

# 데이터 플랫폼내 풍력잠재량에 적용되는 풍력설비의 적정 용량 밀도에 대한 분석

김건훈<sup>1†</sup> · 김진영<sup>2</sup> · 황수진<sup>3</sup> · 윤창열<sup>1</sup> · 김현구<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국에너지기술연구원 신재생자원지도연구실, 책임연구원

<sup>2</sup>한국에너지기술연구원 신재생자원지도연구실, 책임기술원

<sup>3</sup>한국에너지기술연구원 신재생자원지도연구실, 박사후연구원

## Research on Suitable Array Power Installation Density of Wind Turbines for the Assessment of Wind Energy Potential for Data Platform

Kim Keon-hoon<sup>1†</sup> · Kim Jin-young<sup>2</sup> · Hwang Su-jin<sup>3</sup> · Yoon Chang-yul<sup>1</sup> · Kim Hyun-goo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Principal Researcher Ph.D., New & Renewable Energy Resource Map Lab., KIER

<sup>2</sup>Principal Research Engineer Ph.D., New & Renewable Energy Resource Map Lab., KIER

<sup>3</sup>Postdoctoral Researcher Ph.D., New & Renewable Energy Resource Map Lab., KIER

<sup>†</sup>Corresponding author: kkh4417@kier.re.kr

### Abstract

In response to the national policy for the reduction of CO<sub>2</sub> gas emissions and the dissemination of renewable energy resource facilities, the disseminated capacity of wind turbines is steadily expanding in Korea. However, to facilitate more realistic national dissemination planning, a more scientific basis for domestic wind potential and actual installation capability must be established. In this regard, a number of previous studies have provided details on the key parameters associated with wind energy potential. Among the major key points regarding wind energy potential is the array power density (APD) of wind turbines. However, this may be determined under certain ambiguous conditions associated with technical uncertainties. In general, an APD value of 5 MW/km<sup>2</sup> is applied in Korea and a number of previous studies have reported results based on the application of APDs of 3 to 5 MW/km<sup>2</sup>. Given the diverse range of factors that can potentially influence the accuracy of the APD determinations for wind turbines, it is necessary to establish a more detailed and scientific basis for the determination of APD. In this study we seek to provide such a basis. To the best of our knowledge, this is the first study to assess the scientific basis of APD based on an examination of representative wind turbines, with respect to several technical specifications relating to wind speed, wind direction and IEC class conditions. We aim to scientifically analyze the effects of the performance characteristics of wind turbines on the APD, which is also the most important factor for an assessment of wind energy potential, and will contribute to establish an accurate technical basis for determination of APDs. On the basis of the findings in this study, we quantitatively identified the effective parameters for the determination of APD, which can be applied to facilitate an accurate determination of wind energy potential. Furthermore, these parameters have potential application as key variables in renewable energy data platforms and provide a technical reference for wind energy potential work area.

**Keywords:** 데이터 플랫폼(Data platform), 후류손실(Wake loss), 설비 용량밀도(Array power density), 풍력 잠재량(Wind energy potential), 단지 효율(Park efficiency)

 OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society  
Vol.43, No.2, pp.13-23, April 2023  
<https://doi.org/10.7836/kjes.2023.43.2.013>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 25 December 2022

Revised: 26 January 2023

Accepted: 16 February 2023

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

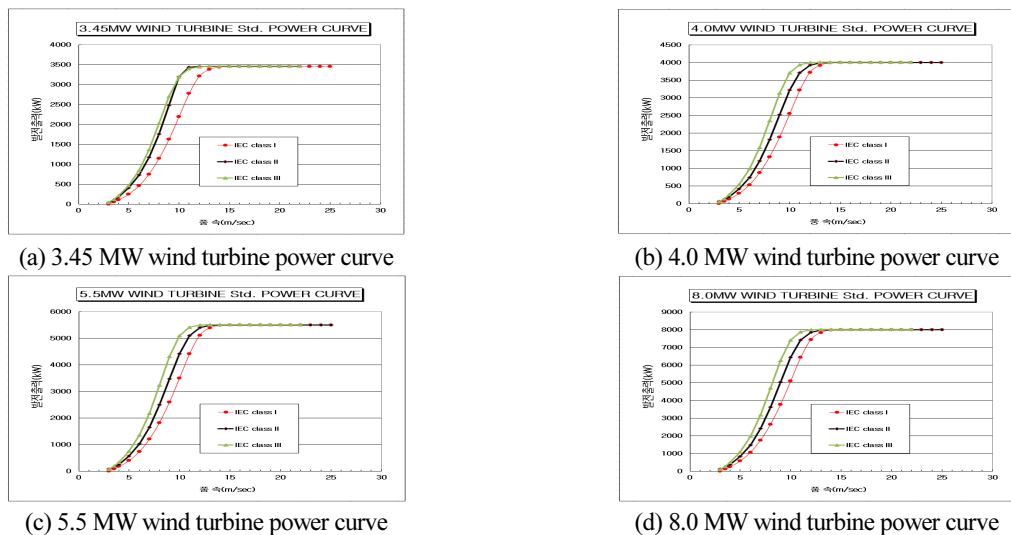
## 1. 서론

### 1.1 연구의 필요성

국가적 차원의 탄소중립정책과 재생에너지원의 보급 확대 정책에 따라, 풍력발전 설비 보급 확대가 꾸준히 이루어지고 있는 실정이다. 그러나, 좀더 계획적이고 체계적인 보급계획 수립을 위해서는, 국내 보급 잠재량과 실 설치 가능량에 대한 과학적인 산정이 우선 되어야 하기에, 정부차원에서의 풍력잠재량에 대한 근거가 지속적으로 제시되고 있다. 그러나, 잠재량의 산정에서 가장 중요한 사항중 하나인 GIS기반 적용 국토 면적은 명확한 과학적 기반 하에 산정되고 있으나, 또 다른 주요 요소인 용량 밀도에 대해서는 과학적인 근거가 명확치가 않은 것이 사실이다. 국내에서도 통상 5 MW/km<sup>2</sup>의 수치를 적용하고 있었고<sup>1)</sup>, 외국의 다수의 연구에서도 3 ~ 5 MW/km<sup>2</sup> 정도로서 적용하고 있으나<sup>2-4)</sup>, 용량밀도에 영향을 미치는 요소가 다수 임을 감안한다면 세부적이고 과학적인 근거가 명확히 제시되고 있지는 않은 상태이다<sup>5)</sup>. 이에 풍력잠재량의 산정의 결정적인 요소인 용량 밀도에 영향을 미치는 각 요소의 영향을 해석적으로 분석함으로써 적정 용량밀도 결정의 과학적인 명확한 근거의 제시를 위해 본 연구가 진행되었다<sup>6-8)</sup>.

### 1.2 연구의 주요 방법

가장 우선적으로 풍력잠재량의 산정에 적용되는 대상 풍력터빈의 선정을 위해 최근 풍력터빈의 대형화를 감안하여 3.45, 4.0, 5.5 및 8.0 MW급 풍력터빈에 대해서 설계 안전 등급인 IEC wind class I, II 및 III인 풍력 터빈의 대표 기종을 산정 하였다. 각 용량 및 IEC 등급별 풍력터빈의 제작사별 성능 차이의 특성을 표준화하기 위하여, 각 용량의 풍력터빈의 출력 곡선을 정규화하여 각 용량별 대표 출력곡선을 다음의 Fig. 1처럼 선정 하였고, 다음의 Table 1에서는 각 대표 풍력터빈의 제반 성능을 보이고 있다.



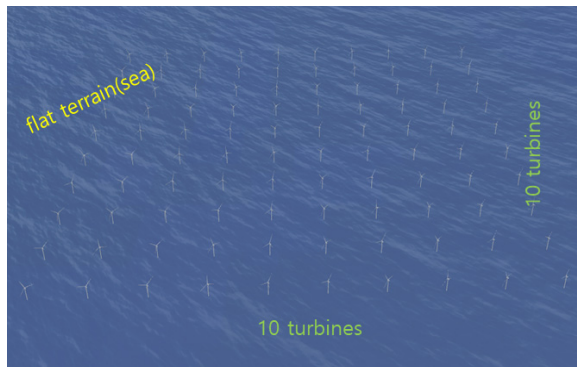
**Fig. 1** Power performance curves of the representative wind turbines with 3.45, 4.0, 5.5 and 8.0 MW

대표 풍력터빈이 갖는 성능 지표는 잠재량 산정 단계에서 적정한 용량 밀도를 분석해 내는 데 있어서, 매우 중요한 요소로서 작용하기 때문에 특정 용량과 특정 IEC 안전등급의 풍력터빈의 성능 지표를 사용하지 않고, 좀더 일반화할 수 있도록, 각 용량 및 IEC등급에 대해서 성능 지표를 정규화하여 대표 성능 지표를 도출하여 분석에 활용하였다<sup>6)</sup>.

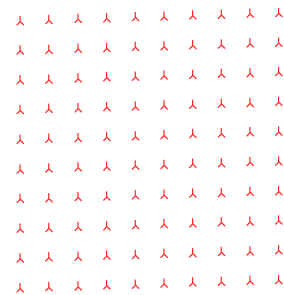
**Table 1** Basic specifications of the representative wind turbines

Rated capacity (MW)	IEC wind class	Rotor diameter (m)	Hub height (m)	Specific power (W/m <sup>2</sup> )
3.45	I	113	100	344
	II	122		295
	III	133		248
4.0	I	122	100	342
	II	133		288
	III	143		249
5.5	I	144	120	338
	II	158		281
	III	168		248
8.0	I	175	150	333
	II	193		273
	III	203		247

아울러, 대상 대표 풍력터빈으로 구성되는 평탄지형 또는 해상 지표 조건의 표준 풍력발전 단지를 설정하였는데, 잠재량의 산정을 위해 정방형의 풍력터빈이 무한 반복적으로 설치되는 상황을 가정하여 10 turbines × 10 turbines의 배열을 갖는 풍력발전 단지를 다음의 Fig. 2와 같이 설정하였다<sup>9)</sup>. 물론, 표준 풍력발전 단지와의 단지간의 후류 영향 등과 상호 간섭 영향은 무시하였고, 대기 난류강도에 의한 변화도 역시 해석에 반영하지 못하였다.



(a) Standard windfarm layout (3D)



(b) 10×10 Standard windfarm layout by representative wind turbine

**Fig. 2** Test configuration for standardized windfarm layout

앞서 언급한 바와 같이, 적정 용량 밀도 선정을 위해, 위의 표준 풍력발전 단지에 각 터빈의 정격 용량이 3.45, 4.0, 5.5 및 8.0 MW이며 동시에 각 IEC 풍속 등급이 I, II 및 III 인 대표 풍력터빈을 배치하고, 연평균 풍속 6, 8 및 10 m/sec의 Rayleigh 분포를 갖는 풍속을 진입시켜 후류 손실(후류 손실 연간발전량/총 연간발전량) 및 연간 발전량을 분석 하였다. 또, 이때 표준 풍력발전 단지에 각각 0°, 22.5° 및 45°의 방위각(풍향)을 갖도록 풍속이 진입하게 하여, 풍향의 변화에 대한 연간발전량 및 후류손실의 정도를 분석 하였다. 대표 풍력발전 단지의 배치 및 대표 풍력터빈의 적용에 의한 후류손실과 연간발전량의 분석에는 가장 널리 사용되고 있으며, 분석의 결과에 대한 검증이 충분히 이루어져 있는 EMD사의 WindPRO (v3.5)<sup>10</sup>을 사용 하였다. WindPRO에서는 국내 육상 풍력발전 단지 잠재량을 산정하기 위한 국내 지역의 대부분에 적용 될 수 있는 연 평균 풍속 범위 6, 8 및 10 m/sec의 평균 풍속에 대해 각 Rayleigh 풍속분포를 갖는다고 가정하고 분석을 수행하였다. 아울러, 후류 손실의 해석에 사용되는 후류 모델로는 직관적이고 짧은 계산시간에 의해 가장 보편적으로 사용되는 N.O. Jensen Park2 모델을 사용하였다. 또한, 후류 모델의 중첩에 대해서는 sum of squares of velocity deficits 법칙을 활용하여 중첩되는 후류에 의한 감소 되는 부분을 해석하였다. 다음의 Fig. 3에는 N.O.Jensen Park2 의 모델을 보이고 있다.

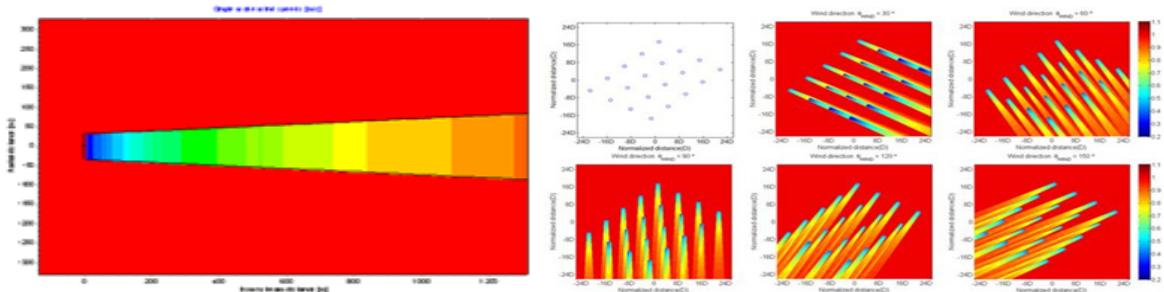


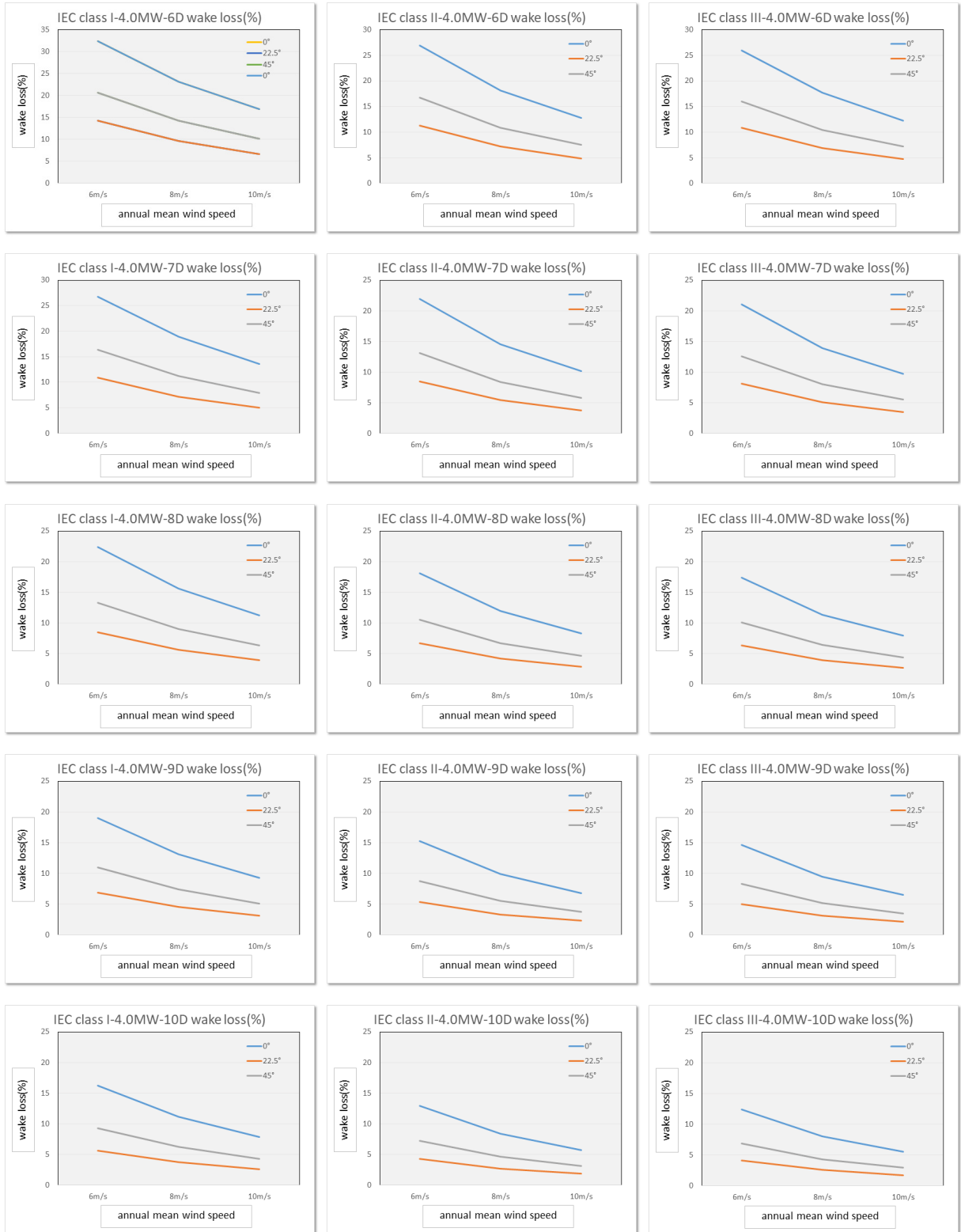
Fig. 3 N.O. Jensen wake model for a single wind turbine and the windfarm

이러한, 연구의 방법에 의해 표준 풍력발전 단지의 각 용량별 대표 풍력터빈의 IEC 등급별 연 평균 풍속 및 풍향에 대한 전체 풍력발전 단지의 후류 손실을 분석하여, 그 특성을 파악함으로써, 풍력에너지 잠재량 산정의 기본 변수가 되는 용량 밀도에 대한 기술적인 근거를 제시코자 하였다. 본 논문에서는 대표 풍력터빈 중에서 4.0 MW와 5.5 MW 풍력터빈에 대한 해석 결과만을 대표적으로 기술코자 한다.

## 2. 표준 풍력발전 단지 후류 손실 분석

### 2.1 4.0 MW 대표 풍력터빈 풍력발전 단지의 후류 손실 분석

다음의 Fig. 4에는 4.0 MW 대표 풍력터빈으로 구성된 표준 풍력발전 단지의 IEC 등급별 및 풍력터빈간 이격 거리별 풍속 및 풍향에 대한 후류 손실의 분석 결과를 보이고 있다. 좌측 옆에는 IEC I 등급의 4.0 MW 풍력터빈



(a) Wake loss analysis result of 4.0 MW (IEC I) wind turbines on variation of turbine array spacing and wind direction

(b) Wake loss analysis result of 4.0 MW (IEC II) wind turbines on variation of turbine array spacing and wind direction

(c) Wake loss analysis result of 4.0 MW (IEC III) wind turbines on variation of turbine array spacing and wind direction

**Fig. 4** Wake loss calculation results for the standardized windfarm with representative 4.0 MW wind turbines

에 대한 후류 손실을 보이고 있고, 중앙 열과 우측 열에서는 각각 IEC II 및 III 등급의 풍력터빈에 대한 후류 손실률을 보이고 있다. IEC 등급이 I인 경우가 IEC II이거나 IEC III 보다 후류 손실률이 높게 나오고 있어, IEC 등급 I인 터빈의 높은 추력계수에 의한 영향임을 추정해 볼 수 있을 것이다. 가장 높은 후류 손실은 IEC 등급 I이 6D의 이격 거리 조건에서 6 m/sec와 0°의 풍향에서 약 32.5%의 후류 손실을 보이고 있으며, 가장 작은 후류 손실률은 10D의 이격 거리에서 풍속 및 풍향이 각각 10 m/sec 및 22.5°에서 2.5% 정도의 분석 결과를 보이고 있다.

결과적으로, 후류 손실률에 영향을 미치는 조건은 상당히 다양하며, 그 영향도 동일한 용량의 풍력터빈이라 해도 배치나 풍속 및 풍향에 따라 32.5%에서 2.5%까지 큰 변화를 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서, 앞서 언급한 바와 같이 4.0 MW의 풍력 터빈에 대한 잠재량의 산정 시에 풍력터빈이 갖는 다양한 설계 등급 및 이격거리와 풍속 및 풍향에 따라 후류손실률의 큰 변화 수치를 보이므로, 가장 적절한 후류손실률에 대한 기준을 세우고 이에 적합한 용량 설비밀도 산정의 절차가 필요할 것이다.

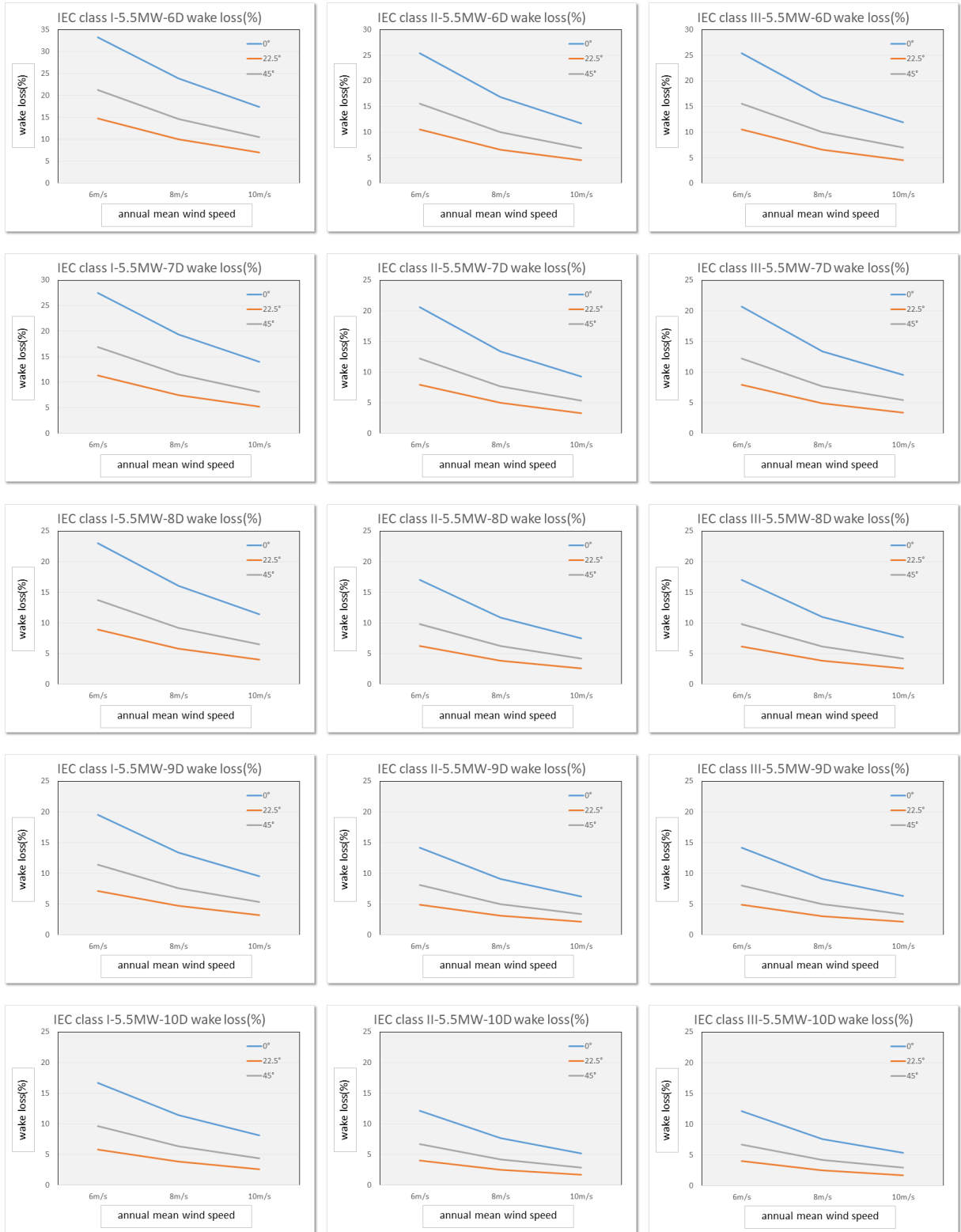
### 2.2 5.5 MW 대표 풍력터빈 풍력발전 단지의 후류 손실 분석

다음의 Fig. 5에는 5.5 MW 대표 풍력터빈으로 구성된 표준 풍력발전 단지의 IEC 등급별 및 풍력터빈 이격거리별 풍속 및 풍향에 대한 후류 손실의 분석 결과를 보이고 있다. IEC 등급 I 이라면 동일한 6D의 이격 거리에서 동일한 연 평균 풍속 6 m/sec에서 각각 풍향 0°, 22.5° 및 45°에서 후류손실률은 각각 33%, 15% 및 21% 내외로 분석 되었으나, IEC II 등급이라면 후류손실률은 각각 25%, 10.5% 및 15% 내외로서 큰 차이로 낮아지고 있으며, IEC III 등급이라면 후류손실률은 각각 25.5%, 10.5% 및 15.5%로서 IEC II 등급의 풍력 터빈과는 매우 유사한 수치를 보이고 있다. 이는 IEC II와 IEC III의 풍력터빈의 경우에 풍력터빈 회전자 직경의 차이로서 설계 등급상의 정격풍속이나 운전 풍속의 범위는 다르지만, 개별 풍력터빈의 블레이드와 같은 주요 부품들은 비슷한 효율 및 성능을 지니고 있어, 전체적인 풍력 터빈의 효율이나 성능 자체는 비슷한 상태로서 후류손실에 크게 영향을 미치는 추력계수 자체는 큰 차이가 없는 것으로 볼 수 있다. 다만, IEC 등급 I의 경우는 조금 후류손실률이 II 등급이나 III 등급에 비해 크게 분석 되는 것은 등급 I의 경우는 최적의 효율이나 성능 보다는 강풍에 대한 내하중을 위해서, 다소 추력계수가 높은 상태에서 운전되는 제어방식으로서 운전하므로, 당연히 후류손실률도 크게 나타나는 것으로 분석 할 수 있다. 이렇듯, 후류손실률에는 풍력터빈의 안전 풍속등급에 대한 운전제어에 의한 추력 계수 등에 대해서도 영향을 받을 수 있는 민감한 변수임을 보이고 있다.

## 3. 결과 및 토의

### 3.1 대표 풍력터빈의 용량별 이격거리에 대한 설비 용량 밀도

다음의 Fig. 6에서는 대표 풍력 터빈 3.45 MW, 4.0 MW, 5.5 MW 및 8.0 MW 용량의 풍력터빈을 표준 풍력발전 단지(10 turbines × 10 turbines)로 배치했을 때, 각 풍력터빈간의 이격 거리를 6D에서 10D까지 1D의 간



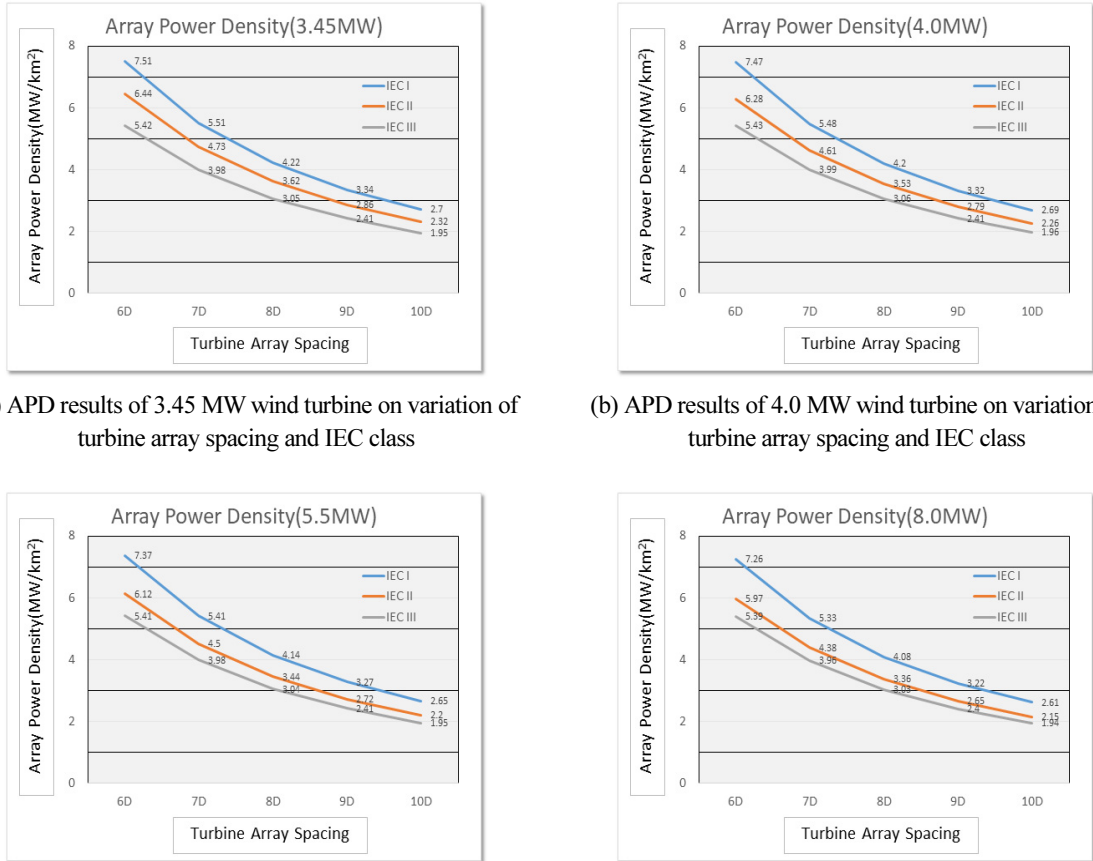
(a) Wake loss analysis result of 5.5 MW (IEC I) wind turbines on variation of turbine array spacing and wind direction

(b) Wake loss analysis result of 5.5 MW (IEC II) wind turbines on variation of turbine array spacing and wind direction

(c) Wake loss analysis result of 5.5 MW (IEC III) wind turbines on variation of turbine array spacing and wind direction

**Fig. 5** Wake loss calculation results for the standardized windfarm with representative 5.5 MW wind turbines

격으로 증가하면서 배치했을 때, 표준 풍력발전 단지 내의 설비 용량 밀도를 보이고 있다. 이격 거리가 늘어나면서 당연히 설비 용량 밀도는 감소하고 있지만, 이격 거리가 선형적으로 증가하면서도 설비 용량 밀도는 선형적으로 감소하고 있지는 않다. 이는 풍력 터빈의 정격용량이 회전자 직경  $D^2$ 에 비례하기 때문으로 볼 수 있다.



(a) APD results of 3.45 MW wind turbine on variation of turbine array spacing and IEC class

(b) APD results of 4.0 MW wind turbine on variation of turbine array spacing and IEC class

(c) APD results of 5.5 MW wind turbine on variation of turbine array spacing and IEC class

(d) APD results of 8.0 MW wind turbine on variation of turbine array spacing and IEC class

**Fig. 6** Array power density of each representative wind turbines through the turbine array spacing

Fig. 6에서 볼 수 있듯이, 3.45 MW의 풍력터빈은 IEC 등급 I, II 및 III에 따라 6D에서 10D까지 설비 용량 밀도가 7.51 ~ 2.7 MW/km<sup>2</sup>, 6.44 ~ 2.32 MW/km<sup>2</sup>, 5.42 ~ 1.95 MW/km<sup>2</sup>로 변화하고 있고, 4.0 MW의 풍력터빈은 7.47 ~ 2.69 MW/km<sup>2</sup>, 6.28 ~ 2.26 MW/km<sup>2</sup>, 5.43 ~ 1.96 MW/km<sup>2</sup>, 5.5 MW의 풍력터빈은 7.37 ~ 2.65 MW/km<sup>2</sup>, 6.12 ~ 2.2 MW/km<sup>2</sup>, 5.41 ~ 1.95 MW/km<sup>2</sup>, 8.0 MW의 풍력터빈은 7.26 ~ 2.61 MW/km<sup>2</sup>, 5.97 ~ 2.15 MW/km<sup>2</sup>, 5.39 ~ 1.94 MW/km<sup>2</sup>의 수치를 보이는데, 풍력터빈 정격용량별로는 큰 차이가 없는 결과를 보이고 있다.



### 3.2 대표 풍력터빈의 용량에 따른 설비 용량 밀도의 산정

앞서의 Fig. 4와 Fig. 5에서는 각 대표 풍력터빈의 정격용량중 4.0 MW 및 5.5 MW용량의 풍력터빈을 표준 풍력발전 단지에 배치했을 때 연 평균 풍속 및 풍향에 대한 후류 손실률을 분석하여 보이고 있다. 여기서, 잠재량의 산정을 위해서는 과학적 기반을 갖는 적합한 설비 용량 밀도가 산정되어야 하는데, 수평면에 배치하는 표준 풍력발전 단지 내의 대표 풍력터빈들에 의해 터빈과 터빈간의 후류 손실이 발생하게 된다. 수평방향의 에너지원인 풍력에너지 특성상인 풍력터빈간 지나치게 과도하여, 현실적이지 않을 정도의 충분한 이격 거리를 갖지 않는 한, 일정 부분의 후류 손실은 불가피한 것으로 정의 되어야 한다. 이렇게 불가피한 일정 후류 손실률을 사전 정의하고, 정의된 후류손실률을 보이는 표준 풍력발전 단지내 풍력터빈간의 이격 거리를 분석하고, 이에 상응하는 설비 용량 밀도를 위의 Fig. 6에서 도출하여, 잠재량 산정 시에 적용하는 적합 설비 용량 밀도로서 정의할 수 있게 된다. 이러한, 분석과정을 거쳐서 다음의 Table 2, Table 3 및 Table 4에서 각 후류손실률에 대해서 모든 대표 풍력터빈별 적정 설비 용량 밀도를 분석 하여 정리 하였다. Table 2에서 보이듯이, 후류 손실률을 25%로 설정하게 되면, 정격 용량이 커지면서 적합 설비 용량 밀도는 5.5 ~ 6.0 MW/km<sup>2</sup> 정도의 범위 값을 가지게 되며, Table 3에서 보이듯이 후류 손실률을 20%로 설정하게 되면, 적합 설비 용량 밀도는 4.5 ~ 5.0 MW/km<sup>2</sup> 정도의 값을 보이고 있다. 마지막으로, 후류 손실률을 15%로 설정하게 되면, 정격 용량이 커지면서 적합 설비 용량 밀도는 2.5 ~ 2.9 MW/km<sup>2</sup> 정도의 범위 값을 가지게 되는 것을 Table 4를 통해 알 수 있다.

**Table 2** Calculated suitable array power density of each representative wind turbines on wale loss 25%

Rated capacity (MW)	IEC wind class	Rotor diameter (m)	Turbine array spacing	Array power density (MW/km <sup>2</sup> )
3.45	I	113	7.0D	5.51
	II	122	6.5D	5.59
	III	133	6.0D	5.42
4.0	I	122	7.5D	4.84
	II	133	6.5D	5.44
	III	143	6.0D	5.43
5.5	I	144	7.5D	4.78
	II	158	6.0D	6.12
	III	168	6.0D	5.41
8.0	I	175	6.5D	6.30
	II	193	6.5D	5.18
	III	203	6.0D	5.39

**Table 3** Calculated suitable array power density of each representative wind turbines on wale loss 20%

Rated capacity (MW)	IEC wind class	Rotor diameter (m)	Turbine array spacing	Array power density (MW/km <sup>2</sup> )
3.45	I	113	8.0D	4.22
	II	122	7.5D	4.20
	III	133	7.0D	3.98
4.0	I	122	8.5D	3.76
	II	133	7.5D	4.07
	III	143	7.0D	3.53
5.5	I	144	9.0D	3.27
	II	158	7.0D	4.50
	III	168	7.0D	3.98
8.0	I	175	8.0D	4.08
	II	193	7.5D	3.87
	III	203	7.0D	3.96

**Table 4** Calculated suitable array power density of each representative wind turbines on wale loss 15%

Rated capacity (MW)	IEC wind class	Rotor diameter (m)	Turbine array spacing	Array power density (MW/km <sup>2</sup> )
3.45	I	113	10.0D	2.70
	II	122	9.0D	2.86
	III	133	8.5D	2.73
4.0	I	122	10.0D	2.69
	II	133	9.0D	2.79
	III	143	9.0D	2.41
5.5	I	144	10.0D	2.65
	II	158	9.0D	2.72
	III	168	9.0D	2.41
8.0	I	175	9.5D	2.92
	II	193	9.0D	2.65
	III	203	8.5D	2.72

#### 4. 결론

풍력 잠재량에 큰 영향을 미치는 용량 밀도에 대한 과학적인 근거가 명확하지 않은 상태에서 표준 풍력발전 단지 (10 turbines × 10 turbines)의 배치를 구성하여, 풍력터빈의 정격 용량별, IEC 등급별, 터빈 간의 이격 거리별, 연 평균 풍속 및 풍향 등의 세부적인 변수의 변화에 의한 후류 손실의 영향과 이에 적합한 용량의 대형화에 따른 설비 용량 밀도를 해석적으로 분석 하였다. 여러 변수에 대한 다양한 분석의 결과 우리나라 풍속의 대부분의 범위 영역인 연 평균 풍속 6 m/sec ~ 8 m/sec의 범위와 풍향 0°, 22.5° 및 45°의 범위에서, 후류 손실률을 15 ~ 25% 정도의 범위로서 풍력 잠재량으로 산정한다면, 가장 적합한 설비 용량 밀도는 3.0 ~ 6.0 MW/km<sup>2</sup> 정도의 설비 용량 밀도 범위

를 갖게 되는 것으로 분석 되었다. 후류 손실률이 10 turbines × 10 turbines인 표준 풍력발전 단지의 배치가 10개의 행으로서, 각 행에 위치하는 풍력 터빈에 의해 후류 영역에 속한 풍력터빈에 연차적으로 중첩되어 크게 나온다는 분석의 상황을 고려하면, 가장 중첩되어 매우 크게 나타날 수 밖에 없는 후류손실률 15 ~ 25%범위의 중간 값인 20%로서 정의 산정하여 적정 설비 용량 밀도를 분석 할 수 있게 된다. 따라서, 후류 손실률을 20%로서 설정한다면, Table 3에서와 같이 풍력터빈의 용량과 설계 등급에 따라 조금씩 차이가 있지만, 4.0 MW/km<sup>2</sup>의 설비 용량 밀도를 지나게 됨을 알 수 있다. 즉, 잠재량 산정에 필수적인 설비 용량 밀도는 풍력터빈 용량, 제원, 연 평균 풍속 및 풍향 등의 변수에 의해 영향을 받고, 또한 잠재량의 정의와 의미에 적절하게 적용할 수 있는 설정 후류 손실률에 따라서 차이가 남을 보이고 있다. 결론적으로, 20%의 후류 손실률 설정에 대해서 대표 풍력 터빈 3.45 MW, 4.0 MW, 5.5 MW 및 8.0 MW로의 대형화에도 불구하고 4.0 MW/km<sup>2</sup>의 적정 설비 용량 밀도를 갖는 것으로 분석 되었다.

## 후기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20213020020010, ‘육상풍력 입지환경을 고려한 미래 잠재량 산정’ 및 No. 20223030010090, ‘100 m × 100 m격자형 국내 시장잠재량 분석 모델 및 데이터 플랫폼 개발’).

## REFERENCES

1. New & Renewable Energy White Paper, KEA, 2020. <https://www.knrec.or.kr/biz/pds/pds/view.do?no=326>. last accessed on the 15<sup>th</sup> October 2022.
2. Musial, W., Heimiller, D., Beiter, P., Scott, G., and Draxl, C., 2016 Offshore Wind Energy Resource Assessment for the United States, NREL/TP-5000-66599, September 2016.
3. Coppens, C., Gordijn, H., Piek, M., Ruysenaars, P., Schrandt, J., Smet, and P., Europe's Onshore and Offshore Wind Energy Potential, EEA Technical Report No. 6, 2009.
4. Eurek, K., Sullivan, P., Gleason, M., Hettinger, D., Heimiller, D., and Lopez, A., An Improved Global Wind Resource Estimate for Integrated Assessment Models, NREL/JA-6A20-65323, February 2017.
5. Jo, S. M., Renewable Energy Potential Determination Methodology and Neutral Carbon Scenario Adoption, KEEL, August 2021.
6. Kim, J. Y., Hwang, S. J., Kim, K. H., and Kim, H. G., Projection of General Wind Turbine Technology in Future, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 42, No. 3, pp. 63-71, 2022.
7. Kim, J. Y., Hwang, S. J., Kim, K. H., and Kim, H. G., Final Report for the Estimation of Onshore Wind Energy Potential Considering the Site Allocation Environment in Future, July 2022.
8. Kim, K. H., Kim, J. Y., Hwang, S. J., and Kim, H. G., Research on the Effect of Parameters for the Determination of Suitable Average Power Installation Density of Wind Turbine in Wind Potential Analysis, Conference. Proc. of Korean Wind Energy Association, June 2022, Jeju, Republic of Korea.
9. Global Wind Atlas, Global Atlas/Energy Data.Info., 2022. <https://globalwindatlas.info>. last accessed on the 11<sup>th</sup> October 2022.
10. WindPRO 2.7 User Guide, WindPRO/EMD International, 2022. <https://www.emd-international.com/files/windpro/windPRO%203.2.pdf>. last accessed on the 9<sup>th</sup> November 2022.