



RESEARCH ARTICLE

지역별 건축물 높이 및 밀집도를 반영한 지표면 조도 구분 기준의 개선

이민형¹ · 서우석² · 박창영³ · 최창호^{4*}

¹(주)미래환경플랜건축사사무소 건축친환경기술연구소 선임연구원, ²광운대학교 대학원 건축공학과 석사과정, ³광운대학교 대학원 건축공학과 박사과정, ⁴광운대학교 건축공학과 교수

Improvement of Surface Roughness Classification Criteria Reflecting the Height and Density of Building by Region

Lee, Min-Hyung¹ · Seo, Woo-Seok² · Park, Chang-Young³ · Choi, Chang-Ho^{4*}

¹Junior Researcher, Institute of Green Building and New Technology, Mirae Environment Plan, Seoul, Korea
²M.S. Student, Department of Architectural Engineering, Graduate School, Kwangwoon University, Seoul, Korea
³Ph.D. Student, Department of Architectural Engineering, Graduate School, Kwangwoon University, Seoul, Korea
⁴Professor, Department of Architectural Engineering, Kwangwoon University, Seoul, Korea

*Corresponding author: Choi, Chang-Ho, Tel: +82-2-942-3924, E-mail: choi1967@kw.ac.kr

ABSTRACT

In this study, quantitative standards of surface roughness using building statistics were proposed to secure objectivity in the selection of surface roughness. By using building register, parameters related to the classification criteria for surface roughness were calculated. Based on this, the surface roughness standards for each grade were quantified and the surface roughness grades for each region in Korea were classified. To evaluate the accuracy of the proposed method, validation was conducted by comparing the vertical wind speed in the Changwon and Wonju. The wind speed measured by the wind profiler was compared with the wind speed calculated with proposed method. The average wind speed error for each altitude in the Changwon was derived as 0.24 m/s and the relative error was estimated at 5.0%. The average wind speed error for each altitude in the Wonju area was 0.32 m/s, and the relative error was estimated as 11.3%. Both regions recorded a significantly lower error than when different surface roughness grades were applied. Therefore, the proposed method accurately distinguished the surface roughness.

주요어 : 지표면 조도, 풍속고도분포지수, 건축물 높이, 건축물 밀집도, 연직 풍속

Keywords: Surface roughness, Velocity pressure exposure coefficient, Building height, Building density, Vertical wind speed

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2021 October, 15(5): 513-524
<https://doi.org/10.22696/jkiaeb.20210043>

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: September 10, 2021
Revised: October 27, 2021
Accepted: October 27, 2021

© 2021 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

건물은 내부와 외부 모두 바람에 의한 영향을 받으므로 풍환경은 건설 분야의 중요한 설계 요인 중 하나이다. 최근, 건물의 초고층화와 함께 이상기후 현상의 증가로 국지적 강풍과 태풍 등 바람에 의한 피해 규모가 더욱 증가하고 있다(Seol, 2010). 특히, 우리나라의 경우 중앙

진대 및 강풍대에 속해 바람의 영향이 크게 작용한다(Kim and Lee, 2010). 이로 인하여 건물의 구조적 안정성에 영향을 주는 풍하중의 중요성이 커지고 있다. 풍하중은 풍속에 지배적인 영향을 받는다(Lee et al., 2015). 따라서, 풍하중에 대한 정확한 평가를 위해 건물에 작용하는 풍속을 정확하게 산정하는 것이 중요하다.

건물에 작용하는 풍속은 다양한 요인에 의하여 영향을 받게 된다. 풍속은 지표면 조도에 의해 지표면 근처에서는 감소하고, 고도가 높아질수록 풍속이 증가한다. 여기서 지표면 조도는 지표면의 거칠기를 의미하며, 지표면에 위치한 수목이나 건축물 등에 의해 영향을 받는다. 높이에 따른 풍속의 변화는 풍속고도분포지수를 통해 결정되며, 장애물이 없는 지표면 상태일수록 감소한다(Liu, 1991). 우리나라의 경우, 건축구조기준 설계하중에서 정의한 지표면 조도 등급에 따라 풍속고도분포지수가 정해진다. 지표면 조도 구분은 주변 지역의 지표면 상태에 따라 A, B, C, D의 4 단계로 구분된다. 풍속고도분포지수는 지표면 조도 구분에 따라 A 단계에서는 0.33, B 단계에서는 0.22, C 단계에서는 0.15, 그리고 D 단계에서는 0.10으로 명시되어 있다. 다만, 현재의 조도 등급 구분 기준은 정량적인 수치로 제시되지 않아 구분이 명확하지 않은 한계가 있다. 이로 인하여 지표면 조도가 설계자의 주관적 판단에 따라 결정되고 있어 구조물의 안정성에 문제가 되고 있다(Seong and Choi, 2011). 2010년에서 2012년 사이의 대구, 경북 지역의 건축 설계 심의자료들 대부분이 지표면 조도 B를 일괄적으로 적용하고 있어 설계자 주관에 따라 지표면 조도를 적용하는 것으로 나타났다(Seo and Choi, 2017). 이러한 문제를 해결하기 위해 지표면 조도 구분에 대한 정량적인 기준 수립이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 기존의 지표면 조도 구분 기준을 명확하게 하기 위하여 지역별 건축물의 높이 및 밀집도를 반영하여 정량화된 지표면 조도 구분 기준을 새롭게 제안하였다. 정량화된 기준을 통해 지표면 조도 설정에 있어서 주관적 판단의 개입을 최소화하고 지표면 조도 구분에 대한 객관성을 확보하고자 하였다. 이를 위해 2장에서는 기존 지표면 조도 구분 관련 국내 기준과 함께 지표면 조도 관련 선행 연구들을 분석하였다. 3장에서는 정량화된 지표면 조도 구분 기준을 수립하기 위한 방법론과, 통계 분석 결과 그리고 이를 바탕으로 개선한 지표면 조도 구분을 설명하였다. 4장에서는 연직 풍속 검증을 통해 제안한 방법에 대한 정확도 평가 결과를 서술하였으며 5장에서는 연구의 주요 결과를 요약하였다.

기존 설계에 적용된 지표면 조도 구분 방법 분석

지표면 조도 구분 관련 국내 기준

풍속의 분포함수는 크게 대수법칙에 의한 함수와 지수법칙에 의한 함수로 구분된다. 대수법칙은 일정한 지표면 조도를 갖는 경계층의 연직 풍속 예측은 정확하나, 도심 시가지와 같이 지표면 조도가 크거나 불균일한 지역의 연직 풍속 예측의 정확성을 떨어진다(Hong et al., 2012). 지수법칙은 이러한 지역의 풍속 예측이 비교적 정확하며, 한국을 포함한 미국, 일본, 중국 등에서 풍속 프로파일 설계 기준으로 적용되고 있다. 지수법칙에 의한 풍속 설계식은 아래 식 (1)과 같이 계산된다.

$$U = U_r \left(\frac{Z}{Z_r} \right)^\alpha \quad (1)$$

여기서, U 는 높이 Z (m)에서의 풍속 (m/s), U_r 은 높이 Z_r (m)에서의 풍속, α 는 풍속고도분포 지수이다.

지수법칙을 통한 풍속 산정을 위해서는 측정 높이(Z_r)를 알고 있는 풍속 측정 값(U_r)과 함께 풍속고도분포지수 값(α)이 필요하다. 여기서 풍속고도분포지수는 국가건설기준인 건축구조기준 설계하중(KDS 41 10 15, 2019)에서 지표면 조도에 따라 정의하고 있는 값을 사용한다. 건축구조기준 설계하중에서는 지표면 조도 구분을 Table 1과 같이 4단계로 정의하고 있으며 각 조도 구분에 대하여 풍속고도분포지수를 정의하고 있다.

Table 1. Surface roughness category (KDS 41 10 15, 2019)

Surface roughness category	Surface condition	Velocity pressure exposure coefficient (α)
A	Areas where high-rise buildings (10 stories or more) are densely located in the center of a metropolis	0.33
B	Areas where buildings such as houses with a height of about 3.5 m and trees are densely located Areas where middle-rise buildings (4 to 9 floors) are scattered	0.22
C	Areas where obstacles about 1.5 to 10 m in height are scattered Areas where trees or low-rise buildings are scattered	0.15
D	Area where there are few obstacles, and the average height of the surrounding obstacles is 1.5 m or less (coast, grassland)	0.10

A 등급은 대도시 중심부의 고층 건축물(10층 이상)이 밀집해 있는 지역, B 등급은 중층 건물 (4~9층)이 산재해 있는 지역, C 등급은 저층건축물이 산재해 있는 지역, 그리고 D 등급은 해안, 초원, 비행장 등 주변에 장애물이 없는 지역으로 정의하고 있다. 다만, 등급을 구분하는 기준 자체가 정량화되어 있지 않아 연구자의 주관적 판단에 따라 같은 지역이라도 다른 지표면 조도가 설정될 수 있다.

기존 연구에서의 지표면 조도 구분 적용 방법

기존 연구에서도 대상 지역의 위성 지도 등을 연구자가 목안식별 하여 지표면 조도를 결정하는 것이 일반적이었으며, 사용자의 주관적 판단에 의해 조도구분이 달라지는 한계가 있었다(Lee et al., 2015). 이러한 한계를 개선하고 보다 객관적으로 지표면 조도를 구분하고자 하는 연구가 일부 수행되어 왔다.

Lee et al. (2014)은 시가화 건조지역, 농업, 산림 지역 등 지표면 조도 요소에 대한 정보를 포함하고 있는 토지피복지도를 활용하여 지표면 조도 구분을 정의하고자 하였다. 다만, 토지 피복지도에서는 건축물의 밀집도나 높이에 대한 부분은 파악이 힘들어 지표면 조도 구분에

서 지정한 기준을 정확하게 고려하기 힘든 한계가 있다. Seong and Choi (2011)과 Seo and Choi (2017)은 지리정보시스템(GIS)를 활용하여 풍속고도분포지수를 산정하는 방법을 제안하였다. 분석 대상 지역의 GIS를 통해 건축물 현황을 고려한 지표면 조도 구분을 수행하였으며, 복합 조도 평가에 대해서도 분석을 수행하였다. 다만, 제안한 방법에 대한 연직 풍속 검증이 이루어지지 않아 제안된 방법의 적용을 위한 추가 검증이 필요하다. 또한, 소규모 대상 지역에 대해서만 적용이 이루어지고 전 지역에 대한 조도 구분이 수행되지는 않았다.

건축물 통계 분석을 통한 지표면 조도 구분 개선 방법

건축물 통계를 활용한 지표면 조도 구분 기준 정량화 방법

본 연구에서는 기존 지표면 조도 구분 기준이 건물의 높이, 밀도 등에 영향을 받는 것을 고려하여 건물 현황 정보를 반영한 지표면 조도 구분 방법을 설계하였다. 또한 이에 대한 연직 풍속 검증을 통해 제안한 방법의 정확도를 평가하고자 하였다. 건물 현황 정보를 정확하게 파악하기 위하여 국가 건축물 통계를 활용하였다. 국내 건물 통계 자료를 분석하여 건물 높이, 건물 밀집도 등을 정량적인 수치로 구분하여 지표면 조도 구분 기준을 수립하였다. 그리고 이를 바탕으로 국내 229개의 시군구에 대한 지표면 조도를 평가하여 국내 지표면 조도 등급 구분표를 작성하였다.

건축물 통계 자료는 건축데이터 민간개방 시스템에서 제공하는 건축물대장 자료 중 표제부를 활용하였다. 표제부는 국내에 소재한 모든 건축물의 정보를 포함하고 있어 데이터의 양이 방대하다. 따라서, 표제부에 포함된 건축물 데이터 중 건축물 현황 파악에 필요한 데이터(지역, 건축물 높이, 건축물 면적, 건축물 층수 등)만 추출하여 별도의 데이터베이스를 구축하였다. 표제부 데이터 중 부속 건축물, 건축물 높이 또는 지상 층수 데이터에 오류가 있는 건축물 등 오기와 누기가 발생한 건축물은 제외하고 분석을 수행하였다. 229개 시군구 별로 건축물 현황을 통계 분석하고, 건축물 높이, 밀집도 등을 파악하고 조도 구분 기준을 정량화하여 기존 지표면 조도 구분 방법을 개선하고자 하였다.

표제부 데이터 분석을 통한 지역별 건축물 현황 분석 결과

표제부 데이터를 가공하여 국내 지역별 건축물의 현황을 파악하였다. Table 2는 분석 결과의 일부로 국내 평균 건물 높이, 고층 건물 비율 및 저층 건물 비율을 나타낸 결과이다. 여기서, 고층 건물의 경우 기존 조도 구분 기준에 명시된 10층 이상의 건물로 정의하였다. 저층 건물에 관한 정의는 선행 연구를 참조하여 5층 이하의 건축물을 저층 건물로 정의하였다(Maeng et al., 2017). 시군구 별 평균 건물 높이는 10.07 m로 도출되었으며, 10층 이상 건축물(고층 건물) 비율은 평균 3.13%로 도출되었다. 또한, 시군구 별 저층 건물 비율은 평균 94.6%로 도출되었다. 평균 건물 높이 및 고층 건물 비율에 대하여 분포도로 표시한 결과는 Figure 1과 같다. Figure 1에서 대체로 평균 건물 높이가 높은 지역이 고층 건물 비율도 높은 것으로 나타났다. 위와 같이 분석한 건물 통계 결과를 정량적 지표면 조도 구분 기준 선정에 활용하였다.

Table 2. Statistical analysis result of buildings by region

Average building height	Average ratio of high-rise building	Average ratio of low-rise building
10.07 m	3.13%	94.6%

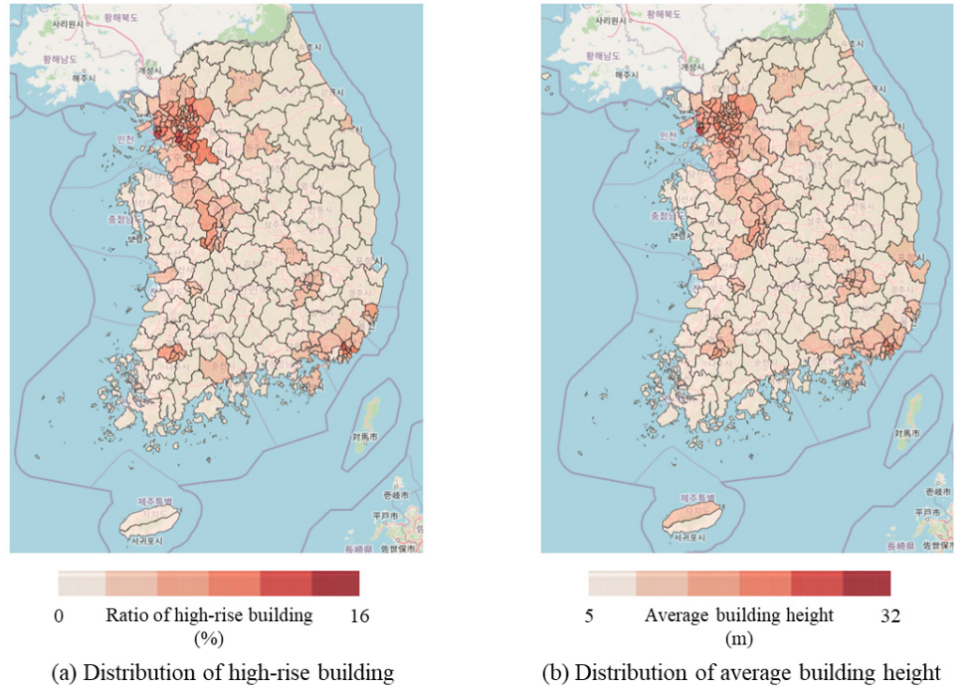


Figure 1. Distribution of high-rise building ratio and average building height

지표면 조도 기준 정량화를 통한 국내 지역 지표면 조도 평가 결과

지표면 조도 기준 정량화를 위해 A 등급은 고층 건물 비율을 이용하여 기준을 규정하였으며, C 등급은 저층 건물 비율을 이용하여 기준을 규정하였다. 한편, D 등급의 경우 주변 장애물이 없는 해안, 초원, 개활지로 정의되고 있다. 다만, 본 연구에서는 특정 지역 또는 지형이 아닌 개별 시군구 단위로 지표면 조도를 평가하고자 하였다. 따라서 시군구 지역의 평균적인 조도를 평가하는 측면에서 개활지와 같은 D 등급은 적합하지 않다고 판단하였다. 이에 D 등급은 본 연구에서 할당하지 않았다. 최종적으로 A와 C 등급을 제외한 나머지 시군구를 B 등급으로 정의하였다.

기존 지표면 조도 구분 기준에서 A 등급은 대도시를 기준으로 정의되고 있다. 현재 국내에서 대都市는 지방자치법 제175조에 의해 특별시, 광역시 그리고 특별시로 규정하고 있다. 이를 반영하여 국내 229개 시군구 중에 지방자치법에 속하는 총 89개의 시군구를 대도시로 정의하였다. 대도시 중 10층 이상 건물의 비율이 229개 시군구 평균값인 3.13%보다 높은 시군구를 A 등급으로 정의하였다. A 등급에 속한 시군구를 제외한 나머지 시군구에 대하여 저층 건물 비율을 평가하여 C 등급을 구분하였다. 저층 건물 비율이 99% 이상인 지역을 본 연

구에서는 C 등급으로 정의하였다. 따라서, A와 C 등급에 속하지 않은 나머지 시군구를 B 등급으로 정의하였다. 건축물 통계 분석 결과를 반영하여 본 연구에서 지표면 조도 구분에 적용한 지표면 조도 구분 기준은 아래 Table 3과 같다. 풍속고도분포지수의 경우 기존 기준에서 제시하던 값을 사용하였다. 그리고 이를 바탕으로 국내 229개 시군구에 대하여 지표면 조도 등급을 평가한 결과는 Figure 2와 같다. 지표면 조도가 A 단계인 지역은 전체 지역 중 31.9%, B 단계인 지역은 39.3%, 그리고 C 단계인 지역은 28.8%에 해당하는 것으로 도출되었다.

Table 3. Surface roughness category suggested in this study

Surface roughness category	Landscape description	Velocity pressure exposure coefficient (α)
A	Areas where high-rise buildings (10 stories or more) are densely located in the center of a metropolis (Area with a high-rise building ratio of 3.13% or higher)	0.33
B	Areas except for A and C categories	0.22
C	Areas where obstacles about 1.5 to 10 m in height are scattered Areas where trees or low-rise buildings are scattered (Area with a low-rise building ratio of 99% or higher, except for Class A)	0.15
D	Area where there are few obstacles such as coast, grassland (Not applied in this study)	0.10

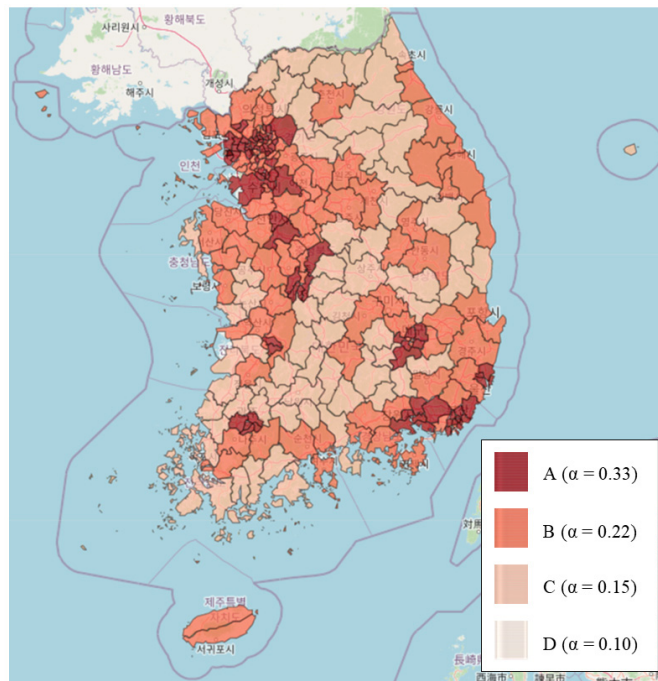


Figure 2. Distribution of velocity pressure exposure coefficient by region

연직 풍속 검증을 통한 조도 구분 정확도 평가

검증 대상 풍속 데이터 수집

건축물 통계를 통해 정량화한 지표면 조도 구분 기준과 이를 통해 분류한 지표면 조도 구분의 정확도를 평가하기 위하여 검증을 수행하였다. 정확도 검증은 연직 풍속 분포를 측정 값과 제안한 방법을 적용한 예측 값으로 비교하여 수행하였다. 연직 풍속 검증을 위해 국내 지역의 연직 바람 관측 데이터가 필요하다. 기상청은 2004년부터 연직 바람 관측 장비를 도입하여 국내 9개 지점에서 운영하고 있다. 연직 바람 관측 장비는 전파 등을 상층 대기로 발사하여 대기 중의 난류에 의하여 생성되는 대기 굴절율의 불균질층에 의해 다시 산란되어 오는 신호를 수신하여 대기 정보를 획득한다(Kang et al., 2016). 관측은 전파의 송신거리 차이에 따라 Low mode와 High mode 2가지로 구분된다. Low mode와 High mode 관측 해상도는 각각 71.68 m, 164.85 m이고, 최고 관측고도는 5.0 km와 11.0 km이다(Kwon and Kwon, 2018). 본 연구에서는 기상청 기상자료 개방 포털에서 제공하는 국내 지역의 연직바람관측을 기반으로 검증 데이터를 구축하였다.

연직 풍속 검증 방법

연직 바람 관측은 북강릉, 울진, 원주, 창원, 철원, 추풍령, 파주, 군산, 서해해양종합기지의 9개 지점에서 측정하고 있다. 검증 대상 지역은 측정 데이터의 결손이나 오기 등이 발생하지 않는 지점으로 선정하였으며, 지역 분포를 고려하여 남부 지역인 창원과 중부 지역인 원주로 선정하였다. 한편, 지수법칙을 통한 풍속 산정에 있어서 기상대에 측정한 풍속 값이 필요하므로 창원과 원주 지역의 종관기상관측(ASOS) 자료 또한 수집하였다. 연직 풍속 검증은 2020년 연 평균 풍속에 대하여 수행하였다. 종관기상관측 자료 또한 동일한 시기인 2020년의 자료를 이용하였다. 연직 풍속 검증에 사용한 창원 및 원주 지역의 기상 데이터 정보는 아래 Table 4와 같다.

Table 4. Weather data information used for vertical wind speed validation

	Changwon	Wonju
Latitude	35.17	37.34
Longitude	128.57	127.95
Wind profile radar mode	Low mode	Low mode
Wind measurement height (Z_r)	10 m	10 m
Annual averaged wind speed (U_r)	1.61 m/s	1.05 m/s
Measurement period	2020	

연직 바람 관측을 통해 얻은 고도별 풍속과 본 연구에서 제안한 지표면 조도 구분을 적용하여 산정한 고도별 풍속을 비교하였다. 제안한 방법의 정확도를 평가하기 위하여 선정된 지표면 조도 구분 외에 다른 지표면 조도 구분에 대해서도 풍속을 산정하여 비교 분석하였다. 각

지역에 대해 고도별 풍속 측정 값과 예측 값의 오차율을 식 (2)와 같이 산정하여 정확도를 평가하였다.

$$error = \frac{|V_{measure} - V_{predict}|}{V_{measure}} \times 100(\%) \quad (2)$$

여기서, $V_{measure}$ 은 연직 풍속 측정 값 (m/s), $V_{predict}$ 은 연직 풍속 예측 값 (m/s) 이다. 오차율과 함께 RMSE를 식 (3)과 같이 산정하여 정확도 평가에 활용하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \|y(i) - \hat{y}(i)\|^2}{N}} \quad (3)$$

여기서, N 은 데이터의 수, $y(i)$ 은 i 번째 측정값, $\hat{y}(i)$ 는 이에 대응하는 예측 값이다.

창원 지역의 경우 연직 바람 관측이 고도 100 m부터 50 m 간격으로 이루어졌으며, 원주 지역의 고도 73.5 m부터 약 71.7 m 간격으로 관측되었다. 측정 간격 및 경도풍 높이 등을 고려하여 풍속 검증은 고도 150 m ~ 650 m 사이에서 관측된 풍속을 대상으로 수행하였다.

연직 풍속 검증 결과

제안된 방법을 적용하여 창원과 원주 지역에 대한 지표면 조도 구분 결과는 아래 Table 5와 같다. 창원은 A 등급에 해당되며 풍속고도분포지수는 0.33으로 설정하였다. 원주는 B 등급에 해당하며 풍속고도분포지수는 0.22로 적용하였다. 각 풍속고도분포지수와 종관기상관측으로 구한 연평균 풍속을 이용하여 고도별 풍속을 산정하였다.

Table 5. Surface roughness category and velocity pressure exposure coefficient of target region

	Changwon	Wonju
Surface roughness category	A	B
Velocity pressure exposure coefficient (α)	0.33	0.22

창원 지역의 2020년 연평균 풍속은 1.61 m/s이며, 앞서 구한 풍속고도분포지수 함께 지수 법칙에 대입하여 고도별 풍속을 산출하였다. 창원 지역에 대하여 연직 풍속을 검증한 결과는 Figure 3 및 Table 6과 같다. Figure 3에서 검정색 선은 연직 바람 관측 장비를 통해 측정한 풍속 값이며, 주황색 선은 지수 법칙을 통해 예측한 풍속 값($\alpha = 0.33$)이다. 실제와 다른 표면 조도 구분을 적용하였을 때의 예측 결과는 회색, 노란색, 파란색 점선과 같다. 예측 정확도는 대체로 고도가 높아질수록 더 높아졌으며 고도 500 m 이상에서는 측정 값과 거의 동일한 풍속을 예측하였다. 평균 풍속 오차는 0.24 m/s이며 약 5.0%의 오차율로 실제 풍속과 유사하게 풍속을 예측한 것으로 나타났다. 지표면 조도 구분을 B, C, D로 적용한 경우에는 Figure 3에서

확인할 수 있듯이 오차가 매우 크게 발생하였다. Table 6에서 볼 수 있듯이 풍속고도분포지수가 0.22인 경우 오차는 29.2%, 0.15인 경우에는 44.8%, 그리고 0.10인 경우에는 오차율이 53.8%로 나타났다. RMSE 또한 풍속고도분포지수가 0.33인 조건에서 가장 낮은 0.27로 도출되었다. 따라서 창원 지역의 경우 지표면 조도를 A 등급으로 설정하는 것이 타당함을 알 수 있다.

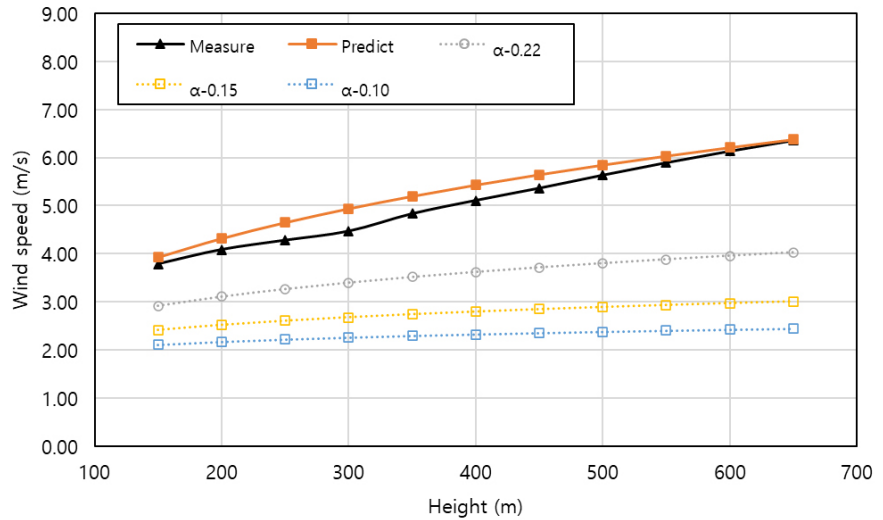


Figure 3. Validation result of vertical wind speed distribution (Changwon)

Table 6. Error and RMSE result for vertical wind speed (Changwon)

	Velocity pressure exposure coefficient			
	0.10	0.15	0.22	0.33
Error (%)	53.8	44.8	29.2	5.0
RMSE	2.88	2.41	1.60	0.27

원주 지역의 2020년 연평균 풍속은 1.05 m/s이며, 창원과 동일하게 Table 5에서 설정한 값을 이용하여 고도별 풍속을 산정하였다. 원주 지역에 대하여 연직 풍속을 검증한 결과는 Figure 4 및 Table 7과 같다. Figure 4에서 주황색 선은 지수 법칙을 통해 예측한 풍속 값으로 창원과 달리 풍속고도분포지수가 0.22이다. 실제와 다른 표면 조도 구분을 적용하였을 때의 예측 결과는 회색, 노란색, 파란색 점선과 같다. 예측 정확도는 고도별로 유사한 오차율로 평가되었으나 전반적으로 창원 지역에 비해서 오차율이 크게 나타났다. 평균 풍속 오차는 0.32 m/s이며 약 11.3%의 오차율로 창원 지역에 비해 정확도는 다소 떨어지나 풍속을 유사하게 예측한 것으로 나타났다. 지표면 조도 구분을 실제와 다르게 적용한 경우 풍속 오차율이 더 커지는 것으로 나타났다. Table 7과 같이 풍속고도분포지수가 0.33인 경우 오차는 38.0%, 0.15인 경우에는 26.9%, 그리고 0.10인 경우에는 오차율이 38.7%로 나타났다. RMSE 또한 풍속고도분포지수가 0.22인 조건에서 가장 낮은 0.42로 도출되었다. 따라서 원주 지역의 경우 지표면 조도를 B 등급으로 설정하는 것이 타당함을 알 수 있다.

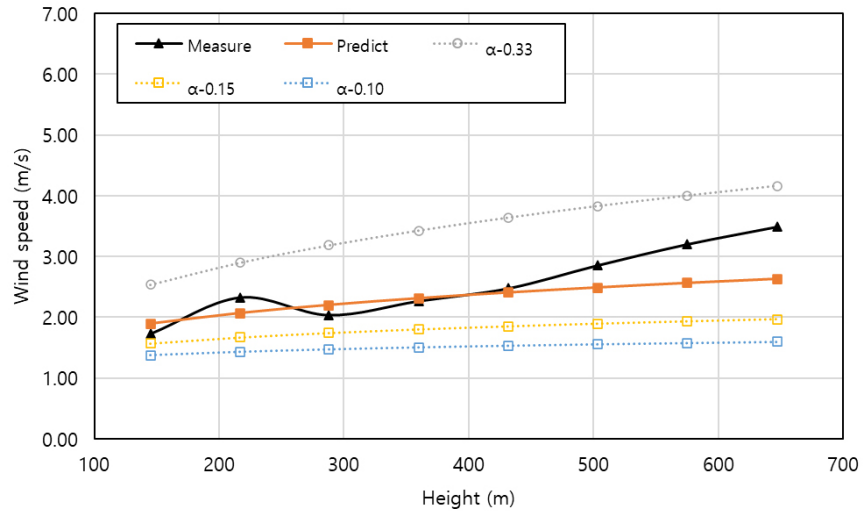


Figure 4. Validation result of vertical wind speed distribution (Wonju)

Table 7. Error and RMSE result for vertical wind speed (Wonju)

	Velocity pressure exposure coefficient			
	0.10	0.15	0.22	0.33
Error (%)	38.7	26.9	11.3	38.0
RMSE	1.15	0.87	0.42	0.94

창원과 원주 지역을 대상으로 본 연구에서 제안한 지표면 조도 구분을 적용한 결과, 적용한 조건에서 실제 측정 풍속과 가장 유사한 풍속을 산정하는 것으로 나타났다. 따라서 지역별 건축물의 높이 및 밀집도를 기반으로 정량적인 기준을 적용하여 개선한 지표면 조도의 정확성을 검증하였다.

결론

지표면 조도 등급 선정의 객관성을 확보하기 위하여 본 연구에서는 건축물 통계를 활용한 정량적 조도 구분 기준을 제안하였다. 건축물 통계 자료 중 건축물대장 자료인 표제부를 활용하였으며, 국내 229개 시군구 별로 건축물의 높이, 수, 면적 등의 정보를 추출하였다. 추출된 정보를 기반으로 지표면 조도 구분 기준과 관련된 인자(고층 건물의 비율, 저층 건물의 비율 등)들을 산정하였다. 산정된 인자들을 활용하여 지표면 조도 구분 기준을 정량화 하였다. A 등급의 경우 지방자치법에서 규정하고 있는 대도시 중 고층 건물 비율이 3.13%를 초과한 지역으로 정의하였다. C 등급의 경우 A 등급을 제외한 지역 중 저층 건물 비율이 99% 이상인 지역으로 한정하였다. B 등급은 A와 C 등급을 제외한 지역으로 선정하였으며, D 등급의 경우 본 연구에서는 할당하지 않았다. 최종적으로 정량화된 지표면 조도 구분 기준을 이용하여 국내 지역에 대한 지표면 조도 등급을 평가하였다.

본 연구에서 제안한 지표면 조도 구분 기준의 정확성을 평가하기 위하여 검증을 수행하였다. 검증은 창원 지역과 원주 지역의 연직 풍속을 비교하여 수행하였다. 연직 바람 관측 장비를 통해 측정된 풍속과 본 연구에서 도출한 지역별 지표면 조도 등급을 적용하여 산정한 풍속을 비교하였다. 지표면 조도 구분 결과, 대도시에 속하는 창원은 A 등급으로 평가되었으며, 원주는 B 등급으로 평가되었다. 풍속 검증 결과, 창원 지역의 고도별 평균 풍속 오차는 0.24 m/s로 도출되었으며 약 5.0%의 오차율로 평가되었다. 원주 지역의 고도별 평균 풍속 오차는 0.32 m/s이며 약 11.3%의 오차율로 평가되었다. 두 지역 모두 다른 지표면 조도 등급을 적용한 경우 보다 확연히 낮은 오차율과 RMSE를 기록하여 지표면 조도 구분이 정확하게 이루어졌음을 확인할 수 있었다. 다만, 원주 지역의 경우 올바른 지표면 조도 구분을 적용하였음에도 오차율이 11.3%로 상대적으로 높게 나타났다. 따라서 풍속고도분포지수의 조정이 필요한 것으로 사료된다.

본 연구를 통해 국내 지역에 대한 지표면 조도 등급을 정량적인 기준을 통해 설정하였으며, 검증을 통해 정확성을 확인하였다. 이는 향후 지역별 풍환경 평가에 있어 지표면 조도 등급 및 풍속고도분포지수 설정의 기초자료로 활용 가능하다. 한편, 본 연구는 시군구 단위를 대상으로 지역의 평균적인 조도에 대해서 평가를 수행하였다. 향후 연구에서는 더 세분화된 지역 구분에 대한 조도 등급 평가와 함께 복합 조도, 등급별 풍속고도분포지수에 대한 분석을 추가하여 국내 지표면 조도 구분의 신뢰성을 확보할 예정이다.

후기

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1A2C2009385).

또한, 이 논문은 2020년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

References

1. Hong, I.P., Ki, H.S., Jung, E.Y., Song, D.S. (2012). A study on inlet flow profile in CFD simulation for predicting wind environment in urban area. *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 28(1), 311-318.
2. Kang, W.K., Moon, Y.S., Jung, O.J. (2016). An Analysis on Characteristics of Turbulence Energy Dissipation Rate from Comparison of Wind Profiler and Rawinsonde. *The Journal of The Korean Earth Science Society*, 37(7), 448-464.
3. Kim, S.W., Lee, K.K. (2010). Seismic performance evaluation of wind-designed diagrid tall buildings by exposures. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 26(11), 47-56.
4. Kwon, J.H., Kwon, T.Y. (2018). Comparison of Wind Profiler Wind Measurements with Rawinsonde Data at Bukgangneung. *Korean Journal of Remote Sensing*, 34(2-1), 249-265.

5. Lee, S.S., Kim, J.Y., Kim, Y.M. (2015). Guideline for Bridge Design Wind Speed in Coastal Region. *Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 28(6), 615-623.
6. Lee, Y.K., Lee, C.J., Ann, S.I., Kim, J.H., Lee, D.H. (2014). Review of method to homogenize surface wind speeds using geographic spatial analysis. *Journal of the Wind Engineering Institute of Korea*, 18(4), 197-206.
7. Seo, E.S., Choi, S.H. (2017). Development of Estimation Method for Velocity Pressure Exposure Coefficient of Buildings Based on Spatial Information. *Journal of Korean Association of Geographic Information Studies*, 20(2), 32-46.
8. Seol, D.I. (2010). Global warming and trends of typhoon variation. *Journal of Navigation and Port Research*, 34(6), 453-458.
9. Seong, M.H., Choi, S.H. (2011). Estimation of velocity pressure exposure coefficient using GIS. *Journal of Korea spatial information society*, 19(1), 13-19.
10. Maeng, D.M., Jang, N.J., Baik, C.N. (2017). Current condition and policy direction for low-rise residential areas in seoul. The Seoul Institute.
11. Liu, H. (1991). *Wind engineering: a handbook for structural engineers* (Vol. 209). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
12. KDS 41 10 15. (2019). Korean Design Standard.