공간정보기반 풍하중 지형할증계수 산정 알고리즘 개발

Estimation Algorithm for Topographic Factor of Wind Load Based on Spatial Information

이응준* · 서은수** · 김태환*** · 최세휴****

Lee, Eung Joon*, Seo, Eun Su**, Kim, Tae Hwan***, and Choi, Se Hyu****

Abstract

This study proposes an algorithm to calculate the wind speed factor to determine the impact of wind on topography. To reflect the relevant topographic factors, such as peak and index point location information, distance, and range, a three-part estimation algorithm was developed to search for a peak, calibrate the determined peak, and calculate the topographic factor within the research area. Terrain analysis was performed after applying the algorithm to terrains with varying characteristics. The new algorithm applies spatial information along with the architectural information and makes it possible to estimate the topographic factors more quantitatively and objectively than current methods can, and it is also able to include geographic features. This method is expected to eliminate inaccuracies that occur when building designers calculate topographic factors subjectively, and contributes to the wind resistance design of buildings in a more logical manner.

Key words : Wind Load, Wind Velocity, Topographic Factors, GIS

요 지

본 연구에서는 내풍설계 시 중요한 인자인 지형할증계수를 분석하기 위해 지형할증계수 산정 알고리즘을 개발하였다. 지형할증계수 산정 알고리즘은 정점 및 지표점의 위치정보, 거리, 범위 등과 같은 다양한 요인들을 반영하기 위해, 연구지역내에서 정점을 탐색하는 알고리즘, 결정된 정점을 보정하는 알고리즘, 지형할증계수를 산정하는 알고리즘의 3단계로 개발하였으며, 알고리즘을 다양한 특성의 지형에 적용시킨 후 지형별 지형할증계수 산정 결과를 분석하였다. 공간정보를 기반으로 지형할증계수를 산정함으로써 기존의 다소 정성적이고 주관적인 방법에서 벗어나 실제 지형·지물의 특성을 반영하여 보다 정량적이고, 객관적인 지형할증계수의 산정이 가능하였으며 본 연구를 통해 설계자의 주관에 따라 지형할증계수가 산정되는 기존의 문제점을 보완하여 합리적인 내풍설계에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : 풍하중, 설계풍속, 지형할증계수, 지리정보시스템

1. 서 론

최근 이상기후로 인해 국지적 강풍 및 태풍에 의한 피해규모가 증가하고 있다. 대한민국은 반도로서 해양과 대륙에

의해 발생하는 기상의 영향을 모두 받음으로써 연중 태풍과 같은 위험기상 현상이 자주 발생한다. 특히 지구온난화 등 기후변화 및 이상기후 현상으로 국지적 강풍이 증가하고 태풍의 강도가 강해지므로 바람에 의한 피해규모가 더욱

*정회원, (주)지오씨엔아이 공간정보기술연구소 선임연구원(E-mail: dldmdwns10@naver.com)

Member, Senior Researcher, Institute of Spatial Information Technology Research, GEO C&I Co.

**경북대학교 건설환경에너지공학부 박사후연구원

Post-Doctor, School of Architecture, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University

***경북대학교 공간정보학과 석사과정

M.S., Candidate, Department of Spatial Information, Kyungpook National University

****교신저자, 정회원, 경북대학교 건설환경에너지공학부 교수(Tel: +82-53-950-7582, Fax: +82-53-950-6564, E-mail: shchoi@knu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, School of Architecture, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University

증가하고 있는 추세이다. 소방방재청의 재해연보에 따르면 대한민국은 연평균 3회 이상 태풍이 내습하고 있으며, 건축물 붕괴 및 외장재 파손 등 국민의 안전 및 주거환경에 심각한 피해를 발생시킴으로써, 건축물 내풍설계의 중요성이 더욱 부각되고 있다(Kim and Choi, 2002; Kim and Ha, 2004).

예상치 못한 강한 바람에 의한 피해를 최소화하고 건축물의 안정성 증대 및 입주자들의 불안함을 해소하기 위해 건축구조기준(KBC 2016)에서는 풍하중에 대한 기준을 마련하고 설계풍속을 산정하여 구조물의 내풍설계를 하도록 권고하고 있다. 그러나 건축구조기준에서 제시된 산정과정에 따라 설계풍속 인자들을 산정하기 위해서는 고려해야 할 변수가 많은 뿐만 아니라, 현지측량으로 인한 비용적, 시간적 어려움이 있어, 실무에서는 복잡한 경우에 대부분 적용하지 않기 때문에, 내풍설계의 합리성 및 건축물의 안정성에 큰 문제가 되고 있다(Sung and Choi, 2011; Seo and Choi, 2017).

최근 건축물의 최적화 설계 및 풍하중의 산정을 위하여 다양한 풍동실험 및 설계기법 연구를 진행함으로써 많은 성과를 이뤄내었지만, 자연현상에 의해 발생하는 설계풍속 인자들의 산정은 다소 정성적이고 주관적으로 이루어져 설계의 합리성에 문제가 발생하고 있다(Kim and Ha, 2000; Cho and Hong, 2006; Jung et al., 2014). 이러한 문제점들을 해결하기 위해 본 연구에서는 KBC 2016의 기준을 반영하여, 공간정보를 활용한 지형할증계수를 산정 알고리즘을 개발하고자 한다.

2. 지형할증계수 산정 알고리즘

2.1 지형할증계수

지형할증계수란 산, 언덕 또는 경사지 등 지형의 영향을 받은 풍속과 평탄지에서 풍속의 비율이다. 일반적으로 산의 능선이나 산의 정상, 언덕, 경사지, 절벽 등에서는 국지적 지형의 영향으로 풍속이 증가하게 되며 산, 언덕 및 경사지의 정상에서는 평탄지와 비교했을 때 풍속이 최고 1.5~2.0배 정도 증가하는 것으로 알려져 있다(AIK, 2016). 대한민국은 국토의 70% 이상이 산지로 형성되어 있어, 지형에 의한 풍속의 할증이 발생하는 지역이 많으므로 건축물의 설계 시 지형할증계수를 적합하게 산정하는 것은 매우 중요하다. 그러나 실제 지형을 살펴보면 건축구조기준(KBC 2016)에서 제시하는 지형할증계수 산정 예시와 같이 산, 언덕, 경사지가 단독으로 존재하면서 큰 변화가 없는 단순한 지표면을 가지는 지역은 매우 드물다.

이러한 이유로 인해 실제 건축물 설계 시 지형할증계수를 산정하는데 다음과 같은 문제점이 발생하게 된다. 첫째로, 현실에 존재하는 지형들은 분포가 불규칙하여 명확하게 나타나는 지표면이 없으며, 경사가 일정하지 않고 급변하는 부분이 많아 지형의 평균 경사각이나 형상을 산정하기가 어렵다. 지형할증계수 산정 시 정점과 지표면을 어떤 방식으

로 결정하는지에 따라 값이 크게 변할 수 있지만, 이에 대한 뚜렷한 지침이 없어 설계자의 주관적인 판단에 의존하는 실정이다.

둘째로, 주풍향을 예측하여 풍상측 방향을 결정하는 것이 어렵다는 문제점이 있다. 보편적으로 기상대에서 취급하는 풍향은 일정한 방향성을 띄고 있지만 이는 기상 관측소 주변에 국한된 것이다. 또한 지표면 근처에서 부는 바람은 대한민국과 같이 산지가 많은 복잡한 지형의 경우 지형의 영향으로 인해 일정한 방향을 띄지 않으므로, 풍상측을 정확하게 예측하는 것은 현재의 기술력으로는 한계가 있다. 무엇보다도 건축물의 안전성에 위협을 주는 바람은 평균풍속이 아닌 태풍이나 강풍과 같은 순간최대풍속이므로 설계 시 임의의 지점에 대한 풍상측을 결정하는 것은 어려운 부분이 많다.

셋째로, 건축구조기준의 지형할증계수 산정 식은 언덕, 산, 경사지가 단독으로 있는 경우를 가정한 것이다. 그러나 설계하고자 하는 건축물이 복합적인 지형의 영향을 받는 곳에 위치한다면 설계건축물 주변 지형을 모델화시켜 대지형 모형에 대한 풍동실험을 실시한 후 그 지역의 설계풍속을 결정하는 것이 바람직하다(Lee et al., 2000; Cho et al., 2007; Kim et al., 2007). 하지만 실제 건축물의 설계 시 초고층 건축물 또는 중요도가 높은 건축물을 제외한 중·소 규모 건축물의 경우 시간적, 경제적인 이유로 인해 매번 풍동실험을 실행하는 것은 어려운 현실이다.

이러한 문제점들로 인해 실제 건축설계 심의자료를 분석해보면 많은 건축물에서 지형할증계수를 지형에 의한 할증이 없다고 판단하는 기본값인 1.0으로 적용한 것을 확인할 수 있다. 이는 건축물 설계 시 지형에 의한 풍속할증이 전혀 반영되지 않고 있음을 의미한다(Sung and Choi, 2011; Choi and Seo, 2013). 대한민국은 국토의 70% 이상이 산지 지형이지만 2,000 m 이상의 높은 산지는 국토의 약 0.4%에 불과하고 1,000 m 이상의 높은 산지는 약 10%로 북부의 함경, 낭림산맥 일대에 대부분 분포하고 있다. 그 외의 산지들은 평균 482 m로 오랜 침식으로 형성된 구릉성 산지이며 500 m에서 1,000 m의 산지는 약 20%, 200 m에서 500 m의 저산성 산지는 약 40%에 이른다. 특히, 기복이 낮은 준평원 위에 조그마하게 솟아있는 언덕 형태의 잔구성 산지가 높은 비율을 차지하고 있다. 그러나 지형에 의한 풍속의 할증률은 상공보다 지표면에서 가까울수록 증가되며, 지표면이 평탄해질수록 증가되는 경향을 나타낸다. 산의 높이가 비교적 낮더라도 지형할증계수가 높게 나타나므로, 건축물의 설계 시 반드시 지형할증계수를 고려할 필요가 있다. 실제 설계 시 지형할증계수는 일반적으로 주변에 산지가 있는 경우에만 적용하는 것으로 여기고 설계건축물이 도시지역에 위치하는 경우 지형할증계수를 전혀 검토조차 하지 않는 경우가 많다. 하지만 산지가 없는 도시지역이라도 지형의 높이차가 큰 장소가 존재하며, 이러한 지형의 차이로 인하여 건축물마다 높이의 차이가 발생하므로 지형할증계수를 반드시 산정

하여야 한다.

KBC 2016에서는 산, 언덕, 경사지의 영향을 받지 않는 평탄한 지역에 대한 지형할증계수는 1.0으로 산정하고, 산, 언덕, 경사지 정상 부근 등 풍속할증이 필요한 부분의 적용범위는 Fig. 1과 같이, 지형할증계수의 경우 Eq. (1)과 같이 산정한다.

Fig. 1. Topographic Factor (AIK, 2016)

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

Eq. (1)에서 K_z 는 형상계수, s 는 위치계수, ϕ' 는 풍상측 경사, I_z 는 높이 z 에서의 난류강도이다.

2.2 지형할증계수 산정 알고리즘

본 연구에서는 정량적이고 합리적인 지형할증계수 산정 알고리즘을 개발하였다. 지형할증계수를 산정하기 위해서는 정점 및 지표점, 설계풍속산정지점과 정점과의 거리, 지형할증계수 적용범위 등과 같은 다양한 요인들을 반영해야 한다. 이를 위해 지형할증계수 산정 알고리즘은 Fig. 2와 같이 3단계로 이루어져 있는데, 첫 번째는 연구지역 내에서 정점을 탐색하는 알고리즘, 두 번째는 결정한 정점을 보정하는 알고리즘, 세 번째는 지형할증계수를 산정하는 알고리즘이다. 각각의 알고리즘은 정해진 조건을 달성하기 전까지 반복되며, 조건을 만족하면 다음단계로 넘어가도록 되어있다.

Fig. 2. Calculation Algorithm of Topographic Factor

본 연구에서는 연구지역의 높이 데이터를 취득하기 위해 국토지리정보원에서 제공하는 수치지형도 2.0을 활용하였다. 수치지형도 2.0은 갱신주기가 짧아 정확도가 높을 뿐만 아니라, 최근 국가공간정보포털에서 무료로 제공되고 있어 광범위한 지역의 데이터를 분석할 때 활용하기 좋다. 수치지형도 2.0 버전의 경우 NGI 형태로 되어 있어 공간정보 분석 프로그램에서 바로 활용하기 어렵다. 따라서 Shp파일 형태로 포맷을 변환한 후 Fig. 3과 같이 연구지역의 등고선 및 표고점을 추출하였다. 본 연구에서는 다양한 형태의 지형표본을 확보하기 위해 산지, 해안, 분지 지형을 연구지역으로 각각 선정 후 지형할증계수 산정 알고리즘을 적용하였다.

Fig. 3. Contour Lines and Elevation Points Within Initial Range

지형할증계수를 산정하기 위해서는 가장 먼저 설계풍속 산정지점에 영향을 주는 정점을 찾아야 하는데, 이때 정점은 정점과 지표점의 고도 차이인 H 에서 1.6을 곱한 반경 안에 포함되어야 한다. Fig. 4에서와 같이 초기 범위인 반경 2 km 범위에서 가장 높은 표고점인 정점은 377.84 m이지만 정점에서 가장 낮은 표고점인 지표점 17.05 m를 뺀 H 는 360.79 m이다. 이때 H 에 1.6을 곱한 값인 577.26 m의 범위 안에 정점이 포함되지 않았으므로, 새로운 범위 내에서 정점을 재탐색하게 된다. 실제 지형할증계수 산정 기준에 부합하는 정점을 획득하기 위해 설계풍속 산정지점을 중심으로 반경 1.6H 이내 표고점이 없거나 정점과 새롭게 획득하는 최고점의 해발고도 및 좌표가 일치할 때까지 알고리즘을 반복하여 수행한다. 알고리즘의 조건을 만족할 때까지 반복한 결과는 Fig. 5와 같으며, 획득한 데이터는 Table 1과 같다.

해당 연구지역의 경우 알고리즘을 5회 반복 후 정점과 최고점의 좌표 및 해발고도가 일치하였다.

Fig. 4. Algorithm to Search for Peak ($i=1$)

Fig. 5. Repeat Algorithm to Search for Peak

Table 1. Result of Search for Peak

i	Radius (m)	Peak (m)	H (m)
1	2,000	377.84	360.79
2	577.26	210	192.95
3	308.72	165	147.95
4	236.72	135	117.95
5	188.72	120	102.95

첫 번째 알고리즘에서 획득한 정점이 실제 최고점이 아닌 산이나 언덕의 능선에 위치할 수 있다. 따라서, 첫 번째 알고리즘에서 획득한 정점이 실제 최고점인지 확인하고, 실제 최고점이 아닌 경우 보정을 해야 한다. 본 연구에서는 정점이 실제 최고점인지 확인하고 보정하는 두 번째 알고리즘을 적용하여 새로운 정점을 획득하였다. 첫 번째 알고리즘에서 획득한 정점을 중심으로 Fig. 6과 같이 반경 100 m 이내의 최고점(좌표, 해발고도)을 획득하고 정점과 최고점의 해발고도 및 좌표가 일치하는지 확인하였다.

Fig. 6. Algorithm to Calibrate Determined Peak (j=1)

이때, 정점과 최고점이 일치하면 두 번째 알고리즘이 종료되며, 일치하지 않으면 Fig. 7과 같이 알고리즘을 반복한다.

Fig. 7. Repeat Algorithm to Calibrate Determined Peak

두 번째 알고리즘을 통해 획득한 데이터는 Table 2와 같다. 두 번째 알고리즘을 5회 반복 후 정점과 최고점의 좌표 및 해발고도가 일치하여 최종 정점으로 선정하였다.

Table 2. Result of Calibrate Determined Peak

j	Peak (m)	Highest Point (m)	Distance (m)
1	120	140	250.87
2	140	152.9	300.12
3	152.9	165	379.89
4	165	175.41	464.27
5	175.41	175.41	464.27

최종 정점을 기준으로 지형할증계수를 산정하는 세 번째 알고리즘을 적용하였다. 세 번째 알고리즘에서는 연속되는 높이 데이터의 취득을 위해 Fig. 8과 같이 설계풍속 산정 지점과 정점을 관통하는 10 m 간격의 점데이터를 생성하였다.

Fig. 8. Generate Point Data at Intervals of 10 m

Fig. 9. Process of DEM

다. 연구범위의 등고데이터를 활용하여 Fig. 9와 같이 TIN 및 DEM 데이터를 생성한 후 점데이터의 좌표값을 기준으로 DEM 데이터의 높이 정보를 입력받아 데이터베이스를 구축하였다(Park et al., 2011; Lee and Lee, 2016).

세 번째 알고리즘을 통해 구축한 데이터를 활용하여 Fig. 10과 같이 지형단면도를 생성하였다. 최종 정점을 기준으로 1.5 km 이내에서 최저점을 획득한 후 최저점의 해발고도를 지표면의 해발고도로 치환한 후, 정점 높이 H 는 정점의 해발고도에서 지표면의 해발고도를 빼서 산정하였다, 이때 정점과 $\frac{H}{2}$ 되는 지점의 수평거리인 L_u , 설계풍속 산정지점과 정점의 수평거리인 x 를 기준으로, x 가 $1.6H$ 와 $1.5L_u$ 보다 클 경우 지형할증계수는 지형에 의한 할증이 없음을 의미하는 1.0으로 결정하고, 작을 경우 KBC 2016의 기준에 따라 지형할증계수를 산정한다.

3. 지형할증계수 산정 알고리즘 적용

본 연구에서는 산지, 해안, 분지 지형에서 지형할증계수 산정 알고리즘을 적용하였다. 각각의 연구지역에서 정점을 획득한 후, 각각의 인자들을 KBC 2016의 기준에 따라 산정하였으며 Eq. (1)에 따라 지형할증 계수를 산정하였다.

3.1 산지 지형할증계수 산정

본 연구에서는 Fig. 11과 같이 강원도 강릉 지역을 산지지형으로 선정하여 지형할증계수를 분석하였다. 강릉은 태백산맥이 관통하며, 높은 산이 다수 위치하고 있을 뿐만 아니라, 아파트나 높은 상가건물이 다수 분포하는 등, 도심지와 산지

의 특성을 모두 가지고 있어 연구지역으로 선정하였다. 지형할증계수산정 알고리즘을 적용하여 정점을 탐색한 결과 정점과 설계풍속 산정지점을 관통하는 지형단면도는 Fig. 12와 같다. 정점의 높이는 215 m, 지표점의 높이는 35 m이므로 H 는 180 m, 정점 $\frac{H}{2}$ 되는 지점의 수평거리인 L_u 는 390 m로 산정 할 수 있다. 이때 $1.5L_u$ 가 정점으로부터 설계풍속 산정지점까지의 수평거리인 290 m 보다 크므로 지형할증계수를 Table 3과 같이 산정하였다.

Fig. 11. Mountain Research Area (Gangneung)

Fig. 10. Cross Section of the Terrain in the Direction of the Wind

Fig. 12. Topographical Profile of Mountain Research Area (Gangneung)

3.2 해안 지형할증계수 산정

본 연구에서는 Fig. 13과 같이 인천 지역을 해안지형으로 선정하여 지형할증계수를 분석하였다. 인천은 대표적인 해안도시로 도심의 넓은 면적이 바다와 맞닿아 있을 뿐만 아니라, 언덕이나 구릉지와 같이 낮은 고도의 지형이 다수 분포하는 등 다양한 지형 형상을 가지고 있어 연구지역으로 선정하였다.

Fig. 13. Shore Research Area (Incheon)

지형할증계수산정 알고리즘을 적용하여 정점을 탐색한 결과 정점과 설계풍속 산정지점을 관통하는 지형단면도는 Fig. 14와 같다. 정점의 높이는 71.14 m, 지표점의 높이는 해안지형으로 인해 0 m이므로 H 는 71.14 m, 정점 $\frac{H}{2}$ 되는 지점의 수평거리인 L_u 는 110 m로 산정 할 수 있다. 이때 $1.5L_u$ 가 정점으로 부터 설계풍속 산정지점까지의 수평 거리인 64.49 m 보다 크므로 지형할증계수를 Table 3과 같이 산정하였다

3.3 분지 지형할증계수 산정

본 연구에서는 Fig. 15와 같이 전라북도 장수 지역을 분지

지형으로 선정하여 지형할증계수를 분석하였다. 장수는 소백산맥이 지나고 있어 산지의 비율이 높은 도시이지만, 도심 주변은 넓은 평탄지로 이루어진 한반도 대표 산간분지이다. 높은 산지, 평야, 하천 등의 다양한 지형 형상을 가지고 있어 연구지역으로 선정하였다.

Fig. 15. Basin Research Area (Jangsu)

지형할증계수산정 알고리즘을 적용하여 정점을 탐색한 결과 정점과 설계풍속 산정지점을 관통하는 지형단면도는 Fig. 16과 같다. 정점의 높이는 490 m, 지표점의 높이는 390 m이므로 H 는 20 m, 정점 $\frac{H}{2}$ 되는 지점의 수평거리인 L_u 는 560 m로 산정 할 수 있다. 이때 $1.5L_u$ 가 정점으로 부터 설계풍속 산정지점까지의 수평거리인 61.19 m 보다 크므로 지형할증계수를 Table 3과 같이 산정하였다.

연구대상지역의 지형할증계수 산정결과를 확인하면 세 지역 모두 지형에 의한 풍속할증이 발생하는 것으로 분석되었다. 특히 해안지형의 경우 산정부와 지표면의 높이차가 크지 않음에도 불구하고 지형에 의한 할증이 가장 높게 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 이는 반드시 높은 산지가

Fig. 14. Topographical Profile of Shore Research Area (Incheon)

Fig. 16. Topographical Profile of Basin Research Area (Jangsus)

Table 3. Results of Topographic Factor Calculation

Topography	H	L_u	x	ϕ	s	k_t	K_{zt}
Mountain	180m	390m	240.39m	0.2308	0.5589	1.5424	1.109
Shore	71.14m	110m	64.49m	0.3234	0.5358	1.3440	1.118
Basin	20m	560m	61.19m	0.0179	0.8940	1.2608	1.011

아니더라도 설계하고자 하는 건축물이 주변의 언덕과 같은 정점에 인접할 경우 위치계수가 커지고, 지형할증계수가 1보다 높은 값을 가질 수 있음을 의미한다. 따라서 설계풍속 산정지점 주변에 높은 산지가 없더라도 반드시 지형할증계수에 대한 검토가 이루어져야 할 필요가 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 공간정보기반 풍하중 지형할증계수 산정 알고리즘을 개발하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 본 연구에서 개발한 지형할증계수 산정 알고리즘을 통하여 정량적으로 지형할증계수를 산정할 수 있었으며, 기존 설계자의 주관적 판단에 의해 지형할증계수를 산정해야 하는 문제점을 해소할 수 있었다.

둘째, 본 연구에서 개발한 지형할증계수 산정 알고리즘을 사용할 경우 지형할증계수 산정에 소요되는 시간과 비용을 단축할 수 있었으며, 경제적인 내풍설계에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 공간정보데이터를 활용하여 지형할증계수를 산정한 결과, 많은 지역에서 지형에 의한 풍속의 할증이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 특히 해안지역의 경우 H 가 100 m 미만임에도 큰 지형할증계수 값이 나타났다. 이는 높은 산지가 아니더라도 설계하고자 하는 건축물이 언덕과 같이 상대적으로 높은 지점에 인접할 경우, 풍속의 할증이 발생할 수 있음을 의미하므로 반드시 지형할증계수를 산정해야 함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 재난예측 및 저감 연구개발사업의

지원을 받아 수행된 연구임(MOIS-재난-2015-05). 본 연구는 국토교통부 국토교통기술지역특성화사업의 연구비지원(19RDRP-B076268-06)에 의해 수행되었습니다.

References

- Architectural Institute of Korea (AIK). (2016). *Korean building code (KBC)-structural*.
- Cho, K.P., and Hong, S.I. (2006). Review on topography factors over hills and escarpments in major codes and standards. *Journal of the Architectural Institute of Korea: Structure & Construction*, Vol. 22, No. 1, pp. 27-34.
- Cho, K.P., Cheong, M.C., and Cho, G.S. (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*, Vol. 20, No. 3, pp. 379-386.
- Choi, S.H., and Seo, E.S. (2013). Estimating method of topographic factor of design wind speed using GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 16, No. 3, pp. 126-135.
- Jung, S.H., Kim, B.J., and Ha, Y.C. (2014). Revision of basic wind speed map of KBC-2009. *Journal of the Architectural Institute of Korea: Structure & Construction*, Vol. 30, No. 5, pp. 37-47.
- Kim, D.W., and Ha, Y.C. (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 &*

- Construction*, Vol. 16, No. 12, pp. 49-55.
- Kim, D.W., and Ha, Y.C. (2004). Estimation of wind speeds for return period in the major cities reflecting the recent meteorological data. *Journal of the Wind Engineering Institute of Korea*, Vol. 8, No. 2, pp. 147-154.
- Kim, H.G., and Choi, J.O. (2002). Calculation of wind profile exponent in Pohang area. *Journal of the Wind Engineering Institute of Korea*, Vol. 6, No. 1, pp. 47-52.
- Kim, M.J., Lee, S.J., and Ha, Y.C. (2007). 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 & Construction*, Vol. 16, No. 7, pp. 25-32.
- Lee, K.R., and Lee, W.H. (2016). Orthophoto and DEM generation using low specification UAV images from different altitudes. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 34, No. 5, pp. 535-544.
- Lee, S.W., Kim, D.W., Lee, S.J., and Ha, Y.C. (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*, Vol. 4, No.1, pp. 67-73.
- Park, J.C., Kim, M.K., Jung, W.S., Han, G.C., and Ryu, Y.K. (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*, Vol. 14, No. 3, pp. 78-95.
- Seo, E.S., and Choi, S.H. (2017). Development of estimation method for velocity pressure exposure coefficient of buildings based on spatial information. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 20, No. 2, pp. 32-46.
- Sung, M.H., and Choi, S.H. (2011). Estimation of velocity pressure exposure coefficient using GIS. *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 19, No. 1, pp. 13-19.

Received	October 15, 2019
Revised	October 15, 2019
Accepted	October 29, 2019