점으로부터 풍하측 빗변으로 $5H$ 되는 거리까지의 평균 경사

위치계수 s 는 식 (3)과 같이 산정한다.

$$s = \left(1 - \frac{|x|}{1.5L_u^*}\right) \left(1 - \frac{z}{L_u}\right) \text{ ; } \phi \leq 0.3 \quad (3)$$

$$s = \left(1 - \frac{|x|}{1.5L_u^*}\right) \left(1 - \frac{0.6z}{H}\right) \text{ ; } \phi > 0.3$$

- x : 정점으로부터의 수평거리
- z : 국지 지표면으로부터의 임의 높이
- H : 언덕, 산, 경사지의 정점높이
- L_u : 언덕, 산, 경사지의 정점 중앙으로부터

아래로 $H/2$ 인 지점에서 풍상측 경사지 지점까지의 수평거리

L^* 는 풍상측인 경우 식 (4)와 같이, 풍하측인 경우에는 식 (5)와 같이 산정한다.

$$L^* = L_u ; \phi \leq 0.3 \quad (4)$$

$$L^* = 1.7H ; \phi > 0.3$$

$$L^* = L_u \text{와 } 1.7H \text{ 중 큰 값 ; 언덕, 산} \quad (5)$$

$$L^* = 2L_u \text{와 } 3.33H \text{ 중 큰 값 ; 경사지}$$

높이 z 에서의 난류강도 I_z 는 식 6과 같이 산정한다.

$$I_z = 0.1 \left(\frac{z}{Z_g} \right) \quad (6)$$

Z_g : 기준경도풍 높이

z : 지표면으로부터의 임의 높이

그러나 실제 지형은 그림 1과 같이 지평면 위에 단순히 산이나 언덕, 경사지가 존재하는 것이 아니라, 여러 개의 언덕과 산지, 경사지 등이 조합되어 있기 때문에 정점높이 H 를 명확하게 산정 하지 못하고, 설계자의 주관에 따라 정점높이 H 를 산정함으로써 설계의 타당성과 합리성에 문제가 대두되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 GIS를 이용하여 정점높이 H 를 산정함으로써 보다 합리적인 지형에 의한 풍속할증계수를 산정하고자 한다.

GIS를 이용한 지형에 의한 풍속할증계수 산정

1. 연구방법 및 연구대상지

본 연구에서는 1:5,000 수치지형도의 등고선 및 표고점의 높이데이터를 이용하여 그림 2와 같이 지형에 의한 풍속할증계수를 산정하였다.

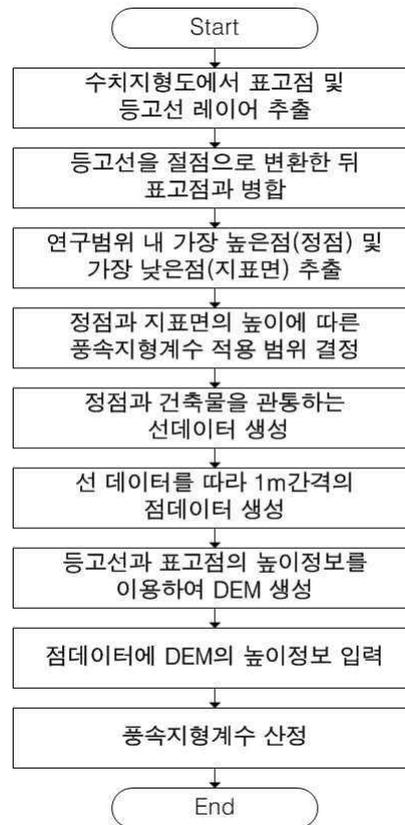


FIGURE 2. Calculation process of topographic factor

본 연구의 연구 대상지역은 그림 3과 같이 대구광역시 북구 침산동에 위치한 침산일대로 선정하였으며, 풍하증을 산정하고자 하는 대상 건물의 높이를 30m로 가정하였다. 지형에 의한 풍속할증계수 초기 적용범위를 지표면조도의 대상 범위와 동일하게 가정하여 건물로부터 1.2km 반경으로 선정하였다. 침산동은 북쪽에는 금오강, 동쪽에는 신천이 흐르고 있을 뿐만 아니라 도심 안에 침산, 연암공원 등의 산지가 위치함으로써, 도시에 다양한 고도의 지형이 존재하고 있다. 이는 건물 주변에 여러 개의 산지가 위치하는 경우의 풍속할증계수 적용 범위와 지표면을 결정하는 방법을 적용하기에 적합한 조건임을 알 수 있다.



FIGURE 3. Satellite photos of the study area

2. 지형에 의한 풍속할증계수 적용범위 결정

지형에 의한 풍속할증계수란 산, 언덕 또는 경사지 등 지형의 영향을 받은 풍속과 평탄지에서 풍속의 비율로써, 산, 언덕, 경사지의 정상에서는 국지적인 지형의 영향으로 인하여 평탄지에 비교했을 때 풍속이 1.5~2.0배 정도 증가하게 된다. 즉 일반적으로 지표면과 산 정상의 표고차가 클 때 풍속이 증가하게 되므로, 지형에 의한 풍속할증계수를 산정함에 있어서 지표면을 결정하는 것은 매우 중요하다. 그러나 실제 지형에 의한 풍속할증계수 산정 시 사용되는 지표면의 정의와 지표면의 높이에 대한 기준이 명확하지 않아, 지표면을 설계자의 주관적인 판단에 의해 비합리적으로 결정됨으로써, 지형에 의한 풍속할증계수가 설계자마다 다르게 산정되고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 지형에 의한 풍속할증계수 산정 시 정점과 지표면을 적용범위 내에서 가장 높은 표고점을 정점으로, 가장 낮은 표고점을 지표면으로 설정하여 이를 기준으로 지형에 의한 풍속할증계수를 산정하였다. 이때, 등고선에 ArcGIS 프로그램의 Feature vertices to point 툴을 적용하여 등고선을 표

고점화 하였으며, 이를 기존의 표고점과 병합하였다.

또한, 본 연구에서는 지형에 의한 풍속할증계수의 적용범위를 명확하게 규정하기 위해 초기의 적용범위를 지표면조도와 같은 범위인 건물의 기준높이 H에 40을 곱한 값과 3km 중 작은 값으로 가정하여 건물 높이가 30m라고 하면 건물로부터 1.2km 반경이 초기 적용범위로 설정하였다.

그림 4와 같이 건물로부터 1.2km반경 이내를 초기 적용범위로 선정 한 뒤 범위 내 표고점 및 등고선을 추출하여, 그림 5와 같이 등고선을 점 데이터로 변환한 뒤 표고점과 병합하여 가장 높은 표고점을 정점으로, 가장 낮은 지점을 지표면으로 설정하였다. 초기 적용범위 내에서 가장 높은 표고점 즉 정점의 높이는 134.46m, 가장 낮은 표고점 즉 지표면의 높이는 20m로 나타났다.

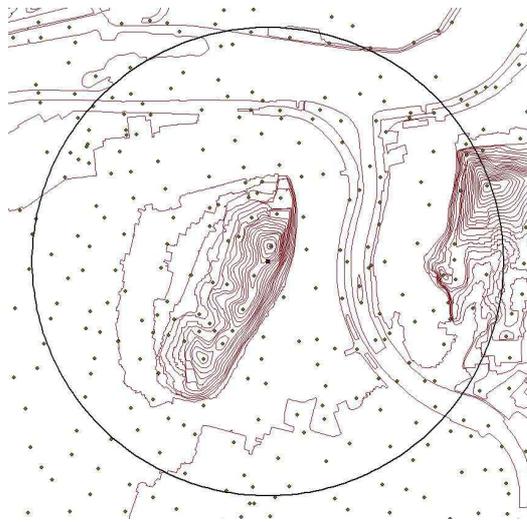


FIGURE 4. Contour lines and elevation points within initial range

지형에 의한 풍속할증계수 1차 적용범위를 초기 적용범위 내 1차 정점과 지표면 두 점의 고도차에 1.6을 곱한 값으로 설정하였으며, 1차 적용 범위 안에 초기 적용범위 내 1차정점이

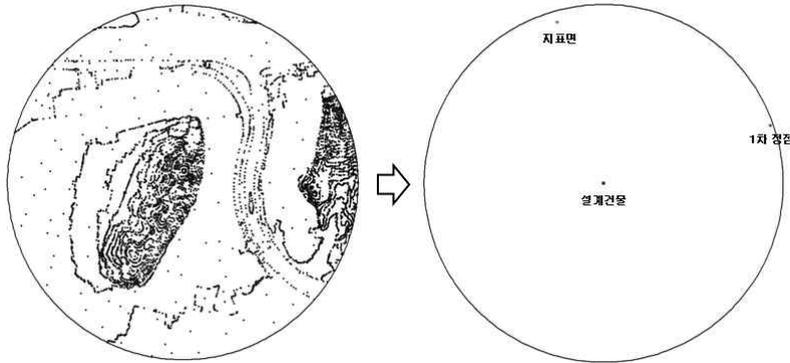
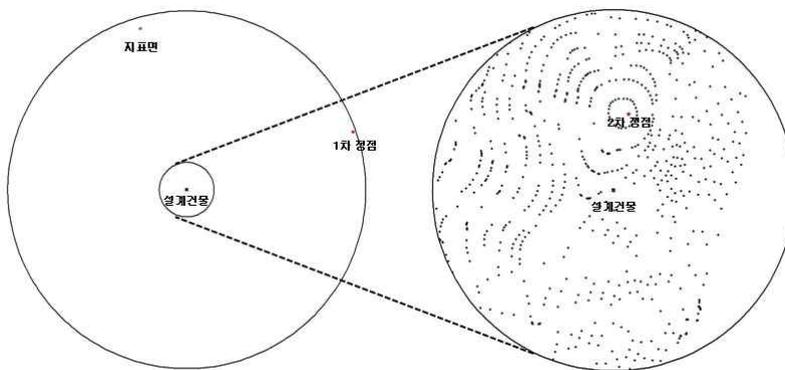


FIGURE 5. First top within initial range

FIGURE 6. Second top within radii of $1.6H$

포함되어 있으면 이를 기준으로 풍속할증계수를 산정하게 된다. 1차 적용 범위 안에 1차 정점이 포함되어 있지 않으면 지형에 의한 풍속할증계수의 범위를 재설정 하기위해 1차 적용 범위 내에서 가장 높은 표고점인 새로운 2차 정점을 찾고, 이를 바탕으로 새로운 2차 적용범위인 $1.6H$ 를 구한 다음 2차 적용범위 내에 1차 적용범위의 2차정점이 포함되어 있는지 여부를 조사함으로써 지형에 의한 풍속할증계수의 적용범위를 선정한다. 본 연구 대상지역에서의 초기 적용범위 내 정점과 지표면의 고도차는 114.46m 이고, 1차 적용범위인 $1.6H$ 는 183.136m 이므로, 반경 183.136m 이내에 초기 적용범위 내 1차정점이 포함되어 있지 않아 새로운 2차 정점을 찾아야 한다. 1차 적용범위

내 즉 반경 183.136m 이내에서 가장 높은 표고점 즉 새로운 2차 정점의 높이는 123.5m 로 지표면으로부터 2차 정점까지의 고도차 H 는 103.5m 로 나타났으며, 그림 6에서 보는 바와 같이 2차 적용범위인 $1.6H$ 인 165.6m 반경 안에 1차 적용범위 내 2차 정점이 포함되어 있어 건물로부터 반경 165.5m 를 지형에 의한 풍속할증계수의 적용범위로 선정하였다.

3. 정점과 건물을 지나는 직선상의 절점 및 DEM 생성

지형에 의한 풍속할증계수의 적용범위와 정점이 결정되면, 그림 7과 같이 건물과 2차정점을 지나는 직선을 생성하고 직선상 1m 간격으로 절점을 생성하였으며, 등고선과 표고점의 높

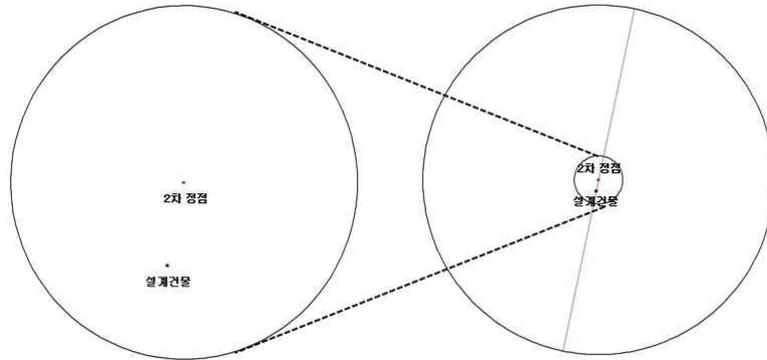


FIGURE 7. Line that passes through both the point of building and the top of hill

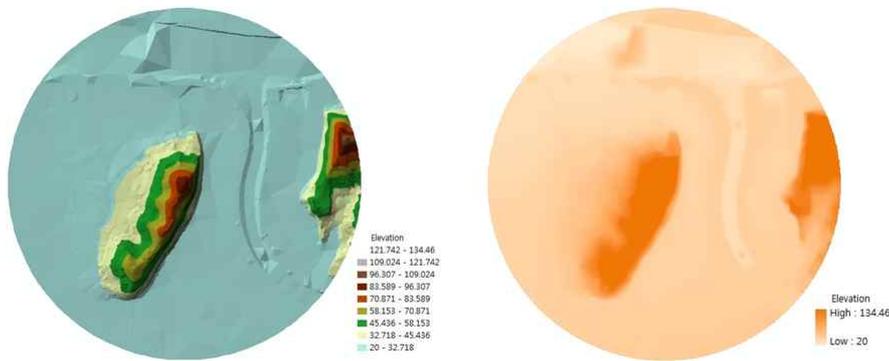


FIGURE 8. Process of DEM

이 속성정보를 기반으로 그림 8과 같이 TIN(Triangulated Irregular Networks)을 생성한 뒤 5m×5m 격자간격의 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하였다. 이를 바탕으로 직선 상 1m 간격으로 생성된 절점에 즉 반경 1.2km내 2,400개의 절점에 점 데이터가 위치하는 좌표에 따라 DEM의 높이 값을 점 데이터의 속성정보를 할당하였다.

DEM을 구축하기 위해서는 지상측량, 항공사진도화기, 위성영상, LiDAR를 이용해 대상지역의 모든 격자점을 직접 추출할 수도 있지만, 이러한 방법들은 시간과 경비가 많이 소요된다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 수치지형도의 등고선과 표고점 레이어의 높이정보에 TIN 보간법을 적용한 뒤 DEM을 제작하였다. TIN

보간법은 불규칙하게 분포된 위치에서 높이 데이터를 추출하여 이들 위치를 삼각형의 형태로 연결하여 전체 지형을 불규칙한 삼각형의 망으로 표현하는 방식으로, Kriging등의 다른 보간법들과 비교했을 때, 보간을 수행하는 중 브레이크 라인, 하천에 의한 침식작용 등 지형을 보다 실제와 유사하게 표현하기 위한 다양한 기법을 제공하고 있다(Park *et al.*, 2011).

4. 지형에 의한 풍속할증계수 산정

풍속할증계수의 산정은 실제건물의 위치가 풍상측인지 풍하측인지에 따라 기준이 달라지게 된다. 2차정점과 설계건물을 관통하는 최대 풍속 풍향은 그림 9와 같으며, 풍향이 S방향일

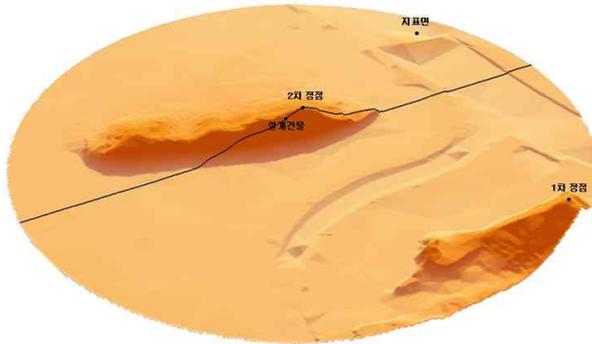


FIGURE 9. 3-dimensional terrain in the max. wind velocity

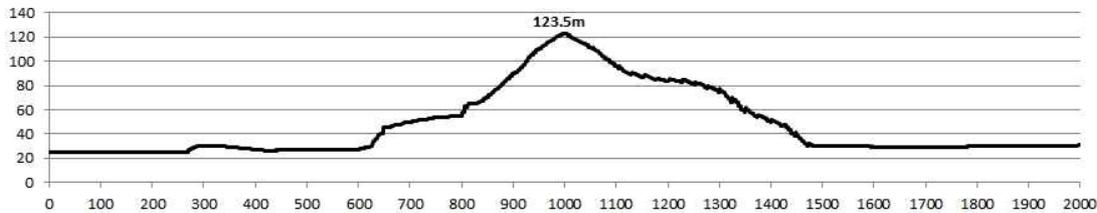


FIGURE 10. Cross section of the terrain in the direction of the wind

경우 건물이 풍상측에 위치하게 됨을 알 수 있다. 이에 따른 연구대상지의 지형단면은 그림 10과 같다. 본 연구에서는 건물과 정점을 지나가는 직선상 1m 간격의 절점의 높이정보를 기반으로 지형에 의한 풍속할증계수를 산정하였다. 지형에 의한 풍속할증계수 산정 결과 정점높이 $H=103.5\text{m}$, 정점 중앙으로부터 아래로 $H/2$ 인 지점에서 풍상측 경사지 지점까지의 수평거리 $L_u=314\text{m}$, 정점으로부터 건물까지의 수평거리 $x=79.374\text{m}$, 건물의 높이 $z=30\text{m}$, 풍상측 경사 $\phi=0.1648$ 이다. 설계건물이 풍상측에 위치하고 $\phi \leq 0.3$ 이므로 $\phi'=0.1648$, $L^*=314\text{m}$ 이며, 위치계수 $s=0.7521$ 이 된다. 지표면조도가 B일 경우 기준경도풍높이 $Z_y=400$ 풍속고도분포지수 $a=0.22$ 이므로, 건물 높이 30m에서의 난류강도 $I_z=0.2012$ 가 된다. 또한 정점으로부터 풍하측 빗변으로 $5H$ 되는 거리까지의 평균경사 $\phi_d=0.1908$ 이므로 형상계수 $k_t=1.9067$ 이 된다. 따라서, 풍

속할증계수 $K_{zt}=1.1355$ 임을 알 수 있다.

결론

본 논문에서는 GIS를 이용하여 지형에 의한 풍속할증계수를 산정하는 방법을 제안하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 지형에 의한 풍속할증계수를 산정할 때 두 개 이상의 산지가 위치하거나 지표면의 정의와 지표면의 높이가 명확하지 않을 경우 지형에 의한 풍속할증계수 산정 시 GIS를 이용하여 적용범위를 명확하게 정의하고 지표면과 정점을 명료하게 산정함으로써 기존에 지표면과 정점이 설계자의 주관에 따라 비합리적으로 정해지던 문제점을 해결할 수 있었다.

둘째, 풍속할증계수를 GIS를 이용하여 산정함으로써 기존의 모형제작 및 풍동실험등과 같은 실험적 모델과 비교했을 때, 평가에 필요한 시간과 비용을 단축할 수 있었다. 또한 수치지

형도가 존재하는 대다수 지역의 풍속할증계수를 보다 빠르고 정확하게 분석함으로써 합리적이고 경제적인 건물의 내풍설계에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업지원금을 받아 수행된 것임(NRF-2010-0025726) 또한, 이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음. 

참고문헌

- AIK(Architectural Institute of Korea). 2001. Wind Load Commentary and Design. Taerim, pp.119-121 (대한건축학회. 2001. 풍하중 해설 및 설계. 태림문화사. 119-121쪽).
- AIK(Architectural Institute of Korea). 2009. Korean Building Code-Structural. Kimoondang, pp.99-101 (대한건축학회. 2009. 건축구조기준. 기문당. 99-101쪽).
- Bradley, E.F. 1990. An experimental study of the profiles of wind speed, shearing stress and turbulence at the crest of the large hill. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 106(447):101-123.
- Cho, K.P., M.C. Cheong and G.S. Cho. 2007. Estimation of topographic effects over 3-Dimensional hills with different slopes through wind tunnel tests. Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea 20(3): 379-386 (조강표, 정명채, 조기성. 2007. 경사가 다른 3차원 산악지형에서의 풍동실험을 통한 풍속할증평가. 한국전산구조공학 회논문집 20(3):379-386).
- Cho, K.P. and S.I. Hong. 2006. Review on topography factors over hills and escarpments in major codes and standards. Journal of Architectural Institute of Korea 22(1):27-34 (조강표, 홍성일. 2006. 지형에 따른 풍속할증계수에 관한 세계 주요 풍하중 기준의 재고. 대한건축학회 논문집 22(1):27-34).
- Kim, D.W. and Y.C. Ha. 2000. A wind tunnel test study on the characteristics of wind speed distributions over various escarpment shapes. Journal of the Architectural Institute of Korea (structure) 16(12):49-55 (김동우, 하영철. 2000. 다양한 경사지형의 풍속분포특성에 관한 풍동실험연구. 대한건축학회논문집(구조계) 16(12):49-55).
- Kim, M.J., S.J. Lee and Y.C. Ha. 2000. A wind tunnel test study on the characteristics of wind speed distribution over various three dimensional hills. Journal of the Architectural Institute of Korea (structure) 16(7):25-32 (김무진, 이석중, 하영철. 2000. 3차원 산지형의 풍속분포특성에 관한 풍동실험연구. 대한건축학회논문집(구조계) 16(7):25-32).
- Lee, S.W., D.W. Kim, S.J. Lee and Y.C. Ha. 2000. A wind tunnel test study on the characteristics of wind speed distribution over two dimensional hills. Journal of the Wind Engineering Institute of Korea 4(1):67-73 (이성우, 김동우, 이석중, 하영철. 2000. 2차원 산지형의 풍속분포특성에 관한 실험적 연구. 한국풍공학회지 4(1):67-73).
- Mason, P.J. and R.L. Sykes. 1979. Flow over and isolated hill of moderate slope. Quarterly Journal of the Royal

- Meteorological Society 105(444):383-395.
- Park, J.C., M.K. Kim, W.S. Jung, G.C. Han and Y.K. Ryu. 2011. The utilization of DEM made by digital map in height evaluation of buildings in a flying safety area. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 14(3):78-95 (박종철, 김만규, 정웅선, 한규철, 류영기. 2011. 비행안전구역 건물 높이 평가에서 수치지형도로 제작한 DEM의 활용성. 한국지리정보학회지 14(3):78-95).
- KAGIS**