

온실의 풍압력 산정을 위한 풍속의 수직분포 분석

정승현¹ · 이종원² · 이시영³ · 이현우^{1*}

¹경북대학교 농업토목공학과, ²경북대학교 농업과학기술연구소, ³농촌진흥청 국립농업과학원

Analysis of Wind Velocity Profile for Calculation of Wind Pressure on Greenhouse

Seung-Hyeon Jung¹, Jong-Won Lee², Si-Young Lee³, and Hyun-Woo Lee^{1*}

¹Department of Agricultural Engg., Kyungpook National Univ., Daegu, 702-701, Republic of Korea

²Institute Agricultural Science & Technology, Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Republic of Korea

³Department of Agricultural Engg., National Academy of Agricultural Science, RDA, Jeonju, 560-500, Republic of Korea

Abstract. To provide the data necessary to determine the design wind speed for calculating the wind load acting on a greenhouse, we measured the wind speed below 10m height and analyzed the power law exponents at Buan and Gunwi. A wind speed greater than $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ is appropriate for calculating the power law exponent necessary to determine the wind speed distribution function according to height. We observed that the wind speed increased according to a power law function with increased height at Buan, showing a similar trend to the RDC and JGHA standards. Therefore, this result should be applied when determining the power law function for calculating the design wind speed of the greenhouse structure. The ordinary trend is that if terrain roughness increases the value of power law exponent also increases, but in the case of Gunwi the value of power law exponent was 0.06, which shows contrary value than that of the ordinary trend. This contrary trend was due to the elevations difference of 2m between tower installed and surrounding area, which cause contraction in streamline. The power law exponent started to decrease at 7 am, stopped decreasing and started to increase at 3 pm, and stopped increasing and remained constant at 12 pm at Buan. These changes correspond to the general change trends of the power law exponent. The calculated value of the shape parameter for Buan was 1.51, confirming that the wind characteristics at Buan, a reclaimed area near the coast, were similar to those of coastal areas in Jeju.

Additional key words : agricultural open terrain, greenhouse structural design standard, low rise structure, power law exponent, terrain roughness

서 론

우리나라에서는 온실의 구조설계기준과 관련하여 원예 시설의 구조 안전기준(RDC, 1995), 온실구조 설계기준 및 해설(MAFRA, 1999), 원예·특작시설 내재해형 규격 설계도·시방서(MIFAFF & RDA, 2010), 건축구조 설계 기준 및 해설(AIK, 2009) 등이 제정 되어 현재까지 적용 되고 있지만 설계결과들이 기준들 간에 많은 차이가 있는 실정이다(Choi 등, 2014; Kim 등, 2014). 외국의 경우에도 온실의 구조설계와 관련하여 일본의 Standard for structural safety of greenhouse (JGHA, 1997), 일본의 Recommendations for loads on buildings (AIJ, 2004), 네

덜란드의 Greenhouses-Design and Construction(NEN, 2004) 및 미국의 National Greenhouse Manufactures Association Structural Design Manual(NGMA, 2004)등이 각국에서 오래 전부터 설계기준으로 정립되어 일정기간 을 두고 개정되면서 사용되어 오고 있는 실정이다. 그러나 각 국가기준들을 적용하여 동일한 설계조건에서 적설 하중과 풍하중을 산정하였을 때 결과가 서로 많은 차이가 발생 하는 것으로 나타났다(Jung 등, 2014a, 2014b). 따라서 앞으로 우리나라에서 적용될 설계기준은 동일한 설계조건에서는 동일한 설계결과가 도출될 수 있는 설계 기준이 확립될 필요가 있을 것으로 판단된다.

온실에 작용하는 풍하중은 온실의 풍력계수와 설계속 도압의 곱으로 산정할 수 있으며, 설계속도압은 설계풍 속의 제곱에 비례한다. 설계풍속은 기본풍속, 풍속고도분 포지수, 지형계수 그리고 중요도계수 등에 의해 결정된 다. 온실의 설계풍속은 일반적으로 지붕의 평균높이에서

*Corresponding author: whlee@knu.ac.kr
Received June 1, 2015; Revised June 29, 2015;
Accepted July 17, 2015

의 풍속을 사용하며 높이에 따른 풍속은 풍속고도분포지수에 따라 결정된다(MAFRA, 1999). 그리고 이 풍속고도분포지수는 지표면 조도에 따라 달라지며 일반적으로 지표면 조도가 도심지에서 해안으로 갈수록 즉, 장애물이 없을수록 감소한다(Liu, 1990).

높이에 따른 풍속의 분포함수는 대수함수와 지수함수로 표시되고 있다. 지수함수의 경우 지표면조도에 따라 다르게 지수 분포식이 제시되고 있으며, 분포식이 적용되는 경계층의 높이는 약 200~500m 범위이다. 일반적으로 이러한 분포식은 기준풍속의 측정높이인 10m보다 훨씬 높은 위치에서의 풍속을 측정하여 구해지기 때문에 온실이 위치하는 10m 이하 높이에서의 풍속분포를 정확히 표현하기에는 문제가 있을 것으로 판단된다(Clobes 등, 2011; Lee 등, 2013; Gualtieri와 Secci, 2011; Kim 등, 2012; Ha, 1998; Li 등, 2010; Farrugia, 2003; Smith 등, 2002; Ko 등, 2012; Hanafusa 등, 1986; Al-Abbadi와 Rehman, 2009; Kim과 Choi, 2002; Kwon과 Kareem, 2013). 따라서 온실이 설치되는 10m 이하 높이에서의 높이에 따른 풍속분포에 관한 구멍이 필요한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 온실에 작용하는 풍하중 산정을 위한 설계풍속을 결정하는데 필요한 자료를 제공하기 위하여 10m 이하 높이에서의 풍속을 측정하여 풍속고도분포지수를 산정하고 변화를 분석하였다.

재료 및 방법

1. 각국의 설계풍속 산정기준 비교

Kim 등(2000)에 따르면 온실에 작용하는 풍하중과 설계속도압의 산정식은 다음과 같다.

$$W = q \times A \tag{1}$$

$$q = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \tag{2}$$

여기서, W 는 온실에 작용하는 풍하중 (kgf), q 는 높이 h (m)에 대한 설계속도압 (kgf·m⁻²), A 는 유효 수압면적 (m²), V 는 높이 h (m)에서의 풍속 (m·s⁻¹), ρ 는 공기밀도 0.125 (kgf·s⁻²·m⁻⁴)이다.

풍압력 산정 시 사용하는 설계풍속은 고도에 따라 달라지고 이를 산정하는 기준은 각국마다 차이가 있다. 본 연구에서는 Table 1과 같은 4개국의 기준들에 대하여 설계풍속의 산정기준들을 비교분석하였다.

Table 2는 각국의 설계풍속 산정식을 나타낸 것이며 동일한 기본풍속을 적용하기 위해 다른 인자들은 고려하지 않았다. 온실 주변 환경을 전형적인 농촌지역으로 모

두 동일하게 가정하기 위해 우리나라 MAFRA(1999) 그리고 미국의 NGMA(2004)에서 제시한 기준에서는 지표면조도를 C로 하였으며, 일본의 AIJ(2004)와 유럽의 NEN(2004)에서 제시한 기준에서는 지표면조도를 II로 하였다. Kwon과 Kareem (2013)은 고도에 따른 풍속분포에 대한 8가지의 기준들을 비교하기 위하여 지표면조도에 따라 6가지(EC1~EC6)로 구분하여 비교하였다. 이 구분에 의하면 농촌의 개활지에 대한 지표면조도는 EC4에 해당되며 풍속고도분포지수가 미국의 NGMA 기준은 0.11로 제시되었고 일본의 AIJ 기준은 0.15로 제시되어 본 연구와 동일하게 조도를 구분하였음을 확인할 수 있었다. 또한 네덜란드의 NEN 기준에서는 조도길이가 0.05m로 본 연구와 동일하게 제시되었다. 지표면조도를 세분화하지 않은 RDC(1995)와 JGHA(1997)의 기준에서는 전형적인 농촌지역에 해당하는 풍속고도분포지수 값인 0.25를 적용하였다. 또한 높이에 따른 풍속변화를 서로 비교하기 위하여 기준높이 10m에서의 풍속이 25m·s⁻¹의 동일한 값을 갖는다고 가정하여 각 기준들의 높이에 따른 풍속을 산정하였다.

2. 풍속 및 일사량 측정

Fig. 1은 풍속측정 타워의 사진과 풍속센서의 위치를 나타낸 그림이다. 높이별 풍속을 측정하기 위해 10개의 풍속센서를 지상으로부터 0.1m, 0.6m, 1.0m, 1.5m, 2.0m, 3.0m, 4.0m, 6.0m, 8.0m 그리고 10.0m의 높이에 설치하였다.

Fig. 2와 Fig. 3은 풍속이 측정된 부안, 군위 지역의 사진이다. 부안은 소도시와 농촌평탄지 및 주변의 산으로 이루어져 있다. 풍속측정 타워는 농촌평탄지의 중심부에 위치(지도상 동근 표식)하고 있으며 우리나라 온실

Table 1. Design standards for comparison.

Nations	Standards	Publisher(year)
Korea	Greenhouse structure design standards and explanations	Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(1999)
	Greenhouse structural requirements	Rural Development Corporation(1995)
Japan	Recommendations for loads on buildings	Architectural Institute of Japan(2004)
	Standard for structural safety of greenhouse	Japan Greenhouse Horticulture Association(1997)
Netherlands	Greenhouses- Design and Construction	Netherlands Standards Institution(2004)
USA	Structural Design Manual	National Greenhouse Manufacturers Association(2004)

Table 2. Standard of design wind speed for each country.

Publisher (year)	Design wind speed	Exposure coefficient	
MAFRA (1999)	$V \times K$	$Z \leq 10$ m 1.0	$10\text{m} < Z \leq 300\text{m}$ $0.71Z^\alpha$
AIJ (2004)	$V \times K$	$Z \leq 5$ m $K = 1.7 \times \left(\frac{5}{350}\right)^\alpha$	$5\text{m} < Z \leq 350\text{m}$ $K = 1.7 \times \left(\frac{Z}{350}\right)^\alpha$
NEN (2004)	$V \times K$	$Z \leq 2$ m $K = 0.19 \times \ln \frac{2}{0.05}$	$2\text{m} \leq Z < 200\text{m}$ $K = 0.19 \times \ln \frac{Z}{0.05}$
NGMA (2004)	$V \times K^{\frac{1}{2}}$	$Z < 4.57$ m $K = 2.01 \times \left(\frac{15}{274.32}\right)^{\frac{2}{\alpha}}$	$4.57\text{m} \leq Z \leq 274.32\text{m}$ $K = 2.01 \times \left(\frac{Z}{274.32}\right)^{\frac{2}{\alpha}}$
RDC (1995) JGHA (1977)	$V \left(\frac{Z}{Z_0}\right)^\alpha$	-	-

V : Basic wind speed, Z : Height, K : Exposure coefficient, Z_0 : Reference height (=10m), α : Power-law exponent

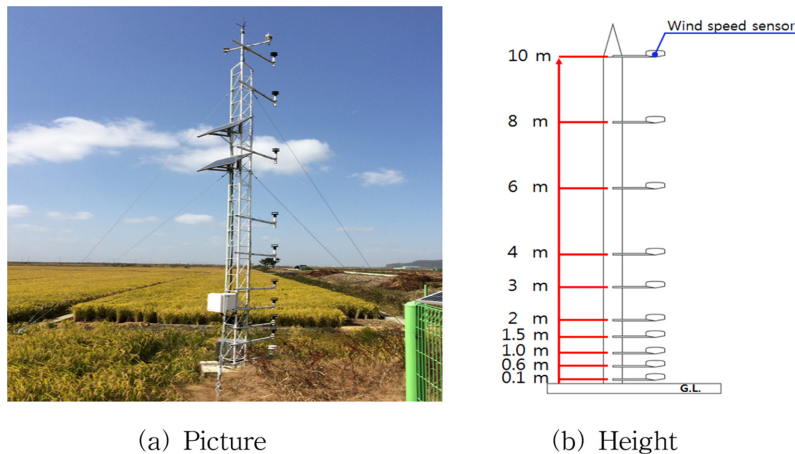


Fig. 1. Picture and height of wind speed sensors.

구조 설계기준 및 해설(MAFRA, 1999)의 기준상으로는 지표면조도가 C에 해당한다. 군위는 소규모 농촌마을과 논 및 산으로 구성되어 있으며 기준상으로는 지표면조도 B에 해당한다. 군위지역에 설치된 타워는 주위보다 약 2m 정도 더 높은 위치의 논에 설치되었으며 구체적인 설치위치와 측정기간은 Table 3과 같다.

데이터의 측정과 저장을 위해 사용된 장치별 세부 사양은 Table 4와 같다. 정확한 풍속측정을 위해 미세풍속까지 측정이 가능한 WindSonic(CAMPBELL SCIENTIFIC, 미국) 초음파 풍속센서를 사용하였다. 또한 데이터를 저장하기 위해 CR1000(CAMPBELL SCIENTIFIC, 미국)의 데이터로거를 사용하였으며, 3초 이동평균 풍속을 산정하여 1분 간격으로 최대순간풍속을 저장하였다. 현장에

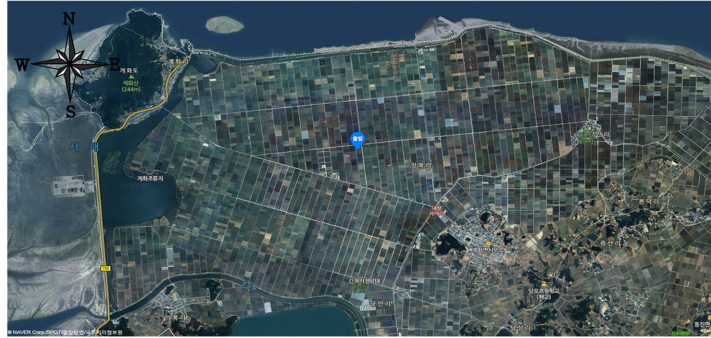
Table 3. Location of ultrasonic anemometer tower and measuring period.

Location	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Measuring period
Buan, Jeollabuk-do	N 35°46' 39.521	E 126°40' 26.687	2	2013.12.04.~ 2015.03.06.
Gunwi, Gyeongsangbuk-do	N 36°6' 47.758	E 128°38' 26.883	130	2014.12.02.~ 2015.03.07.

서 측정된 데이터들은 연구실로 송신(CDMA 방식)되고 소프트웨어RTMC-PRO(CAMPBELL SCIENTIFIC, 미국)를 사용하여 실시간 관측이 가능하도록 하였다. 그리고



(a) Photographic view around the tower

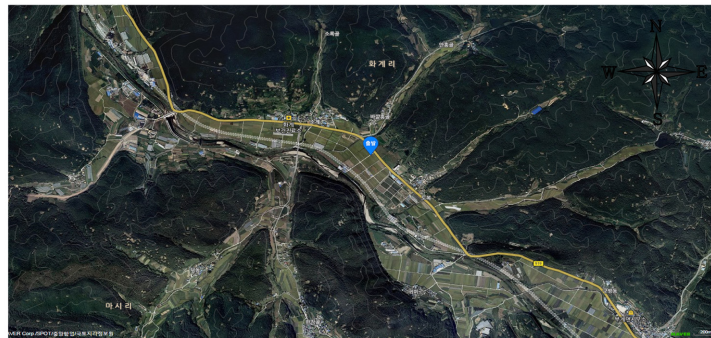


(b) Aerial picture of location

Fig. 2. Location of ultrasonic anemometer tower in Buan.



(a) Photographic views around the tower



(b) Aerial picture of location

Fig. 3. Location of ultrasonic anemometer tower in Gunwi.

Table 4. Specifications of wind speed sensors, pyranometer and data logger.

Experiment equipments	Product name	Measuring range	Accuracy	Resolution
Wind speed sensor	WindSonic	0 to 60 m·s ⁻¹	±2% @ 12m·s ⁻¹	0.01m·s ⁻¹
Pyranometer	CMP3	300 to 2800nm	±5% @ 10μV·W ⁻¹ ·m ⁻²	2000W·m ⁻²
Data logger	CR1000	100 Hz	±(0.06% of reading + offset)	0.33μV

10m 높이의 위치에 일사센서인 CMP3(KIPP&ZONEN, 네덜란드)를 설치하여 일사량을 측정하였다.

3. 풍속고도분포지수 산정 및 풍속변화 분석

Davenport(1960)는 구조물에 작용하는 풍하중을 평가할 때 지수법칙이 가장 널리 이용된다고 하였고 대부분의 온실설계기준들도 지수법칙을 사용한 풍속산정식을 사용하고 있기 때문에 본 연구에서도 지수법칙을 사용하여 높이에 따른 풍속의 변화를 분석하였다.

경도풍 이하에서 풍속의 고도분포는 고도가 증가할수록 풍속이 증가한다. 풍속의 증가량은 지표면조도에 따라 달라지며, 임의의 높이에 대한 풍속의 산정식은 다음과 같다.

$$v_h = v_0 \left(\frac{h}{h_0}\right)^\alpha \tag{3}$$

여기서, v_h 는 임의의 높이에서의 풍속 ($m \cdot s^{-1}$), v_0 는 기준높이에서의 풍속 ($m \cdot s^{-1}$), h 는 임의의 높이 (m), h_0 는 기준높이(=10m), α 는 풍속고도분포지수이다.

식 (3)의 양 변에 로그를 취하여 식 (4)를 얻었으며, 이 식을 사용하여 풍속고도분포지수를 산정하였다.

$$\ln\left(\frac{v_h}{v_0}\right) = \alpha \ln\left(\frac{h}{h_0}\right) \tag{4}$$

10곳의 높이에서 측정된 1분 간격의 최대순간풍속을 사용하여 선형회귀분석을 실시하여 풍속고도분포지수를 구하였다. 또한 0.1m와 0.6m 높이에서의 풍속을 제외하고 산정한 풍속고도분포지수의 상관성과 비교하기 위하여 0.1m 이하 높이와 0.6m 이하 높이에서의 풍속을 각각 제외한 경우에 대해서도 풍속고도분포지수를 산정하였다.

풍속 구간별 분포를 알아보기 위하여 와이불(Weibull) 확률 밀도 함수를 사용하여 10m 높이에서의 풍속크기별 발생빈도를 산정하였다. 본 연구에서 사용된 와이불 확률 밀도 함수는 다음 식과 같다(Al-Abbadi와 Rehman, 2009; Lee 등, 2013; Clobes 등, 2011; Ro와 Hunt, 2007; Sen 등, 2012; Lassig 등, 1999; Capps와 Zender, 2008; Pryor와 Barthelmie, 2009).

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right], \quad (K>0, V>0, c>1) \tag{5}$$

여기서, $f(V)$ 는 풍속 V 의 발생확률, k 는 형상변수, c 는 축척변수 ($m \cdot s^{-1}$)이다.

와이불 분포함수는 형상변수와 축척변수로 구간별 발생빈도를 표현하는 함수로써 형상변수는 그래프의 솟은 정도와 폭을 의미하는데 형상변수의 값이 클수록 좁은

폭의 풍속구간에 집중되는 형태를 갖는다. 그리고 축척변수는 평균풍속을 결정한다(Capps와 Zender, 2008; Pryor와 Barthelmie, 2009). 풍속고도분포지수의 산정 및 풍속변화의 분석을 위해 EXCEL(Microsoft, 미국)과 Windographer3(AWS Truepower, 미국)를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 각국의 설계풍속 산정기준 비교

Fig. 4는 각국의 기준별 높이에 따른 풍속의 변화를 도시한 것이다.

10m 이상의 높이에서의 풍속변화를 비교한 결과 미국의 NGMA 기준에서는 높이가 높아짐에 따라 상대적으로 풍속이 가장 느리게 증가한 반면, 우리나라의 RDC 기준과 일본의 JGHA 기준에서는 상대적으로 풍속이 가장 빠르게 증가하였다. 네덜란드의 NEN 기준은 RDC 및 JGHA기준 다음으로 풍속이 빠르게 증가하였다. 또한 우리나라의 MAFRA 기준과 일본 AIJ 기준의 경우 10m 이상의 높이에서 거의 비슷한 풍속변화를 나타내었기 때문에 거의 같은 풍속고도분포지수임을 알 수 있었다.

온실이 설치되는 높이인 10m 이하 높이에서의 풍속변화를 비교한 결과 RDC 기준과 JGHA 기준에서는 높이가 증가함에 따라 지표면으로부터 풍속이 지수함수로 점차 증가하는 반면에 MAFRA 기준, AIJ 기준, NEN 기준 그리고 NGMA 기준에서는 각각 10m, 5m, 2m 그리고 4.5m 이하의 높이에 대해서는 동일한 풍속을 나타내었으며 그 이상의 높이에서는 지수함수로 증가하였다. 이와 같이 온실이 설치되는 10m 이하 높이에서의 높이에 따른 풍속변화가 각국의 기준마다 많은 차이를 보여주고 있기 때문에 자세한 풍속측정과 분석을 통해 국내 온실의 구조설계를 위한 적절한 풍속 산정기준이 제시될 필요가 있을 것으로 판단된다.

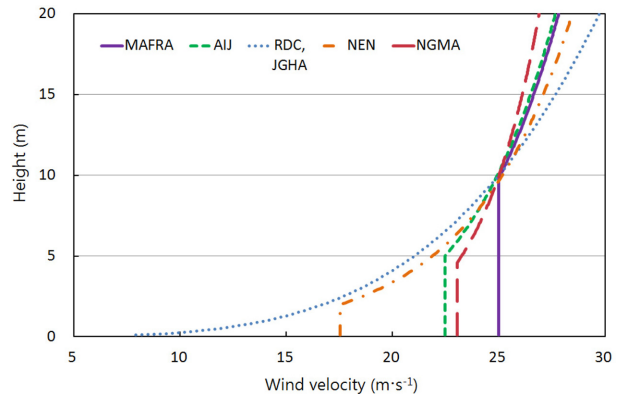


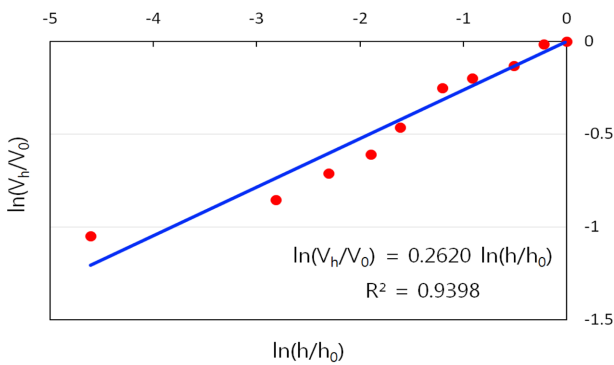
Fig. 4. Variation of wind speed according to height.

2. 풍속고도분포지수 산정

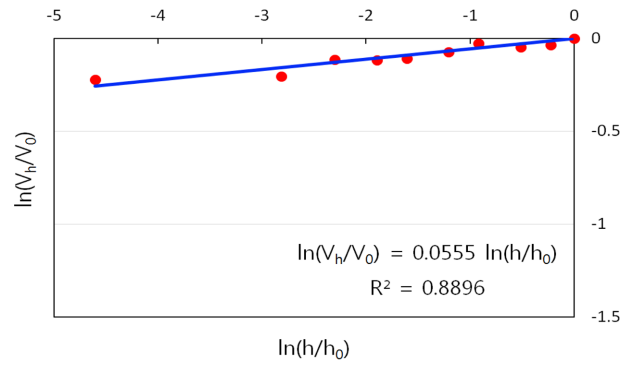
Fig. 5와 Fig. 6은 부안과 군위지역에 대하여 풍속고도 분포지수를 산정한 결과를 나타낸 것이며, Table 5는 풍속구간별로 풍속고도분포지수 산정을 위한 회귀직선식의 결정계수를 나타낸 것이다. Fig. 5와 Fig. 6에서 식의 기울기는 풍속고도분포지수를 의미한다. 군위지역 상관식의 기울기가 부안지역보다 크게 완만하여 풍속고도분포지수가 훨씬 낮게 나타났다. 결정계수는 두 지역 모두 대체적으로 높게 나타났으나 부안지역이 군위지역보다

더 큰 것으로 나타나 상관성이 더 우수한 것으로 판단된다.

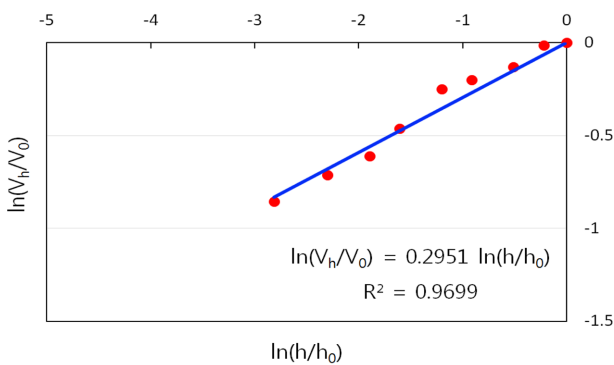
Table 5에서 볼 수 있는 바와 같이 부안의 경우에는 높이 0.6m 이상에서 가장 높은 결정계수를 보였으며, 군위의 경우에는 높이 0.1m 이상과 0.6m 이상에서 비슷한 결정계수를 갖는 것으로 나타났다. 풍속에 따른 결정계수의 변화를 살펴보면 부안지역의 경우 $2m \cdot s^{-1}$ 이하에서 비교적 낮은 결정계수를 나타내었고, 군위지역의 경우는 $5m \cdot s^{-1}$ 이하에서 낮은 결정계수를 나타내었다. Kim(2012)



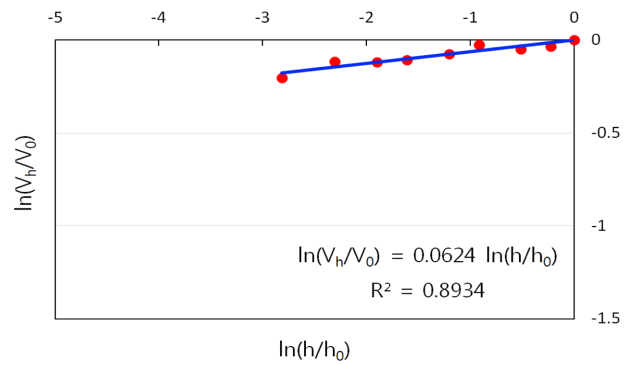
(a) Above 0.1m



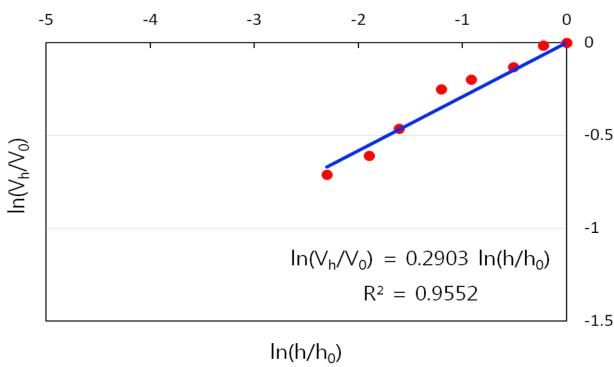
(a) Above 0.1m



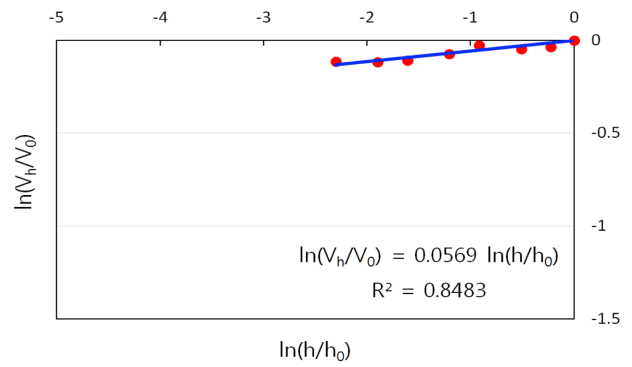
(b) Above 0.6m



(b) Above 0.6m



(c) Above 1.0m



(c) Above 1.0m

Fig. 5. Determination of power-law exponent in Buan.

Fig. 6. Determination of power-law exponent in Gunwi.

Table 5. Coefficient of determination in each wind speed section.

Wind speed (m·s ⁻¹)	Buan			Gunwi		
	Above 0.1m	Above 0.6m	Above 1.0m	Above 0.1m	Above 0.6m	Above 1.0m
0~1	0.62	0.50	0.43	0.03	0.00	0.00
1~2	0.90	0.91	0.90	0.39	0.22	0.15
2~3	0.93	0.95	0.95	0.62	0.50	0.43
3~4	0.94	0.96	0.96	0.71	0.64	0.59
4~5	0.94	0.96	0.96	0.77	0.73	0.69
5~6	0.94	0.96	0.96	0.80	0.77	0.73
6~7	0.94	0.96	0.95	0.81	0.79	0.75
7~8	0.93	0.96	0.95	0.82	0.81	0.78
8~9	0.93	0.96	0.95	0.83	0.82	0.79
9~10	0.93	0.96	0.95	0.83	0.83	0.81
10~11	0.93	0.96	0.94	0.83	0.82	0.80
11~12	0.93	0.96	0.94	0.84	0.83	0.81
12~13	0.93	0.96	0.94	0.82	0.83	0.80
13~14	0.92	0.95	0.93			
14~15	0.92	0.95	0.92	0.84	0.83	0.82
Above 15	0.92	0.94	0.92			

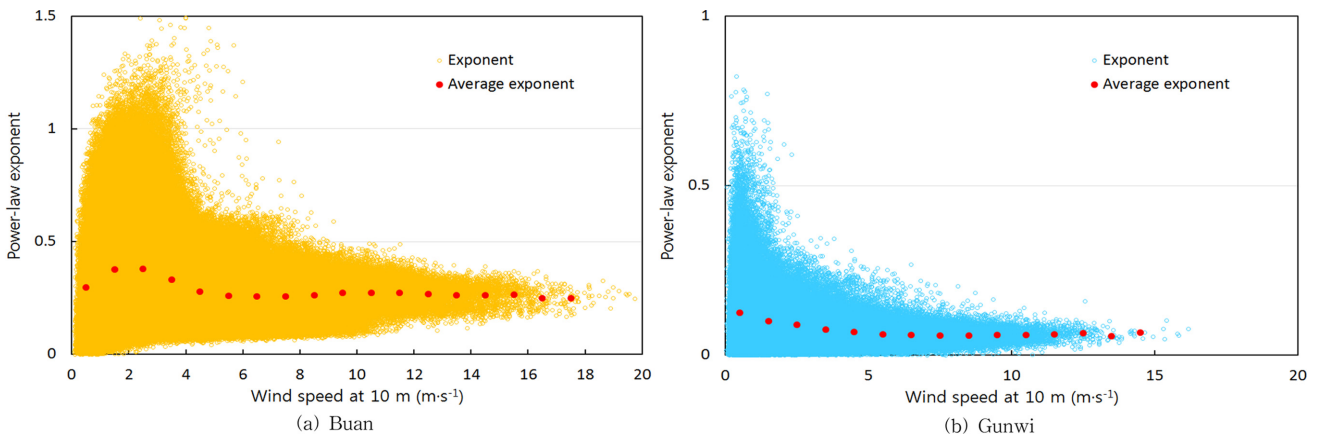


Fig. 7. Variation of power-law exponent according to wind speed.

은 풍속이 5m·s⁻¹ 이상인 준중립대기로 가정할 수 있는 경우의 풍속고도분포지수는 거의 일변화가 없다고 하였으며 이는 본 연구의 결과와 대체로 일치한다.

따라서 낮은 풍속에서의 측정결과를 사용하여 풍속고도분포지수를 결정하는 것은 바람직하지 않다고 판단되며 적어도 5m·s⁻¹ 이상의 높은 풍속에서의 측정결과를 사용하여 풍속고도분포지수를 제시하는 것이 타당하다고 판단된다.

3. 풍속에 따른 고도분포지수의 변화

Fig. 7은 0.1m 이상의 높이에서 풍속에 따른 고도분포

지수의 변화를 도시한 것이며, Table 6은 각 풍속 구간별 풍속고도분포지수의 평균값들을 나타낸 것이다. Fig. 7에서와 같이 낮은 풍속에서는 풍속고도분포지수가 불안과 균위에서 각각 최대 1.5 및 0.8 정도로 변화폭이 컸으나 풍속이 증가함에 따라 변화폭이 점차 감소하여 특정 값에 수렴하는 경향을 나타내었다. 또한 Table 6에서와 같이 풍속이 증가함에 따라 풍속고도분포지수 평균값의 변화폭이 감소하였으며 풍속이 비교적 높을 때 안정된 값을 나타내어 Clobes 등(2011), Li 등(2010), Peil과 Telljohann(1999)의 연구결과와 잘 일치하였다. 이는 풍속이 5m·s⁻¹ 이상인 준중립대기로 가정할 수 있는 경우

의 풍속고도분포지수는 거의 일변화가 없다고 한 Kim(2012)의 연구결과와도 잘 일치한다. 따라서 고도에 따른 풍속분포함수를 결정하기 위한 풍속고도분포지수를 산정할 때 $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 이상의 풍속을 사용하여 계산하는 것이 타당하다고 판단된다. 본 연구에서는 가장 높은 풍속 구간에서의 표본 수가 비교적 적어 신뢰성이 부족하였기 때문에 부안의 경우는 $13\sim 15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 범위에서 풍속고도분포지수를 결정하고 군위의 경우 $10\sim 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 범위에서 결정하였다. 풍속고도분포지수가 부안의 경우 0.1m 이상의 높이에서는 약 0.26, 0.6m 이상에서는 0.29, 그리고 1.0m 이상에서는 0.28로 나타났고, 군위의 경우는 0.1m 이상의 높이에서는 약 0.06, 0.6m과 1.0m 이상에서 0.07로 나타났다.

Fig. 8은 높이 0.1m 이상의 모든 풍속에 대하여 산정된 풍속고도분포지수인 부안의 0.26과 군위의 0.06을 사용하여 10m 높이에서의 풍속이 비교적 높은 $12.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 일 때의 높이에 따른 풍속분포를 도시한 것이다. 일반적으로는 지표면조도가 클수록 풍속고도분포지수도 증가하지만 부안과 군위의 경우는 변화 경향이 반대인 것으로 나타났다. 이는 군위에 설치된 타워가 주변지대보다 약 2m 가량 더 높은 위치에 설치되었고 이 높이차로 인하여 타워 부근의 유선 간격이 축소되어 풍속이 증가한 것으로 사료된다(Liu, 1990). 따라서 군위에 설치된 타워는 평탄

한 내륙농촌지역의 일반적인 지표면조도를 적절히 반영하지 못한 풍속고도분포지수를 나타낸 것으로 판단된다.

온실이 설치되는 높이인 10m 이하 높이에서의 풍속변화가 우리나라의 MAFRA 기준, 일본의 AIJ 기준, 네덜란드의 NEN 기준 그리고 미국의 NGMA 기준에서는 각각 10m, 5m, 2m 그리고 4.5m 이하의 모든 높이에서 같은 풍속인 반면에 우리나라의 RDC 기준과 일본의 JGHA 기준에서는 높이가 증가함에 따라 지표면으로부터 풍속이 지수함수로 점차 증가한다. 따라서 부안지역

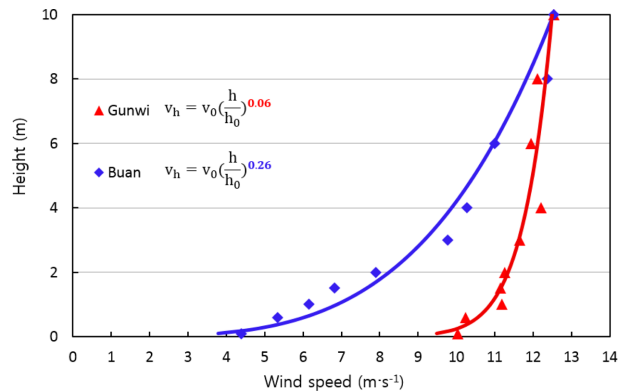


Fig. 8. Comparison of power-law exponent between Buan and Gunwi.

Table 6. Mean power-law exponent in each wind speed section.

Wind speed ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Buan			Gunwi		
	Above 0.1m	Above 0.6m	Above 1.0m	Above 0.1m	Above 0.6m	Above 1.0m
0~1	0.30	0.34	0.35	0.12	0.16	0.17
1~2	0.38	0.39	0.39	0.10	0.11	0.12
2~3	0.38	0.37	0.37	0.09	0.09	0.09
3~4	0.33	0.33	0.32	0.08	0.08	0.08
4~5	0.28	0.29	0.28	0.07	0.07	0.07
5~6	0.26	0.27	0.27	0.06	0.07	0.07
6~7	0.26	0.27	0.26	0.06	0.07	0.07
7~8	0.26	0.28	0.27	0.06	0.07	0.07
8~9	0.26	0.29	0.28	0.06	0.07	0.07
9~10	0.27	0.30	0.29	0.06	0.07	0.07
10~11	0.27	0.30	0.29	0.06	0.07	0.07
11~12	0.27	0.30	0.29	0.06	0.07	0.07
12~13	0.27	0.30	0.29	0.07	0.07	0.08
13~14	0.26	0.29	0.28	0.06	0.06	0.06
14~15	0.26	0.29	0.28			
15~16	0.26	0.30	0.29			
16~17	0.25	0.28	0.28	0.07	0.08	0.08
Above 17	0.25	0.28	0.28			

의 고도에 따른 풍속분포를 고려할 때 높이가 증가함에 따라 지표면으로부터 풍속이 지수함수로 증가하는 우리나라의 RDC 기준과 일본의 JGHA 기준이 온실설계를 위한 풍속고도분포함수로 적절하다고 판단된다. 또한 농촌의 개활지에 대한 풍속고도분포지수가 미국의 NGMA 기준은 0.11이며 우리나라의 MAFRA 기준과 일본의 AIJ 기준은 0.15인 반면 우리나라의 RDC 기준과 일본의 JGHA 기준에 따른 풍속고도분포지수 0.25는 본 연구에서 산정된 부안지역의 0.26과 거의 동일한 값을 나타내었다. 따라서 우리나라 온실설계를 위해 적용할 풍속고도분포로는 우리나라의 RDC 기준과 일본의 JGHA 기준에서 제시한 풍속고도분포가 가장 타당한 것으로 사료된다.

4. 시간에 따른 풍속고도분포지수의 변화

Fig. 9는 시간에 따른 풍속고도분포지수와 일사량의 변화를 도시한 것이다. 부안의 경우 평균풍속고도분포지수가 시간에 따라 크게 변화하였지만 군위의 경우는 시간에 따른 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 부안에서의 시간에 따른 풍속고도분포지수의 변화를 살펴보면 오전 7시 경부터 풍속고도분포지수가 감소하여 오후 3시경에 최소가 된 후 다시 증가하였고 24시경에는 일정해지는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 오전에 해가 뜨기 시작해 지표면이 가열되고 대기의 안정도가 중립상태가 되면서 풍속이 증가하게 되고 풍속고도분포지수는 감소하게 되며 새벽시간에는 지면냉각으로 인해 공기층이 안정한

상태가 되어 풍속고도분포지수가 일정해지기 때문이다 (Gualtieri와 Secci, 2011; Kim, 2012; Lee 등, 2013; Farrugia, 2003; Smith 등, 2002; Hanafusa 등, 1986). 군위의 경우 시간에 따른 변화가 크지 않은 것으로 나타나 일반적인 변화양상과는 차이가 있었으며, 이에 대해선 추가적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

5. 풍속의 변화와 확률밀도함수

Fig. 10은 시간에 따른 지표면으로부터의 높이별 풍속의 변화를 나타낸 것이다. 두 지역 모두 시간에 따라 풍속이 변화하였지만, 자정부터 오전 8시 경까지는 풍속이 거의 일정한 것으로 나타났다. 또한 부안과 군위에서 각각 오후 3~4시, 오후 2~3시에서 최대 풍속을 갖는 것으로 나타났다. 부안에서는 측정 높이 간 어느 정도의 풍속 차이를 보였으나 군위의 경우 높이별 차이가 상대적으로 아주 작았고, 이러한 결과는 부안의 풍속고도분포지수가 군위보다 큰 원인이 된다.

Fig. 11은 10m 높이에서의 풍속에 대한 확률밀도함수를 도시한 것이다. 부안의 경우는 1~3m·s⁻¹의 풍속에서 발생빈도가 가장 높았으며, 와이블곡선의 형상변수는 1.51로써 군위에 비해 상대적으로 특정풍속 구간에 집중된 분포를 보여주었다. 이와는 반대로 군위의 경우 0.25~1.5m·s⁻¹의 풍속에서 발생빈도가 가장 높았고 형상변수는 1.09로써 부안에 비해 분산된 분포를 가졌다. Lee 등(2013)이 제주도 북동부 연안지역 3곳에 대하여

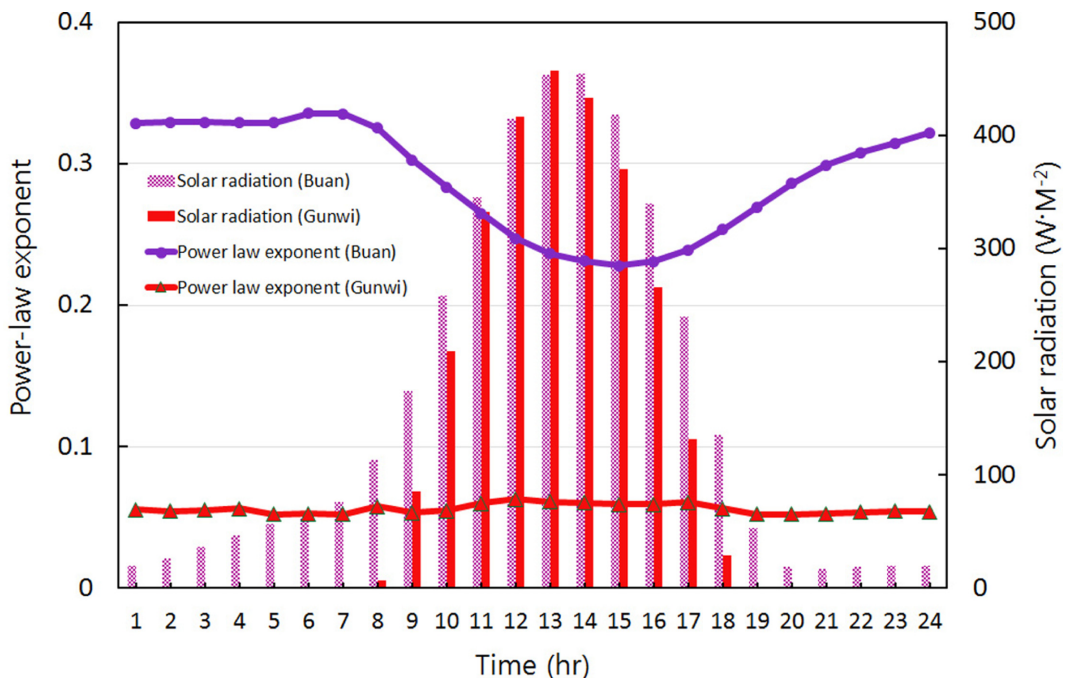
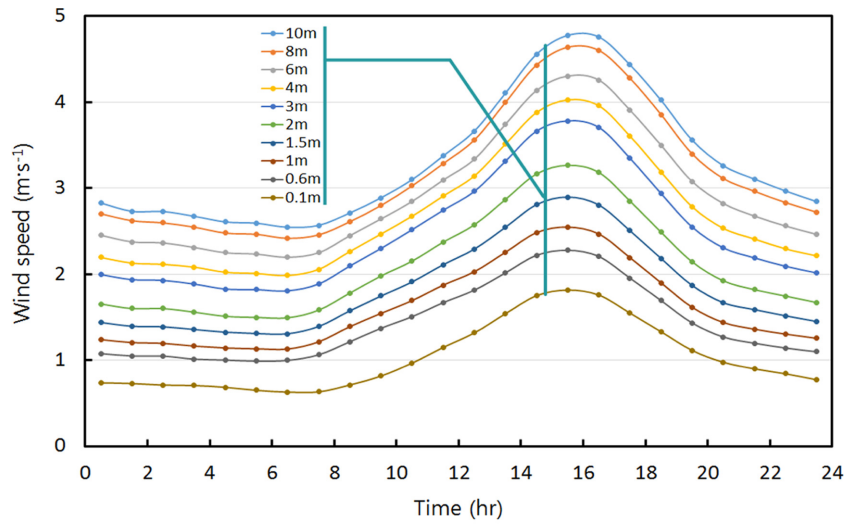
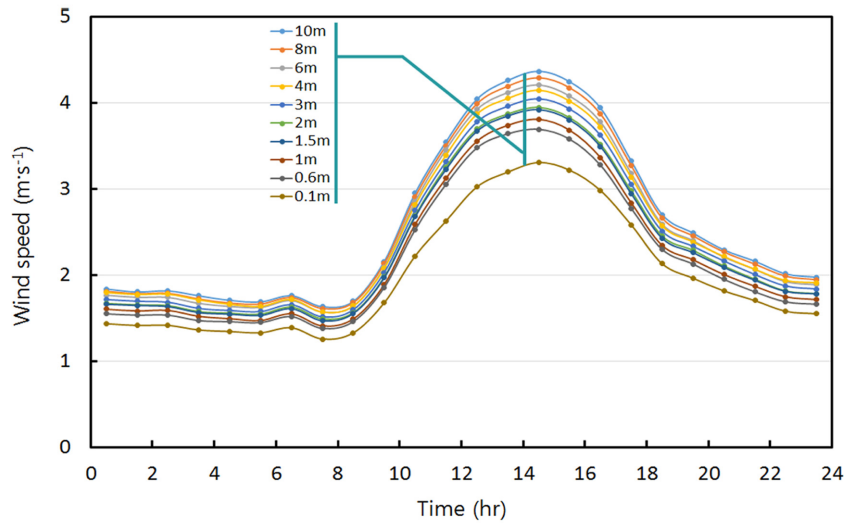


Fig. 9. Variation of average hourly power-law exponent and solar radiation according to time.



(a) Buan



(b) Gunwi

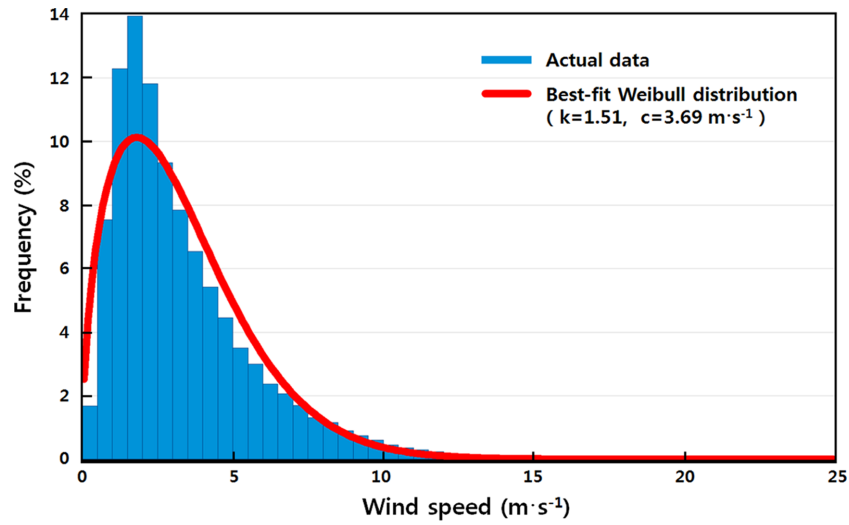
Fig. 10. Variation of wind speed according to time.

30m 높이의 풍속에 대한 확률밀도함수를 분석한 결과 형상변수는 1.5~1.7 범위였고 축척변수는 7~9m·s⁻¹의 범위였다. 본 연구에서 부안은 형상변수가 1.51로 나타나 간척지인 부안지역의 풍속특성이 제주도 연안지역과 유사한 풍속특성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 반면에 부안의 축척변수는 3.69m·s⁻¹로 산정 되었지만 Lee 등(2013)의 연구결과인 7~9m·s⁻¹ 범위와 큰 차이를 보여주었다. 이는 풍속의 측정높이가 다르고 풍속이 비교적 높은 제주도의 지역적 특성 때문인 것으로 판단된다.

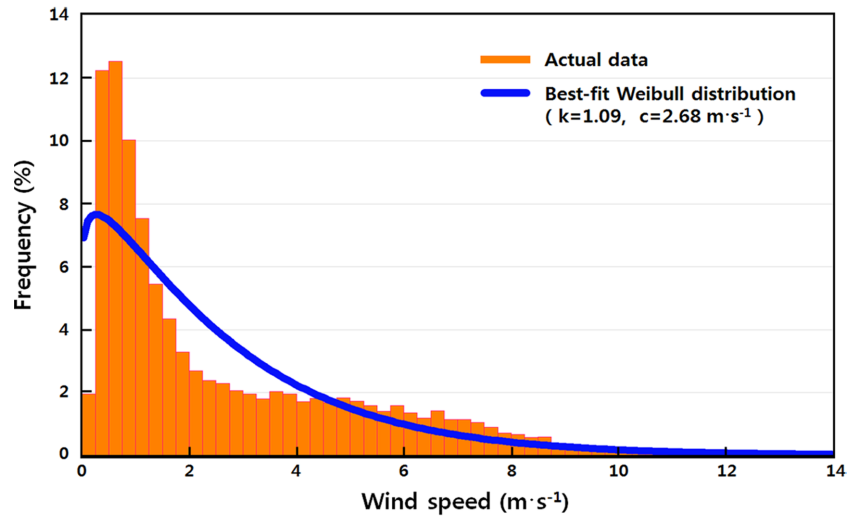
적 요

본 연구는 온실에 작용하는 풍하중 산정을 위한 설계 풍속을 결정하는데 필요한 자료를 제공하기 위하여 10m

이하 높이에서의 풍속을 측정하여 풍속고도분포지수를 산정하고 변화를 분석하였다. 고도에 따른 풍속분포함수를 결정하기 위한 풍속고도분포지수를 계산하기 위해서는 5m·s⁻¹ 이상의 풍속을 사용하는 것이 타당하다고 판단된다. 농촌 개활지인 부안지역의 고도에 따른 풍속변화는 지표면으로부터 풍속이 지수함수로 증가하는 우리나라의 RDC 기준과 일본의 JGHA 기준과 잘 일치하였고 풍속고도분포지수도 0.26으로 기준들에서 제시된 0.25와 거의 동일한 값을 나타내었다. 반면 군위지역의 경우는 풍속고도분포지수가 0.06으로 산정되어 지표면조도가 클수록 풍속고도분포지수가 증가하는 일반적인 변화 경향과는 반대로 나타났다. 이는 타위가 주변지대보다 약 2m 가량 더 높은 위치에 설치되었기 때문에 유선의 급격한 변화에 의한 것으로 판단된다. 따라서 일반적



(a) Buan



(b) Gunwi

Fig. 11. Weibull probability density function of wind speed at a height of 10 m.

으로 농촌 개활지에 설치되는 온실의 설계를 위해 적용할 풍속고도분포로는 우리나라의 RDC기준과 일본의 JGHA기준에서 제시한 풍속고도분포가 가장 타당한 것으로 사료된다. 부안의 경우 오전 7시 경부터 풍속고도분포지수가 감소하다가 오후 3시경에 최소가 된 후 다시 증가하여 24시경에 일정해지는 것으로 나타나 시간에 따른 풍속고도분포지수의 일반적인 변화경향과 잘 일치하였다. 부안지역은 형상변수가 1.51로 나타나 간척지인 부안지역의 풍속특성이 제주도 연안지역과 유사한 풍속특성을 가지고 있음을 확인하였다.

추가 주제어 : 농촌개활지, 저층구조물, 지표면조도, 온실구조설계기준, 풍속고도분포지수

사 사

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ00943802)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

- Al-Abbadi, N.M. and S. Rehman. 2009. Wind speed and wind power characteristics for Gassim, Saudi Arabia. *Int'l J. Green Energy* 6(2):201-217.
- Architectural Institute of Japan (AIJ). 2004. Recommendations for loads on buildings.
- Architectural Institute of Korea (AIK). 2009. Korean building code and commentary (in Korean).

- Capps, S. B. and Zender, C. S. 2008. Observed CAM3 GCM sea surface wind speed distributions: characterization, comparison, and bias reduction. *J. Climate*, 21(24):6569-6585.
- Choi, M.G., S.W. Yun, H.T. Kim, S.Y. Lee and Y.C. Yoon. 2014. Current status on the greenhouse foundation. *Journal of Agriculture & Life Science* 48(3):251-260 (in Korean).
- Clobes, M., A. Willecke and U. Peil. 2011. Shape-dependent characteristics of full-scale wind profiles. *J. Wind Engg. and Ind. Aerodyn.* 99(9):919-930.
- Davenport, A.G. 1960. Rationale for determining design wind velocities. *J. Struct. Engg. ASCE* 86:39-68.
- Farrugia, R.N. 2003. The wind shear exponent in a Mediterranean island climate. *Renewable Energy* 28(4):647-653.
- Gualtieri, G. and S. Secci. 2011. Wind shear coefficients, roughness length and energy yield over coastal locations in southern Italy. *Renewable Energy* 36(3):1081-1094.
- Ha, Y.C. 1998. Characteristic of wind profile according to change in ground surface roughness. *Wind Engineering Institute of Korea* 2(2):171-178 (in Korean).
- Hanafusa, T., C.B. Lee and A.K. Lo. 1986. Dependence of the exponent in power law wind profiles on stability and height interval. *Atmospheric Environment* 20(10):2059-2066.
- Japan Greenhouse Horticulture Association (JGHA), 1997. Standard for structural safety of greenhouse. Tokyo: Japan Greenhouse Horticulture Association (in Japanese).
- Jung, S.H., H.W. Lee, J.W. Lee, W.H. Na and S.Y. Lee. 2014a. Comparison of wind pressure calculation formula for greenhouse structure design in some nations standard. *Proceedings of the Korean Society for Bio-Environment Control Conference* 23(1):189-190 (in Korean).
- Jung, S.H., H.W. Lee, J.W. Lee, W.H. Na and S.Y. Lee. 2014b. Comparison of snow loads calculation standards for greenhouse structure design in some nations. *Proceedings of the Korean Society for Bio-Environment Control Conference* 23(2):169-170 (in Korean).
- Kim, M.K., Nam, S.W., Suh, W.M., Yoon, Y.C., Lee, S.G. and Lee, H.W. 2000. *Agricultural structure engineering*. Hyangmoonsa (in Korean).
- Kim, H.G. and J.O. Choi. 2002. Calculation of wind profile exponent in Pohang area. *Wind Engineering Institute of Korea* 6(1):47-52 (in Korean).
- Kim, H.G. 2012. Analysis on wind profile characteristics in a sublayer of atmospheric boundary layer over a semi-complex terrain. *J. Env. Sci.* 21(2):145-152 (in Korean).
- Kim, R.U., D.W. Kim, K.C. Ryu, K.S. Kwon, and I.B. Lee. 2014. Estimation of wind pressure coefficients on even-span greenhouse built in reclaimed land according to roof slope using wind tunnel. *Protected Horticulture and Plant Factory*. 23(4):269-280 (in Korean).
- Ko, J.W., Quan, H.C. and Lee, B.G. 2012. The study on assessment of roughness coefficient for designing wind farm in Jeju island. *J. Korean Society for Geo-Spatial Information System* 20(2):15-22 (in Korean).
- Kwon, D.K. and A. Kareem. 2013. Comparative study of major international wind codes and standards for wind effects on tall buildings. *J. Engg. Struct.* 51:23-35
- Lassig, J.L., M.G. Cogliati, M.A. Bastanski and C. Palese. 1999. Wind characteristics in Neuquen, north Patagonia, Argentina. *J. Wind Engg. and Ind. Aerodyn.* 79(1-2):183-199.
- Lee, B.G., S.J. Moon, and J.W. Ko. 2013. Power law exponent in coastal area of northeastern Jeju island for the investigation of wind resource. *J. Korean Society for Geo-Spatial Information System* 21(4):65-71 (in Korean).
- Li, Q.S., L. Zhi and F. Hu. 2010. Boundary layer wind structure from observations on a 325m tower. *J. Wind Engg. and Ind. Aerodyn.* 98(12):818-832.
- Liu, H. 1990. *Wind Engineering - A handbook for structural engineers*.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 1999. *Greenhouse structure design standards and explanations* (in Korean).
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MIFAFF), Rural Development Administration(RDA). 2010. *Designated notice of standards to endure disaster for horticultural and special facilities* (in Korean).
- National Greenhouse Manufactures Association (NGMA). 2004. *Structural design manual*. ed. NGMA, PA, USA.
- Netherlands Standardization Institute (NEN). 2004. *Greenhouses : Design and construction - Part I : Commercial production greenhouses*.
- Peil, U. and G. Telljohann. 1999. A wind turbulence model based on long-term measurements. *Wind Engineering into The 21st Century - Proceedings of The 10th International Conference on Wind Engineering*. Copenhagen, Denmark, 147-153.
- Pryor, S. and R. Barthelmie. 2009. Historical trends in near-surface wind speeds. *Indiana University Press*. In *Understanding Climate Change*, chapter 15:169-183.
- Ro, K.S. and P.G. Hunt. 2007. Characteristic wind speed distributions and reliability of the logarithmic wind profile. *J. Env. Engg.* 133(3):313-318.
- Rural Development Corporation(RDC). 1995. *Greenhouse structural requirements*. ed. RDC, Uiwang, Korea (in Korean).
- Sen, Z., A. Altunkaynak and T. Erdik, 2012. Wind velocity vertical extrapolation by extended power law. *Advances in Meteorology*. 2012:Article ID 178623.
- Smith, K., G. Randall, D. Malcolm, N. Kelly and B. Smith. 2002. Evaluation of wind shear patterns at Midwest wind energy facilities. *American Wind Energy Association (AWEA) WindPower 2002 Conference*, Portland, OR (US)