공간정보를 활용한 건축물의 풍하중 산정 방법

Estimation Method for Wind Load of Building Using Spatial Information

이상승* · 김태환** · 서은수*** · 최세휴****

Lee, Sang Seung*, Kim, Tae Hwan**, Seo, Eun Su***, and Choi, Se Hyu****

Abstract

Recently, the extent of damage due to localized heavy winds and typhoons has increased because of climate change. Being a peninsula, South Korea is affected by weather patterns arising from the mainland and the ocean as well as dangerous weather phenomena such as hurricanes that occur every year, posing a great danger to the safety of buildings. This study attempts to solve this problem by developing a wind load measurement reflecting method, KBC 2016 criteria. This study employs spatial information to calculate the wind load. By using a reflecting design, the factors affecting the wind load, such as the height of the building, are used to obtain a wind load value. The wind load value applied to a building was calculated, compared, and analyzed with actual application cases. Thus, this study is expected to solve challenges arising when designers calculate the wind load in a subjective and non-scientific manner and will enable the design of more rational and cost-effective wind-resistant buildings.

Key words : Wind Load, Wind Velocity, Velocity Pressure Exposure Coefficient, Topographic Factors, GIS

요 지

최근 이상기후로 인해 국지적 강풍 및 태풍에 의한 피해규모가 증가하고 있다. 특히 대한민국은 반도로서 해양과 대륙에 의해 발생하는 기상 영향 모두 받아, 연중 태풍과 같은 위험기상현상이 자주 발생하여 건축물의 안전에 큰 위협을 주고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 KBC 2016의 기준을 반영하여 공간정보 기반 건축물의 설계풍하중 산정방법을 개발하였다. 건축물의 높이 별 설계풍하중 인자들을 반영함으로써 건축물에 적용되는 설계풍하중의 값을 산정하였으며, 이를 실제 적용사례와 비교분석 하였다. 이는 설계자의 주관에 따라 풍하중이 산정되는 기존의 문제점을 해결하고 보다 합리적인 내풍설계에 기여할 것으로 기대된다.

핵심용어 : 설계풍하중, 설계풍속, 풍속고도분포계수, 지형할증계수, 지리정보시스템

1. 서 론

건축물의 내풍설계 시 필요한 설계풍하중을 도출하기 위해서는 기본풍속, 풍속고도분포계수 지형할증계수 등의 인자들을 산정해야 한다. 이때, 풍속고도분포계수와 지형할증계수는 지표면조도 및 지형의 형상에 의하여 크게 영향을 받으며

므로 이를 정확하게 산정하기 위해서는 풍동실험이나 현지측량과 같은 방법을 시행하여야 하지만, 특별풍하중을 고려하지 않는 일반적인 중·소규모 건축물에서는 시간과 비용상의 문제로 매번 시행하기에는 어려운 실정이다(Kim and Ha, 2000; Cho and Hong, 2006; Jung et al., 2014). 건축구조기준에서 제시한 설계풍하중 산정 절차에 의하여 필요한 인자

*정회원, (주)한보엔지니어링 구조부 과장(E-mail: dia666@hanmail.net)
Member, Section Chief, Structural Department, Hanbo Engineering Co.

**경북대학교 공간정보학과 석사과정

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

***경북대학교 건설환경에너지공학부 박사후연구원

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

를 산정하고 그에 따라 내풍설계를 하고 있으나 국지성이 강한 바람의 특성상 정확한 설계를 하기에는 어려운 점이 있다. 세계 각국에서는 각 나라별로 지역적 특성을 고려한 저마다의 설계기준에 따라 풍하중 인자를 산출하여 설계풍하중을 결정하고 있으나 국내외의 설계기준 모두 설계풍하중 산정 시 정성적인 구분기준으로 인하여 정량적, 객관적인 설계풍하중 인자를 산출하기 어려운 문제점이 있다(Sung and Choi, 2011; Choi and Seo, 2013; Lee et al., 2015).

이러한 문제들을 해결하기 위해 풍하중에 관한 많은 연구들이 이루어지고 있는데, 주로 확률통계적 기법을 이용한 기본풍속 산정, 풍동실험이나 전산해석을 통한 동적거동을 분석하는 분야 위주로 연구되어지고 있다(Kim et al., 2007; Choi et al., 2018). 본 연구에서는 공간정보 데이터를 바탕으로 GIS를 이용하여 설계풍하중을 산정함으로써 설계풍하중 산정을 보다 합리적으로 산정하고자 한다.

2. 설계풍하중 산정 기준

건축물에는 시간적으로 변하는 풍하중이 작용한다. 설계용 풍하중이란 건축물의 최대변형과 동일한 변형을 건축물에 발생시키도록 하는 등가정적인 하중을 말한다. 설계용 풍하중 산정의 흐름은 Fig. 1과 같으며, 설계용 수평풍하중 W_f 는 Eq. (1)과 같이 산정한다.

Fig. 1. Wind Load (AIK, 2016)

Fig. 1에서 I_w 는 높이 z 에서의 난류강도, ρ 는 공기밀도이다.

$$W_f = p_f A \quad (1)$$

Eq. (1)에서 p_f 는 설계용 설계풍압, A 는 유효수압면적이다.

설계풍하중 산정 시 설계풍속을 결정할 때에는 건설지점에 세워질 건축물의 풍하중을 평가할 때 풍속에 영향을 미치는 자연적 또는 인위적 요소들이 설계풍속 내에 고려되도록 해야 한다. 자연적 요소로는 건설지점의 지리적 위치에 따라 정하는 기본풍속 V_0 , 건설지점 주변의 지표면 상황에 따라 정하는 고도분포계수 K_{zt} , 건설지점 주변의 지형상황에 따라 정하는 지형할증계수 K_{zt} 가 있으며, 인위적 요소로서 건축물의 설계용 재현기간에 따라 정하는 중요도계수 I_w 가 있다. 설계용 풍하중을 산정할 때 사용되는 풍속은 기상대에서 취급하는 10분간 평균풍속을 기본으로 하고 있다. 설계풍속은 Eq. (2)와 같이 산정한다.

$$V_z = V_0 \cdot K_{zt} \cdot K_{zt} \cdot I_w \quad (2)$$

Eq. (2)에서 V_0 는 기본풍속, K_{zt} 은 풍속고도분포계수, K_{zt} 는 지형할증계수 I_w 는 건축물의 중요도계수이다.

풍속고도분포계수와 지형할증계수를 산정함에 있어서 지표면의 거칠기를 구분하고 지형의 특성을 판단함에 있어서 설계자의 주관이 개입될 수 있는 여지가 많아 실제의 지형을 제대로 반영하지 못하는 비합리적인 설계를 유발할 수 있다(Seo and Choi, 2017). 이러한 문제점을 해결하기 위해 공간분석을 통해 풍속고도분포계수와 지형할증계수를 산정하여 설계풍하중에 반영하고자 한다.

3. 설계풍하중 산정 알고리즘 적용

3.1 연구지역 및 자원

본 연구에서는 Fig. 2와 같이 인천광역시 문학산 일대를 연구대상지역으로 선정하였다. 인천은 대표적인 항구도시로 대도시의 특성인 고층아파트나 상가건물들이 다수 위치하고 있으며, 바다근처에는 저층의 공장 및 창고 지대도 넓게 분포하는 등 다양한 지표면조도가 혼재하고 있다. 또한 도시내부에 문학산, 청량산 등의 지형이 있어, 저지대인 바다근처의 지형과 고저차가 크게 나타나 풍속고도분포계수 및 지형할증계수의 분석에 적합하므로 연구지역으로 선정하였다.

설계풍하중의 산정을 위한 설계건축물의 자원은 Fig. 3과 같이 X방향 20 m, Y방향 12 m Z방향 30 m, 층고 5 m의 지상 6층 밀폐형 강구조물로 된 사무소 건축물로 가정하였다. 수직하중은 슬래브, 보, 기둥으로 구성된 모멘트골조에

의하여 지지되며, 수평하중에 대해서는 건물의 층수가 높지 않으므로 별도의 수평지지시스템 없이 보통모멘트골조만으로 지지하도록 하였다.

Fig. 2. Satellite Image of the Study Area

Fig. 3. Resources for Design Buildings

3.2 풍속고도분포계수 산정

본 연구에서는 지표면조도를 구분할 때, 설계건축물 주변 건축물들의 높이정보와 건축물이 존재하지 않는 영역의 분포를 모두 고려하기 위해 공간보간 및 GIS를 활용하여 건축물의 지표면조도를 산정하였다(Lee et al., 2015).

수치지형도 2.0에는 건축물의 층수 및 위치정보가 포함되

어 있어, 수치지형도 2.0의 건축물 및 표고점 레이어의 데이터를 이용하여 지표면조도를 산정하였다. 수치지형도에서 연구범위내의 건축물 레이어를 추출한 뒤 절점을 생성하고 표고점의 높이정보와 함께 보간하여 건축물 DTM을 생성하였다. 생성한 건축물 DTM을 점데이터로 변환 한 뒤, 높이정보에 따라 지표면조도를 구분하였다. 풍속고도분포계수 산정을 위한 지표면조도의 분석범위는 건축물의 기준높이 H 에 40을 곱한 값과 3 km 중 작은 값으로 결정된다. 따라서 분석범위 내 건축물들의 높이를 기준으로 건축물 DTM의 생성이 이루어져야 한다. 설계건축물의 경우 높이가 30 m이므로 Fig. 4와 같이 반경 1.2 km 이내를 검토범위로 선정하였다.

Fig. 4. Building of Study Area

건축물의 DTM을 생성하기 위해 수치지도 건축물 레이어의 속성정보에 입력된 층수를 기준으로 해당 층수에 층고 3.0 m를 곱한 값을 건축물 높이로 산정하고, 이때 건축물의 높이만으로 건축물 DTM을 생성하게 되면 건축물이 존재하지 않는 영역을 반영할 수 없으므로 표고점 및 등고수치를 건축물 절점과 병합하였다. 1:5,000 축척의 수치지형도에서 표고점은 하천, 도로, 산지 등과 같이 건축물이 거의 존재하지 않는 영역에 다수 분포하고 있으며 지표면조도의 구분에 있어서 필요한 정보는 건축물의 높이 정보이므로 표고점이 가지는 높이정보에 0 m를 입력하여 건축물이 없음을 나타내었다. 입력한 건축물의 높이, 표고점, 등고수치 높이를 데이터를 Triangulated Irregular Networks (TIN) 보간법을 이용하여 3차원 지표면을 생성하였다. TIN 보간 후에는 격자간격의 래스터 모델을 기반으로 하는 건축물 DTM으로 변환하였다.

래스터 모델의 특성상 데이터의 편집이나 지표면조도의 분석을 진행함에 있어서 다소 비효율적인 과정을 거쳐야

하는 단점이 있어, 본 연구에서는 건축물 DTM을 Fig. 5와 같이 벡터 데이터 구조인 점 데이터로 재변환하였다. 이는 래스터 모델 하나의 Cell이 벡터 모델 하나의 Point 객체로 변환됨을 의미하며, 각각의 Point 객체는 좌표 위치의 높이 데이터를 속성정보로 가지게 된다.

Fig. 5. Surface Roughness Distribution

본 연구에서는 건축구조기준(KBC 2016)을 바탕으로 건축물의 높이에 따라 Table 1과 같이 지표면조도를 A, B, C, D로 구분하였으며, 각 풍향별로 지표면조도 분포비율을 분석하여 분포비율이 가장 많은 지표면조도를 해당 풍향에 대한 지표면조도로 결정하였다. 예를 들면, Table 1에서

SE방향의 지표면 조도는 지표면조도 C에 해당하는 높이(0.5 m ~ 3 m)에 해당하는 분포가 51.60%로 가장 많아 SE방향의 지표면 조도를 C로 결정하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 SE방향은 30 m이상의 아파트가 없고, 저층의 건축물들이 산재한 지역으로 보여짐을 알 수 있다.

Fig. 6. Surface Roughness Distribution for SE

3.3 지형할증계수 산정

본 연구에서는 지형에 의한 풍속의 할증을 정량적으로 분석하기 위해 연구지역의 표고점 및 등고선과 같이 지형의 높이 정보를 포함한 공간정보 데이터를 공간보간함으로써 지형할증계수를 산정하였다. Fig. 7과 같이 등고선을 점 데이터로 변환한 뒤 표고점과 병합하여 가장 높은 표고점을 정점으로, 가장 낮은 지점을 지표면으로 설정하였다.

Table 1. Estimation of Surface Roughness

categorize		A (grater than 30 m)	B (3 m ~ 30 m)	C (0.5 m ~ 3 m)	D (less than 0.5 m)	Result
E	count	68	7,658	11,031	3,862	C
	ratio (%)	0.3	33.86	48.77	17.07	
SE	count	0	6,766	11,650	4,204	C
	ratio (%)	0	29.91	51.50	18.59	
S	count	2,074	8,906	8,309	3,331	B
	ratio (%)	9.17	39.37	36.73	14.73	
SW	count	1,200	17,495	3,140	781	B
	ratio (%)	5.31	77.36	13.88	3.45	
W	count	0	9,585	9,443	3,596	B
	ratio (%)	0	42.37	41.74	15.89	
NW	count	905	15,507	4,526	1,678	B
	ratio (%)	4	68.57	20.01	7.42	
N	count	5,101	15,286	1,479	754	B
	ratio (%)	22.55	67.58	6.54	3.33	
NE	count	1,733	18,063	1,877	948	B
	ratio (%)	7.66	79.85	8.30	4.19

Fig. 7. Algorithm to Search for Peak

연구지역 내 초기 적용범위 내에서 가장 높은 표고점 즉 정점의 높이는 215 m, 가장 낮은 표고점 즉 지표면의 높이는 15 m로 나타났다. 정점은 정점과 지표점의 고도 차이인 H에서 1.6을 곱한 반경 안에 포함되어 있어야 하므로 만약 1.6H 범위 내에 정점이 포함되어 있지 않다면, 새로운 정점을 찾는 알고리즘을 반복 수행하도록 하였다. 새로운 정점이 1.6H 반경에 포함되어 있으면 해당 정점을 최종정점으로 결정한 후 정점과 설계건축물을 연결하는 선상에 5 m 단위의 점을 생성하여 점데이터에 각각의 좌표에 따른 높이정보를 입력하여 DEM을 생성하였다. 본 연구에서는 높이 정보를 입력 할 때 표고가 측정되지 않은 지형의 표고를 획득하기 위해 1:5,000 수치지형도의 등고선 및 표고점의 높이 정보를 보간하여 Fig. 8과 같이 DEM을 생성하였다. DEM데이터를 생성한 후 설계건축물과 정점을 관통하는 지형 단면도를 획득한 결과를 Fig. 9에 도시하였다. 정점과 H/2되는 지점의 수평거리인 L_w , 설계풍속 산정지점과 정점의 수평거리 x 를 기준으로 KBC 2016의 기준에 따라 지형할증계수를 산정하였다.

Fig. 8. Creation of DEM

3.4 설계풍속 및 설계풍하중 산정

설계풍속은 기본풍속에 자연적 풍속계수인 풍속고도분포계수, 지형할증계수와 인위적 풍속계수인 중요도 계수의 곱으로 산정된다. 본 연구에서는 설계예제 지역의 기본풍속을 인천지역 28 m/s, 중요도 계수를 1.0으로 하고 풍속고도분포계수와 지형할증계수는 본 연구에서 제안한 결과인 지표면조도 C와 지형할증계수 1.09를 사용하여 산정한 설계풍속을 Table 2에 나타내었으며, 현장에서 사용한 설계풍속과 비교하였다. 현장에서는 지표면조도를 B, 지형할증계수로 1을 사용하였다.

Table 2. Estimation of V_z by Building's Height

Floor	Height (m)	V_z (m/s) (Proposed)	V_z (m/s) (Field)
Roof	30	36.09	26.63
6	25	35.104	25.58
5	20	33.97	24.35
4	15	32.51	22.68
3	10	30.46	22.68
2	5	30.35	22.68

Fig. 9. Cross Section of the Terrain in the Direction of the Wind

설계풍속 산정 결과를 확인해보면 기존의 설계풍속과 비교했을 때 Roof 층 기준 약 136% 차이가 발생함으로 알 수 있었다.

설계풍하중은 설계풍압에 유효수압면적을 곱하여 산정하며, 설계풍압은 설계속도압, 가스트영향계수, 풍력계수 또는 외압계수를 곱하여 산정한다. 이때 설계속도압은 공기 밀도와 설계풍속의 제곱을 곱하여 산정하며 공기의 밀도는 상온 15℃, 표준대기압 1,013 hpa일 때의 값인 1.22 kg/m³를 사용하였다. 이를 기준으로 하여 전체 층에 대한 X 및 Y방향의 설계풍하중을 Tables 3과 4에 나타내었다. Tables 3과 4에서 C_{pe1} 은 풍상벽의 외압계수, C_{pe2} 는 풍하벽의 외압계수, q_z 는 높이 z 에서의 설계속도압이다.

설계풍하중 산정결과를 살펴보면 X방향 설계풍하중 합계는 1088.691 kN, Y방향 설계풍하중 합계는 657.426 kN으로 산정되었다. 현장에서 산정한 X방향 설계풍하중 합계는 583.196 kN, Y방향 설계풍하중 합계는 352.174 kN이므로 본 연구에서 제안한 설계풍하중과 약 186% 정도 차이가 남을 알 수 있었다. 이는 설계풍하중이 설계풍속에 제공에 비례하므로 설계풍속에서 136% 차이는 설계풍하중에서 약 186% 정도 차이가 남을 의미한다. 따라서, 설계풍속이 설계풍하중에 미치는 영향이 매우 큼을 알 수 있으며, 보다 정확한 설계풍속 산정을 위해 보다 합리적인 풍속고도분포계수와 지형할증계수의 산정이 필요함을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 공간정보를 활용한 건축물의 설계풍하중 산정 방법을 개발하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 본 연구에서 개발한 공간정보 기반 GIS를 활용한 풍속고도분포계수와 지형할증계수 산정 방법을 통하여 정량적이고 합리적인 설계풍하중을 산정할 수 있었으며, 기존 설계자의 주관적 판단에 의해 설계풍하중을 산정해야 하는 문제점을 해소할 수 있었다.
- (2) 본 연구에서 제안한 풍속고도분포계수 산정 방법을 사용할 경우 설계자의 지표면조도 판단에 합리적인 근거를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 본 연구를 통하여 보다 정확한 설계풍속 산정의 중요성을 알 수 있었으며, 향후 제안한 방법에 대한 보다 체계적인 검증과 합리적인 설계풍하중 산정을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

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.

Table 3. Estimation of W_f by Building's Height (X-direction)

Height (m)	A (m ²)	C_{pe1}	C_{pe2}	q_z (N/m ²)	q_H (N/m ²)	V_z (N/m ²)	G_f	p_f (N/m ²)	W_f (Proposed)	W_f (Field)
30	50	0.8	-0.5	814.188	814.188	36.093	2.09	2211.401	110.570	60.191
25	100	0.8	-0.5	770.201	814.188	35.104	2.09	2137.879	213.788	114.656
20	100	0.8	-0.5	721.046	814.188	33.966	2.09	2055.720	205.572	108.241
15	100	0.8	-0.5	660.696	814.188	32.513	2.09	1954.850	195.485	100.036
10	100	0.8	-0.5	579.928	814.188	30.461	2.09	1819.850	181.985	100.036
5	100	0.8	-0.5	575.777	814.188	30.352	2.09	1812.913	181.291	100.036
Sum									1088.691	583.196

Table 4. Estimation of W_f by Building's Height (Y-direction)

Height (m)	A (m ²)	C_{pe1}	C_{pe2}	q_z (N/m ²)	q_H (N/m ²)	V_z (N/m ²)	G_f	p_f (N/m ²)	W_f (Proposed)	W_f (Field)
30	30	0.8	-0.5	814.188	814.188	36.093	2.10	2225.658	66.770	36.348
25	60	0.8	-0.5	770.201	814.188	35.104	2.10	2151.662	129.100	69.237
20	60	0.8	-0.5	721.046	814.188	33.966	2.10	2068.973	124.138	65.363
15	60	0.8	-0.5	660.696	814.188	32.513	2.10	1967.453	118.047	60.409
10	60	0.8	-0.5	579.928	814.188	30.461	2.10	1831.583	109.895	60.409
5	60	0.8	-0.5	575.777	814.188	30.352	2.10	1824.601	109.476	60.409
Sum									657.426	352.174

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.
- Choi, J.H., Lee, O.J., Jang, S.H., Jo, D.J., and Kim, S.D. (2018). Effect of sea surface temperature on maximizing typhoon rainfall depth. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 6, pp. 443-452.
- 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, 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, S.Y., Jo, H.J., Lee, H.K., and Choi, S.H. (2015). Estimation of design wind speed for building using spatial information analysis. *Journal of Korea Spatial Information Society*, Vol. 23, No. 3, pp. 79-89.
- 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	November 14, 2019