

풍력발전설비의 접지시스템 설계에 관한 연구

조대훈*, 이기식* 정철희**, 박대현**
 단국대학교 전자전기공학부, 노이즈 프리미어 랩(주)

Research about Design of Grounding System for Wind Generators

D. H. Cho*, K. S. Lee C. H. Jung, D. H. Park
 Dankook University Noise Premier Lab Co. Ltd

Abstract - 풍력발전기술은 무환경의 천연 무공해 에너지원을 개발하는 기술로써 환경에 미치는 영향이 없고 산업적 가치와 국토 이용 효율을 높일 수 있는 사회적 가치가 높은 기술이다. 이러한 풍력설비는 특성상 산간이나 계방과 같은 낙뢰 환경에 노출되기 쉽고 기존의 전력계통과도 연계되어 운용됨으로 지락이나 서지와 같은 위험으로부터 설비의 안전과 보호가 필요하다.

본 논문에서는 다수의 풍력발전설비에 대한 접지시스템의 설계 방안과 접지시스템구성에 대해 연구하였다. 또한 풍력 발전 설비와 인명의 보호를 위한 접지시스템 구축 제안과 접지성능을 안정적으로 얻는 공통접지구성에 대해 연구하였고, 현장의 대지저항률을 실측 분석하여 반영된 접지설계 및 시공을 통해 접지성능을 확인하였다.

1. 서 론

풍력 발전 기술은 화석연료를 대체하는 친환경 미래에너지 개발 산업의 핵심 중에 하나로써 화석에너지의 고갈과 심각한 환경 문제를 동시에 해결할 수 있는 기술이화 하겠으며, 국제 기후변화 협약 국제 대응하는 중요한 대체 에너지개발 해결방안이다.

풍력발전 산업은 환경에 대한 부담이 적은 산업이자 청전전력의 무공해 천연 에너지 생산으로 산업적 가치가 매우 높다. 또한 설치 장소가 산간, 오지, 바닷가, 계방과 같은 비업무용 지역에 설치하여 에너지를 생산한다는 장점과 국토이용 효율의 가치를 높일 수 있는 장점이 있어 지역 에너지원 개발 산업으로써 육성되고 있다. 이 같은 풍력발전 설비는 특성상 산간오지나 계방과 같은 지역에 설치되고 기존의 전력 계통과도 연계되므로 외부 낙뢰 환경이나 노이즈 환경으로부터 쉽게 노출되고, 자연의 풍력에너지를 전기에너지로 변환하는 발전 설비가 주요 장비이므로 그에 따른 인명 보호와 설비보호가 절대적으로 필요하게 된다.

일반적으로 대용량 발전설비를 갖춘 풍력발전설비는 매우 넓은 지역에 설치될 뿐만 아니라 시설물도 매우 높고, 또한 다수의 발전설비가 통합되어 전기를 공급하게 되므로 사고발생시 대용량의 지락전류나 서지전류가 발생하게 된다, 따라서 낙뢰나 사고 발생시 풍력발전 설비 전체에 그 위험이 과급될 뿐만 아니라 한전 전력계통에도 영향을 미치게 된다[8].

본 논문에서는 산악지역에 설치되는 다수의 풍력발전 설비의 접지시스템에 대해 연구하였다. 본 연구의 대상은 영양지역의 산간지방에 설치된 750KW 급의 총 42기의 풍력발전 설비를 대상으로 하였으며, 풍력발전 설비를 통해 만들어진 전기는 하나의 전력계통에 연계되어 154KV 변전설비에 공급되고, 한전의 전력계통에도 접속된다. 이러한 발전설비 전체를 하나의 발전시스템으로 구성하여 접지시스템을 설계하였고 각각의 설비의 지중 등전위 구성을 위해 공통접지로 설계 제안하였다. 풍력발전 설비와 같은 특수한 시설물의 경우, 설치지역의 지질 특성상 낮은 접지저항을 얻기가 어렵거나 접지시공 자체가 용이하지 않은 지역이 많으므로 낙뢰와 지락전류와 같은 대용량 전류의 유입시 연계된 전체 시스템에 미치는 영향과 위험성을 최소화하는 등전위 접지구성을 통해 설비를 보호하는 것이 효율적이다[9].

본 연구에서 설비 전체의 안정적 접지시스템의 구축과 보호를 위해 설치 현장의 정확한 대지구조의 분석을 위해 현장 대지저항률을 실측하여 실제 지층 구조에 맞게 분석하였고, 설계 및 시공의 신뢰성을 높이기 위해 분석된 지층 구조에 맞게 보링공법으로 접지시공방식을 선정하여 설계 및 시공의 신뢰성을 높였다.[2], [6],[10]. 측정방법은 4-점 Wenner 전극법을 이용하여 대지저항률을 측정[1]하였고, CDEGS RESAP 모듈을 이용하여 대지저항률의 대지구조를 분석하였으며, MART 모듈로 접지 설계 시뮬레이션을 수행하였다[2]. 또한 대용량 발전설비를 감안하여 지락전류에 위험성을 제거하기 위한 풍력발전설비의 보폭 및 접촉전압을 반영한 접지시스템을 구성하여 최적의 인명 보

호방안을 제안하였다[3~4],[6].

차후의 지속적인 연구를 통해 다양한 유형으로 대지구조를 분석함으로써 풍력발전설비에 맞는 접지설계 및 시공의 성능을 평가할 것이다.

2. 본 론

2.1 대지저항률 측정 및 측정치

대지저항률의 측정은 4-점 Wenner 측정법을 활용하였으며, 측정 위치는 영양 산악 지역의 시공 현장 부지에서 시행하였다. 다수의 풍력발전설비가 설치될 각각의 위치에서 측정된 측정결과를 활용하였다. 현장에서 4-점 Wenner 측정법으로 측정장비(AEMC 4500)를 이용하여 16m까지의 대지저항률을 측정하였고 측정 계산된 대지저항률은 표2-1와 같다[1].

<표2-1> 대지저항 측정치

전극간격 (m)	측정치(Ω)			
	측정치(Ω)-A		측정치(Ω)-B	
1	158.1	45.3	992.8	284.4
2	58.4	44.8	733.5	562.6
4	29.0	18.1	728.4	454.6
8	12.8	14.3	643.0	718.4
12	11.5	8.2	866.6	617.9
16	7.5	6.5	753.6	653.1
비고	. 측정법:4-점Wenner법,측정장비:AEMC 4500 . 계산대지저항률 = $2\pi X$ 전극간격(m) X 측정치(Ω)			

다양한 위치에서 측정된 측정데이터를 산악지역 특성을 고려하여 대지 지층 구조를 분석한 후 접지설계를 수행하였다. [1],[4]. (그림2-1)과 (그림2-2)는 측정 현장을 보여준다.

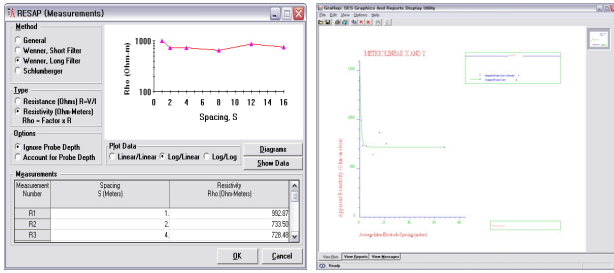


<그림2-1> 측정사진-C지역 (그림2-2)측정사진-E지역

측정 현장은 산악지역으로 지층 구조는 표면토와 지중 암반으로 예상되며 분석되는 지층 구조에 맞는 접지 공법을 적용하여 현장에 적합한 접지설계를 수행하였다. [1],[6]

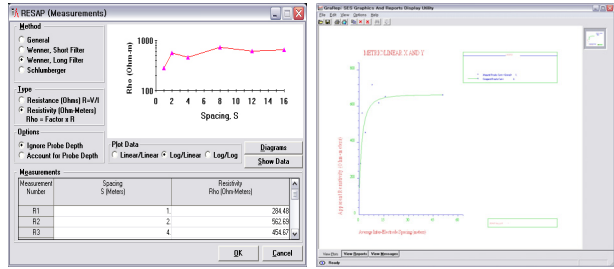
2.2 대지저항률 분석 및 결과

현장에서 측정된 대지저항률의 대지지층구조 분석을 위해 CDEGS RESAP 모듈을 활용하였으며, 대지지층구조 분석은 2-가지 유형의 수평지층 구조로 분석하였다[1],[2]. 2-가지 유형의 적용은 현장의 외부환경과 설치 위치를 구분하여 측정된 데이터를 구분하였다.[8] (그림2-3)은 A-TYPE 구조의 측정 데이터의 입력 값과 분석된 결과 그래프를 나타낸다.



(a) 측정치 (b) 분석 그래프
<그림2-3> A-Type 측정데이터 입력 및 분석 그래프

(그림2-4)는 A-TYPE 구조의 측정 데이터의 입력 값과 분석된 결과 그래프를 나타내며, 분석된 결과 값은(표2-3)과 같다



(a) 측정치 (b) 분석 그래프
<그림2-4> B-Type 측정데이터 입력 및 분석 그래프

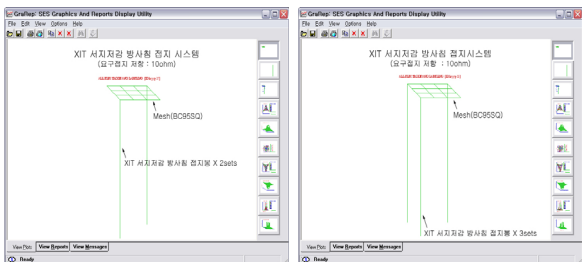
<표2-3> 분석 결과 데이터

구 분	수평 2층 구조		
	상층저항률[Ω · m]	하층저항률 [Ω · m]	지층두께 [m]
A-type	145.3	664.1	1.161
B-type	1466.5	1717.3	0.46

풍력발전설비가 설치될 현장의 대지지층 구조는 산악 암반지역으로 대지지층 구조의 분석시 정확한 지층구조를 현장에 맞게 적용하는 것이 분석 오차를 최소화하고 설계 및 시공 오차를 최소화하는데 매우 중요하다. 따라서 토양의 정확한 지층 구조별 대지저항률의 분석은 대지 구조의 지층 유형에 따라 외부 환경의 영향을 줄일 수 있다는 측면에서도 접지설계의 신뢰성을 높이는 매우 중요한 요소이다.[4],[9]

2.2 대지지층 구조의 유형분석에 따른 접지 설계

풍력발전설비가 설치될 현장의 대지지층 구조는 산악 암반지역으로 낙뢰나 지락과 같은 사고발생시 대지를 통해 방전성은 설비보호를 위해 매우 중요하다. 현장 분석의 지층 구조의 모델링에 따라 가장 효율적인 접지방식과 접지포설형태가 결정되며, 이는 접지성능 및 시설보호에 과도 직결된다. 분석에 따른 지층구조의 특성을 최대한 활용하여 최적의 접지시스템을 설계 적용한다면 경제적이고 안정된 성능을 발휘하는 접지시스템을 구축할 수 있다. 본 연구에 적용된 현장은 기본적으로 암반 특성을 나타내고 있으며, 지역적 특성된 산악의 높은 지대이므로 낙뢰의 위험성이 매우 높아 방전성이 좋은 XIT 서지저감 방사침 접지설비를 설계 적용하였다.[4],[6] 설계 모델링은 CDEGS MART 모듈에 시뮬레이션하였고, 접지설계는 산악 및 암반지역 특성상 10ohm의 접지저항을 얻기 위해 지름-Ø54, 길이-3m의 XIT 서지저감 방사침 접지봉을 이용하여 A-TYPE 구조 데이터와 B-TYPE 구조의 데이터에 대해 각각 설계 적용하였다.



<그림2-5> A-Type설계구조 <그림2-6> B-Type설계구조

<표2-3> 접지 설계 계산치

대지지층	설계 사양	계산 접지저항
A-type 구조	XIT 서지저감 접지봉 3mX2set(천공:50m)+Mesh(15X15)	9.4ohm
B-type 구조	XIT 서지저감 접지봉 3mX3set(천공:50m)+Mesh(15X15)	9.1ohm
비고	현장 측정치 적용	

2.3 접지시스템 설계 및 위험전압 계산

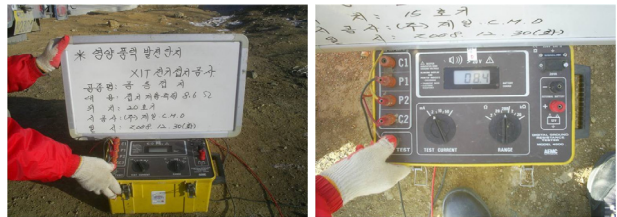
2.3.1 접지시스템 설계

(표2-3)의 설계사양에 따라 적용된 2-가지 형태의 접지방식으로 현장에 시공하여 그 결과값을 측정 확인하였다.[4-5],[10] (그림2-7)는 현장의 접지공사작업을 보여준다.



(a) 접지봉 매설 (b) 접지저항제 타설
<그림2-7> 보링 접지공사

형태별로 설계 시공된 접지시스템의 시공 결과를 IEEE 에 규정된 3-점 전위차 측정법으로 측정하였으며, 측정장비는 IEEE, NEC 규정을 만족하는 접지저항 측정기 AEMC4500을 이용하였다.[1-2],[4],[10]. (그림2-8)는 시공된 접지저항의 측정치를 보여준다.



(a) A-type 접지설계 (a) B-type 접지설계
<그림2-8> 접지저항 측정 결과

(표2-4)는 현장에서 실측 분석된 대지저항률을 적용하여 설계 시공된 접지시스템의 접지저항치의 시공결과를 보여준다.

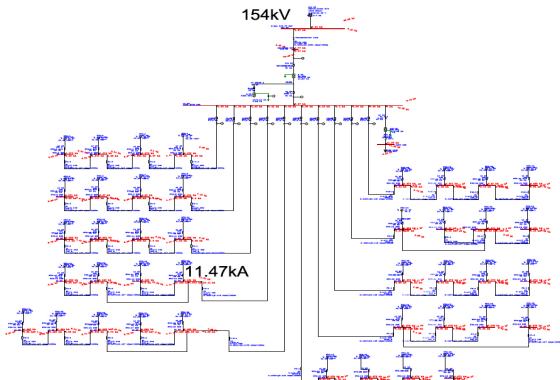
<표2-4> 접지저항치의 비교표

구분	지층 구조	접지저항	오차	오차율
설계치	A-type 구조	9.4 ohm	-	-
	B-type 구조	9.1 ohm		
결과치	A-type 구조	8.6 ohm	0.8ohm	9.0%
	B-type 구조	8.4 ohm	0.7ohm	8.0%
비고	측정방법: 3-점 전위 강하법, 측정장비: AEMC4500			

현장 대지지층구조의 정확한 분석은 설계오차의 최소화과 접지성능의 확보 측면에서 매우 중요함을 알수 있다. 대지저항률의 지층 구조 유형을 실제 토양 구조와 유사하게 모델링하기 위해서는 다양한 형태의 지층구조 유형을 검토 분석하여 시뮬레이션하고 각각의 지층구조의 분석 오차를 최소화하여야 한다[2],[4]7].

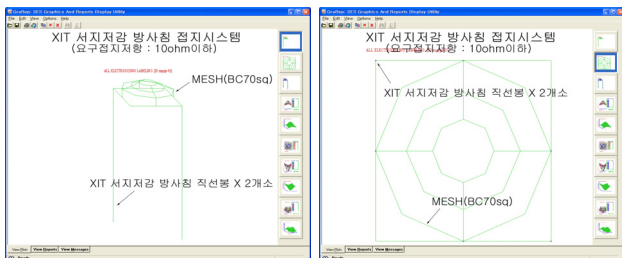
2.3.2 위험 전압 계산의 접지 설계

전체 풍력발전설비는 750kW 41기이며, 전체 발전기에 의한 발전량은 154kV 변전설비 계통에 접속된다. 각각의 발전설비의 지락전류계산치는 (그림2-9)과 같다.

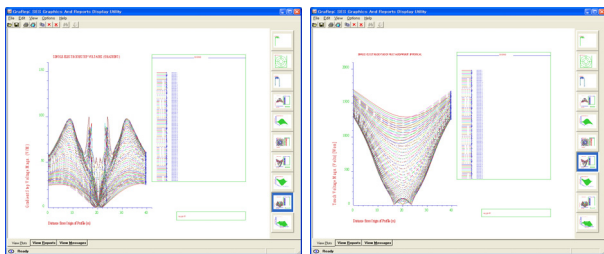


〈그림2-9〉 풍력발전설비의 지락전류계산치 다이어그램

전력계통의 1-선 최대지락전류는 11.47kA로 계산되며, 이 지락전류값을 적용하여 안전기준의 보폭 및 접촉전압을 계산하였다[3]. 또한 인명 및 설비를 보호를 위해 접지시스템과 인접설비의 등전위 본딩을 구성하였고, 이를 통해 지중 전위의 감소는 물론 보폭 및 접촉전압을 안전 전압이하로 되도록 설계하였다.[2]
 (그림2-10)은 인명 및 설비보호를 위한 등전위 본딩의 접지시스템 구성을 나타내고, (그림2-11)은 안전전압 이하의 보폭 및 접촉전압 크기를 보여준다..

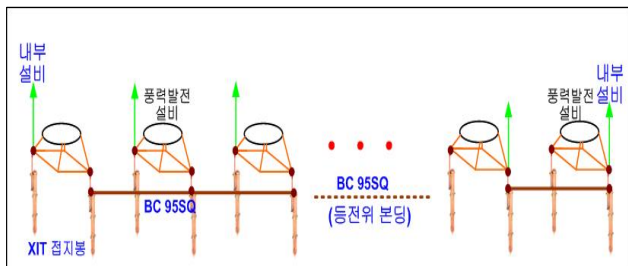


(a) 3-차원 구조 (b) 2-차원 구조
 〈그림2-10〉 등전위 본딩의 접지시스템 구성



(a) 보폭전압 (b) 접촉전압
 〈그림2-11〉 보폭전압 및 접촉전압

다수의 풍력발전설비에 대한 접지시스템은 공통접지 구성과 등전위 확보 구성이 필수적이다. 풍력발전 설비의 안전성 확보와 안전한 설비 운영을 위한 접지시스템 제안 구조는 (그림2-11)과 같다[8].



〈그림2-11〉 공통접지구성의 등전위 구조

전체 풍력발전설비의 접지전위저감과 전력선의 전위차를 감소시켜 대용량 서지의 위험을 최소화하고 설비간의 등전위를 구성하여 설비를 안전적으로 보호한다. (표2-5)는 전체 공통접지구성에 의한 접지저항치이다.

〈표2-5〉 전체 공통접지구성 저항치

구분	대지저항률 (ohm.m)	접지저항 (Ω)	비고
설계치	상층 - 350.5 하층 - 755.8 깊이 - 0.41m	0.24	대지저항률 합성 분석
비고	측정방법: 3-점 전위 강하법, 측정장비: AEMC4500		

3. 결 론

본 논문에서는 설치 현장이 산악 암반지역이나 바닷가 제방과 같은 낙뢰에 취약하거나 지락사고 발생시 연계된 타 전력계통에 문제를 일으킬 수 있는 구조로 이루어져 있는 풍력발전설비의 접지시스템 구성에 대해 연구하였다. 풍력발전 설비의 안전성 확보와 안전한 설비 운영을 위한 접지시스템으로 풍력발전설비 자체의 등전위 본딩과 인접설비들의 공통접지를 제안하여 구성하였다. 그리고 설계 제안된 접지설비의 성능을 확인하기 위해 현장에서 측정된 대지저항률을 2-가지 형태의 대지구조유형으로 분석하여 접지 설계에 적용하였고, 설계된 사양으로 현장에 시공하여 결과 값을 실측 비교하였다.

본 연구를 통해 현장에 맞게 제안된 접지시스템 구성으로 대용량 위험 전류의 신속한 방전과 안전한 등전위를 확보할 있으며, 또한 풍력발전설비 자체의 보호와 인접된 설비 모두를 보호할 수 있음을 확인할 수 있었다. 향후에는 구체적인 연구를 통해 아직 표준 규격화 되어 있지 않은 풍력발전 설비의 접지시스템과 등전위 구성에 대한 국내 실정에 맞는 표준화 작업이 절실히 요구된다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 한국에너지기술평가원 전력산업연구개발사업의 세부1과제 “대지구조해석을 기반으로 하는 신개념 접지설계 기술 개발”에 의하여 이루어진 연구로써, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] IEEE Std. 81, “Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System”, 1983.
- [2] SES (Safe Engineering Services & technologies ltd.), CDEGS (Current and Soil structure analysis) Manual Version 97 for Windows.
- [3] IEEE Std80-1990, “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”.
- [4] 신동호, 김용, 정철희, 조대훈, 김필수, “3-가지 접지방식에 대한 접지특성비교”, 대한전기학회 논문지, p1293~ 1296, 1999.
- [5] 高橋建彦, 이형수역. 接地技術入門, オーム社, 동일출판사, 1995
- [6] XIT 접지 시스템, 노이즈 프리머 랩(주), 2008.
- [7] “The IEEE Green Books”, IEEE Std 142-1991, IEEE Inc,
- [8] 조대훈, 이기식, “접지설계의 신뢰성 개선을 위한 다지층 대지저항률 분석에 관한 연구”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집 p40~45, 2004
- [9] 조대훈, 이기식, 정철희, 유청희, 박우현. “노이즈 및 서지제거를 위한 접지시스템 설계 엔지니어링”. 대한전기학회 추계학술대회 논문집, p5~9, 2007.
- [10] 조대훈, 이기식, “대지구조구조의 분석유형에 따른 접지성능 비교 평가”, 대한전기학회 춘계학술대회 논문집, p80~83, 2009.