

풍력 발전 계통에서의 손실 계산 및 손실 저감 대책

조성돈, 홍사일, 전현중
삼성물산(주) 건설부문

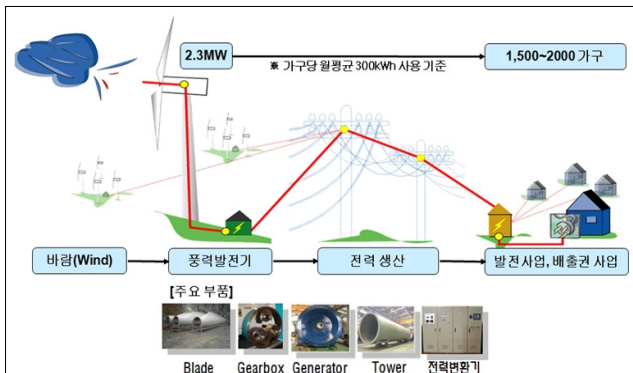
Loss Calculation and Reduction Method for Wind Power System

Sung Don Cho, Sa Il Hong, Hyun Jong Jun
Samsung Engineering & Construction

Abstract - 대규모 풍력발전 단지의 전력 계통에서 발생하는 전력손실의 종류를 분석하고 손실 저감 대책을 경제성 평가를 통해서 검토하였다. 검토결과 풍력발전 단지의 경우 부지면적이 넓어 배전선로에 의한 손실이 크고, 풍력발전설비의 설비 이용율(Capacity Factor)과 전력판매 단가가 타 발전설비에 비해 상대적으로 높기 때문에 발전소내의 가공전선의 크기를 크게 선정하는 경우 투자비 대비 전력 손실 감소로 인한 발전량 증가로 얻는 경제적 이득이 더 크므로 경제적인 손실 저감 대책인 것으로 검토되었다.

1. 서 론

태양광과 더불어 신재생에너지로 자리매김한 풍력발전. 현재 EU, 미국, 중국이 세계시장을 삼등분하고 있는 가운데, 우리나라도 몇 지역에 대용량 풍력단지를 개발 완료하였거나 개발할 예정이다. 본 논문에서는 대규모 풍력발전 단지의 전기 계통에서 발생하는 전력손실의 종류를 분석하고, 경제성 평가를 통해 손실 저감 대책을 검토하였다.

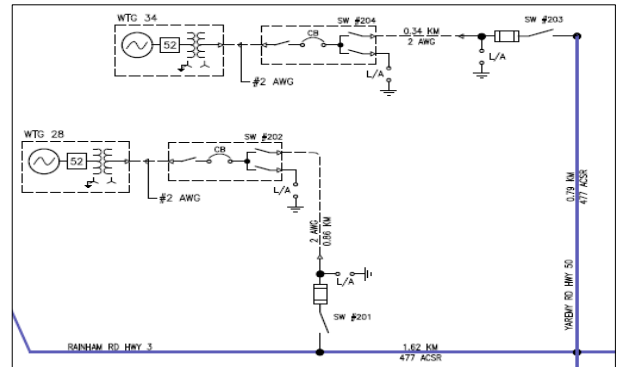


〈그림 1〉 풍력발전단지 소개

2. 본 론

2.1 풍력 발전계통 구성

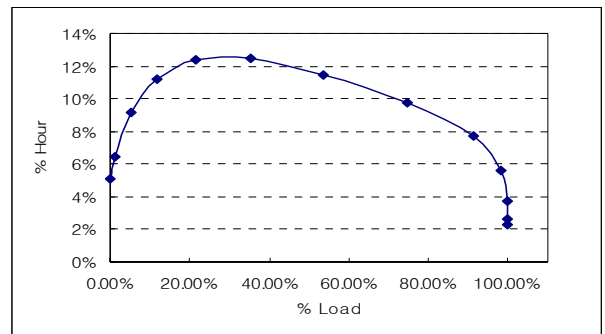
대상 프로젝트는 가로 23km, 세로 9km, 약 167km² 부지에 2.3MW 비동기식 풍력발전기 60대를 설치 최대 발전용량 138MW이다. 풍력발전기의 전압은 690V이며, 풍력발전기마다 설치된 인버터를 거쳐 2.6MVA의 승압변압기를 통해서 34.5kV로 승압된 후 지중 및 가공 선로로 풍력발전소내의 변전소로 연결되고, 변전소의 166MVA 주변압기를 이용하여 230kV로 다시 승압된 후 230kV 송전선로로 전력회사의 변전소에 연결된다. 60대의 풍력발전기는 설치 위치를 고려하여 총 5개의 회로로 구성되어 있으며, 각 회로 당 11에서 13개의 풍력발전기로 구성되어 있다. 풍력발전기는 그림2와 같이 먼저 지중케이블로 3~5개씩 그룹으로 연결되며 각 그룹은 ACSR 가공선을 통해 소내변전소로 연결된다. 지중구간의 길이는 약 39km이며, 가공구간의 길이는 약 80km이다.



〈그림 2〉 풍력발전단지 단선도(일부)

2.2 발전 출력

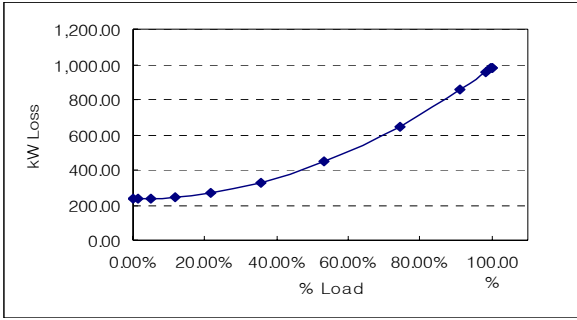
풍력발전기의 출력은 매시간 변화하는 풍력에 따라 좌우되므로 연간 풍자원 측정자료에 의해 계산된 시간대별 순 발전량(그림 3)을 기준으로 손실을 계산해야 한다. 예를 들면 발전기는 75% 출력에서 운전되는 시간은 약 10%, 즉, 연간 876시간을 의미한다. 손실을 고려하지 않은 총 발전량은 약 508,760MWh로 계산되었다. 그림3의 풍력발전설비의 설비 이용율(Capacity Factor)은 약 44%이다.



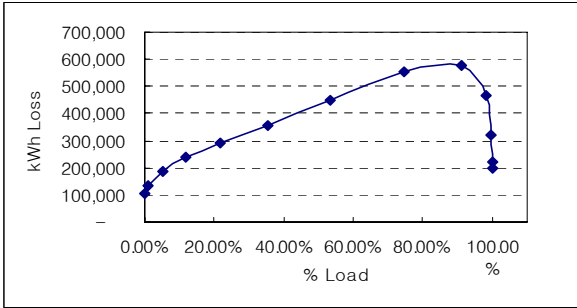
〈그림 3〉 발전기 출력별 운전 시간

2.3 손실 계산

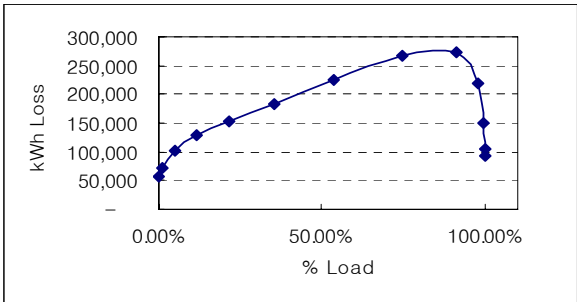
풍력발전 계통에서 발생하는 손실은 풍력발전기단의 승압변압기, 지중선, 가공선, 변전소의 주변압기 등에서 각각 발생한다. 손실 계산에서 중요한 사항은 풍력발전기의 운전률이 고려되어야 한다는 점이다. 승압변압기의 무부하손은 3.9kW, 부하손은 16.5kW이다. 주변압기의 무부하손은 127kW, 부하손은 503kW이다. 소내 변전소에서 전력회사 변전소까지의 230kV 송전선로 길이는 약 20km이며 795MCM의 ACSR 1회선으로 구성되어 있다. 표1에서 볼 수 있듯이 풍력발전기는 넓은 지역에 분포되기 때문에 각 풍력발전기를 연결하는 가공선에서 발생하는 손실의 비중이 가장 크다.



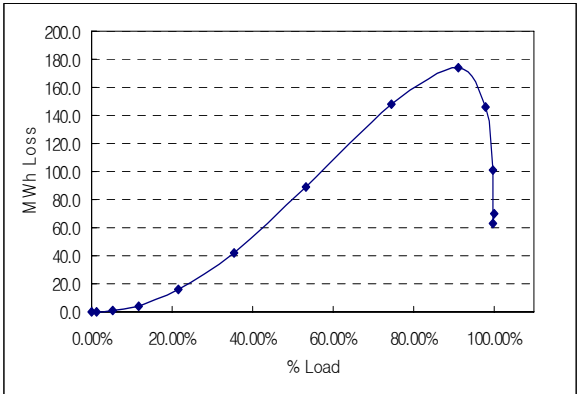
〈그림 4〉 발전기 출력별 승압변압기 손실



〈그림 5〉 발전기 출력별 승압변압기 연간 손실 전력량



〈그림 6〉 발전기 출력별 주변압기 연간 손실 전력량



〈그림 7〉 발전기 출력별 230kV 송전선 연간 손실 전력량

〈표 1〉 풍력발전계통에서 발생하는 주요 손실

종류	연 손실(MWh/yr)	총 발전량 대비
승압변압기	4,105	0.81 %
배전선(지중)	807	0.16 %
배전선(가공)	8,483	1.67 %
주변압기	2,045	0.40 %
송전선	1,549	0.30 %
기타	1,067	0.21 %
계	18,056	3.55 %

2.4 손실저감 대책

전력손실을 줄이기 위해 본 논문에서는 가공전선의 크기를 증가시켜 저항손실을 줄이는 방법을 고려하였다. 변압기 등의 전력 기기들의 손실도 검토 대상이지만 기기의 특성상 비용이 많이 들기 때문에, 손실의 가장 큰 부분을 차지하고 있으며 손실 저감 방법으로 가장 적합한 가공전선의 크기를 증가하는 방법을 택하였다. 표1에서 풍력발전기에서 소내변전소로 연결되는 가공전선을 기존 ACSR 477MCM에서 795MCM으로 상향 적용하여, 전선의 저항을 0.2364Ω/mil에서 0.1284Ω/mil로 줄인 결과 표2와 같이 손실을 총 발전량 대비 0.74%, 손실대비 21%를 저감 할 수 있었다. 이로 인한 전력판매량 증가분은 연간 3,790MWh에 달한다.

〈표 2〉 전선 크기 증가 후 손실

종류	연 손실(MWh/yr)	총 발전량 대비 %
승압변압기	4,105	0.81 %
배전선(지중)	807	0.16 %
배전선(가공)	4,693	0.92 %
주변압기	2,045	0.40 %
송전선	1,549	0.30 %
기타	1,067	0.21 %
계	14,266	2.80 %

2.5 경제성 평가

전선의 크기를 상향조정하므로써 발생하는 추가 비용은 전선 가격 증가와 이에 따른 운반비, 시공비 증가 등을 고려를 해야 한다. 이에 따라서 손실감소를 위한 전선 크기 상향을 적용하기 전과 적용 후에 대한 경제성 비교를 시행 하면 표3과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 풍력발전설비의 설비이용율(Capacity Factor)이 높고 풍력에너지의 전력판매단가도 화력발전단가 보다 훨씬 높기 때문에 표3에서와 같이 손실감소에 따른 발전량 증가로 인한 연간 전력판매액 증가분은 약 492,700\$이고, 손실감소를 위한 가공전선 크기 증가 비용은 1,378,461\$로 나타났다. 투자회수기간(payload period)이 2.8년으로 나타나 경제적 효과가 아주 우수한 것으로 나타났다.

〈표 3〉 경제성 평가 자료

1. 연간 손실 감소량	3,790 MWh
2. 연간 전력판매액 증가분	492,700 \$
3. 가공전선 크기 증가 추가 비용	1,378,461 \$
4. 투자회수기간(3항/2항)	2.8 년

3. 결 론

풍력발전 단지의 경우 풍력발전기가 넓은 지역이 분포되기 때문에 가공전선에 의한 손실이 발전량에 비해 상당한 비중을 차지하고 있으므로 이에 따른 손실 저감하는 대책을 고려해야 한다. 또한 풍력발전설비의 경우 설비이용율(Capacity Factor)이 높고 풍력에너지의 전력판매단가가 화력발전단가보다 훨씬 높기 때문에 전력손실 감소를 위해 가공전선의 크기를 증가하는 경우, 발생하는 전력 손실 감소 효과가 투자비 대비 커서 경제적이므로 설계 시 이를 고려할 필요가 있는 것으로 검토되었다.