

고분자 압절연물 기술개발 동향

한국전기연구원
강동필

1. 서론

가. 초고압 절연물의 역할과 특징

송배전계통의 선로 및 대규모 전기에너지가 필요한 전철이나 공공시설(산업설비, 공공설비-공항, 운동장, 항만, 폐기물 처리시설)에 고전압 전력시설이 요구되는데 핵심구성품인 절연물은 고전압이 인가되어 있는 도체를 허용된 공간에 유지시키기 위한

구조물 및 절연체로서의 역할을 한다.

절연물은 상시하중 이외에 비바람, 폭설, 태풍 등의 기계적 추가하중을 잘 견디어야 한다. 또한 태양광 및 오염에 노출된 상태에서 항상 전압이 걸려 있고 비, 안개, 결노 등 다양한 형태로 물이 기여하는 조건에서도 절연물은 장수명이 요구되고 있다. 성능저하로 인한 사고에 대한 부담은 첨단산업사회와 고도정보사회가 되면서 크게 증가하고 있어 옥외절연물의 장기신뢰성은 대단히 중요하다.

나. 송전용 절연물의 발전추이

송전급 절연물 종류	현장사용시점	특징
세라믹 애자	1800년대	<ul style="list-style-type: none"> - 자기제 애자 및 유리 애자가 사용 - 옥외에서의 소재안정성과 내열성 우수 - 무접고 내오염특성이 취약 - 사슬형태로 연결되며 인장력만 가능
고분자 애자	1980년대초	<ul style="list-style-type: none"> - 코아재료인 FRP Rod는 고강도 절연재 - 갓의 재료로 다수 고분자가 적용 - 실리콘 고무가 내오염성과 신뢰성 우수 - 선진국을 중심으로 사용량 급속 확대
고분자 압절연물	1995년	<ul style="list-style-type: none"> - 신소재 압절연물은 압축강도 우수 - 송전설비의 소형 혁신화가 가능

다. 고분자 애자의 장점

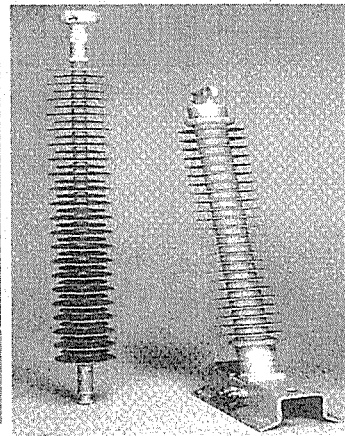
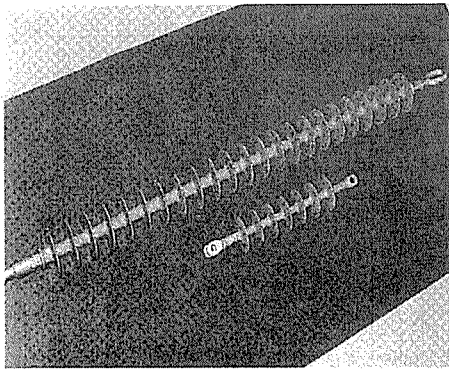
- 우수한 기계적 강도(인장강도, 충격강도)
- 소형, 경량(애자무게의 10~15% : 운송, 설치비 절감)
- 미관이 준수하여 환경친화적 설비
- 내오손성과 장기성능이 우수
- 대량생산과 긴급제도가 용이하여 가격저렴
- 설계가변성 용이(누설거리 확대용이)
- 폭발하지 않으므로 파편비산에 의한 2차사고 전무
- 계통 사고감소로 경제적 손실저감

라. 암절연물의 개념과 특징

- 사용소재나 외형상의 구조는 고분자 애자와 같

지만, tower에 설치되어 초고압 절연물로서의 특성과 구조물로서의 강도특성이 만족되어야 하는데 이 때 기계적 힘을 받는 상황이 크게 다름

- FRP는 기계적 특성(인장, 압축, 비틀림 강도)이 우수하여 고분자 애자를 적절히 구조물화하여 강한 압축 및 비틀림 특성을 갖게 할 수가 있음
- 실리콘 고분자 애자는 이미 초고압 절연물로서의 신뢰성이 확보되고 있음(현장적용 급속히 확대)
- 고무 및 FRP 복합재료의 무성형기술의 발달로 고강도의 고분자 복합절연체 제작가능
- 고분자 애자들을 적절히 조합하면 구조재로서의 암역할과 절연물의 역할을 공히 담당 가능



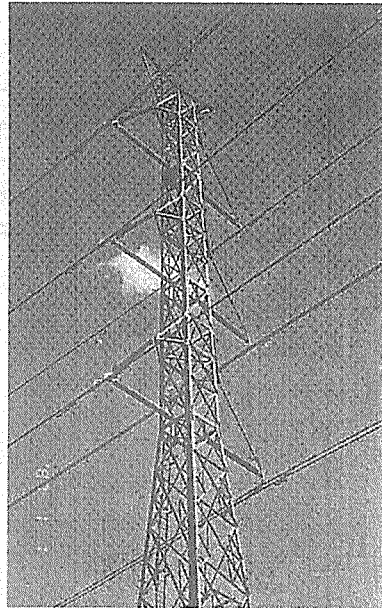
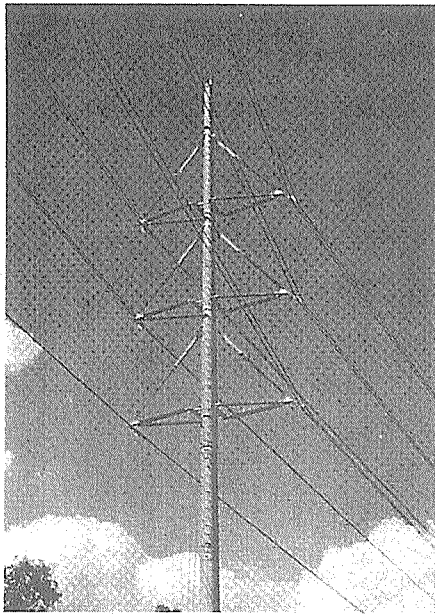
2. 국내외 기술개발 동향

가. 호주전력회사(Power link Queensland : PQ)

- PQ는 Brisbane의 근교 20km에 암절연물을 이용한 compact transmission line를 세계 최초로 1994년 설치하여 운영
- 275kV 암절연물들은 post 및 현수애자로 구

- 성되며 기계력 강화를 위해 set화 되어 있음
- 275kV급 arm insulated compact tower는 single pole tower와 steel lattice tower가 동선로에 함께 설치·운영되고 있으며, 110kV의 기존 자기제 lattice steel tower와 크기나 폭이 거의 유사

- 선로가 소형이고 미려하며 운영상의 문제점이 없어 전력수요가 증가하고 있는 관광지에 암절연물을 적용한 새로운 송전선로의 건설을 계획 중
- 암절연물은 미국의 제조회사에서 수입하여 설치



나. 일본

(1) CRIEPI

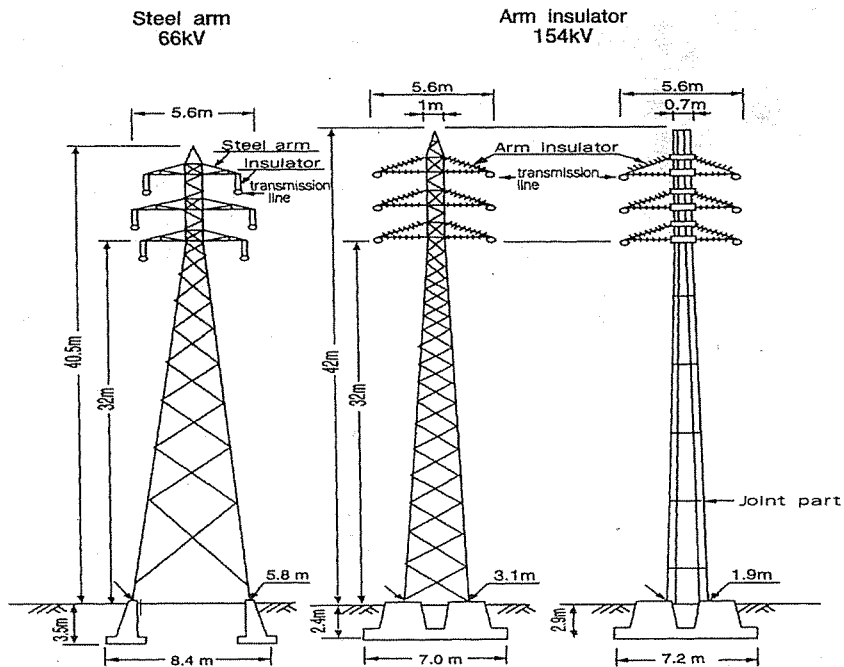
- CRIEPI는 경과지 확보가 어려운 도심 및 주변지역의 전력 수송력 증강대책의 일환으로 고분자 암절연물을 이용하여 60~150kV급 가공송전선을 소형경량화 하는 연구를 1989년부터 수행
- 압축 및 외팔보강도 사양만족을 위해 filament winding된 FRP tube 제작

- 갯의 소재로는 내후성과 내트래킹성에 기인한 장기성능면에서 실리콘 고무가 양호함을 증명
- 기계력을 위한 유리강화프라스틱(GFRP) 코아재료는 유리섬유의 다층구조(배향: 0도/90도)에 의한 고압축/고인강도의 봉을 개발하고 접합부의 이중테파구조에 의한 고강도 접속기술 개발
- 154kV용 절연암으로 단선시에도 건전경간축전선을 지지할 수 있는 기계력을 가진 내장형 절연암을 시제작

- 최대 오손도는 $0.12\text{mg}/\text{cm}^2$, 최대예상하중은 4000kgf , 철탑본체와 전선간 거리는 2.3m
- 고분자재자 유니트의 횡력을 기초로 한 구조 설계
- 154kV line에 insulation arm을 적용하면 철탑 폭과 높이에서 평균 30% 정도 소형화

및 건설비의 대폭경감가능

- 기존 66kV 의 철탑과 경과지예다 암절연물을 적용하면 154kV 송전이 가능하여 같은 송전선 경과지내에서 전력전송력을 2배이상으로 증가시킬 수 있음을 제시



다. 스위스

- 스위스의 Energie Quest Suisse사에서 좁은 국토와 고지가의 도심 경과지 축소를 위하여 암절연 소형송전선로 채택
- 현재 400kV 급으로는 세계 최초로 실선로를 건설
- 기존 송전타워의 높이와 폭(64.2m , 15m)에 비하여 암절연 송전타워의 높이와 폭(56.3m ,

9.5m)이 크게 소형화

- 암절연물은 3m 길이의 composite tension insulator가 2개 1set, composite compression insulator(strut) 1개로 구성

라. 캐나다, 미국

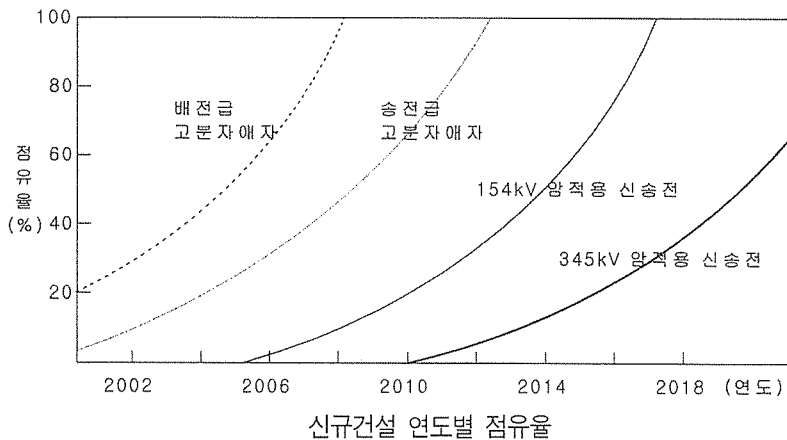
- 66kV 선로에 single bar 형태의 암절연물을 적용한 송전선이 다양하게 사용

마. 국내

- 암절연물의 개념과 기대효과에 대한 인식미흡
- 배전급 및 154kV급 composite insulator 개발 진행중

- 남북한의 통일, 러시아, 중국, 한국, 일본을 묶는 전력계통의 동북아 연계사업, 현재 송전선의 경과지 확보가 최대현안인 상황 등을 고려하면 본 기술에 대한 대비 필요

▣ 국내 연도별 예상시장 변화추이



3. 기술내용

가. 암절연물 핵심기술

(1) 암절연물 핵심기술

- 갯소재의 처방 및 신뢰성 평가기술
- FRP rod 제조시(인발, 와인딩) 굴곡, 비틀림, 압축 등의 강도향상을 위한 섬유 배향기술
- 전계밀도완화와 누설거리 최적화 설계기술(금구형상, 아킹흔에 영향고려)
- 내부결점(rod 내부, 고무갯 내부, rod와 고무의 계면결점)이 없는 초정밀 무결점 제조공정 기술

- 결점의 평가진단기술(X-ray, 부분방전)

(2) 암절연물의 설계시 고려인자

- arc distance : impulse 내전압
- leakage distance : 상용주파내전압, 내오손성, 소재열화
- 갯형상 : 오손절연성, 자연세정성, 소재열화
- 갯간 간격 : 섬락전압, 오염누적성, 소재열화
- 금구형상 : 섬락전압, 소재열화
- FRP rod의 내부결점에 의한 방전열화
- 비틀림강도
- fitting계면에서의 방전열화 및 내산성
- 온도 cycle에 의한 fitting부 피로열화

나. 암절연 송전시스템 특징과 핵심기술

(1) 암절연 송전시스템의 특징

- 절연물이 암 구조물의 역할을 공히 담당
- jumper가 불필요
- 전선의 swing이 불가능
- tower를 포함한 송전설비 전체의 혁신적 변화 유도
- 동일규모설비(경과지폭 동일)에서 송전용량 2배 증대

♠ 암절연물(post, suspension, space)들을 최적 set화하여 tower를 포함한 송전설비 전체의 혁신적 변화유도

♠ 소형·경량·미려화와 더불어 건설 및 설비 유지비의 대폭적 경감이 가능한 새로운 개념의 차세대 고효율 송전 시스템

(2) 암절연 송전시스템의 핵심기술(전력계통)

- 계통의 상용주파 절연특성
: 절연물의 장기절연내력(재료열화와 관련된

신뢰성)

- 충격(뇌, 개폐) 내전압특성
: air clearance와 구조물 형상(전선과 철탁간의 이격거리, 전선과 전선간의 이격거리, 아킹혼 및 금구형상)
- 절연암송전탑 구조형상설계
: 초고압절연과 지지구조물특성(고전압도체의 상간 및 대지간의 절연, 전선횡 진정도, 암절연물 및 형상별 기계적 강도특성, 철탁의 형태, 경관거리, 전선의 배치)
- 계통에 적용을 위해 검토해야 할 전기적 특성(선로정수, 일선지락고장 발생시 건전상 일시 과전압 및 고장전류, 뇌사고율)

다. 암절연 송전설비의 핵심기술 정리

고강도 복합재료, 실리콘고무, 고분자절연물, 경량 금구, 장기신뢰성 평가기술, 초고압 계통절연설계, 구조물 설계 및 역학적 해석기술 등 기술폭이 방대하여 관련전문가들의 유기적 협동연구가 필요

관 련 구 성 품	핵 심 요 소 기 술
암 및 상간절연물 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실리콘고무 소재처방기술 <ul style="list-style-type: none"> • 소재처방 및 혼합설비 • 실리콘고무 장단기 절연성능평가 <ul style="list-style-type: none"> - 트레이킹 가속열화장치/염무실험장치 - 내아크성/부분방전/절연과피 ○ 절연물 성형기술(대형진공사출기), 금형기술 ○ 절연물 형상설계기술 ○ 절연물 장기성능평가기술(인공오손실험)
고강도 초절연성 복합재료 제조	<ul style="list-style-type: none"> ○ 무결점 FRP 복합재료 성형기술 ○ 특성평가(기계특성, 전기특성)

관 련 구 성 품	핵 심 요 소 기 술
Pole형 지지물 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 구조제 소재별 강도특성 ○ 지지물 형상 설계 및 제작 ○ 기계적 특성평가(장기진동피로특성)
암절연물 적용 송전시스템 설계	<ul style="list-style-type: none"> ○ 계통절연과 전기환경특성을 고려한 시스템 소형화 설계
적용성 평가기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 장기 절연 신뢰성 평가 ○ 전력계통 및 전기환경 영향력 평가

4. 암절연물 및 적용송전설비의 기대효과

가. 기술적 측면

- 암과 절연물 무게 초경량화(1/20)
- 환경친화형 송전설비 구축가능(국민적 거부감 완화)
- 철탑의 pole화가 용이
- 송전설비의 공장생산화가 가능
- 고분자 암절연물은 충격손상과 염진해 내성이 우수
- 절연물 사고감소(도심, 삼면바다, 중오손오염, 서해안 폭설, 태풍, 일교차)
- 암절연 송전시스템은 저렴, 소형·경량, 미관, 고성능임
- 초고압 송전절연물 기술국산화
- 초고압 전력설비의 설계 및 평가기술 확보

나. 경제산업적 측면

- 소형경량화로 자재비, 운송비, 건설비 30% 감소
- 송전급 애자의 무역역조 개선효과(현재 기준 연간 1억불)
- 송전전압승압을 통한 전력수송력 증강(용량증대)

- 해외건설 수주 시너지 효과 예상
- 소요토지비 이외에 사회문화적 부가효과 큼
- 토지의 효율적 활용
- 막대한 기존시장 대체 및 수익창출 가능
- 전력설비의 점검, 유지 보수 및 절연사고 등의 비용 대폭절감
- 신규선로 건설 및 전력수요 변동이 심한 도심 근교 대체
- 남북한 및 동북아 전력연계망 구축시 활용
- 첨단산업사회 고도정보화 사회의 인프라 에너지인 전력의 안정적 공급에 기여
- 국가산업 경쟁력 획기적 재고
- 신규송전선(전력수요증가, 남북통일, 동북아 전력계통연계)용 경과지 확보난 완화

5. 결 론

- 전기에너지는 첨단산업사회와 고도정보사회의 인프라 에너지로 안정적 공급이 대단히 중요
- 경과지 확보난, 자가보상비, 건설비, 설비유지비, 수명 등을 포함한 total cost 개념에서 볼 때 국가, 한전, 국민 모두의 이익을 위해 도입 연구 필요

: total cost 구성요소(insulator/shipping/assembly and attachment/washing/

life/경과지 보상/trouble cost)

- 도심근교의 소형, 전기환경, 미관에 대한 욕구 및 산악도서지방의 경량으로 인한 건설비 절감욕구 충족
- 국가간의 전력거래 및 전력망 연계시 핵심

설비

- 다분야 전문가의 상호유기적 협력이 필요한 국가차원의 전력인프라사업
- 암절연 신송전기술은 시스템 혁신기술로서 사회, 기술, 경제 효과 지대

◆ 예미도중(曳尾塗中) : 曳 끌 예, 尾 꼬리 미, 塗 진흙 도, 中 가운데 중
⇒ 부귀로 인해 속박 받는 것보다 가난하지만 자유롭게 살겠다.