

암절연물을 적용한 송전철탑 연구

박효열, 안명상, 이태주, 이동일*, 최인혁*, 김정호*

한국전기연구원, 한전전력연구원*

A Study on Transmission Tower by Applying Polymer Insulation Arms

Hoy-Yul Park, Myeong-Sang Ahn, Tae-Joo Lee, Dong-Il Lee*, In-Hyuk Choi*, and Joung-Ho Kim*

Koreal Electrotechnology Research Institute, Korea Electric Power Research Institute*

Abstract

The electric power demand is steadily high. It becomes difficult to secure the land for overhead transmission lines year after year. Downsizing of overhead transmission lines can be most effectively achieved by applying polymer insulation arm. This paper describes the outline of compact overhead transmission lines and the result of mechanical evaluation of FRP for the compact transmission towers. Bending strength of FRP was evaluated according to the fiber orientation because the fiber orientation in FRP has a great effect on the strength of FRP.

Key Words : Arm insulation, Braced post insulator, FRP, Transmission tower

1. 서 론

전기에너지를 사용하기 시작한 이래 전력수송을 위한 송전설비기술이나 방식은 수십년간 잘 유지되어 왔지만 전력수요증가, 대도시화, 전기환경, 송전선 경과지 등에 대한 부담은 증대되고 있으며 최근 신소재 기술의 발달로 송전설비의 소형화(컴팩트화)가 활발히 시도되고 있다.

기존의 철탑에서는 도체를 지지하고 고전압이 걸린 도체의 공간적 절연유지를 위하여 무거운 급속암(arm)과 애자런이 필요하였고 도체의 swing을 고려하여 철탑본체와 도체가 허용되는 거리를 유지하도록 암의 길이를 충분히 길게 할 수밖에 없었다.

암절연물을 적용한 신개념의 송전시스템[1, 2]은 초고압도체의 절연공간유지를 위한 구조재로서의 절재암 위치에 고강도 FRP의 바깥부분을 실리콘 고무 소재로 molding한 composite arm insulator를 적용한 것이다. 절연암(arm insulator)은 철탑암의 구조재 역할과 porcelain의 절연물 역할을 모두 할

수 있으므로 jumper가 불필요하고 전선의 swing 공간이 없어도 되므로 철탑의 소형화가 가능하다. 외피절연용 실리콘고무는 내후성, 내열성, 내트레킹성, 내아크성 등이 우수할 뿐만 아니라 발수성이 우수하여 오손환경에서도 절연성이 잘 유지되는 장점을 가지고 있다.

암절연물을 적용할 경우 철탑 상층부를 소형·경량화할 수 있어 철탑자체의 소재나 형상의 선택이 다양해져 시스템의 혁신화에 기여할 수가 있다. 이렇듯 신송전시스템은 기존의 철탑, 절재암, 자기재 절연물 등을 신소재화하고 최적조건으로 시스템화함으로써 소형·경량·미려화와 더불어 건설 및 설비유지비의 대폭적 경감과 송전용량증대를 이룰 수 있는 새로운 개념의 차세대 고효율 송전시스템기술이다.

기계적, 화학적, 전기적 특성이 우수하여 적용분야와 사용량이 증가하고 있는 FRP(fiber reinforced plastics)는 에폭시나 불포화폴리에스테르와 같은 열경화성 수지를 접착성 결합제(binder)로 하고 고강도 섬유를 보강재로 한 복합재료로서

일반적으로는 유리섬유를 주로 사용한다. 다양한 변성수지의 개발로 내열성, 계면접착성, 성형성, 전기절연성, 기계적 강도 등이 향상되어 FRP는 전기 절연재의 구조재료로서 많이 사용되어 왔다. FRP에서 유리섬유는 기계적 강도를 부여하고 주어진 응력하에서 파괴와 굽힘에 대한 저항을 크게 해준다. 수지는 각각의 섬유에 인가된 스트레스를 분산시키고 배향되어 있는 섬유를 각각 분리하여 유지시켜주며 외부환경 및 기계적인 마모로부터 섬유를 보호하는 역할도 한다. FRP의 구성재료인 유리섬유나 경화성수지는 전기부도체이기 때문에 FRP는 우수한 절연재료로서 사용되고 있다. FRP는 옥외용 애자의 심봉(core)재료[3, 4, 5], GIS 등 중전기기의 부품 및 고분자 복합부싱(composite bushing)의 절연튜브[6] 등 절연성이 요구되는 구조재료 많이 사용되고 있다.

복합재료의 강도를 높이기 위하여 연속상의 장섬유를 사용하여야 하는데 FRP의 기계적 강도가 거의 보강재 섬유에 의존하기 때문에 섬유의 배향이 기계적 강도에 크게 영향을 미친다. FRP에 하중이 가해질 때 재료에 작용되는 응력의 분포는 섬유의 배향에 따라서, 작용되는 하중의 방향에 따라서 다르게 나타날 것으로 예상된다. 그러나 복합재료에서의 섬유의 배향은 제조공법에 따라 제약을 받을 수밖에 없는 한계를 지니고 있으므로 용도에 따라서 제조공법을 잘 선택하여야 한다.

본 연구에서는 FRP를 압절연물에 적용할 경우 가장 중요한 특성인 굽힘강도의 특성을 조사하였다. 섬유의 배향에 따른 굽힘강도의 변화를 이해하기 위하여 시편을 제작하여 강도를 측정하였다. 인발성형(pultrusion)법으로 일축방향(unidirectional)의 연속섬유로 된 FRP rod를 제작하고 인발성형된 FRP 봉(rod)에 일정하게 각도의 변화를 주면서 권취(winding)하였다.

1.1 압절연물을 적용한 송전시스템의 장점

기존의 철탑은 선하지 폭이 넓고 압과 애자런이 중량물이기 때문에 철탑 본체의 소요 강도가 매우 크고 건설비가 비싸다. 그리고 기존의 자기계 애자는 파손이 잦고 염진해에 취약해서 점검, 유지, 보수 등에 많은 노력과 비용을 요한다. 하지만 고강도 신소재로 된 압절연물을 적용한 송전설비는 저렴하고 소형·경량이며, 고성능화가 가능하다. 특히, FRP 복합절연철탑과 압절연물을 함께 적용하

면 송전시스템의 혁신적 개선이 가능하다.

우리 나라는 인구밀도가 높고 삼면이 바다이며 해안공단지역이 많아서 오존에 의한 절연사고가 빈번하게 나타난다. 절연물의 염해 또는 염설해 사고가 계절적으로 집중되어 발생하고 있다. 실리콘 고무로 된 절연물은 오존성능이 우수하여 절연사고에 기인한 전력공급 지장비용을 크게 줄일 수 있다.

절연암을 적용한 송전시스템의 장점과 기대되는 효과는 다음과 같다.

- 송전철탑의 높이와 폭이 각각 20과 40% 정도
- 송전선의 경과지 확보 용이 및 건설비 절감
- 철탑의 pole화 용이
- 환경 조화형 송전철탑의 건설 가능 (소형이면서 경관 미려)

1.2 압절연물 적용 송전시스템의 요소 기술

1.2.1 FRP 제조 및 평가기술

절연암의 코아용 구조재이면서 절연체인 FRP의 제작과 기계적 평가기술이 중요하다. 복합재료의 질적 향상을 위해서 제품의 평가기술이 확립되어야 하는데 기계적 특성에 대한 평가항목(인장강도, 충격강도, 압축강도, 비틀림강도, 굴곡강도, 전단강도, 피로특성, 탄성률 등)이 많고 시편성형조건, 가공기술, 시험치구상태, 시험자의 숙련도 등에 따라 data의 변화폭이 커서 전문적인 연구가 요구된다.

절연암을 구성하는 FRP에는 장섬유가 보강재로 사용되는데 섬유와 결합제수지의 표면에너지 차이로 FRP 내부에 미세한 계면이 생기기 쉽다. 고전계가 걸리는 초고압 절연재료에서 이들 내부결점은 전기적 스트레스가 집중되는 원인이 되고 부분방전에 의해 결점주변의 재료열화를 가속시켜 절연성능저하를 유발시킨다. 매우 높은 기계적인 응력이 인가되므로 가능하면 수지에 비하여 섬유의 함유량이 높아야 하지만 섬유의 함유량이 너무 높을 경우 섬유가 균질하게 수지에 젖지 않는 경향이 나타나고 기공이 발생하여 오히려 강도가 떨어지거나 절연재료로서의 역할을 하기가 어렵게 되므로 제조공법에 따라서 적절한 비율로 맞추어야 한다.

FRP의 기계적 강도가 거의 보강재섬유에 의존하기 때문에 섬유의 배향이 대단히 중요하다. 그러나 복합재료에서의 섬유배향은 제조공법에 따라 제약을 받을 수밖에 없는 한계를 가지고 있다. 압

절연물의 경우는 외팔보강도 외에 압축강도, 인장강도, 비틀림강도 등이 복합적으로 요구되므로 섬유배향과 그것에 적합한 성형방법에 대한 검토가 종합적으로 이루어져야 한다.

1.2.2 실리콘고무 외피 절연재

실리콘고무는 심한 오손상태에서도 표면 발수성을 잘 유지하며 방전으로 인한 열화가 일어난다 하더라도 쉽게 발수성을 회복하므로 현재까지 알려진 가장 우수한 외피용 소재로 인정되고 있다.

실리콘 고무는 주사슬이 무기결합으로 되어 있어 내열성과 화학안정성이 우수하지만 내트래킹성과 표면발수성 강화를 위하여 일부 충전제가 첨가되는데 충전제의 양과 종류에 관계되는 formulation 기술과 평가방법이 중요하다.

고전계의 환경에 재료가 상시 노출되어 있으므로 성형시에 실리콘 고무에 기공과 같은 결함이 존재하거나 이물질이 혼입되면 전계의 불균형을 초래하여 부분방전과 더불어 열화가 진행되어 문제를 일으키게 되므로 성형환경을 깨끗이 하고 기공이 발생되지 않도록 성형방법을 잘 선택하여야 한다.

1.2.3 송전계통의 최적절연설계

신소재 압절연물을 적용하면 전선의 상하좌우간의 거리, 첩탑의 높이 및 송전선 전체의 형상 등에서 큰 변화가 생기므로 이에 따른 최적의 절연설계가 필요하다.

1.3 압절연물 적용 송전시스템의 기술 현황

1.3.1 호주

호주의 동북부 Queensland지역에 전력을 공급하고 있는 주정부회사인 Powerlink Queensland는 동부해안으로 길이가 2000 km에 이를 정도로 방대한 지역에 송전설비를 운영하고 있다. 절연암을 적용한 소형송전선로를 1993년에 건설하여 성공적으로 운영하고 있다.

절연암 적용 송전첩탑은 Brisbane의 근교 20 km에 걸쳐 그 회사의 최고 전압인 275 kV 선로에 다양한 형상으로 건설되어 있다. 절연암 송전첩탑은 275 kV급이지만 인접하고 있는 110 kV의 기존의 금속암 첩탑(steel lattice tower)과 비교하여 크기나 폭이 거의 다르지 않을 정도로 소형이다.

1.3.2 일본

일본의 CRIEPI(전력중앙연구소)는 경과지 확보가 어려운 도심 및 주변지역의 전력수송 증강대책의 일환으로 절연암을 이용하여 가공송전선을 소

형 경량화하는 연구를 1989년부터 수행하여 왔다. 초기에는 고분자 외피재료들의 장기성능평가를 목적으로 복합가속열화실험을 통하여 고분자 소재들간의 성능을 비교분석하였는데 내후성과 내트래킹성에 있어서 실리콘고무가 가장 좋은 소재인 것으로 확인하고 있다. 그리고 FRP rod나 tube는 절연재료이면서 기계적 구조재로서 특성이 우수하여 suspension insulation arm이나 line post insulation arm으로 적용 가능함을 확인하였다. 즉, 도체절단이 일어났을 때도 나머지 편이 도체를 안전하게 유지하기 위해서 압축강도와 외팔보강도가 복합적으로 요구되는데 filament winding된 FRP tube가 우수한 것으로 평가하고 있다.

154 kV 송전선로에 절연암을 적용하면 첩탑의 폭과 높이에서 평균 30%정도는 소형화할 수가 있어 건설비도 크게 줄이는 등 기대효과가 크며 기존 66 kV의 첩탑과 경과지에 절연암을 적용하면 154 kV 송전이 가능한 것으로 확인되었다.

1.3.3 미국

국도가 광범위한 미국에서는 전기에너지의 사용 증가에 따라서 송전선로의 건설도 크게 증가하고 있다. 이 지역의 경우에는 태풍의 영향이 거의 나타나지 않으므로 새로운 송전선의 적용이 조금 더 용이하게 시도되었다. 절연암을 적용한 송전시스템이 경제적으로 훨씬 유리하고 안정성도 이미 확보되었으므로 미국의 상당수의 전력회사에서는 새로운 송전선이 건설되는 라인의 거의 대부분에 절연암을 적용하여 소형화를 꾀하고 있다.

2. 실험

송전첩탑에 절연암을 적용할 경우 가장 중요한 요소는 기계적인 강도이다. 기존의 첩탑에서 암의 재료는 철제인데 반하여 절연암을 적용할 경우 암의 재료는 복합재료인 FRP가 된다. 본 실험에서는 FRP를 제작하여 굽힘강도를 측정하였다.

2.1 FRP rod 시편제작

FRP 시편의 제작에는 novolac epoxy modified vinylester 수지와 E-glass 섬유를 사용하였다. 사용한 유리섬유의 단섬유 굵기는 평균 23 μ m였다. 인발성형방법으로 일축방향의 유리섬유로 된 지름 32.48mm의 FRP 봉을 제작하였다. 이 때 유리섬유의 비율은 78%(무게비)가 되도록 하였다. 유리섬

유의 배향에 따른 특성을 조사하기 위하여 일축방향의 유리섬유로 된 지름 32.48mm의 봉에 필라멘트 권취(filament winding)법으로 $\pm 15^\circ$, $\pm 30^\circ$, $\pm 45^\circ$, $\pm 60^\circ$, $\pm 75^\circ$, 90° 의 각으로 권취하였다. 권취 두께는 1층이 0.18mm가 되어 교차된 1층의 두께가 0.36mm가 되었다. 총 교차된 층이 9층으로 이루어져 권취 후 지름이 35.72mm가 되었고 인발성형된 봉 부분과 권취 부분과의 단면적 비율은 약 4:1이 되었다.

2.2 굽힘강도 측정

그림 1에 권취각에 따른 굽힘강도의 변화를 나타내었다.

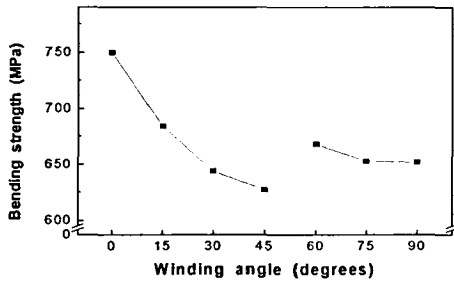


그림 1. 권취각에 따른 굽힘강도의 변화

그림 1의 그래프에서 15°로 권취한 시편의 굽힘강도가 가장 높게 나타났다. 권취각이 15°에서 45°로 뒀에 따라서 굽힘강도는 감소를 하다가 60°에서 굽힘강도가 높아진 뒤 다시 감소하는 경향을 나타내고 있다.

3. 결 론

1. 전력수요 증가와 송전전압의 고전압화로 대형 전력설비가 생활공간과 밀접하게 건설됨으로 인하여 전기환경이나 미관 등에서 개선의 노력이 요구되고 있다. 송전철탄에 암절연물을 적용하면 철탄의 소형화가 가능하여 이에 따른 경제적인 이점이 매우 크게 나타나므로 새로운 송전시스템의 도입을 적극 검토하여야 할 것으로 보인다.
2. 송전철탄에 암절연물을 적용할 경우 가장 중요한 요소인 기계적 강도를 연구하기 위하여 FRP를 제작하였다. 굽힘강도를 측정한 결과 winding 각이 15°일 때 가장 높게 나타났으며 winding 각이 45°일 때 가장 낮게 나타났다.

참고 문헌

[1] K. Izumi, T. Takahashi, T. Taniguchi, H. Homma, T. Kuroyagi, "Performance of line post type polymer insulation arm for 154kV", 10th International Symposium on High Voltage Engineering, Aug. 25-29, 1997

[2] K. Izumi, "Development of 154kV compact overhead transmission line applying polymer insulation arms", Indian J. of Power&River valley development, pp. 214-219, 1997

[3] D. Dumora, D. Feldman, M. Gaudry, "Mechanical behavior of flexurally stressed composite insulators", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, pp. 1066-1073, April 1990

[4] E. A. Cherney, "Long-term mechanical life testing of polymeric post insulators for distribution and a comparison to porcelain", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, pp.1141-1145, July 1988

[5] J. Lanteigne, S. Lalonde, C. De Tourreil, "Optimization of stresses in the end-fittings of composite insulators for distribution and transmission lines", J. Reinforced Plastics and Composites, Vol. 15, pp. 467-478, May 1996

[6] F. Hammer, "Insulating systems for HVDC power apparatus", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 27, No. 3, pp. 601-609, June 1992

[7] ASTM D790-93, "Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials"

[8] ASTM C674-88, "Standard test methods for flexural properties of ceramic whiteware materials"

[9] R. P. Brown, "Handbook of plastics test methods(3rd edition)", pp. 139-151, Longman Science & Technical, 1988