

경제성 및 신뢰성을 고려한 해상변전소 변압기의 용량 산정

이지원*, 박성준*, 조동일**, 문원식*

*승실대학교 전기공학과

**고려대학교 신소재공학부

e-mail:caritas403@naver.com

Capacity Calculation of Offshore Substation Transformer for Offshore Wind Farm considering Economic and Reliability

Ji-Won Lee*, Seong-Jun Park*, Dong-Il Jo**, Won-Sik Moon*

*Dept. of Electrical Engineering, Soongsil University

**Dept. of Material Science & Engineering, Korea University

요약

본 논문에서는 해상변전소를 구성하는 변압기의 적정 용량을 산정하는 방법에 대해 연구하였다. 이를 위해 초기 투자비용 및 공급 지장 비용을 고려하였다. 초기 투자비용을 구하기 위해 변압기 용량 당 단가 및 설치비용 등을 고려하였고 공급 지장 비용을 구하기 위해 풍속 변화에 따른 발전량 예측을 진행하였다. 300MW의 해상풍력발전단지를 모의한 사례 연구를 진행하여 변압기의 적정 용량 및 बैंक 수를 산출하였다.

1. 서론

해상풍력발전단지를 구성하는 요소 중 해상변전소는 내부 전력망의 전압을 승압시켜 각 풍력터빈에서 생산된 전력을 육상으로 효율적으로 전송시키는 역할을 한다. 해상변전소를 구성하는 변압기에 고장이 발생하여 육상으로 전력을 전송시키지 못하게 될 경우 경제적으로 큰 손실이 발생하게 될 것이다[1]. 본 논문에서는 초기 투자비용과 공급 지장 비용을 고려하여 비용이 최소화 되는 변압기 용량을 산정하였다.

2. 본론

2.1 해상풍력발전의 특성 및 출력 모델

해상풍력발전은 바람 에너지를 이용하여 풍력터빈에서 전력을 생산하고 육상으로 전력을 전송한다. 바람은 항상 같은 속도로 불지 않고 시간에 따라 계속 변화하기 때문에 풍력터빈에서의 발전량도 시간에 따라 변화하게 된다. 이에 따라 풍속 변화에 따른 발전량 예측을 위해 풍속에 관한 확률밀도함수와 풍력터빈의 출력 특성 함수를 구하게 된다.

본 논문에서는 풍속에 관한 확률밀도함수를 구하기 위해 Rayleigh 분포 함수를 이용하였다. Rayleigh 분포 함수는 평균 풍속이라는 하나의 파라미터로 확률 분포를 나타낼 수 있는 장점이 있다. 이에 따른 확률분포함수를 식 (1)에 나타내었다[2].

$$f(v) = \frac{\pi v}{2v_m^2} \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right] \quad (1)$$

여기서 $f(v)$ 는 풍속 v 에 따른 확률밀도함수, v_m 은 평균 풍속, v 는 풍속이다.

다음으로 풍속에 따른 풍력터빈의 출력 특성 함수는 풍속 v 의 범위에 따라 다르게 나타나며 식 (2)와 같이 나타내었다 [3].

$$P_w(v) = \begin{cases} 0 & : v < V_c \\ \frac{1}{2}\rho A_s C_p \eta_m \eta_g v^3 & : V_c \leq v < V_r \\ \frac{1}{2}\rho A_s C_p \eta_m \eta_g V_r^3 & : V_r \leq v < V_f \\ 0 & : v > V_f \end{cases} \quad (2)$$

여기서 V_c , V_r , V_f 은 각각 cut-in, 정격, cut-out 풍속[m/s]이고, ρ 는 공기 밀도[kg/m³], A_s 는 블레이드 면적[m²], C_p 는 공력효율, η_m 은 풍력터빈 기어박스 효율, η_g 는 풍력터빈 발전기 효율을 나타낸다.

2.2 변압기 용량 산정을 위한 비용 모델

본 논문에서 해상변전소 내 변압기 बैंक 수와 용량 산정을 위해 초기 투자비용과 공급 지장 비용을 고려하였다.

초기 투자비용은 변압기 MVA 용량 당 단가 및 설치비용,

변압기뱅크 수 증가 시 추가 비용, 변압기 부대설비 비용 등을 고려하였다.

공급 지장 비용이란 해상변전소 내 변압기 고장 시 수리 기간 동안 풍력터빈에서 생산한 전력을 육상으로 전송하지 못하여 발생하는 공급 지장 에너지의 비용을 의미한다. 변압기를 2대 이상 설치하게 되면 1대의 변압기에 고장이 발생하게 되어도 다른 변압기를 통해 전력을 전송할 수 있어 공급 지장 비용을 감소시킬 수 있다. 앞 절에서 구한 풍속 변화에 따른 발전량 예측이 공급 지장 에너지를 구하는데 고려된다. 공급 지장 에너지는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다[4].

$$ENS = (P_{OWF} - P_{transfer})U_{TR} \quad (3)$$

여기서 P_{OWF} 는 해상풍력발전단지에서 생산되는 전력 [MW], $P_{transfer}$ 는 고장이 발생한 변압기 이외의 변압기들의 총용량[MW]을 나타낸다. U_{TR} 은 연간 고장시간[시간/년]을 나타내며, 변압기 고장률과 변압기 수리시간의 곱으로 구할 수 있다.

변압기의 뱅크 수 및 용량을 증가시키면 초기 투자비용은 증가하지만 그로 인해 공급 지장 비용은 감소시킬 수 있다. 따라서 이를 고려하여 최적의 뱅크 수 및 용량을 산정하는 것이 중요하다.

2.3 사례연구

해상변전소를 구성하는 변압기의 적정 용량 및 뱅크 수를 산정하기 위한 고려 사항들을 표 1에 정리하였다[5].

[표 1] 변압기 용량 산정 시 고려사항

고려사항	파라미터	고려사항	파라미터
풍력발전단지 용량	300 [MW]	이자율	7 [%]
Cut-in 풍속	3 [m/s]	발전단가	355 [kWh/원]
정격 풍속	10.59 [m/s]	변압기 역률	0.95
Cut-out 풍속	25 [m/s]	변압기 고장률	0.03 [회/년]
평균 풍속	7.11 [m/s]	변압기 수리시간	2190 [시간/회]
운영주기	20 [년]		

15MW 풍력터빈 20개를 가정하여 300MW 모의 해상풍력 발전단지를 구성하였다. 발전단가는 최근 2년간의 월별 SMP와 REC의 평균 가격, 수심 40m와 연계거리 40km 일 때의 REC 가중치를 고려하여 적용하였다. 그림 1에 각 Case 별 시뮬레이션 결과를 나타내었다.



[그림 1] 변압기 뱅크 수 및 용량에 따른 비용 평가

변압기가 2대 이상 설치된 경우 변압기의 용량 및 뱅크 수가 증가함에 따라 초기 투자비용이 증가하지만 공급 지장 비용이 감소하여 변압기를 1대 설치하는 경우보다 총비용이 감소한 것을 볼 수 있었다. 본 논문에서는 해상변전소에 80% 용량의 변압기 2대를 설치한 경우 가장 최소 비용이 되는 것으로 확인되었다.

3. 결론

본 논문에서는 해상변전소를 구성하는 변압기의 적정 뱅크 수와 용량을 산정하기 위해 초기 투자비용과 공급 지장 비용을 고려하였다. 300MW의 모의 해상풍력발전단지를 구성한 사례연구 결과, 80% 용량의 변압기 2대를 설치하는 것이 가장 최소 비용이 되는 것을 확인하였다.

감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2022R1G1A1013373).

참고문헌

- [1] 문원식, 조아라, 허재선, 배인수, 김재철, "해상풍력발전단지의 해상변전소 변압기 적정 용량에 관한 연구", 조명·전기설비학회논문지, 제 29권 8호, pp. 83-89, 2015년.
- [2] A. Parajuli, "A Statistical Analysis of Wind Speed and Power Density Based on Weibull and Rayleigh Models of Jumla, Nepal," Energy and Power Engineering, Vol. 8, No.7, pp. 271-282, 2016. 8.
- [3] Thomas Ackermann, "Wind Power in Power Systems," WILEY, 2005
- [4] R. Billington and R. N. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems, Second Edition," Plenum Publishing Corporation, 1996.
- [5] Gaertner E, Rinker J, et al, "IEA wind TCP task 37: definition of the IEA 15-megawatt offshore reference wind turbine," National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2020. 3.