

최 중
연구보고서

농산촌 지역의 가로수 관리 모델과 전선피복덮개의
개발에 관한 연구

A study on the street trees' management model of
a farm and mountain areal and the development of
cover for protection of overhead distribution line

연 구 기 관
(주) 실 사 구 시

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농산촌 지역의 가로수 관리모델과 전선피복덮개의 개발에 관한 연구”
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 10월 일

주관연구기관명 : (주)실사구시

총괄연구책임자 : 황 이 연

연 구 원 : 김 신 원

연 구 원 : 배 호 영

연 구 원 : 엄 기 봉

연 구 원 : 탁 경 호

위탁연구기관명 : 동해대학교

위탁연구책임자 : 박 중 신

요 약 문

I. 제 목

농산촌 지역의 가로수 관리 모델과 전선피복덮개의 개발에 관한 연구

II. 연구기간

2002년 10월 15일 ~ 2004년 10월 14일

III. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 목적

본 연구의 목적은 가공배전선로의 전선이 이물질 또는 가로수와의 접촉에 의한 선로고장의 예방과 선로고장 방지를 위한 수목의 가지치기로 나무의 모양이 부자연스러워지는 것을 막고자 고압 가공배전선로 전선의 절연을 보장하여 가로수 전지작업을 억제하기 위하여 배전선로용 전선덮개를 연구 개발하였다. 이 연구 과정에서 부차적으로 얻을 수 있는 이점은 가로수의 가지치기가 올바르게 시행되어 농산촌 및 도심의 거리가 환경친화적으로 바뀌는 것 외에 매년 집행하고 있는 수목전지를 위한 비용 및 인력을 줄일 수 있을 것으로 본다. 본 연구에 의해 개발된 전선덮개는 현재 사용되고 있는 가공 배전시스템에 직접적으로 활용할 수 있도록 개발하였다.

2. 필요성(중요성)

현재 우리나라는 전 국토의 70%가 산지로 이루어져 있다. 국민들이 생활하고 있는 대부분은 도시 개발에 의한 절대 녹지공간의 부족(녹지공간비율 선진국 도시의 10분의1 수준, 동아일보 2004. 8. 5일자 A23면)으로 국민 생활공간의 환경악화가 점점 커지고 있다는 것을 국민 모두가 인지하고 있다. 이러한 상황 속에서, 가로수의

성장과 보호를 위한 가지치기가 아니라 가공배전선로의 사고를 막기 위한 가지치기는 현시점에서 재검토하여야 한다. 특히, 원칙과 전문성이 결여된 무성의한 잘라내기식 전지 작업은 지양 되어야 한다.

본 과제는 우리나라의 가로수가 정상적으로 성장하고 풍부한 녹음을 창출하여 녹시율(祿視率)을 높임으로써 가로수가 주는 환경적 가치를 증대시키고 가로수 전정 작업에 소요되는 막대한 예산과 인력의 낭비를 막고, 국민들에게 쾌적한 농산촌의 환경을 제공하고, 도로변 가로수를 합리적이고 체계적인 관리를 통하여 전 국토의 경관과 쾌적도를 향상시켜 지역주민 복지증진, 삶의 질을 향상시키고, 가공배전선로의 사고 및 전기안전을 도모하고 가로수의 정상적 성장을 돕기 위한 과제로 본 연구를 수행하게 되었다.

IV. 연구개발 내용 및 범위

본 연구에서 수행할 연구 내용을 요약하면 다음과 같다.

가. 현장조사

- 가로수 관리 실태 조사 분석
- 국내외 현황 조사

나. 전선피복덮개의 종류 재질 조사

- 건축방호용 사용실태
- 가로수용 개발 실태

다. 현행 전선피복덮개의 문제점 도출

- 가로수용 전선덮개의 개발 실태 조사
- 외국제품(일본산) 도입 적용 실태

라. 개발된 전선피복덮개의 현장적용

- 제품의 구조 결정

- 시공방법(활선 및 사선)

마. 농산촌 지역의 가로수 관리 모델 개발

- 가로수 가지치기 실태 파악
- 수목의 성장형태 분석
- 전선보호관 설치에 따른 모델 제시

바. 전선피복덮개의 절연 및 안전성 시험

- 물리 특성실험
- 물성 실험 및 결과 도출

사. 가로수 관리 대안 검토

V. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

- 건축물 방호용 전선피복덮개와 가로수 보호용 전선피복덮개의 구분 사용
- 가로수 관리 담당 부서와 한국전력공사와의 협조 체계 구축
- 가로수 관리를 위한 장기적이고 체계적인 프로젝트 필요.

SUMMARY

I . Title

A study on the street trees' management model of a farm and mountain areal and the development of cover for protection of overhead distribution line

II . study period

2002. 10. 15 ~ 2004. 10. 14

III. Object and necessity of study

1. Object

Object of this study is a development of insulation cover for both overhead distribution line and street's tree. This insulating cover will be prevent a power fail of overhead distribution from touching a branch of tree. When we use this insulating cover for overhead distribution line, it will bring a lot of advantages to change a circumstance for human being. And We will be saving manpower and cost for cutting street's tree. The developed cover by this project can use directly at the overhead distribution system, at present .

2. Necessity

At present, Our country is occupied with the mountains of the rate 70 percentage. Our people recognize the lacking of a absolute green tract of land by the developments of cities.(The absolute green space rate is 1/10 compared the

our country with an advanced nation, pages of 23, 5/8/2004, the Donga news paper)

In the present situation, We don't carry out the trimming for good growth and protection of street's tree, only in order to prevent from failing of the electric power owing to the touching of the trees. At this now, We must reconsider about the street's trees management.

At the such a meaning, We carried out this project. We will show the new street tree's management model.

IV. Contents and Scope of the study

A. Survey on the study

- Survey and analysis about street trees' management
- Survey on the street trees' management trend

B. Survey on a materials of insulating cover for power line

- Investigation of the insulating cover for architecture
- Investigation of the actual conditions about a insulating cover

C. Find problems of a insulating cover for power line

- Investigation of a insulating cover for power line
- Investigation of foreign goods(maid in Japan)

D. Site application of the developed insulating cover for power line

- Decision of goods' structure
- Construction work method(live and dead line)

E. The street trees' management model of farm and mountain area

- Study on the situation of the trimming methods
- Analysis of the street trees' growing type
- Showing models of the insulating cover for power line

F. Insulation and safety test of insulating cover for power line

- Physical property test
- Test of properties of matter test and find the result

G. Discuss a idea of street trees' management

V. Results of the study and suggestion for application

- Classify the use between a insulating cover for architecture and a insulatingcover for power line
- Establishing a cooperation system between the street trees' post and KEPCO
- Needs the project for street trees' management method

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	11
Chapter 2 A summery of subject	12
Section 1 Objective of the study	12
Section 2 Necessity of the study	16
Chapter 3 The present state of technology and development at home and abroad	18
Section 1 The present state of development at our country	18
Section 2 The present state of development at abroad	19
Section 3 Effects of technical development	20
Section 4 Analysis of the present state of market and economics	20
Chapter 4 Contents and results	26
Section 1 Development models for street trees at the farms and mountains	26
Section 2 Development of a insulating cover for power line	34
Section 3 Method of construction insulating cover for power line	68
Chapter 5 Contributions about a achievement of targets and related fields	72
Section 1 Targets of the study and valuation	72
Section 2 Achievement of the study's targets	73
Section 3 Contributions of related technical fields	78

Chapter 6 Application plan of the study's result	79
Section 1 Results of the study	79
Section 2 Application plan	79
Chapter 7 Abroad's science and technical information	81
Chapter 8 Results	83
References	85
Appendix	87

목 차

제 1 장 서 론	11
제 2 장 연구개발과제의 개요	12
제 1 절 연구개발의 목적	12
제 2 절 연구개발의 필요성	16
제 3 장 국내외 기술개발 현황	18
제 1 절 국내외 개발 현황	18
제 2 절 국외의 개발 현황	19
제 3 절 기술개발 효과	20
제 4 절 시장현황 및 경제성 분석	20
제 4 장 연구개발 수행 내용 및 결과	26
제 1 절 농산촌 지역의 가로수 관리모델	26
제 2 절 전선피복덮개의 개발	34
제 3 절 전선 피복덮개 시공법	68
제 5 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	72
제 1 절 연구개발 목표와 내용 및 평가 착안점	72
제 2 절 연구개발 목표의 달성도	73
제 3 절 관련 분야의 기술 발전의 기여도	78

제 6 장 연구개발결과의 활용계획	79
제 1 절 연구개발 결과	79
제 2 절 활용 계획	79
제 7 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	81
제 8 장 결 론	83
참고문헌	85
부 록	87

제 1 장 서 론

현재 우리나라 농산촌 지역을 비롯한 전국의 도로변에는 가로수와 고압전선이 같은 위치에 일렬로 설치되어 있다. 따라서 고압배전선로의 전선을 보호하기 위하여 고압전선과 접촉이 예상되는 가로수에 가지치기를 함으로서 가로수가 정상적으로 성장하지 못하기 때문에 가로수는 불균형한 형태로 자라게 된다. 이로 인하여 도심의 미관뿐만 아니라 전국토의 70%가 산지로 이루어져 있음에도 불구하고 도심의 녹지 공간 비율은 선진국 OECD 국가 도시의 10분의1 수준(동아일보 2004. 8. 5일자 A23면)에 머물고 있는 것이 우리나라의 현실이다. 이러한 문제점을 해소하기 위하여 해마다 각 지방자치단체는 엄청난 예산을 들여 녹지 공간 확보를 위하여 힘쓰고 있다. 도로변 가로수는 환경 및 미관적으로 좋은 녹지 공간 이상의 효과를 낼 수 있는 수목군락이지만 각 관계부서 또는 공공기관의 편의에 따라 비효율적으로 관리되고 있어 가로수에 의한 녹지 공간 효과성을 이용하지 못하고 있는 것이 현실이다.

따라서 본 과제 연구는 절연된 전선덮개를 사용하는 방법으로 고압배전선로의 전선을 보호하여 전력을 안정적으로 공급함과 동시에 배전선로의 전선과 같은 위치에 있는 가로수가 지역 경관을 해치지 않고 정상적으로 관리됨으로써 도시인, 농업인 및 임업인의 복리증진과 삶의 질을 효율적으로 높이는데 기여하고자함이 궁극적인 목적이다. 본 제품(전선덮개)은 기 설치되어 있는 고압배전선로의 전선에 덧씌우는 튜브형상의 관으로써 가칭 “가로수 보호용 전선피복덮개”라 하며, 고압배전선로의 전선에 씌워진 이 전선피복덮개는 고압배전선로의 전선에 가로수가 접촉되어도 배전선로 전선의 절연된 피복이 열화되지 않도록 하여 누전 또는 절연파괴에 의한 정전이 발생치 않도록 하였다.

제 2 장 연구개발 과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

1. 제품 개발의 배경

현재 우리나라 농산촌 지역을 비롯한 전국의 도로변에는 고압배전선로의 전선과 가로수가 같은 위치에 일렬로 설치되어 있는바, 고압배전선로의 전선을 보호하기 위하여 고압배전선로의 전선과 접촉이 예상되는 가로수를 무성의하게 가지치기를 함으로써 가로수는 정상적으로 성장하지 못하고 불균형한 형태로 자라는 것이 우리나라의 실정이다.

2. 제품명

본 과제에서 개발된 제품은 기 설치된 가공고압배전선로의 전선에 튜브 형상의 관을 덧씌워 고압배전선로의 피복을 보호함으로써 가로수와 접촉에 의한 사고를 방지하기 때문에 가로수의 무분별한 가지치기를 막을 수 있어 이 제품의 이름을 “가로수 보호 배전선로용 전선

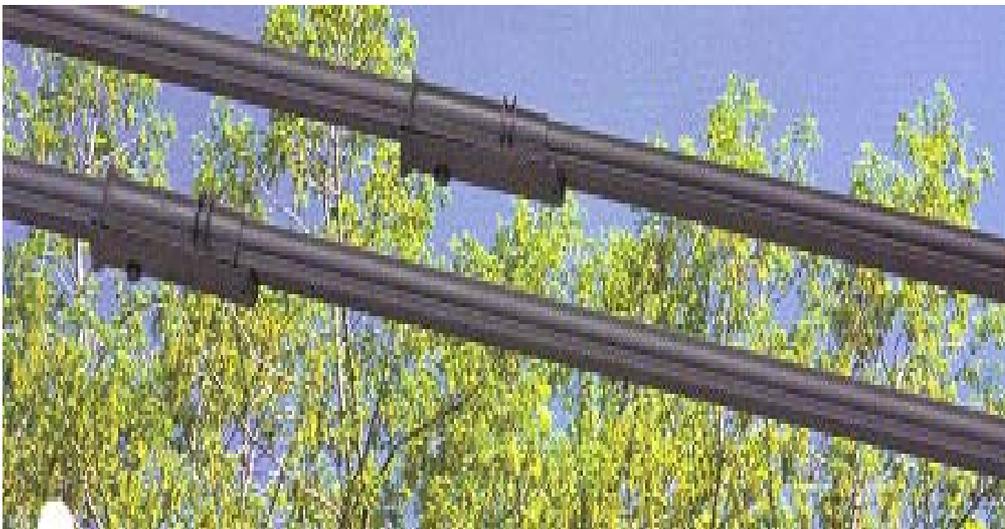


<사진 1> 개발된 전선피복덮개 근접사진

또한, 고압전선에 씌워진 이 전선피복덮개는 고압선에 가로수가 접촉되어도 누전 또는 정전되는 일이 발생치 않도록 하는 용도로 사용될 것이다.



<사진 2> 일본의 전선피복덮개 설치 모습(원경)



<사진 3> 일본의 전선피복덮개 설치 모습(근경)



<사진-4> 개발된 제품으로 설치된 사진(근경)



<사진-5> 개발된 제품으로 설치된 사진(원경)

3. 街路樹와 架空電線의 관계

일반적으로 고압배전선로의 전선과 가로수는 도로의 보도에 일렬로 같은 위치에 설치되어 있는 것이 보통이다. 이러한 상황에서 가로수는 지속적으로 성장하기 때문에 일정기간이 지나면 가로수는 고압배전선로의 전선과 접촉하게 된다.

22,9[kV]인 고압배전선로의 전선과 수목이 접촉되면 고압배전선로의 전선 피복에 전기적으로 열화현상이 발생하여 절연체에 열적파괴현상이 발생하여 절연체의 절연과파가 발생하고 이로 인하여 전선 절연체를 거쳐 접촉된 나뭇가지와 전기적으로 회로가 구성이 되어 누전현상이 발생하고 이런 현상이 장기적으로 지속되면 결국 정전 사태까지 발전하게 된다.

이러한 문제점을 해결하고 예방하기 위한 방법으로 종래에는 수목을 잘라 나뭇가지가 전선에 닿지 않도록 관리하고 있고 있다. 현재에도 이 방법을 채택하여 적용하고 있다.



<사진 6> 불균형하게 관리되는 한국 가로수
(강원도 오대산 국립공원 입구)

그러나 이 방법의 적용에 의한 결과는 무성하게 자라야 할 수목이 정상대로 자라지 못하게 하는 결과를 초래하여 전방 시계 내에 인지되는 푸르름의 정도 즉, 녹시율(綠視率)은 현저하게 떨어뜨리고 말았다. 그 결과 <사진 6, 사진 7 >과 같이 도로를 중심으로 양쪽에 위치한 가로수가 고압배전선로의 고압선이 없는 쪽은 무성하게 성장하고 고압

선이 있는 쪽은 강전지되어 불균형하게 자라 경관을 해치고 있다. 또한, 매년 수목을 강전지 하기 위하여 많은 비용이 투입되고 있다.



<사진 7> 잘려나간 아름드리 양버즘나무(서울 성동)

제 2 절 연구개발의 필요성

현재까지 우리나라 배전선로의 전선 배치는 수평배열 방식을 적용하고 있다. 이 방법은 도시 미관을 고려하지 않은 방법이라고 사료된다. 이러한 배전선로의 수평 배열방식은 가로수와의 접촉면적을 넓이는 결과를 가져오기 때문에 가로수의 가지가 고압배전선로의 전선과 접촉되지 않게 하기 위하여 부분적인 가지치기 방식이 아니라 가로수의 줄기를 자르는 형태로 이루어지고 있다. 이와 같은 가지치기 방식은 자연 환경과 삶의 질을 향상하고자하는 국민정서와는 완전히 반하는 방향으로 진행되고 있는 것이다. 따라서 환경에 대한 국민들의 관심이 커지는 현 시점에서 일방적인 가지치기 방식은 재검토 되어야 할 것이다. 특히, 전문성이 결여된 무성의한 잘라내기식 전정작업은 지양되어야 한다. 우리와 함께하고 있는 가로수가 정상적으로 성장함으로써 풍부한 녹음을 창출하여 녹시율(祿視率)을 높여, 환경적 가치를 증대시킨다는 관점에서 본 과제를 계획하고 수립하게 되었다.

현재 적용하고 있는 가공 고압배전선로의 전선을 보호하기 위한 가로수 가지치기 방식은 국민들에게 비 환경적인 정책으로 인식될 뿐만 아니라, 가로수를 전정하는데 막대한 비용이 소요되는 문제점을 안고 있다.<표 1 참조>¹⁶(2~3년 마다 정기적이고 반복적인 작업으로 업

청난 예산의 낭비)

또한, 전정 비용은 전기요금의 원가 상승요인으로 작용될 수 있다.

이상의 문제점을 근본적으로 해결하고 농산촌 지역을 비롯한 전 국토의 경관을 향상시키는 일환으로 도로변 가로수를 아름답게 관리 및 유지함으로써 지역 주민의 복리를 증진시키고 삶의 질을 증대시킬 수 있어 전선피복덮개의 개발은 매우 중요한 의미를 갖는다.

제 3 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내의 개발 현황

가로수 보호용 전선피복덮개는 국내에서는 생산되거나 사용된 적이 없다.

다만, 건축의 신축 및 증축을 위한 공사장에 인부들의 안전을 위하여 사용되고 있는 라인호스라고 칭하는 “건축용 방호관<사진 9>”이 우리나라에 적용되고 있다. 이 건축용 방호관은 배전선로의 전선이 공사장에 설치된 비계목의 상방, 측방 또는 측상방으로 근접하게 경유하여 전기설비기술기준법에 정해진 이격거리를 확보하지 못하여 작업자의 안전상에 문제가 있다고 판단되는 곳에 제한적으로 사용되고 있다.(한국산업안전공단, 한국전력공사)

따라서 가로수 및 고압 배전선로의 전선을 대상으로 한 본 연구 개발품은 처음이다.

현재, J사에서 수목용<사진 8>으로 개발된 제품이 있으나 안전용(건축용 방호관)과 유사하여 사용처에서 관련 인원이



<사진 9> Y사에서 개발한 건축용 방호관

제 2절 국외의 개발 현황

일본에는 가로수용 전선보호관<사진 10>이 개발되어 활용되고 있다.

그러나 일본에서 적용하고 있는 배전방식은 Δ 방식으로 비접지 방식을 적용하고 있고 전선에 걸리는 전압이 상전압으로 6.6[kV]의 낮은 전압으로 우리나라의 배전방식과는 그 근본이 다르다.

우리나라의 배전방식은 Y 중성점 다중접지방식을 적용하고 있고 전선에 걸리는 전압이 선간전압인 22.9[kV]의 매우 높은 전압이 걸린다. 또한 대지와 전기적으로 연결된(접지) 방식이기 때문에 나뭇가지와 고압배전선로의 전선이 접촉이 되면 전기적으로 회로가 구성이 되는 형태이다. (전기 에너지 수송을 효율적으로 하기 위하여 배전 전압을 승압하여 보냄)

따라서, 일본 제품의 제 규격을 조정하지 않고 직접 우리나라의 배전선로에 적용하는 것은 사실상 불가능하다. 이러한 우리나라의 실정을 감안하여 (주)실사구시는 우리나라의 배전선로에 적용할 수 있는 전선피복덮개를 독자적으로 개발을 시작하였다. 이 제품의 개발과정에서 기술적인 문제점을 해결하기 위하여 이미 여러 가지로 기술력을 갖추고 있는 일본 요쓰기사의 관계자가 한국을 방문, 기술 자문을 받아 본 제품을 개발하기 시작하였다.



<사진 10> 일본에서 개발한 가로수용 전선보호관

제 3 절 기술개발 효과

웰빙문화가 점차적으로 확산되는 이 시점에서 도시의 중앙에 위치하여 쉼 없이 허파 작용을 하여 도시공간의 쾌적함과 각종 유해 물질을 정화하고 있는 가로수를 반복적으로 잘라냄으로서 가로수의 성장을 저해시키고 도시미관을 초라하게 만드는 非環境的 정책을 근본적으로 개선하고,

대규모 공장, 소규모공장, 관공서, 일반 가정 등에 정전없는 원활한 전기에너지를 수송하기 위하여 고압 가공 배전선로의 전선과 접촉될 우려가 있는 가로수의 가치를 전지하기 위한 전지 작업이 낙엽이 떨어지는 초겨울부터 새싹이 돋기 직전인 봄까지 시행되고 있는 가로수 전지작업에 소요되는 전지비용을 절약할 수 있다.(기존의 가지치기방법은 반복적으로 전지작업을 하여야 하기 때문에 장기적으로 상당한 전지비용이 소요됨)

고압 배전선로의 전선과 수목의 접촉에 의한 전선의 절연체의 절연파괴로 인하여 발생하는 누전현상을 예방하고 배전선로에 발생할 수 있는 정전사고를 예방함으로써 값싸고 안정된 전기 에너지를 중단없이 풍부하게 공급하여 전력에너지로 인한 국민생활의 불편을 야기하지 않는데 공헌할 수 있을 것으로 사료된다.

가지치기로 왜곡되지 않고 자연의 힘에 의하여 정상적으로 자란 가로수의 모습에 의해 풍부한 綠陰을 창출하여 綠視率을 높임으로서 예상할 수 있는 무한한 환경적 가치를 제고 시키며, 가로수 전지작업에 따른 교통체증, 작업자의 안전사고 등의 간접손실을 최소화 할 수 있다.

농산촌 지역 중심으로 가로수를 환경친화적으로 관리함으로써 궁극적으로 농업인 및 임업인의 복지를 증진시키고 삶의 질을 향상시킬 수 있는 효과를 창출할 것으로 사료된다.

제 4 절 시장현황 및 경제성 분석

1. 가로수 전지 비용

가로수를 전지하는데 소요되는 비용 **20** 년간 약 800억원으로 추산하고 있으며, 이 중

고압배전선로의 전선으로 인한 전지는 60[%]정도로 그 비용은 약 480억 정도에 이르고 있다. 만일, 본 과제에서 개발할 전선피복덮개가 적극적으로 활용되면 국가적으로 연간 약 480억 정도의 실질적인 예산의 절감을 가져 올 수 있고, 수목이 전지되지 않음으로서 발생하는 비계량적인 요소를 감안한다면 엄청난 규모의 이익을 창출 할 수 있을 것으로 사료된다.

구 분	2001 년	2002 년	비 고
한국 전력	204억 (46여만주)	243억 (54여만주)	
지방자치단체		230억 (52여만주)	추정

<표 1> 우리나라 가로수 전지 비용

2. 배전선로의 지중화 현황

고압배전선로의 전선 접촉 방지를 위한 가로수 전지의 문제점을 해결하는 가장 근본적인 해결책은 가공 배전선로의 지중 배전방식 및 ABC 배전방식일 것이다. 그러나 지중배전방식의 경우 가공 배전방식의 **10배**의 비용이 소요되고 ABC(가공 케이블 방식)의 경우에는 우리나라에 시 사용한지가 일천하여 확대 사용하는 데는 많은 시간이 소요될 것으로 사료된다. 또한 배전선로의 지중화는 도심지의 경우 지하 매설물이 포화상태로 오히려 지하에 매설된 시설물이 가공으로 시설되어야 할 실정에 있다.(도심 도로의 **100[m]** 구간에 필요한 전선 지중화 비용이 **약 10억** 원 정도임)

연도별로 지중화 증가 추세를 보면

95년 7.3[%], 96년 7.9[%], 97년 8.4[%], 98년 8.95, 99년 8.45[%], 2000년 8.7[%]로서 평균 증가율은 **0.3[%]**에 불과하고,

主要 都市別 地中化率을 보면

서울 45.3[%], 부산 20.3[%], 대구 12.9[%], 광주 12.2[%], 대전 24.5[%], 인천 26[%], 울산 11.3[%]이며, 그외 기타 지방은 전무한 실태이다.

3. 전선 피복 덮개의 경제성 분석

본 과제에서 개발될 전선 피복 덮개는 우리나라의 농산촌 지역을 포함한 전 국토에 식재되어 있는 약 1,600만 그루의 가로수 중 고압배전선로의 전선 접촉 예방을 위해 잘라지는 가로수가 없도록 사용될 것임. 또한, 개발될 전선피복덮개는 발명 특허로 출원되어 지적 재산권으로 보호받게 될 것이다. 전선피복덮개가 사용되면 가로수의 환경적 가치 증대에 기여할 뿐만 아니라 고압배전선로의 전선 보호에 의한 정전사고를 예방함으로써 정전없는 양질의 전력공급을 기대할 수 있는 비계량적 경제성을 예상할 수 있다.

또한, 배전선로의 지중화가 완료되는 시점까지 본 제품의 수요가 발생할 뿐만 아니라 배전선로의 특성상 가공배전선로가 그 주류를 이루기 때문에 본 제품은 주기적인 본 제품의 소비가 예상된다. 즉, 장기적으로 전선과 수목의 가지 사이에 마찰이 이루어지면 전선피복덮개의 외피가 얇아져 본 제품의 황색 내피가 노출되어 외적으로 황색을 띠게 되어 교체시기를 알리도록 설계되어 있다. 이러한 현상이 발생될 것으로 보는 주기는 사용처의 환경에 따라 달리 나타나겠지만, 약 5~10년 주기로 교체가 필요할 것으로 사료되어 이에 따른 수요가 발생할 것으로 예상된다.

가. 전선보호관 판매 및 설치공사비 예상

판 매 액	설 치 공 사 비	기 타
350억	60억	- 가로수 관리사업 - 전선 피복 덮개 교체사업

35,000원 × 100만본 6,000원 × 100 만본 (전선 피복 덮개 평균 수명 5 ~ 10년)

<표 2> 전선 보호관 판매 및 설치공사비 예상

나. 가로수 관리 비용 비교 (10년간 기준)

구 분	시 공 비/주 당	비 고
기존 가지치기 방법 적용 시	45,000 × 10회	450,000원
전선 피복 덮개 활용 시	42,000 × 1회 45,000 × 2회	132,000원

<표 3> 가로수 관리비용 비교 (10년간 기준)

* 전선피복덮개 활용시 기존 가지치기 비용 대비 약 70[%] 비용절감 효과 발생

다. 가로수 1주당 1회의 가지치기 및 보호관 설치 비용

구 분	전선보호관 설치비	가지치기 비용	비 고
R 31-35CM (수관폭 4M)	116,400원	214,387원	54.3%

<표 4> 가로수 1주당 1회 관리비용

■ 시공비 산출근거

● 전선보호관 설치비

- M 당 재료비 6,500원
- M 당 인건비, 경비 3,200원
- 수관폭 4M의 경우
9,700원 x 3열 x 4M = 116,400원

● 가로수 가지치기 비용

서울시 강전지 품셈 기준의 75%임

■ 10년간 가로수 관리 비용 비교

● 기존 가지치기 방법 채택시

3년 마다 가지치기 시행
214,300원 × 3.3회 = 707,190원
(R 31-35CM, 수관폭 4M 기준)

● 전선보호관 방법 채택시

보호관은 10년 마다 설치
가지치기는 5년마다 약전지(강전지의 50%)
116,400 + 107,150 = 223,550원

- ※ 전선보호관을 사용함으로써 약 70%의 비용 절감
- ※ 전국의 저축 가로수 100만주이면 약4,840억 원의 비용 절감
- ※ 가로수가 무성하게 성장함으로써 발생하는 간접 편익과 인건비 상승률 감안하면 천문학적 수치임

- 한국전력의 비환경적 이미지를 개선 함.
- 가로수를 자르는데 소요되는 노동력, 교통혼잡, 가로수의 기능 상실등 간접손실을 예방함.

라. 보호관 비교

생 산 업 체	제품 두께(단위 : [mm])	중 량(단위 : [g/m])
한국 Y 사	3.08	576
일본 Y 사	2.30	306
실사구시 개발품	1.40	195

<표 5>전선 피복 덮개의 비교표



<사진-11>일본 Y사 제품



<사진-12> 실사구시 개발품



<사진-13> 한국 Y사 제품

제 4 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1 절 농산촌 지역의 가로수 관리모델

1. 연구수행 내용 및 결과

가. 가로수 관리 현황

현재 우리나라 농산촌 지역을 비롯한 전국의 도로변에는 가로수와 고압배전선로의 지지물인 콘크리트 전주가 같은 위치에 설치되어 있어 지지물의 상부에 가선된 전선이 가로수와 일렬로 설치되어 있기 때문에 고압배전선로의 전선과 가로수 가지와의 접촉으로부터 보호하기 위하여 낙엽이 지는 늦가을부터 새싹이 피기 시작하는 이듬해 봄 사이에 대대적으로 가로수 가지치기 작업을 해마다 가로수와 관련된 기관에서 시행하고 있다. 이러한 전지작업으로 대도시의 허파역할과 아름다운 도시를 꾸미기 위한 가로수는 정상적으로 성장하지 못하고 기형적인 모습으로 변하여 우리 국민이 바라고 있는 가로수의 모습과는 전혀 다른 형태로 자라게 되고 이로 인하여 도시의 환경은 바람직하지 못한 방향으로 전개되고 있다.

이와 같이 바람직하지 못한 가로수에 대한 가지치기 작업은 가로수를 심어 주변 경관과 환경을 아름답게 꾸미는 본연의 목적과는 전혀 다른 형태로 관리되고 있는 느낌이다. 이로 인한 피해는 고스란히 그 지역을 살고 있는 지역 주민들에게 끼치고 있다. 이러한 폐해를 무시하고 해마다 실시되고 있는 고압 배전선로의 주변에 심어져 있는 가로수에 대한 가지치기 작업은 새로운 방법으로 전환되어 가로수가 정상적으로 성장하여 가로수의 본래 목적을 이룰 수 있는 방법으로 가로수 관리방법이 모색되어야 한다. 전기 에너지를 원활하게 공급되게 하기 위하여 고압 배전선로 주변의 가로수가 가차 없이 잘려나가는 방법으로부터 고압 배전선로의 전선과 가로수의 가지 모두가 공존할 수 있는 방법이 도입되어야 한다.

앞에 내용에 게재한 <사진 6>은 가로수가 도로를 따라 양쪽으로 균형 있게 배치되어 아름다운 도로가 형성되어야 하나 고압 배전선로의 전선이 가선된 쪽의 가로수의 가지가 심하게 잘려나가 불성스러운 모습으로 변한 예를 보이고 있다. 이러한 방식의 가로수 가지치기가 계속된다면 이러한 불균형은 더욱 심화될 것이다. <사진 7>은 울창하고 긴장하게 자란 가로수가 상부에 무성하게 형성되어 있어 가지가 무참하게 잘려 거의 몽당연필 수준으

로 잘려 도시미관을 아름답게 하는 가로수 본연의 모습이 아니라 오히려 주변 환경을 혐오스럽게 만드는 주범으로 변해버린 가로수의 모습을 보이고 있다.

나. 문제점

가지치기 방식의 가로수 관리 형태는 푸르름의 양을 감소시켜 수목이 갖는 가장 기초적인 친환경적 기능을 감소시키게 되고, 평화롭고 자연스러운 농촌의 모습은 농촌과 농촌을 잇고 있는 도로에 심어진 가로수가 고압 가공 배전선로의 전선과 접촉을 예방하기 위하여 무참하게 자려 가공 배전선로의 전선이 확연하게 노출되고 양측으로 균형 있게 심어진 가로수는 배전선로가 시설되어 있는 쪽의 가로수가 가지치기를 당하여 양쪽에 심어진 가로수의 모양이 달라 불균형한 모습으로 변하여 농촌의 풍경은 심하게 훼손될 뿐만 아니라 2~3년마다 반복되는 가지치기에 소요되는 비용이 과다하게 발생하여 전기요금의 인상 요인으로 작용하게 되어 국민 경제에 부담을 줄 것이다.

이러한 농촌의 자연 환경을 훼손시키는 가로수 관리 시스템은 주 5일 근무제가 확대 실시되는 이 시점에 도시민의 농촌 관광객 유지에 부정적 요인으로 작용하여 농산촌 소득 증대에 지대한 영향을 줄 수 있다. 푸르름의 정도를 계량화하는 기준이 綠視率인데 이를 상술하면 다음과 같다.

♣ 녹시율과 수목의 관계

綠視率은 어느 주체가 자신의 전방을 응시하였을 때 보이는 視界내에 푸르름의 양이 어느 정도인가를 比率로 나타내는 말한다. 이를 구체적으로 표시하는 방법으로 인간의 눈과 같은 원리인 Camera로 전방을 사진기로 촬영한다. 인화된 사진에 나타난 푸르름의 양을 전체 면적에 대하여 비율로 나타내면 녹시율이 계산된다. 이러한 녹시율의 개념이 갖는 意義는 이제까지 전체면적 대비 녹지 공간 비율로 나타내는 算術的 方式과는 달리 실제로 이를 응시하는 사람의 입장에서 어떻게 인지되는가를 기준으로 하는 보다 積極的이고 能動的인 개념의 산출방식인 것이다.

특히, 아스팔트 도로와 주변 구조물들과의 녹지 관계를 보면 지역 주민이 실제 생활지역에서 느끼는 녹지의 비율이 실제 보다 낮게 나타나는 현상을 이해하게 하고 이를 극복하기 위한 도로녹화 정책에 좋은 지침을 제시할 수 있다. 예를 들면, 보행자나 운전자의 입장에서 아스팔트 포장, Concrete 건물 그리고 상가 간판이 시야의 대부분을 차지하는 것은 綠視率이 낮다는 것을 단적으로 설명하고 있는 것이다. ²⁷도로의 녹화는 푸르름의 절대량 증가에도 의의가

있지만, 綠視率을 증가시키면, 실생활 속에서 느끼는 푸르름의 認知度를 증가시켜 인간에게 주위환경의 쾌적함을 느끼게 하는 매우 큰 의의가 있다.

이러한 녹시율의 측면에서 가로수의 모양 크기 등의 변화는 綠視率에 커다란 영향을 미치게 된다. 그 이유는 綠視率은 카메라의 兩角 내에서 계산되므로 樹高, 樹冠幅, 枝下高를 변화시키면 綠視率 역시 변하는 것을 알 수 있다.

도로중앙으로부터의 綠視率에 대하여 살펴보면 아래 내용과 같이 지하고, 수고 그리고 수관폭 등이 녹시율에 영향을 주는 것으로 되어 있다. 이들의 영향정도를 살펴보면 가장 크게 영향을 미치고 있는 요소는 지하고 이고 그 다음으로 영향을 주는 것이 수고 그리고 가장 녹시율에 영향을 적게 주는 요소는 수관폭으로 알려져 있다.

- 1) 枝下高에 의한 綠視率의 변화는 다른 요인에 비하여 가장 커서 1[m]당 3~5[%] 감소한다.
- 2) 수고에 의한 綠視率의 변화는 매우 커서 1m 커지면 신장율은 2.5[%]이상 증가한다.
- 3) 수관폭에 의한 綠視率의 변화는 수고에 비하면 작아서 1[m] 넓어지면 1~1.5[%] 증가한다.

이 요소들을 기초로 하여 가로수를 보면 가로수의 수고와 수관이 충분히 자랄 수 있도록 가로수를 관리하는 것은 가로수를 새로 심는 것보다 훨씬 중요하다고 볼 수 있다. 앞에 기술하였던 <사진 6>은 강원도 평창군에 위치한 오대산 입구의 은행나무 가로수인데 현황의 녹시율은 60[%]이나 이를 정상적으로 관리하였다고 보아 시물레이션을 하면 <사진 14>와 같이 녹시율이 100[%]로 증가하게 된다.



<사진 6> 불균형하게 관리되는 가로수(강원도 오대산 국립공원 입구)

<사진 14> 강원도 국립공원 입구 시물레이션 사진

다. 전선 피복 덮개를 활용한 가로수 관리모델 정립

1) 전선 피복 덮개 활용의 가능성

고압배전선로의 전선을 보호하여 풍부하고 값싼 전기에너지를 안정적으로 공급하는 것은 국민 생활에 지대한 영향을 주기 때문에 절대적으로 지켜져야 할 매우 중요한 일이다. 그러나 동시에 지역 경관을 해치지 않고 가로수를 정상적으로 관리함으로써 친환경적 경관을 만들고 삶의 질을 높이는 것 또한 매우 중요하다. 이 또한 농업인 및 임업인의 복리를 증진시키는 궁극적인 일이기 것이다.

이러한 양면을 만족할 수 있는 가장 좋은 대안은 전선은 지하설비로 시설하고 가로수는 지상에서 자연의 힘과 인간의 체계적인 관리 속에서 무성히 자라는 것이지만, 고압 가공 배전선로의 지중화는 건설비가 많이 소요되어 극히 제한적으로 시행되고 있어 전국토를 대상으로 한 배전선로의 지중화는 현실적으로 그 선택을 어렵게 한다. 이러한 경제적 문제점을 감안한 현실적인 차선의 대안으로 제시되는 것이 전선 피복 덮개를 활용하는 방법이다.

전선피복 덮개는 기 설치되어 있는 고압 가공배전선로의 전선을 덧씌우는 튜브형상의 관으로서 고압선에 가로수가 접촉되어도 전선을 둘러싸고 있는 피복의 열화현상이나 가지와 전선과의 마찰에 의한 전선 피복의 구출 현상(벗겨지는 현상)을 막을 수 있어 누전으로 인한 일반인의 전기 안전사고 및 화재 그리고 누전현상이 발전하여 발생할 수도 있는 정전을 예방할 수 있을 것으로 사료된다.

이러한 전선 피복 덮개 방식은 가까운 일본에서 개발사용하고 있지만, 그들의 전기배전공급방식과 배전 전압이 우리나라의 배전방식 및 전압의 크기가 매우 달라 그대로 적용할 수가 없다.

따라서 이번 연구 프로젝트에서 개발된 한국형 전선보호관이 보급, 사용되면 우리나라의 가공배전선로가 완전히 지중화가 이루어지는 그날까지 전선의 피복의 열화 현상과 마찰에 의한 피복 구출을 막아 일반인의 전기안전 사고 및 정전 사고를 막는 훌륭한 대안으로서 그 기능을 수행할 것으로 예상된다.

2) 우리나라 배전선로 전선의 전선피복 덮개 활용방안

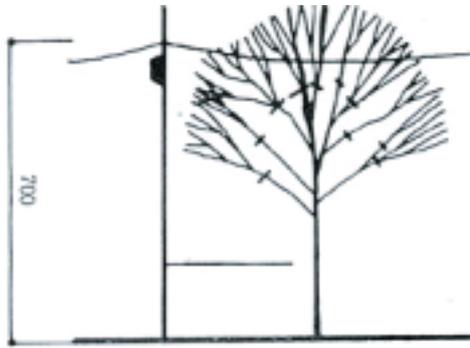
전주와 가로수의 근접은 전기의 특성상 가로수의 접촉을 허용할 수 없기 때문에 가로수의 정기적인 가지치기 작업으로 정상적인 성장을 제약하고 있어, 서로 간의 상반된 부정적 기능으로 현재와 같은 가로수 관리 형태로는 양립하지 못하고 한쪽이 피해를 감수해

야만 한다. 도심 내에는 원활한 전기 에너지를 유통하기 위해서 많은 架空線이 있는데, 특고압배전전압인 **22.9[kV]**의 고압전선을 비롯하여 통신선, Cable TV선 및 인터넷선 등이 있으며 이들은 가로수와 相衝되어 서로의 기능을 약화시키고 있다. 이러한 각종의 전선 중에서 가장 큰 문제는 **22.9[kV]**의 特高壓電線인데 이 전선은 고전압이 인가되어 있기 때문에 나무 등의 이물질과 접촉하면 전선 위를 덮어 절연하고 있는 被覆部位에 대전 현상이 발생하게 되는데 이 현상이 빈번하게 발생하면 피복선이 열화되어 절연과피까지 이르게 되고 과피된 전선의 피복 밑으로 드러난 충전부에서 漏洩電流가 흘러 이로 인한 일반인의 전기 안전사고 및 화재사고를 유발할 수 있다. 또한 이 현상이 지속되면 열화된 부위가 더욱 확대되어 전선의 도체에 손상을 입혀 전력선의 단선으로 발전할 수 있다. 따라서 결국 정전사태를 발생시킬 수 있는 것이다.

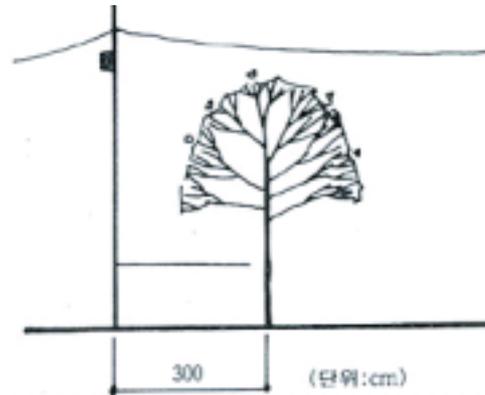
이러한 가로수와와의 접촉을 최소화하기 위한 방안으로 우리나라의 전력회사에서는 전주의 길이가 **14~16[m]** 정도의 매우 높은 전주를 사용하여 高壓線은 지상으로부터 약 **7~13[m]**에 위치하고 있으나 수목의 계속 성장에 따라 고압전선에 근접하면 결국 수목의 전지작업을 할 수 밖에 없게 된다.

가) 종전의 가지치기 방법

<그림 1>은 가로수와 전주와의 거리가 **3[m]** 정도 이격되어 있고 전력선이 **7[m]** 상부에 위치하고 있는 상황을 도시한 것이다. 이 경우 이미 나무가 자라 전력선과 접촉되어 있기 때문에 종래의 방법으로는 필연적으로 나무의 가지를 잘라야 한다. 이때 자르는 방법은 상부에 표시된 자름 부분과 같이 수간으로부터 발생한 굵은 가지를 남기고 잔가지는 모두 잘라낸다. 이 경우 전지작업을 한 날로부터 **1년**이 경과하면 <그림 2>와 같이 수간으로 또 다시 잔가지가 발생하는데 이 잔가지는 성장하여 약 **1~2년**이 경과하면 <그림 1> 과 같이 전선에 닿게 되어 다시 전지작업을 시행하여야 한다. 따라서 이 방법은 일정한 주기로 전지작업을 해야 하는 불편함과 전지작업 과정에서 발생하는 교통장애, 인력 낭비 그리고 가지치기로부터 생산된 나무토막의 처리 과정이 발생하게 된다.



<그림 1>



<그림 2>

나) 전선피복 덮개를 활용한 전지 모델

수목의 성장 특성과 수형에 따라 직간형(直幹形)과 분지형(分枝形)으로 나누어 시행한다.(수고성장이 빠른 직간형수목은 은행나무, 플라타너스, 목백합 등)

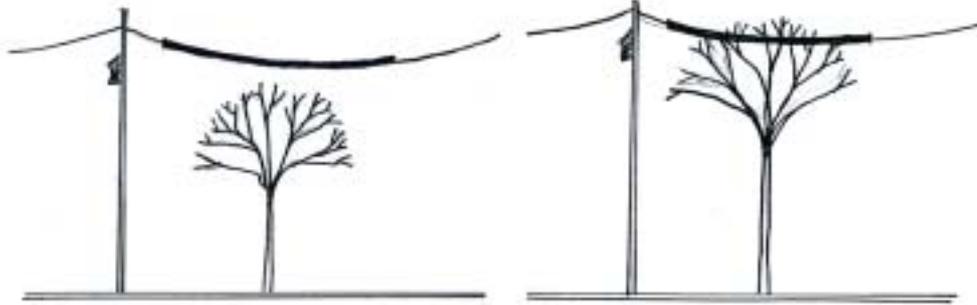
제 1 단계

<그림 3>과 <그림 4>는 전선피복 덮개를 활용한 전지 모델을 간단하게 도시한 것이다. <그림 3>과 같이 수목이 아직 전력선 보다 밑에 있는 작은 상태에 있다. 이와 같은 상태에서 약 1~2년이 경과하면 수목이 성장하여 전력선과 접촉하게 될 것이다. 따라서 나뭇가지가 전선에 닿기 전에 가로수 수관 폭의 2배 길이로 고압 배전선로의 전선에 피복 덮개를 씌운다. 고압 배전선의 절연을 보강하는 조치를 취하는 것이다.

다음해 춘기까지 성장한 나뭇가지가 고압가공 배전전선의 전선피복과 닿는 것으로 가정하면 <그림 4>와 같은 상황을 예상할 수 있을 것이다. 이때 전력선과 접촉되는 어린가지는 경화되지 않았거나 경화되었더라도 가지의 굵기가 작아서 전선이나 피복 덮개에 가하는 물리적 충격은 거의 없을 것으로 생각된다. 혹, 물리적 충격이 있다하더라도 앞에서 서술한 것과 같이 가지의 굵기나 가지의 강도가 작아 물리적인 문제점은 발생하지 않을 것이다. 2년 정도 지나 동기 전정이 시작될 무렵에는 수목의 가지가 경화되면서 전선에 수직으로 닿거나 전선을 강하게 압박하는 가지가 생길 수 있는 데 이 경우 직접적으로 전선을 압박하는 부분만 제거하는 것이 좋다. 제거 목적은 전선 피복 덮개에 물리적인 접촉을 줄여 전선 피복 덮개의 수명을 연장하기 위한 방법이다. 전정 시기를 놓치거나 비용의 문제로 인하여 전정을

시행하지 않아도 문제는 없다.

이러한 1단계 전정은 수종에 따라 다르지만, 플라타너스와 같이 성장이 빠른 수종은 전선 덮개 설치 후 3년 정도, 은행나무 같은 경우는 5년 정도에 1회 실시하면 2단계로 넘어갈 것으로 예상된다.



<그림 3>

<그림 4>

제 2 단계

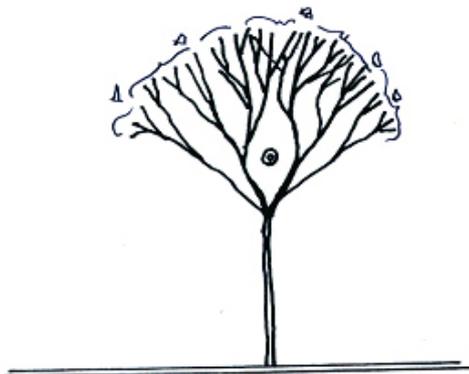
수목은 수고 성장과 함께 비대 성장을 지속적으로 하게 된다. 당초에는 전선보다 낮은 위치에 있던 나무의 일정 부위가 수고 성장에 따라 이미 가공 배전선로의 전선에 설치해 놓은 전선피복 덮개에 닿게 된다. 동시에 수목은 비대 성장을 하게 되는데 이에 따라 덮개에 닿아 있는 잔가지들은 성장하여 굵은 가지가 될 것이다. 이러한 상태에 이르는 단계를 2단계 상태라고 정의하였다. 이 상태에서는 배전선로의 전선이 여러 가지 원인에 의해 진동을 하게 되는데 그 주된 원인은 바람이라고 보고 있다. 바람이 불면 좌우 진동뿐만 아니라 전선의 모양이 원형이기 때문에 전선을 중심으로 바람이 상하로 분리되어 흐르게 되는데 이 과정에서 바람의 속도 차가 발생하여 전선은 상하로도 움직이게 된다. 따라서 전선의 진동 폭은 좌우 및 상하 진동을 하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상을 감안하여 전선의 진동폭 만큼 좌우 및 상하 방향으로 가지를 잘라 내는 전정을 한다. 이때 전선 진동의 폭은 전선의 이도의 정도에 따라 그 폭이 달라 질 수 있다. 따라서 현장에서 전정 작업을 할 경우 이를 충분히 반영하여야 할 것이다. 뿐만 아니라 이런 모든 작업은 전선이 살아 있는 활선상태임을 명심하여야 한다.

또한, 2단계 전정은 수목이 정상적으로 생육하고 장기적으로 수목의 모양을 갖추어 가는데 영향을 줄 수 있고 가공 배전선로의 전선은 수목의 가지 사이를 貫通하는 상태에서 계속 성장하게 된다는 것을 이해하고 정전 작업을 32 - 때 이를 충분히 고려하여 전정하여야 한다.

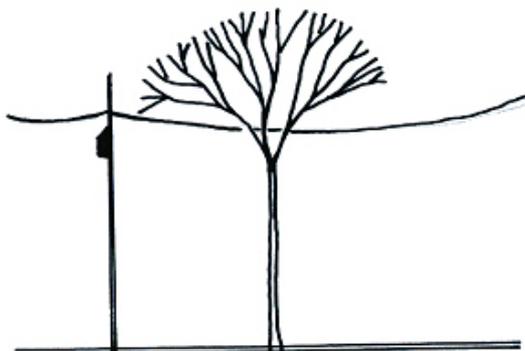
이러한 상황을 좀더 상세히 설명하면 <그림 5>와 같이 대상 수목의 가지가 성장 과정에 있기 때문에 이 가지의 형성이 전선이 지나가는 종방향으로 빈 공간을 확보토록 하는 것이다. 이 형상을 측면에서 보면 <그림 6>과 같이 가공 배전선로의 전선이 가로수가지의 굵은 부분을 지나도록 하는 것이다. 이러한 단계는 가로수의 縱列 方向으로 전선이 흔들리는 폭을 고려하여 비워두는 전지를 하여 수목의 흔들리지 않는 가지부분을 전선이 통과하도록 하는 것이다. 이러한 2 단계의 관리가 되면 육안으로 전선은 보이지 않고 가로수만 보이게 되어 전선을 따라 생기는 원통형의 공간도 측면에서는 보이지 않아 아름다운 가로수를 보게 된다.

♣ 수고와 수관폭 성장을 함께하는 분지형 수목 : 느티나무, 단풍나무 등

분지형 가로수는 수고의 성장 속도가 느리고 수관폭의 성장이 빠르다. 이러한 수종은 수고 성장과 함께 수관 성장이 함께 되어 가로상의 타 시설물과의 관계 등 지장으로 인하여 5~6년마다 수관 축소 전정을 해야 하는 특성을 지니고 있다. 이 경우에는 보호 덮개를 설치하여



<그림 5>



<그림 6>

가지가 닿으면서 성장하도록 하고 5년 정도마다 수관 축소 전정을 실시하는 방안이다. (<그림 4>와 같이 성장시키고 수관 축소 전정 시 <그림 3>과 같이 가지치기하면 된다.)

만일 가로수주변에 지장물이 없어 거목으로 성장시킬 수 있으면 직간형 수목의 방법을 적용하면 된다.

2. 연구수행 결과

본 연구 수행 결과를 잘 응용하고 적용한다면 가로수 관리 체계가 합리적으로 바뀌어 다음과 같은 좋은 결과를 모색할 수 있을 것으로 사료된다.

- 가. 농산촌 및 도심지 가로수 관리 모델의 합리적 제시로 녹시율 향상에 따른 친환경 조성
- 나. 가로수 관련 기관과의 합리적 업무 협조 방안 모색 가능
- 다. 가로수와 전선과의 접촉에 의한 일반인 감전 사고의 방지
- 라. 정기적으로 시행되는 정지작업에 소요되는 비용 감소
- 마. 농산촌의 경우 환경개선 효과로 주 5일 근무제의 확대 시행과 함께 관광객 확보 효과 창출
- 바. “마”항의 상승에 의한 농산촌의 소득 증대
- 사. 기타

제 2 절 전선 피복 덮개의 개발

1. 연구 수행 내용 및 과정

가. 절연물질 등 소재파악

P.V.C(Polyvinyl Chloride : 염화 비닐)는 폴리에틸렌과 함께 가장 널리 사용되는 수지로 염화 비닐(CH_2CHCl)의 부가중합체이다. P.V.C는 일반적으로 결정성이 낮고 C-Cl의 극성기를 함유하기 때문에 분자간 인력이 비교적 강하여 상온에서 단단한 성질을 나타내며 기계적 강도가 크다.

그러므로 보통 저분자인 각종 프탈산 에르텔류, D.O.P 등을 적당량 첨가하여 분자간 힘을 약화시켜 유연성을 갖게 하고 가공성을 향상시켜 연성을 갖도록 한다. P.V.C는 유극성이므로 저주파에서의 전기 절연성이 대단히 우수하나 고주파에서의 특성은 좋지 않으므로 저전압 저주파용의 전선이나 케이블의 피복 절연체의 재료, 테이프 등 종래의 고무절연을 대신하여 대량으로 사용되고 있다. 그러나 연성을 갖게하는 첨가제의 종류에 따라 연화 온도가 저하되고 난연성이나 내열성이 약화되므로 열분해를 일으키기 쉬우므로 일반적으로 열 안정

체를 가열하여 내열성을 높이고 있으나, 150[°C] 이상에서는 열분해를 일으키는 특성을 갖고 있다. 그러나 P.V.C는 온도에 따라 그 경도가 심하게 변해 외부에 시설되는 전선덮개 재료로는 고려해야 할 부분이 많다. 특히, 겨울철에는 작업성이 상당히 떨어지는 결점을 가지고 있다. 본 연구에서는 마찰계수가 무엇보다도 중요하기 때문에 자료조사 수준에서 멈추고 본 연구 대상에서는 제외하였다.

P.E(Polyethylene : 폴리에틸렌)은 에틸렌($CH_2 = CH_2$)의 부가중합에 의한 결정성 고분자로서 무극성이므로, 유전손실이 대단히 적고 전기 절연성도 우수하여 필름상이나 압출 성형하여 고주파 케이블, 고전압 케이블의 절연에 적합하다.

그러나 쇠장고분자(long-chain polymer)이므로 연성온도가 낮은 것이 결점이나 방사선이나 화학처리에 의한 3차원 망상구조인 가교폴리에틸렌이 만들어지므로 내열성을 향상시킬 수 있다. 이와 같이 쇠장고분자를 방사선 또는 화학처리에 의해 망상고분자로 변화시키는 것을 가교(cross-linkage)라하며 가교가 행하여지면 일반적으로 내열성이나 내약품성은 향상되나 절연성은 약간 떨어진다.

폴리에틸렌은 그 합성법에 따라 가지구조가 많은 고분자 또는 극히 적은 직쇄상, 결정상 구조의 것이 생성되어 이들 구조의 상이에 따라 그 성질도 달라지므로 용도가 다양하여 폴리염화비닐과 함께 가장 널리 이용되고 있는 수지이다. 본 과제에서 보호하려고 하는 고압 가공 배전선로의 전선의 피복이 바로 이 재질을 가교한 가교폴리에틸렌이다. 본 과제를 수행하면서 이 재질로 전선덮개의 재질로 사용할 것을 고려한 적도 있지만, 이 역시 겨울철에는 작업성이 현저하게 떨어져 새로운 물질을 찾기로 하여 개발한 것이 **T.P.U**이다.

T.P.U는 우리나라의 벤처기업에서 개발한 원료로 2002년도 대한민국 기술 대상에서 우수상을 받은 E-zone 수축튜브를 만든 원료이다. 이 물질에 대한 화학적 성분은 이 과제와는 관련이 없을 뿐만 아니라 관련 자료를 입수하지 못하였기 때문에 밝힐 수는 없다. 이 제품의 일반적 사항을 기술하면 다음과 같다.



<사진 15>P.V.C 원소재

<사진 16>T.P.U 원소재

<사진 17>P.E 원소재

항목	단위	TPU	PVC	PE	PP
내전압강도	kV/mm	25.4-32.7	15.6	8	20
내전압상수	-	5.1	3.3-3.5	2.3	2.2-2.6
체적저항	Ω cm	8×10^{14}	2×10^{14}	6×10^{14}	10^{15}
경도	SHORE.A.D	85A	DOP조절	45-60D	55-60D
비중	-	1.18	1.3	0.93	0.9
인장강도	Mpa	31-40.3	25.2	12.4-19.3	32-34
최대신율	%	525-630	171-210	100-150	10-12
충격강도	J/m	1.4	0.9	1	0.5-0.7
마찰저항	mg/1000cycle	50	8-12	6-10	-
내열온도	$^{\circ}$ C	120	105	80-100	90

<표 6>절연물질(소재)의 특성 비교

* 내전압 상수는 상온, 60[Hz], 1[kHz], 10[kHz] 조건에서의 수치임

* PE는 Medium Density 기준임

본 물질은 켄텍(주)이 개발한 원료로 특징은 내전압 특성이 좋아 저압에서 특고압 전체 영역의 절연체의 사용이 가능하고 촉감이 부드럽고 무독성이고, 두께가 얇아 미관이 수려하며, 고탄성 플라스틱의 형상을 기억하는 성질이 있다. 또한, 별도의 열처리가 필요 없이 대상물체에 끼워놓으면 자연적으로 수축된다. 용도는 고압, 특고압 분야의 부스바 절연 피복재, 신축건물의 배전반 전선 연결부위 절연피복, 마모된 콘베어벨트의 롤러 재생 피복, 교량

의 연결조인트 및 연결 로프의 녹 방지 피복, 배터리 케이블, 전기배선<사진 15>P.V.C 원 소재 접속부 절연 피복 등이다. 이 들에 대한 원료의 모양과 특성은 <사진 15~17> 및 <표 6>를 참고하기 바란다.

이 물질은 무엇보다도 초고강력 및 고탄력의 성질이 있어 가로수와 전선과의 접촉과정에서 마찰에 의한 문제가 발생할 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 문제를 고탄력의 물질과 접촉되면 접촉면에서 마모현상이 줄을 수 있을 것으로 예상이 된다. 뿐만 아니라 재질이 온도에 관계없이 매우 부드럽고 유연하여 작업성이 매우 뛰어나다는 것이 이 물질의 좋은 장점이다. 특히, 겨울철 영하의 온도에 대해서도 그 특성의 변화가 적다는 것이 본 전선피복덮개의 재질로 선택된 주원이라 할 수 있다. 이러한 특성들을 <표 6>에 비교 분석하였다.

나. 전선피복덮개의 설계

- 1) 풍압에 의한 영향 최소화
- 2) 작업성 및 보관, 이동의 용이성
- 3) 설치장비 사용시 효율성

2. 전선피복덮개의 전기적 특성 분석을 위한 계 연구

가. 고압 가공 배전선로 전선의 열화 특성 조사

고압 가공 배전선로는 콘크리트 전주, 완철, 전선, 애자, 변압기, 접지설비 등으로 이루어져 있다. 이러한 기자재가 조합을 이루어 하나의 구조물을 형성하고 있다. 그 중에서도 가로수와 관련이 깊은 것은 전선이다. 배전선로에 사용되는 전선을 살펴보면 특고압선로의 전력선으로는 도체 위에 가교폴리에틸렌 절연체를 사용한 ACSR/OC 전선을 사용하고 있다. 한편, 저압선로에 사용하고 있는 전선의 종류는 OW전선으로 폴리비닐로 절연된 피복선을 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 고압 배전선로의 절연전선의 피복이 가로수의 가지와 장기적인 접촉에 의한 물리 및 전기적 현상에 의한 문제점을 분석하여 해결점을 찾아야 하기 때문에 각종 절연체에 대한 제반적인 사항을 고찰하고 집중적으로 ACSR/OC 전선의 절연체에 대하여 고찰할 것이다.

※ 절연체 파괴의 일반적 특성

자연계를 구성하고 있는 물질의 형태를 크게 대별하면 기체 액체 그리고 고체로 분

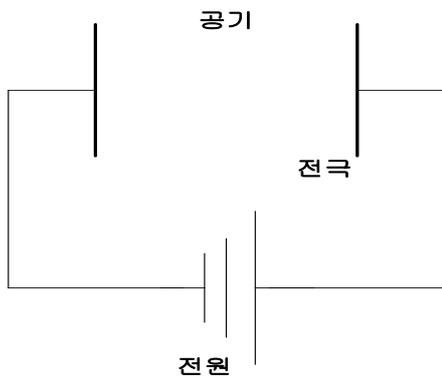
류할 수 있다. 이런 물체가 자연계에 노출되어 있으면 지속적으로 여러 가지 형태로 자극을 받게 된다. 이러한 장기적인 자극은 물질을 구성하고 있는 분자들의 특성을 변화시켜 절연성이던 물질이 도전성을 띠게 되거나 새로운 형질로 변하여 사용목적과는 전혀 다른 형태로 변하여 결국 사고로 이어지는 결과를 가져오게 된다. 이러한 자극의 형태는 구분하면 우리 주변에서 흔히 생각할 수 있는 것들이다. 예를 들면, 열, 빛, 온도, 습도, 태양열, 자외선, 전계, 지속적인 진동, 충격, 뒤틀림, 하중, 자중 등이 있다. 이러한 열화 인자들은 직접 또는 간접적으로 고압 배전선로의 전선에 영향을 주고 있다. 특히, 가로수와 전선과의 특별히 한정된 조건하에서 가정할 수 있는 요소는 지속적인 마찰, 습기, 온도, 자외선 그리고 전기적 현상으로 돌출부 또는 접촉부위의 전하 대전에 의한 충방전 현상 및 전계의 집중 현상을 생각할 수 있다.

1) 기체

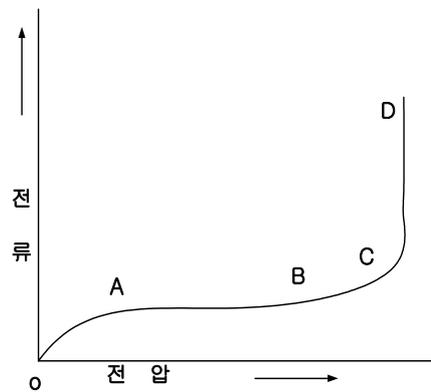
공기 중에 놓여진 전극간에 전위차가 불꽃 방전이 발생할 수 있을 정도로 차이가 나면 소위 불꽃 방전에 의해서 공기가 방전로가 되어 양쪽의 전극 사이가 단락이 된다. 이때 전극의 모양에 따라 방전현상이 일어나는 전압의 차이가 있다. 즉, 자극의 모양이 국부적으로 전계가 집중되기 쉬운 형상일수록 불꽃방전에 도달하기 이전에 전계가 집중되고 있는 부분에서 먼저 불꽃방전이 일어나게 된다. 이와 같은 방전을 부분방전 현상이라고 한다. 이때 코로나에 의하여 발생하는 전류는 대략 $[\mu A]$ 정도이기 때문에 코로나가 발생하여도 절연상 큰 문제는 없다. 그러나 장경간의 도체에서 이런 현상이 발생하면 한 점에서 유출하는 양은 적지만, 합산하면 큰 전류가 되어 전력손실을 가져오고, 구조물을 형성하고 있는 금속체의 부식을 가져오고 코로나가 발생하는 부근에 유기물이 있으면 산화질소(NB)*, 오존(O₃) 전자충돌 또는 발열에 의한 절연물의 열화 원인이 될 수 있다.

공기 중의 불꽃 방전현상을 고찰하기 위하여 <그림 7>와 같이 장방형의 전극판 두장을 평행이 되게 설치한다. 공기 중에 설치되었기 때문에 자연스럽게 전극판 사이는 공기로 채워져 있어 공기가 절연체 역할을 하게 된다. 이런 장치에 직류전원을 인가하고 서서히 전압을 올리면 음이온은 양극으로 양이온은 음이온으로 각각 흡입되어 전류가 흐르게 되며, 전압이 낮은 동안 즉 전계가 약한 동안에는 전류는 <그림 8>의 OA와 같이 대략 전압과 비례하여 증가한다. 이 상태에서 더욱 전압을 올리면 전극에 도달하는 이온의 수도 증가하지만 전리 작용은 대체로 일정하여 단위 시간에 보급되는 음과 양의 수에는 한도가 있어서 단위 시간에 발생한 음양이온이 전부 전극으로 흡입되는 상태가 되면 전압을 올려도 전류는 그 이상 증가하지 않는다. 즉, <그림 8>의 **38AB** 부분과 같이 되는데 이 때의 전류를 포화전

류라 하며, 그 값은 $10^{-17}[\text{A}/\text{cm}^2]$ 정도의 극히 미약한 것이다. 이 상태에서 더욱 전압을 올리면 비교적 질량이 작은 전자가 우선 전리속도를 얻어 중성분자와 충돌하여 전리시킨 결과로 전자와 양이온이 발생한다. 전압을 더욱 높이면 충돌전리의 결과로 발생한 전자 또한 전리속도를 얻어 다른 중성분자를 전리시키게 되고, 이 때 생긴 전자가 또 다시 전리를 일으키게 된다. 이런 과정에서 전압의 상승과 함께 전자사태(electron avalanche)가 형성하게 되므로 전류의 증가는 그림 BC와 같이 현저하게 된다. 즉 극과 극 사이에서 절연파괴가 일어나는 것이다. 이와 같은 기체의 절연파괴 과정은 고전압 공학의 기초를 이루고 있다.



<그림 7>평행판 전극의 방전현상



<그림 8>공기 중의 도전 특성 곡선

기체의 절연파괴 현상에 대한 이론은 Townsend의 불꽃방전 이론 파셴(Paschen)의 법칙, 스트리머 이론 등이 있다. 공기 중에서의 절연파괴는 인가되는 전압의 종류에 따라 그 값이 달라지는데 보통 직류의 경우에는 $30[\text{kV}/\text{cm}]$ 이고 교류의 경우에는 $23[\text{kV}/\text{cm}]$ 정도가 된다.

2) 고체

고체절연물은 기체, 액체절연물과 비교하면 몇 가지 결정적으로 다른 점이 있다. 전압의 인가시간이 짧은 경우 고체는 기체 또는 액체보다 절연내력이 높지만, 고전압 기기에 사용될 때는 장시간의 열화가 문제가 된다. 또한, 고체의 절연파괴에서는 열적인 과정이 중요하다. 대기나 가스는 섬락이 발생하여도 다시 절연의 회복이 가능하지만, 고체의 경우에는 탄화된 방전로가 생기기 때문에 절연이 회복될 수 없다는 것이다.

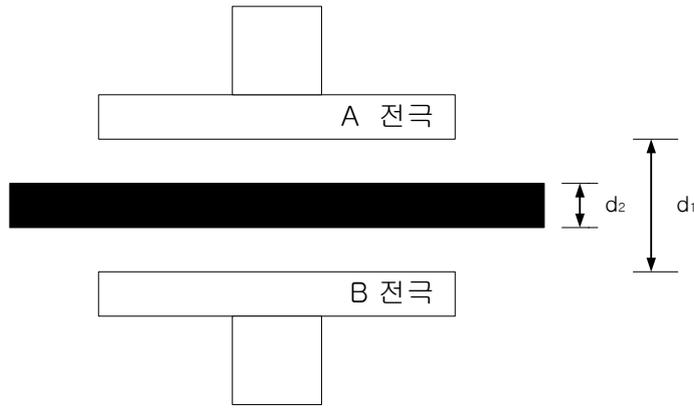
고체절연물의 종류는 고체는 무기질과 유기질로 대별되며, 천연과 인조재료도 나눌 수 있다. 무기절연재료에는 천연재료로 운모, 석면 등이 있고 인조재료로는 자기, 유리가 있다. 유기절연재료로는 천연재료인 셀룰로스(섬39소), 크라프트종이, 천연고무 등이 있고, 인조재

료로는 여러 가지 고분자 재료가 있다. 대개의 고분자 재료는 가열에 의하여 연화되는 가소성(변형되어 본래의 형태로 돌아가지 않는 성질)을 나타내며, 분자쇄가 선상인 고분자는 냉각과 가열을 반복하면 가소성이 재현되는 열가소성 재료라 하고, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 염화비닐, 불소수지(teflon) 등이 있다. 한편, 가열 용융을 할 때 새로운 화학결합이 일어나 거대한 망상분자로 되는 것은 다시 가열하여도 가소성을 나타내지 않으므로 열경화성(수지) 재료라고 하며, 베클라이트(페놀수지), 요소수지, 멜라민, 에폭시수지 등이 있다.

이러한 고체의 절연물에 고전계를 인가하면 절연파괴 현상이 일어나는데 그 과정을 기술하면 다음과 같다. 처음에 재료고유 특성의 파괴 → 부분방전 열화 → 트리링(treeing)의 순으로 일어나게 된다. 재료고유의 절연내력은 기본적인 특성값을 갖지만, 전극의 구조와 주의 매질의 영향이 크므로 신뢰할 수 있는 값을 얻는 것은 매우 어렵다. 또한, 실제 기기설계에 사용하는 전계치는 이것보다 상당히 낮은 값을 갖는다. 파괴전압의 측정에 구전극이나 평판전극을 사용하면 일반적으로 고체 시료보다 주위 매질의 절연내력이 낮아 시료표면의 연면방전이나 시료표면과 전극 사이에서 부분 방전이 먼저 일어나 고체의 관통파괴를 일으키게 된다.

전력기기는 계통과의 절연을 유지하기 위하여 여러 가지 절연 재료를 사용하는데 이러한 기기의 대부분은 한 종류의 것으로 구성되는 것은 드물고 여러 가지 종류의 절연물질로 구성되게 된다. 이와 같이 다른 종류의 절연체가 중합된 것을 복합유전체라 한다. 이러한 복합유전체는 인장강도 보강, 절연내력의 증가 등의 여러 가지 장점이 있지만 복합유전체 내에서의 공극이 존재하면 기기의 절연 내력을 저하시켜 수명을 단축시키는 결과를 초래한다. 이 과정을 이론화 하면 다음과 같다.

고체절연체의 절연내력은 공기보다 크다. 인가전압이 증가하면 공기부분부터 파괴가 시작된다. 이 때 인가전압의 값은 (비유전율) >1 이면 항상 X_1 (평형 전극 간에 고체 유전체를 삽입하였을 때의 공기 중의 전계)은 X_0 (고체 유전체를 삽입하지 않았을 때의 공기 중의 전계)보다 크므로 고체 유전체를 삽입하였을 때 보다 반드시 낮게 된다.



<그림 9> 고체의 평행판 실험

평행판전극 AB 사이에 전극 간에 절연을 강화할 목적으로 공기보다 절연 내력이 강한 고체 유전체의 판 C를 삽입한 경우를 생각하면

[C : 두께 d_2 , 비유전율 : ϵ]

AB에 가해진 전압을 V 라 가정하면, C가 없는 경우의 전계 X_0 는 $X_0 = \frac{V}{d_1}$ 이 된다.

$$X_1 = \frac{V}{\frac{d_2}{\epsilon} + (d_1 - d_2)} = \frac{V}{d_2 + \epsilon(d_1 - d_2)}$$

$$V = X_1 \times \left(\frac{d_2}{\epsilon}\right) + X_1(d_1 - d_2)$$

$$X_2 = \frac{V}{\epsilon} = \frac{V}{d_2 + (d_1 - d_2)}$$

$$X_2 < X_1$$

이고 이 된다.

위와 같은 복합 유전체에서 고체유전체가 파괴되지 않으면 방전전류는 증대되지 못하고 공기 갭의 방전은 소전류의 간헐 글로우 방전 사태를 벗어나지 못한다.

그러나 이와 같은 상황이 지속되면 고체 유전체는 전자충돌 및 NO_2 , O_3 등에 의한 화학 작용을 받아 열화하여 결국에는 갭 전체의 절연이 완전하게 파괴가 된다. 따라서 고체 절연

체의 전극 간에는 공기층이 남아있지 않게 하여야 한다.

절연파괴에 영향을 미치는 인자는 시료의 두께, 전극 면적의 크기, 인가전압의 파괴전압, 전압의 인가이력에 의한 영향, 기계적 압력, 흡습, 충격전압 인가회수, 고주파 등을 예상할 수 있다.

이러한 물질의 열화에는 환경적 요인에 의한 것도 있는데 고분자 재료에서 나타나는 흔한 현상은 고분자를 이루고 있는 긴 사슬고분자 구조의 붕괴에 있다. 이런 현상은 분자량의 감소와 특성의 변화를 초래한다. 이런 현상의 원인은 재료의 온도상승, 복사열, 산소 혹은 오존 및 다른 화합물에 노출되었을 때 일어난다.

예를 들면, 천연고무와 오존이 만나면 탄소이중결합을 갖은 고분자에서 일어나는 현상이 유사하게 발생하게 된다.

상기와 같은 내용들이 고체 절연체에서는 발생할 수 있다. 특히, 배전선로에 가선된 전선은 고전압이 항상 인가되어 있는 상태이기 때문에 외물과의 접촉에 의하여 복합유전체와 같은 상황이 발생하여 쉽게 절연이 파괴 될 수 있다는 것이다.

특고압 절연전선에서 발생할 수 있는 대표적인 열화 현상은 트래킹(Tracking) 현상이다. 트래킹이 전선에서 발생하는 형태를 보면 절연전선의 표면을 따라 발생하는 연면방전에 의한 트래킹, 갭이 형성될 수 있는 개소 즉, 불안정한 접촉에 의한 갭 또는 도체와 절연체와의 불안정한 접촉 등을 예로 들 수 있다. 수목과 전선의 접촉사이에서 발생하는 전기적 현상은 두 번째에 예로들은 갭에 의한 트래킹 발생 지역으로 해석하여야 할 것이다.

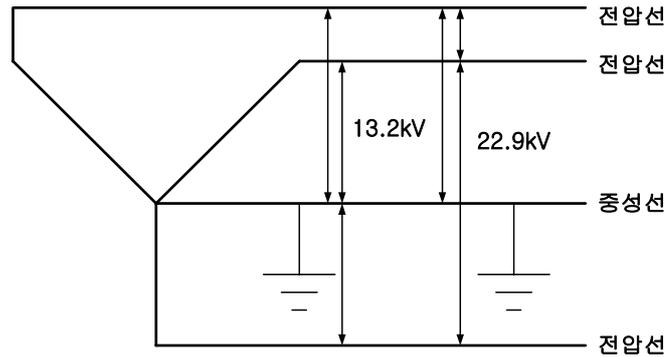
액체에 의한 절연파괴 현상은 본 연구와는 다르기 때문에 언급하지 않기로 한다.

나. 우리나라 배전선로의 특성

1) 배전계통의 결선방식

가로수와 가공전선의 접촉에 의한 전기적 현상을 분석하기 위해서는 우리나라 배전계통의 전기적 특성과 접지 시스템에 대한 시스템분석이 필요하다. 우리나라에서 현재 적용하고 있는 배전전압은 선간전압이 **22.9[kV]**(상전압 **13.2 [kV]**)이고 중성선이 단권변압기 3대를 Y 결선하여 그 중성점을 접지하고 그 점에서 중성선을 인출하여 인출한 중성선을 일정한 간격으로 반복하여 접지하는 다중접지 방식을 채택한 3상4선식 방식을 사용하고 있다. <그림 10>는 상기의 내용을 등가적으로 표현한 그림이다. 이와 같은 계통은 계통을 다중

접지계통방식이라고 한다. 그림에서 보는 것과 같이 회로의 가운데를 대지와 접속하였기 때문에 중성선을 제외한 어느 한선(전압선)이 수목과 접촉하면 전기적으로 회로가 구성되어 전압이 인가되어 절연이 파괴가 되면 그 접촉된 부분을 통하여 전류가 흐르게 되어 있다. 실제 계통 운영 과정에서 수목과의 접촉에 의한 순간정전 또는 영구 정전들의 원인으로 분류되는 경우가 빈번하다.



<그림 10>우리나라 배전선로의 개념도

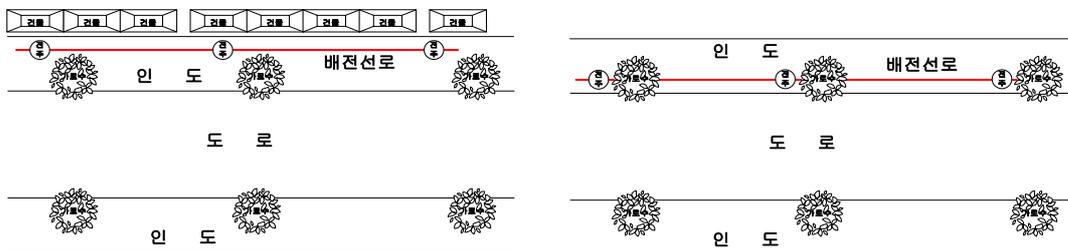
2) 배전선로의 지지물 설치 위치

배전선로의 역할은 전기 사용을 원하는 고객이 있는 곳이면 어느 곳이든지 건설되어 전력을 공급해야 할 의무가 있다. 배전선로의 전선을 지지하고 있는 전주는 콘크리트로 되어 있고 그 위에 전선을 지지하기 위한 완철이 설치되어 있다. 이 완철(2400[mm]) 위에 수평으로 전선이 배열되어 있는데 이 전선의 높이는 지역에 따라 다르지만 도시지의 경우에는 지지물의 높이가 14~16[m] 정도를 사용하기 때문에 전주가 땅속으로 근입되는 2.5[m]를 제외하면 지표면을 기준으로 약 11~13[m]의 높이에 위치하고 있음을 알 수 있다. 또한 전선은 다른 물질과의 절연이 필연적으로 이루어져야 하기 때문에 라인포스트 애자(Line Post Insulator) 위에 바인드선(wire for binding)으로 묶여 고정되어 있다. 또한 완철은 중성선(Natural Line)과 600[V] 비닐절연전선으로 서로 연결되어 있어 중성선을 통하여 대지와 전기적으로 접지되어 있다. 경우에 따라서는 지지물 위에 전력용 기기가 설치되는데, 예를 들면 일단접지 주상변압기, 재폐로가 가능한 차단장치(선로사고의 경우 능동적으로 개폐가 가능한 장치), 기타 전력용 기기 등이 있다.

이렇게 구성된 배전선로는 일반인 및 건물과의 일정한 안전거리인 법적 이격거리를 유지

하여야 한다. 따라서 배전선로가 경과하는 형태를 보면 도심지의 도로를 경유하는 경우에는 건물 쪽 보다는 가로수가 위치한 곳에 함께 시설되는 경우가 대부분이다. 농산촌의 경우에도 도로의 경우에는 도심지와 거의 비슷하게 시설이 된다.

<그림 11>은 상기의 상황을 도식화한 것이다. <그림 11>의 가)와 같이 설치되는 경우는 특수한 경우를 제외하고는 일반적으로 사용되는 방법은 아니다. 우리나라 배전선로 지지물의 설치 위치는 나)와 같이 가로수와 같은 위치에 설치되는 경우가 일반적이다. 이러한 형태로 설치되기 때문에 전력선 또는 주상에 설치된 전력기와 수목 접촉으로 순간 또는 영구 정전 고장이 발생하게 되어 특별한 대책이 필요하다.



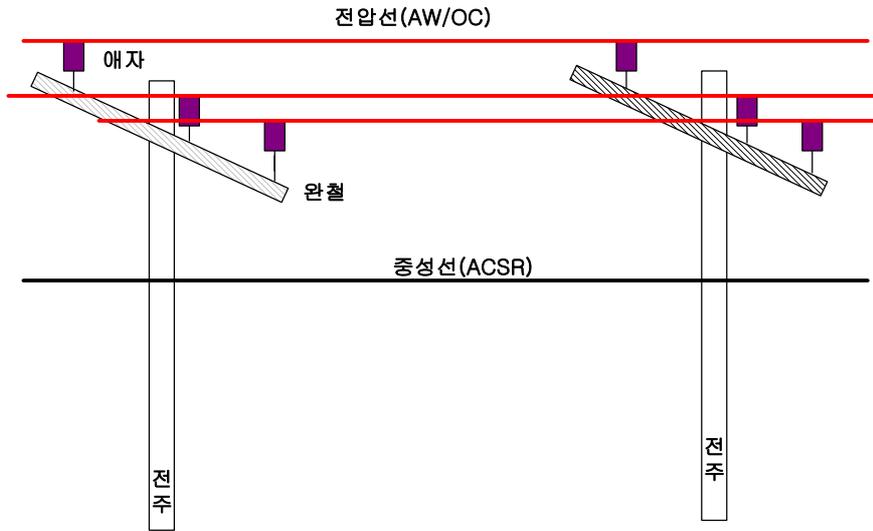
가) 건물측의 지지물 설치

나) 가로수 측에 지지물 설치

<그림 11> 우리나라의 전형적인 배전선로 설치 위치도

다. 배전선로 특고압용 절연전선의 절연특성

<그림 12>는 도로상에서 흔하게 볼 수 있는 전주의 일반적 형태이다. 애자 위에 시설된 전선이 22.9[kV]의 특고압 배전선로이고 이 전선은 전압선으로 AW/OC 전선으로 피복이 입혀진 절연전선이다. 아래 단에 시설된 한 가닥의 전선은 중성선으로 전압이 걸리지는 않지만 전압선에 흐르는 전류가 불평형이 되면 이 선에 전류가 흐르게 된다. 이 전선에 사용되는 전선은 ACSR 전선으로 피복이 없는 나선을 사용하고 있다.



<그림 12> 배전선로 시설도

AW/OC 전선은 도체 부분이 알루미늄(AL)이고 최외각은 가교 폴리에틸렌으로 절연되어 있다. 특고압 배전선로에 사용되고 있는 절연체의 특징은 최고 전압인 25.8[kV]의 전압에 충분히 견디어야하고, 자외선에 대하여 화학적으로 특성 변화가 없이 안정되어야 한다. 가교 폴리에틸렌은 내열성 및 내약품성이 우수하지만, 가교 전보다 절연성은 약간 떨어지는 것으로 알려져 있다. 또한 전선의 절연체는 낙뢰나 서지 전압에 대하여 충분히 견디어야 한다.

절연전선(ACSR/AW-OC)의 단선사고에 대하여 한전 자체에서 조사한 사고 원인별 분석한 것을 보면 고압선로와 관련된 총 사고 내용 중 고압선로의 전선단선사고가 차지하는 점유율은 10.7[%]를 차지하고 외물접촉에 의한 사고는 10.8[%]의 점유율을 나타내고 있다. 이때 외물접촉의 대표적인 대상으로 수목의 간헐적 접촉을 의미하고 있다. 따라서 수목에 의한 사고가 10.8[%]를 차지한다고 해도 무리가 아니다. 뿐만 아니라 전선 단선의 원인을 분석하면

- 뇌격에 의한 아크 단선
- 응력 부식 단선
- 외물접촉 및 기계 충격에 의한 단선
- 시공 및 보수 불량에 의한 단선

등으로 나누고 있다. 따라서 전선 단선 사고 원인 중에 역시 존재함을 알 수 있다.

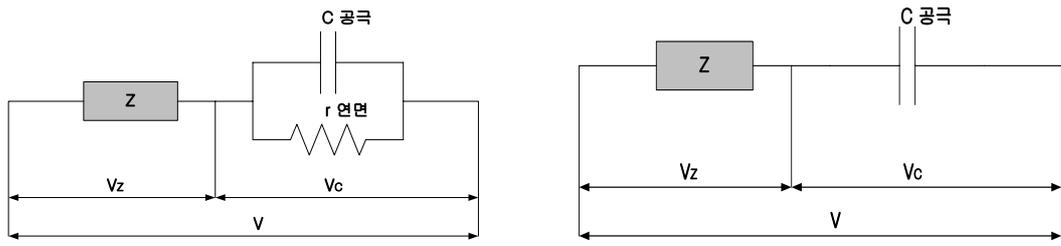
외물 접촉을 방지하기 위한 대책으로 내 놓은 내용을 보면

수목 등의 간헐적 접촉에 의하여 절연손상이 발생되므로 무엇보다도 절연전선 주변의 외물 접촉 원인을 사전에 적극 차단하는 것이 바람직하다. 효율적인 업무 추진을 위하여 년 2회 (2~3월, 10~11월)을 정기적으로 실시 할 것을 주문하고 있다. 이 방법 보다 더욱 효과적인 것은 배전선로의 경과지를 변경하는 것이 근본적이 해결책으로 제시하고 있다. 그러면 이런 전선의 단선 사고 및 외물 접촉으로 인한 절연체의 열화는 어떻게 해서 발생하는지에 대하여 전기적으로 접근해 보면 다음과 같다.

앞에서 언급한 트래킹은 절연물에서 방전현상 때 발생하는 열 또는 빛으로 인하여 표면의 재질이 변질되어 도전선의 통로가 형성되는 과정을 설명된다. 이러한 방전 현상은 미소길이의 면적 또는 공극에 전압이 집중되어 발생하게 되는데, 실제로는 반드시 고전압에 의해서만이 아니고 수 백 Volt 정도의 전압에서도 방전을 일으켜 발생할 수 있다. 이러한 방전 등에 의해 탄화물이 연속적으로 형성되면 결국 극간 전체에 도전로가 형성되어 단락상태에 이르게 된다.

절연체 연면에서의 방전(연면방전)과 공극에서의 방전(갭 방전)은 주의 여건에 따라 그 양상을 달리하게 되는데 실제 선로에서는 그 양상이 매우 복잡하다.

연면방전과 갭 방전은 모두 공극에 일정 이상의 전압이 인가되어 공극의 연면이 국부적으로 파괴되는 현상으로 <그림 13>처럼 등가적으로 표현할 수 있다.



a) 연면방전의 등가 회로

b) 갭 방전의 등가 회로

<그림 13> 방전 양상에 따른 전압 분담

<그림 13>에서 연면방전과 갭 방전은 본질적으로 공극에서 방전현상이 일어나기 때문에 유사한 현상이라고 볼 수 있지만 연면 방전은 절연체의 연면을 경유하여 공극이 형성된 경우이기 때문에 방전에너지가 연면에 영향을 미치는 경우를 볼 수 있다. 두 경우 모두 분담

전압은 서로 크게 다르지 않고 관심의 대상인 공극의 정전용량과 이를 제외한 다른 부분의 임피던스(Z)에 의해 정해진다. 수목과 전선 사이에 오손 형태로 나누어 보면 <표 7>과 같다.

트래킹의 원인이 되는 국부방전은 앞에서 본 것처럼 절연체 연면의 미소구간에 전압이 인가되어 연면을 따라 발생하는 연면방전과 미소 공극간에 전압이 인가되어 나타나는 갭 방전의 유형으로 나눌 수 있다. 연면방전의 경우, 연면을 연결하는 누설경로 중에 어떤 원인으로 직렬로 건조대를 형성하여 이 건조대의 양단의 전압에 의하여 방전이 일어나는 현상으로 충전부(도체)가 노출되어 있는 경우에 발생하기 쉽다. 갭 방전은 미소한 갭에 어떤 원인으로 전압이 인가된 경우 이 갭 간에서 일어나는 방전으로, 충전부의 노출에 의한 누설경로보다는 전압분담에 의해 발생하는 경우가 많다. 수목과 전선과의 관계에서 발생할 수 있는 방전 현상은 갭 방전일 가

능성 훨씬 많다 따라서 수목과 같은 외부접촉 물질과 반복적으로 접촉이 되면 앞에서 언급한 전기적인 현상으로 부분방전이 국부적으로 반복하여 발생하고 그 과정에서 절연체의 피복에 열화현상이 일어나 절연체의 형질이 바뀌 선로사고로 이어지게 된다. 이러한 현상을 전기적으로 등가화 하여 표현하면 <그림 14>과 같다.

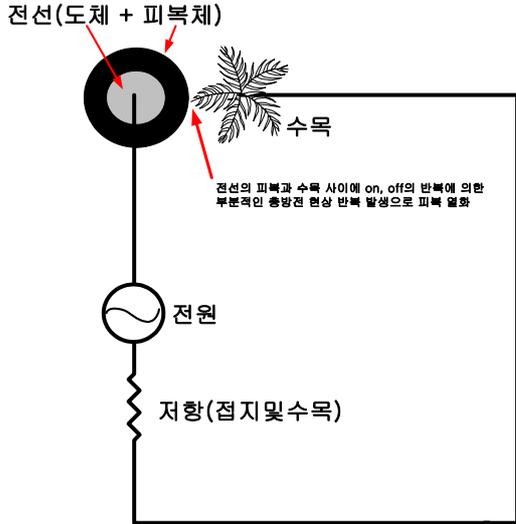
전선의 절연체와 수목이 접촉되면 <그림 14>과 같이 전기적으로 회로가 구성이 된다. 회로가 구성이 되는 이유는 <그림 10>와 같이 중성선이 대지와 접지가 되어 있기 때문에 수목도 대지에 전기적으로 접속되어 있는 것과 같다. 이러한 상태는 중성선과 수목이 전기적으로 서로 연결되어 있다는 뜻이다.

구 분	발생 예	특 징	비 고
급속 오손	-태풍 또는 강풍 등에 의해 다량의 물보라가 설비 전체에 부착하는 경우	-도체로부터 대지를 노선경로를 형성 -누설 전류에 의해 연면에 건조대를 형성할 수 있음	-도체노출부로부터 방전을 일으키기 쉬움 -도체가 노출되지 않은 경우에는 연면방전이 산포될 수 있음
급속 오손 후 국부적 건조	-급속 오손 후 부하 전류 등에 의한 발열로 전선 부분만 건조	-수목 접촉부분에 집중적으로 공극을 형성할 수 있음	-수목 접촉부를 따라 갱방전을 일으킬 수 있음
급속 오손 후 전체적 건조	-햇빛, 설비의 축열 등에 의한 발열로 전선 부분만 건조 나뭇가지는 건조 안 됨	-수목은 습하지만 전력 설비는 전체적으로 건조될 수 있음	-갱방전이 산포되기 쉬우나 쉽게 방전을 멈출 수 있음
흡습 오손	-건조된 염분입자에 안개, 이슬 및 대기의 수분 등이 부착하여 오손 -주로 밤이나 새벽 등 설비의 온도가 낮은 경우에 가능	-염분입자가 수분을 흡수하여 오손부분의 연면누설전류저항을 감소시키나, 전선부분은 부하전류에 의해 건조되기 쉬우므로 전선 피복 부분과 수목 접촉부에 공극을 형성하기 쉬움	-수목접촉부를 따라 갱방전을 일으키기 쉬움
오염오손	-대기 중의 오염물질이 설비전체에 부착하여 오손됨	-부착압력이 크지 않으므로 건조상태로는 누설회로의 구성이 어려움 -대기 중의 습기를 흡수하면 비교적 양호한 누설회로를 구성할 수 있음	-건조상태에서는 건조염분입자가 부착된 경우와 유사한 특징을 보일 것으로 사료 -안개, 이슬 등으로 수분이 부착하는 경우에는 갱 방전을 일으키기 쉬움 -급속히 물이 부착되는 경우는 수목과의 접촉부에 연면방전을 일으키기 쉬움

<표 7>오손 및 수목에 의한 방전현상의 예

이러한 상태에서 수목의 나뭇잎이나 가지가 배전선로의 전력선과 접촉이 되면 전기적으로 단락이 된 것과 같다. 그러나 전력선이 절연체를 갖고 있기 때문에 이 절연체에 의해서 절연이 된 상태가 된 것이다. 그러나 나뭇가지나 나뭇잎이 상시 접촉되어 있거나 상시 떨어져 있는 상태이면 문제가 없겠으나 반복적으로 같은 부분에 계속적으로 점멸이 되기 때문에 이 접촉부에서 계속적으로 절연체의 표면 48 갱 방전이 반복되는 현상이 일어난다. 이러한

반복 작용은 앞에서 언급한 것과 같은 고체 내의 절연연화 현상이 복합적으로 발생하게 된다. 이러한 상태가 반복되면 결국 전력선의 절연체는 <사진 18>와 같이 절연이 파괴되고 결국에는 전기 공급에 지장을 주는 사고로 이어진다.



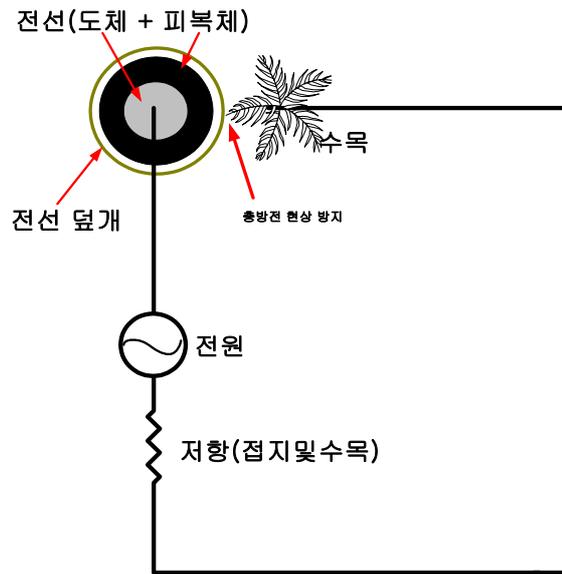
<그림 14>전선과 수목 접촉 현상의 전기등가회로도



<사진 18>절연전선의 절연체가 열화된 사진

라. 전선피복 덮개의 전기적 요구 특성

상기에서 언급한 절연 열화 현상을 방지하기 위해서는 <그림 14>과 같이 나뭇가지나 나뭇잎이 접촉될 수 있는 곳에 절연을 보강하는 방법으로 해결이 가능하다. 절연을 보강하는 방법을 사용하면 된다. 전선의 절연체를 보강하기 위한 방법으로 전선 피복 덮개 개발 연구를 하게 된 것이다.



〈그림 14〉 전선 피복 덮개가 설치된 경우의 수목 접촉 상의 등가회로도

따라서 가로수 또는 수목용 전선피복덮개는

- 갭 방전 현상을 차단할 수 있는 절연 내력이 요구되고
- 방전로의 형성이 되지 않아야 하며
- 각종 오염에 의한 절연성이 현격히 떨어져서는 안 되며
- 각종 마찰에 대한 내 마모 특성이 있어야 하며
- 시공성(작업성)이 있어야 하고
- 취급이 간편하고
- 온도에 대한 형질 변화가 일어나지 않아야 하고
- 자외선에 대한 형질 변화가 없어야 한다.

특히, 전계가 본 제품에 가해졌을 때 어느 부분에 집중하여 전계가 형성이 되는 현상이 없어야 한다.

전계가 본 제품에 가해지면 제품의 형상에 따라 달라지기 때문에 이를 최소화하기 위하여 다음과 같은 과정을 거쳤다.

1) 전선피복덮개의 전계완화를 위한 형상 설계

가) 전선피복덮개의 전계해석(電界解析)

전력선에 사용될 전선피복덮개는 전압이 상시 인가된 곳에 설치되어야 하기 때문에 전기적으로 안정화된 구조로 설계되어야 한다. 즉, 설치된 상태에서 전계가 어느 한 곳에 집중이 되면 집중된 부분에서 절연 열화현상이 쉽게 발생할 수 있다. 따라서 이러한 현상을 최소화하기 위하여 아래와 같이 5개의 형상 모델에 대하여 각각 전계해석을 하였다. 전계해석을 위한 데이터는 다음과 같다.

(1) 전계해석 조건

- 재료정수
동일한 재료 정수 적용
- 적용전압
동일(13.2kV : 배전계통의 상 전압)

(2) 분석 내용

- 연결부의 전계집중 정도
- 도체간 전계 상호작용 정도

(3) 실제 적용된 제 조건

- 도체
알루미늄(도전율($3.8e+007$ [S/m]), 비유전율(1))
- 최외곽층 유전체
폴리에틸렌 : 비유전율(2.25)
- 중간층 유전체
폴리아미드 : 비유전율(4.3)
- 심선과 중간층 유전체간 유전체
비유전율(2.2)
- 주위환경(공기)
비유전율(1.0006)
- 전원 : 13,200[V]
- 심선과 중간층 유전체간 유전체 : duroid : 비유전율(2.2)

- 환경 : 공기 : 비유전율(1.0006)
- 경계조건 : 노이만 경계조건 : 외곽환경에 Balloon 할당

(4) 샘플링 모델(1차)



케이스 1 케이스 2 케이스 3 케이스 4 케이스 5

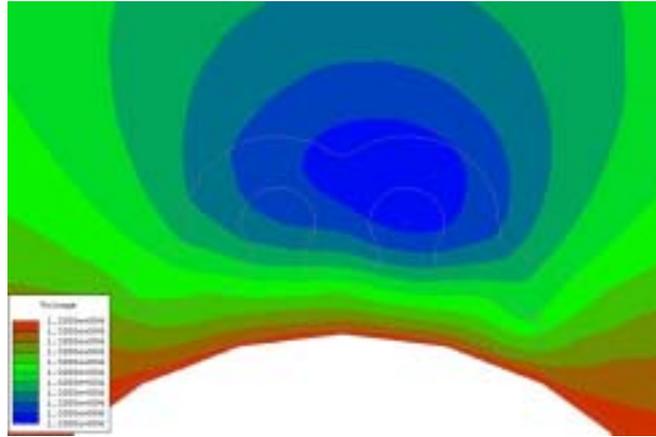
<그림 15> 샘플링 모델(케이스 1 ~ 5)

(5) 해석결과

각각에 대한 결과분석에 앞서 전계해석결과를 보면 케이스 1이 전계의 분포가 집중되었고 케이스 2가 가장 전계의 왜곡이 적은 것으로 분석되었다. 이 결과를 부등호로 표현하면 다음과 같다. 케이스 1> 케이스 4> 케이스 5> 케이스 3> 케이스 2의 순서로 왜곡되고 있다.

케이스 1

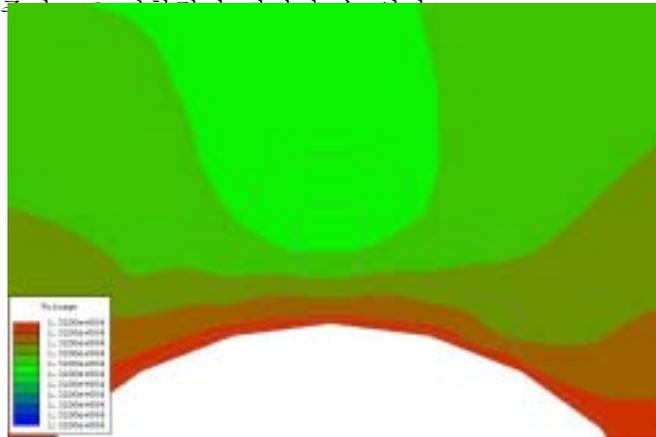
5개의 모델 중 가장 심하게 전계가 왜곡되고 있다. <그림 16>을 보면 짙은 청색으로 나타난 부분이 전계의 왜곡이 가장 심한 곳인데 결합부의 두 번째 돌출부에 심하게 전계가 집중되고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 상태가 장기간 방치되면 돌출부위를 형성하고 있는 재질에 형질변형을 가져 올 수 있다. 디자인상으로 보면 결합용 돌기부가 2개로 되어 있어 결합력이 강한 장점이 있다. 그러나 전기적으로는 문제를 일으킬 가능성이 있다.



<그림 16> 케이스 1의 전계해석 결과

케이스 2

5개의 케이스 중 가장 전계분포의 처리가 잘 되고 있다. 또한 접속 부분의 처리도 단순하면서도 잘 연결시킬 수 있는 구조가 아닌가 생각된다. 전계 분포가 매우 완만하고 집중되는 부분이 없고 도체 내에 폐곡선을 이루는 곳이 없다. 따라서 재질 내에 전계가 집중되는 부분이 없기 때문에 가장 좋은 디자인이 아닌가 생각된다. 그러나 디자인상으로 보면 연결부가 한 곳에 집중

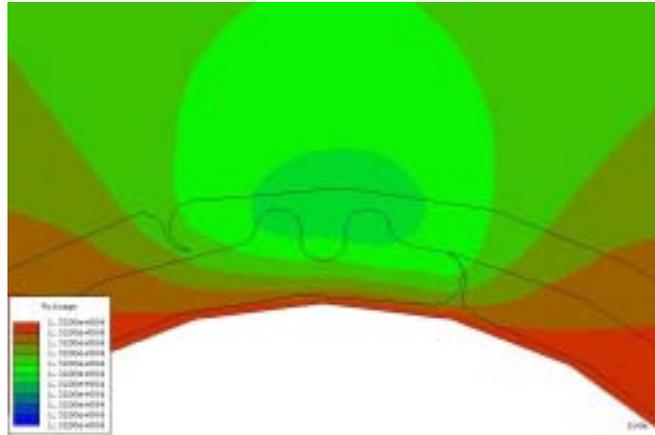


<그림 17> 케이스 2의 전계해석 결과

케이스 3

이 경우는 케이스 2에 비해서는 전계가 집중되는 경향은 있으나 그 정도가 매우 미미하다. 따라서 만일 케이스 2가 디자인상에 어려움이 있다면 케이스 3을 선택하여도 문제는 없

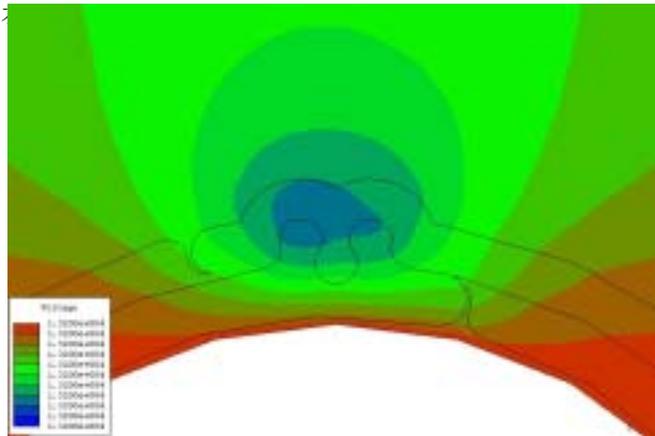
을 것으로 생각이 된다. 디자인상으로 분석하면 결합용 돌기부가 두개로 구성되어 있으나 결합부가 너무 굴곡이 없어 결합력이 떨어질 것으로 사료된다.



<그림 18>케이스 3의 전계해석 결과

케이스 4

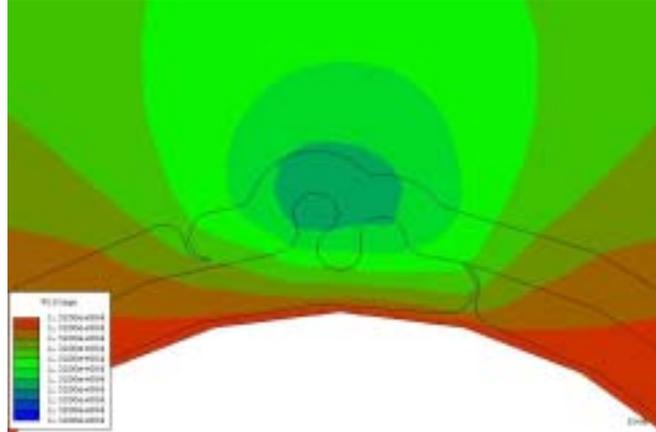
케이스 1보다는 완화되어 있지만 도체 내에 전계가 집중되는 경향을 보이고 있다. 따라서 연결부의 내부에 강한 전계 집중이 문제가 될 수 있을 것으로 사료된다. 디자인상으로 보면 매우 결합부의 돌기부가 이중으로 되어 있고 돌기부의 굴곡이 적당하게 요철을 형성하고 있기 때문에



<그림 19>케이스 4의 전계해석 결과

케이스 5

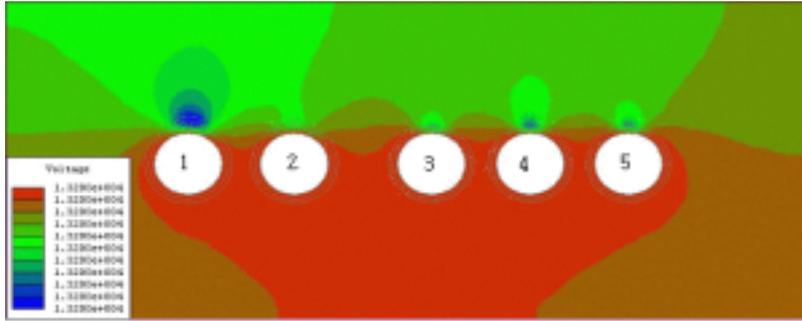
이 경우에도 역시 재질 내에 전계가 집중되고 있음을 알 수 있다. 따라서 장기적으로 이 정도의 전계가 가해지면 재질의 형질변화를 가져 올 수 있을 것으로 사료된다. 결합부의 구조를 보면 두 번째 돌기부는 굴곡의 정도가 미약하여 형식적인 결합부가 될 수 있다.



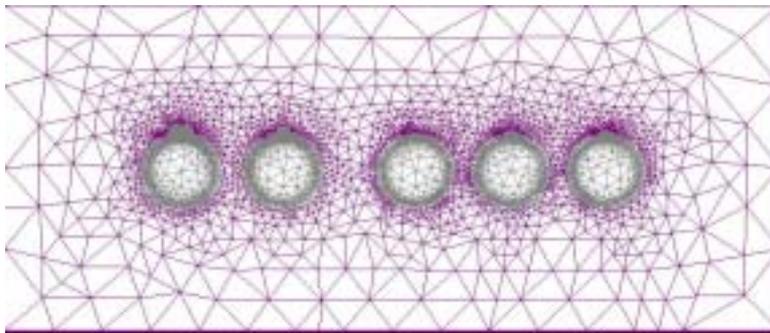
<그림 20>케이스 5의 전계해석 결과

도체가 인접되어 있을 때 상호 전계 분포

<그림 21>와 <그림 22>는 도체가 서로 가깝게 위치한 경우 도체간 상호작용하는 전계의 영향도 고려할 수 있으나 이는 인접된 전체 도체가 동일 환경에 있다고 생각하여도 무방하므로 그 다지 신경 쓸 것은 없다고 사료된다. <그림 21>에서 보는 것과 같이 케이스 1번이 가장 강한 왜곡을 보이고 있고, 케이스 4가 두 번째로 강한 왜곡을 보이고 있으며, 케이스 5번째가 세 번째로 강한 전계 집중 현상을 보이고 있다. 케이스 3이 비교적 완만한 전계 분포를 보이고 있고 가장 전계가 완화된 경우는 케이스 2번으로 나타나고 있다. 따라서 본 해석 결과만을 고려하고 디자인을 선택한다면 2번의 경우가 가장 이상적인 디자인으로 사료된다.



<그림 21>전계해석 결과



<그림 22>요소 분할 해석 결과

전계해석 결과를 보면 전계의 집중은 동일한 재료정수와 경계조건 및 전원을 적용했을 경우, 1번, 4번, 5번, 3번, 2번의 순으로 해석대상 부위의 전계집중이 심한 것을 알 수 있다. 이것은 대상부위를 확대한 결과로부터 좀 더 자세히 알 수 있다.

도체가 서로 가깝게 위치하여 도체 사이에서 상호작용 하는 전계의 영향도 고려할 수 있으나 이는 전체 도체가 동일 환경에 있다고 봐도 무방하므로 그다지 신경 쓸 것은 없다고 사료된다.

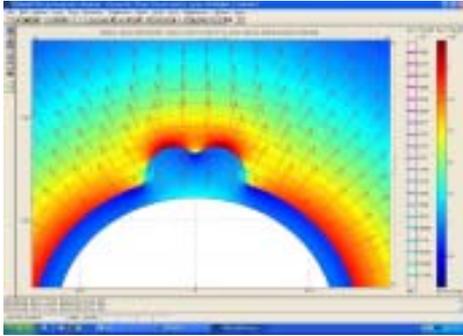
나) 전선피복덮개의 2차 전계해석(테스트)

1차 테스트에 의해 결정된 모델을 사출하여 본 결과 결합부에 문제가 있어서 결합력이 떨어지고 현장에 적용하기에는 문제가 있어 결합부의 결합력이 가장 큰 구조인 것을 우선하여 결합력이 가장 약한 모델 3개의 모델은 제외하고 결합력이 가장 큰 2개의 모델에 대하여 결합력과 전계분포를 고려하여 개선한 후 다시 전계를 해석하였다.

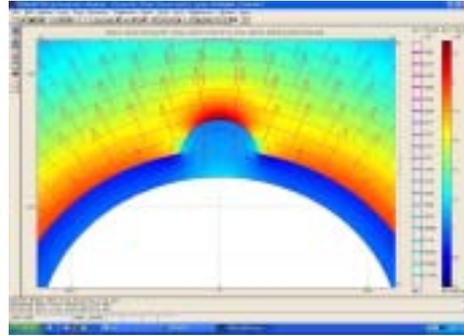
(1) 설계도면 : <그림 30>, <56림-31> 참조

(2) 전계해석

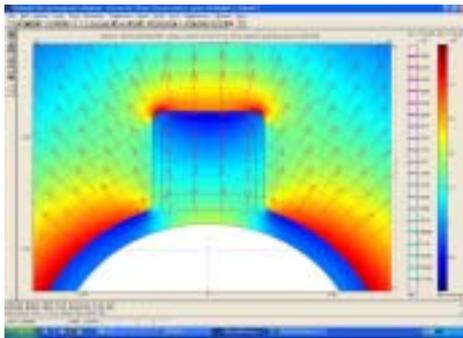
<그림 23>에서 <그림 24>는 재해석된 결과이다. 이에 대한 각각의 해석은 해석 결과 항에서 자세하게 기술할 것이다.



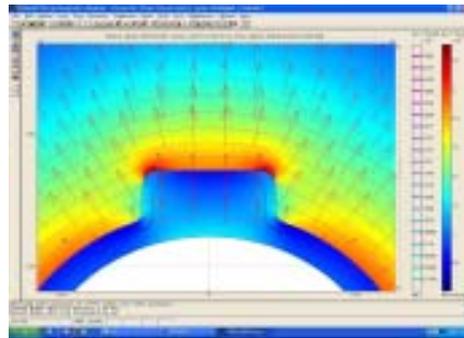
<그림 23>그림 30의 전계해석 결과



<그림 24>그림 30의 변형 전계해석 결과



<그림 25>그림 31의 전계해석 결과



<그림 26>그림 31의 변형 전계해석 결과

(3) 해석 결과

디자인상으로 피복 덮개의 이음 개소의 높이가 높을수록 (<그림 25> 참조) 전계의 강도가 약해지고 전계가 완화되어 전기적 문제점이 적다는 것임.

(4) 가로수용 전선 피복 덮개의 시험 종류 및 시험결과

본 시험은 디자인 설계가 끝나고 나면 완성된 제품으로 <표 8>과 같은 시험조건을 시행해야 한다. 따라서 완성품이 만들어지지 않은 상황이라 정식으로 시험을 할 수 없어서 정식 성능 검정 시험을 하기 전에 한국전력 전력연구원의 시험 장치를 이용하여 일부 시험한 것에 대한 결과이다.

(가) 시험조건

전선피복덮개의 전기적 특성을 만족하고 실제 현장에 설치 운영될 경우 전기적으로 문제없이 제 기능을 유기하기 위한 최소한의 조건을 만족하기 위한 성능을 증명하는 시험이다. 이러한 시험의 종류는 전선피복덮개가 만족하여야 할 시험의 종류를 기술하고 있다. 그 종류를 보면 구조 재질검사, 건조 및 주수(비 올 때의 상황을 가정하여 물을 뿌리면서 시험하는 한 방법)내전압시험, 인장강도시험, 가열노화시험(하중, 신율), 가열변형시험, 내한성시험, 내열성시험, 흡수성 시험, 연결부의 인장강도 시험 등이 있다. 이런 시험을 시행하여 모두 통과하도록 되어있다.

시험항목		성능	평가(시험)방법
내전압 시험	건조	30,000[V]에서 3분간	완성품을 전선에 설치한 상태에서 커버의 양끝 외면에 연면 방전을 일으키지 않는 범위로 금속박 부착 또는 도전성 도료를 도포 건조시킨 후 절연전선의 도체와 금속박 또는 도전성 도료와의 사이에 60[Hz]의 전압을 0으로 부터 매초 1000[V] 비율로 규정전압 까지 상승시켜 내전압을 시험한다.
	주수	20,000[V]에서 3분간	건조 상태 내전압 시험에 이어 KSC 0904의 4.3.1항(방우형)의 시험방법에 의해 살수 후 건조 상태 시험과 동일한 방법으로 내전압을 시험한다.
인장강도 시험	인장 하중	1.0[kgf/mm ²]이상	KSM 6518의 4항(인장시험)에 의한다. 시험조건은 다음과 같다. (a) 시험온도 : 20~30[℃] (b) 인장속도 : 500±25[mm/분]
	신율	350[%] 이상	
가열노화 시험	인장 하중	노화전의 80[%] 이상	다음 조건으로 가열 후 인장강도 시험을 시행한다. (a) 가열온도 : 폴리에틸렌 혼합물 90±2[℃] (b) 가열시간 : 96시간 (c) 방치시간 : 12~48시간(상온)
	신율	노화전의 65[%] 이하	
내 트래킹 시험		분무회수 101회, 누설 전류 및 불꽃이 발생하지 않을 것	KSC 3004의 15항(내 트래킹)에 준하여 시행한다.
가열변형시험		두께 감소율 10% 이하	완성품으로부터 폭 10[mm] 길이 30[mm]의 시험편을 취하여 두께를 측정한다. 다음 가열 변형 시험기를 75±3[℃]의 항온 상에서 1시간 가열한 후 시험편을 평행판 간에 놓고 1[kgf]의 힘을 가하여 1시간 경과 후 두께를 측정한다. 가열 전의 두께를 T_0 , 가열 후의 두께를 T_1 라 하면, 두께 감소율(%)은 다음 식에 따라 구한다.
내한 및 내열성 시험	내한성	잔균, 깨어짐 등 사 용상의 결점이 없어야 함	$(\%) = \frac{(\text{mm}) - (\text{mm})}{(\text{mm})} \times 100$ 완성품을 -20±2[℃]의 항온 상에 넣어 2시간 냉각시킨 후 꺼내서 상온에 약 30분간 방치 후 커버에 균열 등의 이상 유무를 육안으로 조사하고 상기 내전압 시험에 의하여 조사한다.
	내열성	보호관의 내외 표면이 연화, 용착 또는 변형이 되지 않아야 한다	
흡수성 시험		흡수율이 0.01[%] 이하일 것	상온에서 맑은 물에 24시간 담그었다가 표면의 물을 닦아 내고 무게를 달아서 흡수율을 구한다.
연결부의 인장강도 시험		60[kg]의 정하중을 가했을 때 연결부의 탈락이 없어야 함	상하로 연결하여 설치한 후 60[kg]의 정하중으로 인장시킨다

<표 8>시험조건

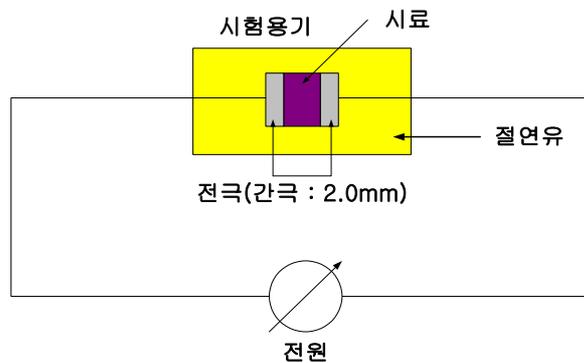
상기 내용은 전선피복덮개와 유사한 건축방호용 라인호스에 대한 검사 내용으로 본 제품을 제작하는 과정에서 고려되어야 할 부분이 있어 참고한 것으로 상기표의 내용을 꼭 만족해야 되는 것은 아니다.

(나) 항목별 시험

① 시료의 절연 내압 시험(Break down voltage test)

내전압 실험은 절연체가 지속적으로 가해지는 어떤 전압 크기 하에서 견뎌야하는 절연 내력으로 본 제품의 재질 특성상 매우 중요한 시험이다. 이 시험의 결과는 적어도 전선에 걸리는 상전압 13.2[kV] 이상은 유지되어 할 것으로 사료된다. 그러나 배전계통에는 각종 서지성 전압이 발생할 수 있기 때문에 제품을 사용하는 수요자의 요구에 따라 충분히 달라질 수 있다. 여기에서의 시험은 단위 두께가 1[mm]로 환산한 값을 기준하여 이 물질이 갖고 있는 전기적 절연내력을 알아보기 위한 시험이다.

- 시험 장치명 : OTS
- 시료의 두께 : 1.5[mm]
- 시험 횟수 : 5회
- 내전압 결과 : 평균값



<그림 27> 시험장치의 등가 회로

- 시험방법

시료를 잘라 편조각을 만든다. 본 제품의 구조상 원형으로 제작되어 원형으로 휘려는 성질이 있어 편조각을 원형이 되도록 조치한다. 조치가 끝나면 <그림 27>과 같이 전극을 2.0[mm] 정도 간극을 둔 후 덮개의 시료(편조각)를 넣고 시험용기에 절연유를 붓는다. 절연유에 기포가 없어질 때까지 기다린 다음 절연이 파괴될 때까지 초당 3[kV] 정도로 전압을 올린다.

- 시험결과

시험 결과는 시험 횟수 5회의 평균값으로 이 재질의 절연 내압치를 산출하였고 그 결과를 <표 9>로 표현하였다.

시험횟수	간극 [mm]	주파수 [f]	절연파괴전압 [kV]	비고
1	1.5	61.8	37.3	시료두께 : 1.5 [mm]
2			36.0	
3			35.6	
4			38.1	
5			35.6	
계			182.6	
평균			36.52	
환산값	-	-	24.4	시료두께 1[mm]로 환산

<표 9>시험 장치를 이용한 시험결과

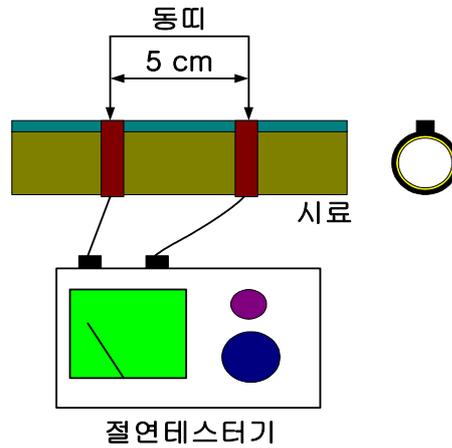
상기와 같이 시험한 결과<표 9>는 36.52 [kV]로 나타났다. 이 시험치는 시료두께 1.5[mm] 이므로 이를 1[mm]로 환산하여야 한다. 환산한 절연파괴전압의 결과는 24.4[kV]이다.

② 절연저항 시험

절연체를 이루고 있는 재질의 저항을 측정하는 실험으로 본 재질의 특성 상 매우 중요한 전기적 요구 특성이다. 이 특성은 저항값이 클수록 좋은 특성을 나타내는 것이다.

- 시험장치명 : 절연저항 테스터기
- 시 료 : 완제품
- 절연저항 결과 : 평균값
- 시험방법

<그림 28>와 같이 시료의 표면에 동 테이프를 두 곳에 감는다. 감은 간격은 5[cm]로 한다. 동 테이프가 시료의 표면에 완전히 밀착되도록 한다. 이런 상태에서 절연저항 테스터기의 단자를 동 테이프에 대고 테스터기의 버튼을 누른다. 이런 실험을 5회 계속한다. 이 값의 평균값으로 절연저항 값으로 한다.



<그림 28> 절연저항 시험

- 시험결과

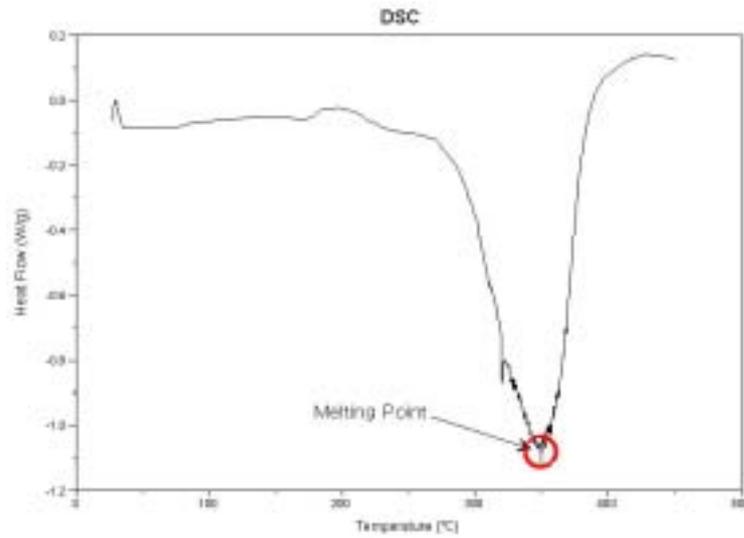
시험횟수 [회]	절연 시험 간격 [cm]	시험전압 [kV]	절연저항 []	비고
1	5	1,000	∞	
2	5	1,000	∞	
3	5	1,000	∞	
4	5	1,000	∞	
5	5	1,000	∞	
계			∞	

〈표 10〉 절연저항 값

상기 표와 같이 절연저항 값이 ∞로 매우 우수한 것으로 나타났다.

③ 주사 열량 분석 시험(DSC)

- 시 료 : 시료를 매우 얇은 폭으로 폭의 간격이 일정하게 자른다.
잘린 시료를 주사 열량 분석기에 넣고 시험한다.
- DSC 시험결과 : 용융점 350[°C]
- 시 험 방 법 : 본 연구조사 결과에 의하면 용융점이 350[°C] 이다. 이 그래프를 보면 이 물질에 불순물이 포함되어 있을 가능성이 있다. V 형태<그림 29> 곡선의 양쪽이 거칠게 그래프가 형성된 것으로 보아 재료에 불순물이 포함 되어있는 것으로 생각 된다.



〈그림 29〉 주사 열량 분석 곡선

3. 전선피복덮개의 완성품 제작

가. 설계도면(〈그림 30~31〉참조)

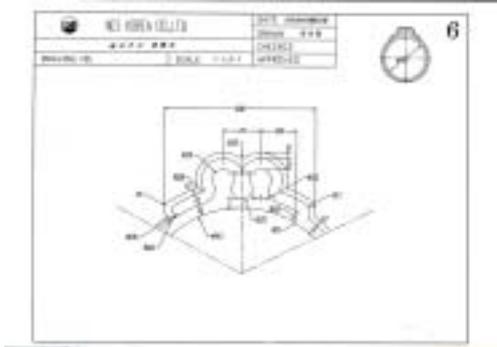
나. 상기 “라”항의 전계해석등 결과에 따른 금형제작(제작 업체 : 주식회사 한국네스)

1) 전계 해석 결과를 감안하여 전선 피복 덮개 연결부의 인장 강도 및 섬락 거리 (Flashover distance)등의 안전성을 고려하였고 또한, 작업성을 고려하여 디자인을 2가지 모델로 결정하였다.

2) 디자인에 의한 금형 제작 시 고려 사항

- 풍압에 의한 영향 최소화
- 적용 설치장비의 효율성
- 작업성 및 보관, 이동의 용이성

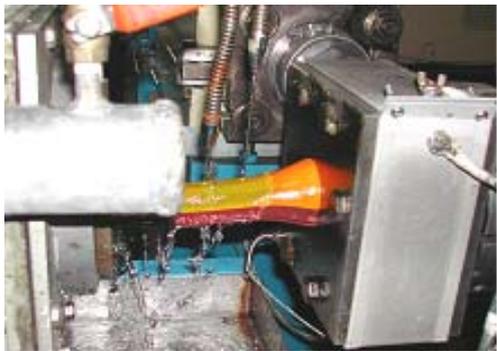
3) 1차 설계 및 금형에 따른 시험 제품 생산



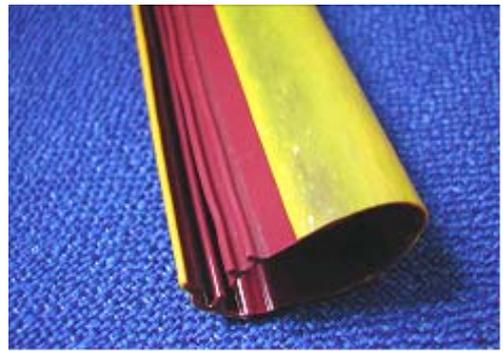
<그림 30> 1차 금형도면



<사진19> 그림 30에 따른 금형 압출부



<사진 20> 생산 과정

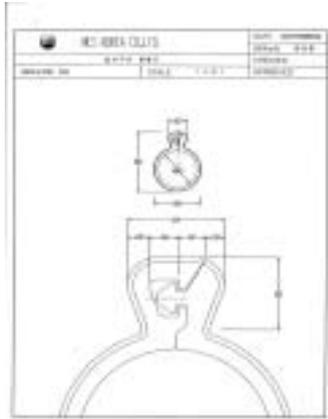


<사진 21> 시험 제품

제 1차 시작품의 문제점

시험 제품의 접속부가 정밀하지 못하여 조립성이 떨어지는 것을 목격하였다. 이를 시정하기 위한 노력으로 1차 금형을 3회에 걸쳐 수정 후 재생산 하였으나 재료의 특성으로 인하여 끈적거림과 냉각시의 문제점이 노출되어 해결 방법이 용이하지 않다고 판단되어 제품 디자인을 교체하였다.

4) 2차 설계 및 금형에 따른 시험 제품 생산



<그림 31> 2차 금형도면



<사진 22> 그림 31의 금형압출부



<사진 23> 생산 과정



<사진 24> 시험 제품

제 2차 시험 제품의 생산 결과

2차 디자인에 따라 다시 금형을 제작하여 제품을 생산한 결과 연결부 결속력이 향상되고 작업성을 높이는 경과를 가져왔다. 1차 제품보다 접속부가 길어져 전체적으로 풍압하중이 증가하는 문제점은 있지만 그 영향은 매우 미미할 것으로 생각된다. 반면에 Flashover distance(섬락거리)가 다소 길어지는 효과가 있어 전기적으로 오히려 전체의 집중현상을 완화하는 효과를 가져왔다. 또한 접속부의 내부 공간 최소화를 위하여 금형의 세부 수정과 작업성을 고려하여 직경을 넓혔다.

5) 전선 피복 덮개의 완성품 제작

1차 및 2차 제품 생산 시험에서 얻은 결과를 2차 금형에 충분히 보완 조치를 한 후 시험 제품<사진 24>을 재생산하여 관련규격 시험기관(한전전기연구원)에 시험 확인(부록 참조)

4. 전선 피복 덮개의 설치 장비 개발

가. 자동설치 장비는 매우 고가로(대당 약 170만원 정도 소요) 경제성이 떨어지고, 이동 설치 시 중량 문제로 1~2차 검토 후 제외 함.

나. 수동 공구 개발 후 시험 결과 설치작업 만족 도율이 높



<사진 25>수동공구 정면
재질 : 나무

<사진 26>수동공구 측면
재질 : 나무

<사진 27>수동공구 정면
재질 : 폴리우레탄

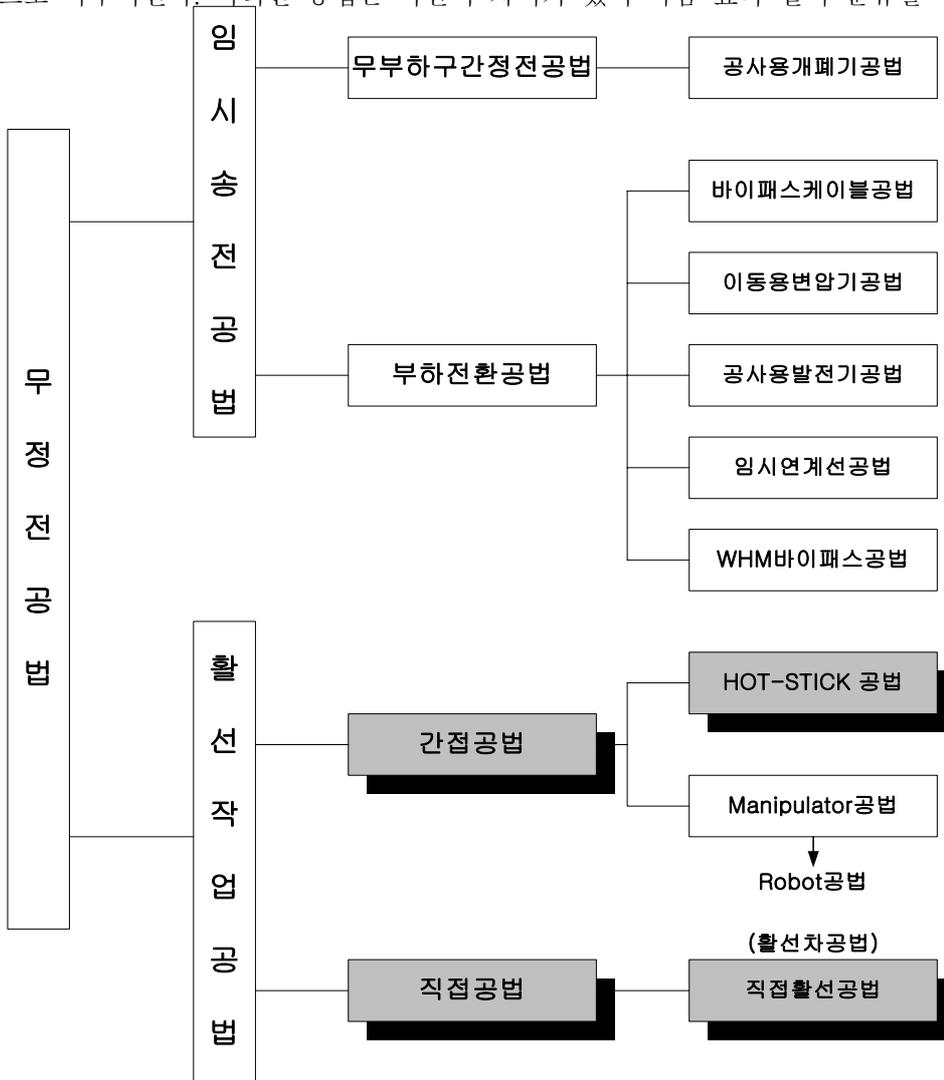
<사진 28>수동공구 측면
재질 : 폴리우레탄

2차에 생산된 완성품에 따라 설치 장비(수동, 자동)를 진원개발(주) 외 2개 업체와 합동으로 개발 하였으나 자동설비 장치는 고가로 경제성 및 보관성 그리고 현장 작업성이 떨어져 차후로 미루고 수동형 공구를 제작하였다. (<사진 25~28> 참조)

제 3 절 전선피복덮개의 시공법

1. 정전 유무에 따른 작업분류

정전 유무에 따라 작업 방법에는 사선공법과 활선작업이 있다. 사선공법은 전력 공급이 정지된 상태에서 하는 작업을 의미하고 전력이 공급되는 있는 상태에서 작업하는 것을 무정전 공법이라 한다. 무정전 공법은 다시 2가지로 분류되는데 임시송전공법과 활선작업 공법으로 나누어진다. 이러한 공법은 약간씩 차이가 있어 다음 표와 같이 분류할 수 있다.



상기 공법들 중에서 전선피복 덮개작업은 간접공법 중 Hot-Stick 공법과 직접공법 중 활선차 공법(직접활선공법)을 적용하여 작업을 해야 한다.

2. 활선장구의 취급과 요령

활선장구는 위험한 상태에서 작업을 하기 때문에 작업공구의 규격이 엄격하고 시험조건이 매우 까다롭다. 활선공구에 요구되는 항목은 첫째 최대의 절연, 최대의 강도, 최소의 중량을 요구하고 있다.

활선장구의 재질은 에폭시 글라스 스틱으로 되어 있다.

3. 전선피복덮개 작업에 필요한 활선장구의 종류

가. 와이어 통(Wire Tong)

가장 기본적으로 사용하는 장구로 활선(전선)을 움직이거나 작업권 밖으로 밀을 때 사용하는 공구

나. 회전갈퀴형 스틱(Rotary Prong)

스티크의 끝에 붙어 있는 갈퀴가 회전하도록 되어 있어 각종 전선을 탈 부착하는 경우에 사용

다. 임시걸이

각종 연결선(점퍼선)을 임시로 연결하는데 사용되는 걸이

라. 애자커버(Insulator Cover)

각종 애자를 보호하기 위하여 사용하는 덮개

마. 완철카버(Crossarm Cover)

완철을 보호하는 덮개

바. 데드엔드카버(Deadend Cover)

현수애자 끝에 붙어 있는 장악금구를 보호하기 위해 사용하는 덮개

사. 컷 아웃 스위치 카버(Cutout switch Cover)

변압기를 보호하기 위한 차단장치를 방호하기 위한 덮개

아. 고무장구

- 플렉시블 라인호스(Flexible Line hose) : 전선의 활선부위를 방호하는 절연 고무 호스
- 고무브랑겟(Rubber Blanket) : 여러 가지 충전부위를 절연하기 위한 고무판
- 작업용고무장갑(Rubber Gloves) : 직접활선 작업을 할 때 손에 끼고 사용하는 장갑
- 고무소매 : 팔과 어깨를 충전부로부터 방호하기 위하여 사용

4. 활선작업차(Bucket Truck)

특고압 배전선로의 직접활선 공법이 개발됨에 따라 절연 발판대 용도로 사용되고 있다. 작업차의 형식은 절연고소작업차(직분식)와 다관절형절연고소작업차(굴절식)의 두 종류가 있다.

작업차의 구성은 작업자가 고소에 이르고 그 곳에서 작업을 할 수 있도록 한 버킷이 있고 버킷과 연결되어 상하좌우로 움직일 수 있는 붐으로 이루어져 있다. 이 모든 것들은 충분히 절연처리가 되어 있어야 한다.



<사진 29> 플렉시블 라인호스(Flexible Line hose)가 설치된 장면

5. 전선피복덮개 작업방법

전선 덮개의 작업 방법은 활선작업차(버켓트럭)를 이용하여 작업하는 것을 원칙으로 한다. 부득이한 경우에는 간접 활선공법인 각종 활선공구를 사용하여 작업할 수 있을 것이다.

<사진 30>은 작업자가 전선피복 덮개를 가공배전선로의 절연전선에 끼워 넣는 것을 시범하고 있는 것이다. 또한, <사진 31>은 2인이 버켓 트럭을 타고 선로의 전선에 전선피복덮개를 끼워 넣는 시범을 보이고 있다. 사진에서의 작업 장면에서 알 수 있듯이 본 전선 피복 덮개는 활선작업차(버켓트럭)를 이용하는 방법이 가장 안전하고 쉽다.



<사진 30> 남양주 조안면 실사구시 실험장



<사진 31> 노원구 한전중앙교육원 실습장

제 5 장 목표 달성도 및 관련 분야에의 기여도

제 1 절 연구 개발 목표와 내용 및 평가 착안점

1. 연구 개발 목표

가. 농산촌 지역의 가로수 관리 실태 및 문제점 분석

- 1) 농산촌 및 도심의 가로수 관리는 지방 자치단체에서 하고 있으나 도로변 전선집 축예방을 위한 가로수 가지치기는 한전에서 자치단체 승인 후 시행하고 있음.
- 2) 가지치기 작업실시 지방 자치단체에서 승인 시 지역조경업체에 의뢰 입찰 실시하고 있으나 현실적으로 조경담당자 입회하에 가지치기 작업은 이루어지지 않고 있다.
- 3) 따라서 가지치기 작업 시 조경담당자 입회가 사실상 불가능(조경전문가 노임 단가 및 인력 부족)하므로 전선지중화 또는 전선피복덮개 설치가 절실히 필요하다.



- 4) 현장 실무자(한국전력 담당자)의 인식변화와 임업인들의 지속적인 관심과 가로수 관리, 보호 노력이 요구된다.

2. 전선피복덮개 개발을 위한 기초 연구 및 시제품 제작

가. 전선피복덮개 개발을 위한 기초 연구

1) 원소재 선정

- 절연성은 우수한가?
- 경제성(내구성)은 우수한가?
- 중량은 가벼운가?
- 작업성은 좋은가?

상기 착안점을 고려하여 현재 절연물질로 가장 많이 사용되고 있는 P.V.C , P.E , P.P 재질보다 뛰어난 T.P.U(Thermoplastic Polyurethane Elastomer) 소재가 가장 우수함.<표 6

참조>

2) 모델 개발

- 바람에 가장 적은 저항을 받는가?
(FLASH-OVER DISTANCE를 최소화 할수 있는 DESIGN)
- 가공선로에 작업 시 유연성(작업성)은 좋은가?
- 운반, 저장은 용이한가?

상기 착안내용을 참고하여 모델 개발(<그림 31>, <사진 24>참조)

제 2 절 연구 개발 목표의 달성도

1. 고압전선 보호를 위한 과도한 가로수 전정 작업 피해를 파악하고 있는가?

가. 가로수 수형의 가치하락은 농산촌 지역의 가로수 관리모델 개발연구에서 녹시율의 측면에서 당초 녹시율 100[%]가 가지치기로 인한 녹시율이 60[%]로 감소하는 것을 연구함.

나. 전정 작업비용의 실태 파악

가지치기 비용은

플라타너스 B 30[cm]가 164,325원

B 40[cm]가 204,430원

B 50[cm]가 249,562원임 -

2. 가로수 관리가 녹지증대에 의한 환경보호라는 관점에서 진행되고 있는가?

- 가. 가로수 가지치기는 두 가지 형태로 진행되고 있다.
- 나. 도심에서 가로수가 무성하게 자라나는 경우에 수형을 다듬기 위한 방법으로서는 진행되는 것이며
- 다. 고압전선, 신호등, 교통표지판 등으로 접촉되거나 방해되는 경우 가로수를 잘라내는 경우이다.
- 라. 상기 다. 항의 경우에 가장 문제가 되는데 시설물에 닿는 나뭇가지를 제시된 수형 없이 일률적으로 자르고 있다. 특히 심각한 것은 한전에서 수형에 관한 고려 없이 전선으로부터 일정한 간격으로 자르는 것이다. 따라서 우리나라의 가로수 관리가 녹지증대라는 환경적 측면에서 관리되고 있다고 보기는 어렵다.

3. 최근에 개발된 초절연 및 난연성 신소재를 파악하였는가?

현재 국내외 고압 전선 피복 재료는 P.E가 주로 사용되고 있으나 가로수 보호용 전선 피복 덮개의 소재로는 부적합하여 T.P.U(절연물질 <사진 15>, <사진 16>, <사진 17>, 특성 비교표 <표 6> 참조)가 적합함.

4. 시험기자재를 확보하거나 시험의뢰를 할 수 있는 조건을 확보하였는가?

- 가. 한전서울자재관리처 . ENI부설연구소
- 나. 대한석유화학시험연구소
- 다. 삼흥중전기 시험실
- 라. 한국전력 중앙교육원
- 마. 한국전기 연구원

5. FLASH-OVER DISTANCE를 최소화하는 DESIGN을 하였는가?

도면 5종류를 컴퓨터로 시뮬레이션 테스트(전계해석) 해본 결과 적합한 도면 4개로 2차 시뮬레이션 테스트(전계해석) 한 후 최종 판단은 모든 요건을 고려하여 2종류의 모델로 시험 제품 생산기로 하고 1차도면 제품(<그림 30> 및 <사진 21> 참조) 생산 후 육안 및 조립성 테스트 결과 시험제품의 결속부의 조립성이 떨어지고 2회에 걸쳐 금형 수정

보완 후 재생산 하였으나 원소재의 특성으로 인하여 끈적거림과 냉각시 조립부의 문제점 해결이 용이하지 않다고 판단되어 제품 디자인을 수정키로 하고 2차도면 제품(<그림 31> 및 <사진 24> 참조) 생산 후 육안 및 조립성 테스트 결과 연결부의 결속력이 우수하고 작업성이 용이함. 1차 제품보다 Flash-over distance이 다소 길지만 풍압에 영향을 미칠 정도가 미미하고 전계 집중 현상도 완화됨. 보다 완벽한 제품을 위하여 결속부 내의 공간 최소화를 위한 금형 및 제품 생산.

6. 연결부의 인장강도를 충족하는 DESIGN을 하였는가?

인장강도 문제는 연결부 없이 장조장(1조장)으로 생산할 수 있는 소재를 찾아서 완전 해결.

7. 위 조건을 충족시키는 전체 DESIGN을 완료하였는가?

<그림 30>, <그림 31> p65~p66 참조

8. DESIGN에 따른 금형을 제작하였는가?

<그림 19>, <그림 22> p65~p66 참조

9. 1차 및 2차 test를 수행하였는가?

제 4 장, 제 2 절, “라”항 전계해석 참조

10. 다음의 시험 조건을 test를 수행 하였는가?

완벽한 제품을 위하여 결속부내의 공간최소화를 위한 금형 및 제품 세부사항 검토 후 3차 금형 수정 후 생산.

11. 전선피복덮개의 작업성

가. 실사구시 시범설치구간 시험설치 : <사진 30> p71 참조

나. 한전중앙교육원 실습장 시범설치 : <사진 31 > p71 참조

12. 전선피복덮개의 설치 장비 개발

<사진 25~28> p67 참조

13. 전선피복덮개를 활용한 가로수 관리방안 정립
특허 제 10-4430171 호 (2004. 7. 24)

14. 지방자치단체 홍보 및 시연회, 박람회 참석

가. 지방자치단체 이메일 발송(161개 지자체)

나. 지방자치단체 수목관리담당자 앞 제품 카탈로그(별첨 참조) 발송

다. 농림과학기술대전 우수기술 전시회 참가

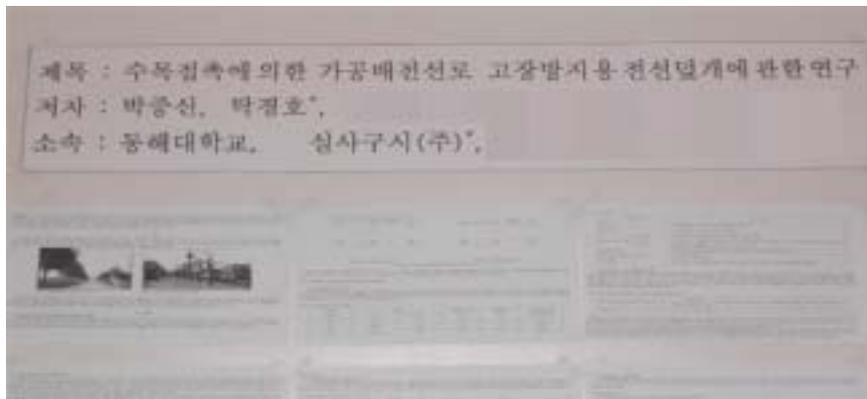
- 일자 : 2004. 9.16(목)~17일(금)

- 장소 : A.T. Center, 권2전시장



15. 전선피복덮개에 대한 학술대회 참가

- 일시 : 2004. 7. 14(수)~15(목)
- 장소 : 부산 파라다이스 호텔(해운대)
본관 2층 베니스·그랜드볼룸
- 주최 : 사)대한전기학회



※ 2004년도 대한전기학회 하계 학술대회 전기설비전문 위원회 Work shop 논문집
내용 : 부록 참조

제 3 절 관련분야의 기술발전의 기여도

현재 우리나라 가로수 관리는 원활한 전기공급에 지장을 준다는 이유로 마구잡이 강전지되고 있는 실정이나 본 제품 출시 후 효과적인 가로수 관리는 물론, 타 분야(변압기 주변 까치집, 건축용 방호관)에도 응용 적용할 수 있어 안정적인 전기 공급과 함께 녹시율 향상으로 친환경적이며 많은 예산 절감에 도움이 될 수 있음

제 6 장 연구개발 결과의 활용 계획

제 1 절 연구개발 결과

1. 본 과제를 성공적으로 수행함으로써 우리나라 고압 전선의 가로수 접촉을 방지하기 위한 막대한 전지 비용을 절감하고 <표 2>, <표 3> 참조, 고압전선과 수목의 접촉에 의한 누전 또는 정전을 예방하여 전력을 안정적으로 공급함과 동시에 가로수의 녹시율을 높임으로서 환경적 가치를 제고하는 등 궁극적으로 농업인 및 임업인의 복지를 증진시키고 삶의 질을 증대시킴
2. 본 과제는 전선 피복 덮개를 활용한 가로수 전지 방안에 대한 세미나 발표를 예정하고 있으며 새로운 가로수 관리 모델로서 전국적으로 홍보할 예정임.
3. 논문발표 : 대한전기학회 하계학술대회(2004.7.14~15) 논문 발표(부록 참조)
4. 특허출원
 - 실용신안등록 제 0341989 호 (2004. 02. 04) : 전선보호관
 - 의장등록출원 제 0354743 호 (2004. 06. 10) : 전선보호관
 - 특허 출원 제 10-4430171 (2004. 07. 24) : 수목과 고압전선의 접촉을 차단하여 수목을 관리하는 방법

제 2 절 활용 계획

현재 한국 전력에서 규격화하여 사용하고 있는 라인호스는 건축 공사에서 비계목 설치로 특고압 배전선로와 이격거리가 가까워져 전기 안전 상에 문제가 있는 경우에 사용할 목적으로 사용하고 있다. 그러나 본 제품은 전력선이 수목에 접촉되어 전선의 피복에서 일어나는 부분방전으로 전력선의 피복이 탄화되어 일어나는 현상을 막아 통행인의 안전사고와 정기 사고인 순간 또는 영구사고를 막아 전기 품질을 높일 수 있어 산업화가 가능한 것으로 생각된다.

1. 기대 효과

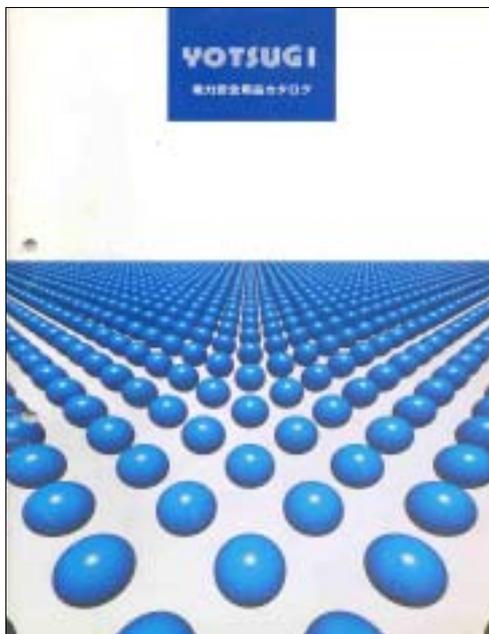
- 가. 마구잡이로 잘라지는 가로수 가지치기 방법 개선
- 나. 경비 절감
- 다. 친환경적으로 녹시율 향상

2. 활용 방안

- 가. 지방자치 단체에 홍보 전국적으로 판매
- 나. 현재 건축용 방호관으로 전환하여 시장 진출 가능
- 다. 본 과제는 전선피복덮개를 활용한 관리 방안에 대한 새로운 가로수 관리모델로 제시 될 것임.
(특허출원 제 10-4430171, 수목과 고압전선의 접촉을 차단하여 수목을 관리 하는 방법)
- 라. 일본 제품보다 우수하여 외국으로 역수출 가능

제 7 장 연구개발 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보

제 1 절 일본의 제품 사양



제 2 절 외국의 가로수 모습



일본 동경도



오스트리아 - 82 - 쉐부른궁

제 8 장 결 론

가로수의 중요성은 점차 강조되고 있다.

많은 자치단체들이 친환경도시, 생태도시를 슬로건으로 내 걸지만 이미 무계획적으로 발달된 도시에서 공원을 만들고 녹지를 확보하는 일은 많은 비용을 요구한다.

특히 地價가 높은 우리나라 현실에서 토지보상비를 확보하여 보상하고, 다시 이를 공원으로 조성하는 일은 현실적으로 어렵다.

서울시가 OB맥주 공장터를 공원으로 만드는데 토지보상비가 2,000억 가까이 소요된 것을 보면 잘 알 수 있다.

이러한 현실에서 도시와 농촌을 신록이 푸르른 환경으로 가꾸는데 있어 최적의 대안으로 대두되는 것이 가로수이다.

더욱이 운전자나 보행자의 경우로서 길을 많이 활용하는 현대인에게 있어 가로수는 정말 중요하다.

가로수가 무성히 자라지 못하는데는 많은 원인들이 있지만 그중 가장 큰 원인은 배전 고압선이다.

이러한 가로수가 고압선으로 인하여 무성하게 자라지 못하고 무자비하게 잘려나가 아름다운 경관을 만들지 못하고, 환경 보전적 기능을 다하지 못하는 것은 국가적으로 크나큰 손실이다.

현대 삶에서 전기의 안정적 공급이 편리한 삶을 보장한다는 측면에서 가로수와 고압선의 상충성은 큰 고민이 아닐 수 없다.

본 연구에서 언급하고 있는 전선덮개는 대상물과 상시 접촉되는 것을 전제로 한 것이다. 특히, 나뭇가지 또는 나뭇잎과 같이 간헐적으로 접촉이 지속되는 곳에 사용하는 것을 대상으로 하고 있다. 따라서 내마모성을 높이고 부분방전에 의해 재질의 탄화현상을 막고, 누설전류에 의한 크래파이트 현상(탄화현상)등을 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 결과적으로 수목의 전지작업을 줄여 가로수 등의 수목이 정상적으로 관리되어 도시미관을 높이고 배전계통의 고장률을 줄여 전력공급에 도움이 될 것으로 생각된다.

본 연구는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 추진된 것이며, 농림기술 개발 기금으로 개발된 가로수용 전선 보호관은 이러한 문제점에 대하여 명쾌한 해결책을 제시한다.

22,900v의 특고압선에 씌워지는 보호관은 최소 35,000v의 내전압을 지니고 있어 가로수와 고압선의 계속된 접촉에도 전혀 누전과 정전을 유발시키지 않는다.

특히 이번에 개발된 전선 보호관은 일본이 사용하고 있는 6,600v용 보호관보다도 얇고 가벼워 설치시 처짐이나 풍압에 흔들림이 없는 최상의 개발품이다.

특히, 현재 사용하고 있는 재질의 경질성 때문에 활선작업 또는 동계의 작업에 문제가 있으나 본 연구에서 사용된 재질은 유연성이 좋아 작업성을 높인 것이 특징이다. 또한 검은 색상의 유연하고 장조장의 제품이므로 전선에 설치작업성을 높이고 설치한 흔적이 거의 드러나지 않아 기존의 고압선과 외관상 거의 구별이 없는 장점이 있다.

이러한 제품은 향후 전국의 수천만 그루의 가로수가 무성하게 자라 친환경적 기능을 다할 수 있도록 기여할 것이며, 한국전력이 매년 가로수를 자르는데 소모되는 **200억원** 이상의 비용을 절감하게 할 것으로 기대되며, 기존의 방법으로는 나무가 자라는 한 영원히 지속되어야 하는 나무를 자르는데 소요되는 인력과 안전사고 발생, 교통지체, 비환경적 손실 등 간접적 비용 구조원을 절약하는 효과가 있다고 보아야 할 것이다.

농촌의 삶이 자꾸 황폐화되고 1차 산업의 생산만으로는 농촌의 장래를 보장할 수 없는 작금에 이르러 가로수가 무성한 농촌의 경관은 도시인들에게 향수를 불러일으키고 이는 농가의 또 다른 소득 증대로 이어질 것이다.

또한 이 개발품은 우리와 같이 **22,900v**의 배전선로를 사용하는 중국, 미국 등 해외로 수출할 수 있을 것으로 예상된다.

바라건데 국내의 이 개발품 수요처인 한국전력이 기존의 나무자르는 업무에서 전향적인 전환을 통하여 이를 사용함으로써 개발품이 사용되고, 개발한 기업이 수익을 남기고, 그 노력으로 해외에 수출할 수 있게 되어 국가 경제에 기여할 수 있기를 기대한다.

참고 문헌

1. 조림학 원론, 임경림, 향문사, 1989년
2. 도시와 교통, Briam Richards(권기욱 번역), 태림문화사, 1997년
3. 보행자 중심의 녹화거리 조성 기본 및 실시 설계, 서울특별시, 1997년
4. 도로 유휴공간을 활용한 녹지활용 및 보행환경 개선방안, 김광중, 서울시정개발연구원, 1997년
5. 보행자를 위한 걷고 싶은 녹화거리 조성기 및 실시설계, 서울특별시, 1997년
6. 폴리우레탄의 상업적 응용, 김승수의 1인, 한국고분자학회, 1999년
7. 일축스크류압출기를 이용한 폴리카보네이트의 압출에 관한 연구, 박진한, 경희대학교 대학원, 2001년
8. 폴리우레탄 탄성체의 흐름거동과 동력학적 특성, 김영진, 전북대학교 대학원, 1992년
9. 고전압 공학, 정성규 · 이덕출, 문운당, 1997년
10. 특고압 배전용 전선의 섬락단선 대책 연구, 한국전력 전력연구원, 1996년
11. 지중케이블 써어지 보호 대책에 관한 연구, 한국전력 전력연구원, 1993년
12. 절연단선 사고 방지 대책 연구집, 한국전력 배전처, 1999
13. 배전 실무, 한국전력 중앙교육원, 2003
14. 배전설비열화 해석, 한국전력, 이상만, 1999. 10
15. 고전압 대전류 공학, 이복희, 청문각, 1993
16. 한국전력 잠경규격집, 배전처, 1998
17. 무정전 공법, 한전 중앙교육원, 2001

부 록

- 부록 1 가로수용 전선피복덮개(전선보호관) 카탈로그
- 부록 2 특허증 사본
- 부록 3 대한전기학회 학술대회 논문
- 부록 4 전선피복덮개 시공방법(순서)
- 부록 5 가로수 실태

1. 가로수용 전신평복덮개(전선보호관) 카다로그

무성한 가로수는 숲입니다.

가로수용

전선보호관



(株) 實事求是

SILSAGUSI CO., LTD

www.7494.co.kr

경기도 하남시 신장동 97-19번지 404호

Tel : (02)475-7494 (031)794-7402 Fax : (031)794-7406

街路樹 保護를 위한 電線保護管 活用 方案

□ 現 況

○ 街路樹 現況

우리나라 가로수의 전체 수량은 공식적으로 파악된 자료가 없음.
그러나 도시화 구역의 경우 1,600만 그루로 추산 됨.
서울의 경우 27만 3천여 그루임.



정상대로 자라는 가로수 사진

○ 電線 地中化 現況

우리나라의 지중화는 1981년에 처음 시도되어 서울에서 32km를 시행.
지중화에는 많은 비용이 소요됨으로 架空線路 구성이 기술적으로 불가
능하고, 유지보수가 곤란한 지역에만 한정적으로 시행.

□ 街路樹와 架空電線의 관련 問題點

- 일반적으로 고압선과 가로수는 도로의 보도에 일렬로 설치되어 있는데 가로수는 생물로서 계속 성장하는 특성이 있어 가만히 두면 가로수는 고압선과 접촉됨.
- 22,900V인 고압선이 수목과 접촉되거나, 고압선의 피복부분이 닳아지면 누전이나 정전이 발생하게 됨.
- 이러한 문제점을 예방하기 위하여 종래에는 수목을 잘라서 수목이 전선에 닿지 않도록 관리하고 있으며, 그러한 결과로 무성하게 자라야 할 수목이 정상대로 자라지 못하고 있으며, 따라서 도심의 녹시율(綠視率)은 현저히 떨어짐.
- 도로를 중심으로 양쪽에 위치한 가로수가 고압선이 없는 쪽은 무성하게 성장하고 고압선이 있는 쪽은 강전지되어 불균형한 경관을 형성함.
- 가로수를 전정하는데 매년 수백억의 예산이 투입됨.
(B. 30cm 가로수 1주 전정비용 : 164,325원)



고압전선으로 인하여 한쪽만 전지되어 불균형한 가로수(강원도 평창)

□ 전선보호관을 활용한 가로수 관리 방법

고압선 아래에 위치하는 수목을 정상대로 성장시키되 고압선과 수목이 접촉되는 부분에 있어서 고압선은 전선보호관으로 씌워져 유지되고 장래에는 수목의 가치를 전선의 흔들리는 폭 만큼 제거하는 방법이 도입되어야 함.

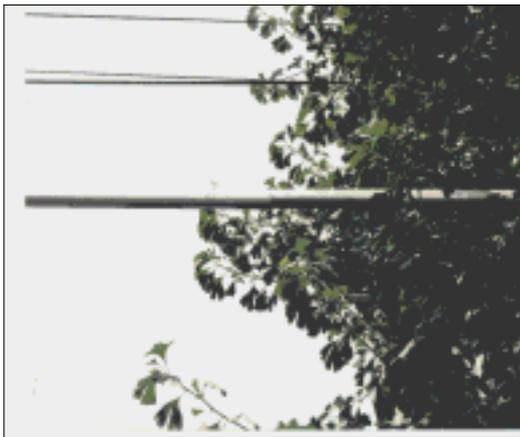
이러한 방법은 이웃나라 일본에서는 이미 시행되고 있는 방법으로서 도로 구조 및 전선공급 방식이 유사한 우리나라가 적극 도입하여야 할 방법임.

○ 22,900V 용 電線保護管의 開發

- 한국의 특고압용 전선은 ACSR-OC 선으로서 규격이 32mm², 58mm², 95mm², 160mm² 등으로 구분됨.

- 여기에 적용할 전선보호관은 가볍고, 적은 부피를 지니며, 강한 耐電壓을 유지하여야 함.

즉, 30,000 V의 내전압을 갖으며 방전거리(flash over distance)가 짧고 가벼운 제품 개발이 첨단기술임.



일본에서의 가로수 관리 사진

○ 街路樹 가지치기 技術 適用

- 1단계

수목의 초기 성장 단계에서 가지가 고압선과 직접 접촉되지 않도록 전선보호관을 씌움.

작은 가지가 성장하는 과정에서 바람에 의하여 전선과 접촉될 경우 絶緣體인 전선보호관이 씌워진 고압선은 누전이나 정전이 발생치 않음.

- 2단계

작은 가지가 성장하여 굵은 가지가 되는 과정에서 한가지 방법은 3~5년마다 전정을 시행하는 방법과 다른 방법은 전선 접촉 부분을 제거하여 고압선 주변 반경 1m 이상의 공간을 마련함.

외부에서 볼 때 가로수는 무성한 모습을 유지하고 전선은 수목과 닿지 않아 장기적으로 안전함.



가로수에 설치된 전선보호관

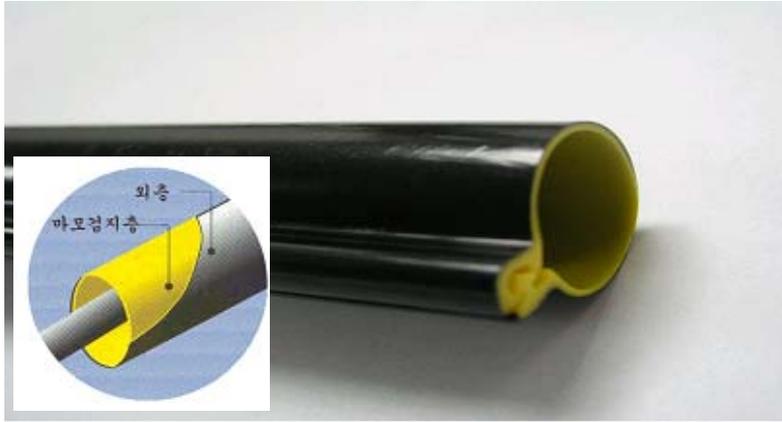
□ 電線保護管 使用의 效果

- 환경에 대한 국민들의 관심이 날로 커지는 현 시점에서 가로수를 계속 하여 잘라냄으로서 발생하는 **非環境的 시각을 수정**
- 전선 접촉으로 인한 **가로수 전지비용을 절약** (기존의 방법은 영원히 전지를 하여야 하므로 그 비용이 천문학적인 수치임)
- 고압선과 수목의 접촉에 의한 누전, 정전을 예방하여 **전력을 안정적으로 공급**
- 나무가 정상대로 자라나 풍부한 **綠陰**을 창출하여 **綠視率을 높임**으로서 발생하는 **환경적 가치를 제고**
- 가로수 전지로 인한 **교통체증 등의 간접손실을 최소화**



고압전선으로 인하여 가지치기된 가로수 사진

□ 수목용 電線保護管 사양



위(사진) 제품은 정부지원자금(농림기술개발연구비)으로 개발된 제품임.

제 품 명	제품 내경(단위:mm)	적용 전선(단위:mm ²)	길 이(단위:m)
SGT - 1	26.5	160	30, 50, 60
SGT - 2	23.0	95	30, 50, 60

※ 주문시 장조장으로 생산가능 (300m 까지)

○ 일본 제품과의 비교표

생 산 업 체	제품 두께(단위:mm)	중 량(단위:g/m)	내전압(단위:kV)
일본 Y 사	2.30	306	20
실사구시 개발품	1.40	195	30

실용신안 출원번호 : 제 20-2003-35079호

의장등록 출원번호 : 제 2003-32583호



성능확인시험성적서

"한국전기연구원의 확인이 없는 사본은 무효임"

재 품 명 수목보호카미
원 식 명 -
성 격 426
시험규격 의뢰자 시험
접수번호 05031270 (2003.09.17.)
의뢰자 (주)삼사구시
 405-030, 경기도 화남시 신장동 97-19 농협빌딩 404호
제작자 (주)삼사구시
 405-030, 경기도 화남시 신장동 97-19 농협빌딩 404호
시험일자 2003.09.23. ~ 2003.10.15.
발행일자 2003.10.16.
시험결과

필요시험으로써 내전압, 전장강도, 기압노화, 가열변형, 내전성, 내열성, 흡수성 및 연료부의 영향하중시험을 시험을 실시한 결과 첨부와 같음

시험결과는 시험을 실시한 제품에만 해당됨
KERI 서면승인 없이 시험성적서의 일부만을 복사하여 사용할 수 없음.

시험성적서 구성 페이지: 성적서(30), 회로도(-), Oscillograms(-), 사진(1), 첨부(-)

 한국전기연구원장



승 인 박 성 균 (인)

확 인 정 병 타 (인)

작 성 소 진 중 (인)

KERI

한국전기연구원 Korea Electrotechnology Research Institute
 437-008, 경기도 의왕시 내손2동 665
 Tel : +82-31-420-6114, Fax : +82-31-420-6059, www.souul-keri.co.kr
 공인시험기관 - KOLAS(한국 교정·시험기관 인정기구) 인정

○ 특성 시험

시험 항목		적용규격 및 시험방법	시험 결과
내전압 시험	건 조	방호관 내부에 나동선 전선을 삽입한 후 연면방전이 생기지 않는 한도 내에서 외부에 금속박을 붙여서 전선과 금속박 사이에 매초 1,000V 비율로 AC 30,000V 60Hz 전압을 상승시킨 후 1분간 유지하였을 때 섬락, 발열등의 현상이 없을 것	이상 없음
	주 수	KS C 0904의 4.3.1항의 방법에 의하여 주수시험을 한 직후의 상태에서 건조내전압시험과 같은 방법으로 매초 1,000V 비율로 AC 20,000V 60Hz 전압을 상승시킨 후 1분간 유지하였을 때 섬락, 발열 등의 현상이 없을 것	이상 없음
인장강도 시험	인장강도	KS M 6518의 4항에 따라 아령 3호 시험편으로 시험한다. (인장속도 : 500±25mm/min)	4.8 kgf/mm ²
	신 율		463.7%
가열노화 시험	인장강도	KS M 6518의 4항에 따라 아령 3호 시험편으로, 90℃의 가열공기에서 96시간 유지하고, 12~24시간 방치 후 시험한다. (인장속도 : 500±25mm/min)	5.3 kgf/mm ² (잔율 : 110%)
	신 율		547.2% (잔율 : 118.0%)
가열변형시험		KS C 3004의 26항에 따르며, 75±3℃에서 30분 유지하고, 2.5 kgf의 정하중을 가한 상태에서 30분 유지 후 두께를 측정한다.	두께 감소율 : 4.3%
내한성시험		완성품에서 길이 1,000mm의 시료를 채취하고, -10℃의 항온조에서 1시간 유지 후 적당한 고정장치에 한쪽 끝을 고정하고 180°로 구부린다.	잔금, 깨어짐 등 이상이 없음
내열성시험		60mm ² 의 나동선에 보호카바를 사용상태로 설치하고 전선의 표면온도가 110±10℃가 되도록 1시간 통전한다.	연화, 응착, 변형이 없음
연결부의 인장하중시험		보호카바의 한쪽 끝을 고정하고 길이 방향으로 연결부에 60 kgf의 정하중을 가하여 실시한다.	연결부의 탈락이 없음

○ 시험결과 검토

상기 시험결과는 의뢰자가 제시한 시료를 의뢰자 시방에 준하여 시험한 결과임 끝.

2. 특허증 사본

3. 대한전기학회 학술대회 논문

**2004년도
대한전기학회 하계학술대회**

전기설비전문위원회 Workshop 논문집

- ◆ 일 시 : 2004년 7월 14일(수) ~ 15일(목)
- ◆ 장 소 : 파라다이스호텔 본관 2층 베니스, 그랜드볼룸



2004년 7월 14일(수) ~ 15일(목)

사단법인 대한전기학회

수목접촉에 의한 가공배전 선로 고장방지를 위한 선로설계에 관한 연구

박광선*, 탁경호**

동해대학교*, 일사구시(주)**

Study on the power line-cover to protect the breakdown of overhead distribution system by the contact of trees

Jung-Shin Park*, Kyung-Ho Tak**,
Dong-Hae University*, Silsagasi Co**

Abstract - 본 연구의 목적은 가공배전선로에 이물질 접촉 및 가로수와의 접촉에 의한 선로고장을 줄이고, 폭거와 선로고장 방지를 위한 수목의 가지치기로 나무의 모양이 부자연스러워지는 것을 막고자 가로수와 배전선로를 대상으로 선로설계에 관한 연구 보고이다. 주목적으로 얻을 수 있는 이점은 가로수가 송전선의 가지치기가 되어 도시의 모양이 환경친화적으로 바뀌고 매년 절감되고 있는 수목관리 비용을 줄일 수 있다. 본 연구에 의해 개발된 선로설계는 원 배전시스템에 직접적으로 활용될 수 있도록 하였다.

1. 서 론

우리나라 지방 농산촌 지역을 비롯한 전국 도농면의 가로수는 교량시설과 함께 설치되어 있는 곳이 많아 있다. 이런 이유로 폭우와 배전선로의 고장을 방지할 목적으로 매년 가로수의 가지치기를 수행하고 있다. 이러한 일련의 가로수의 모양을 변형시키고 도시미관을 해치는 문제를 안고 있다. 그림1 및 그림2를 보면 그 피해가 얼마나 심각한지를 확인할 수 있다.



그림1 풍광형식의 경리된 가로수



그림2 모양없이 경리된 가로수

이러한 현상은 배전선로의 고장방지에만 초점이 맞추어져 있기 때문이다. 이러한 문제를 막기 위하여 가로수와 접촉하는 곳에 있는 절연현상(AW/CX) 위에 절연덮개를 설치함으로써 가로수를 보호하고 또한 절연현상의 역할을 전기 및 물리적 분할(부분성선 및 가지치기)의 역할에 의한 과부 손상을 최소화하고 일차할 수 있는 선로설계를 디자인하고 분석적으로 그 절연특성을 분석할 필요성이 있다.

2. 본론

2.1 배전선로의 구성 현황 및 수목관리 비용

우리나라 배전계통은 중성점에서 중성선을 인출한 3상4선의 절연방식으로 중성선과 대지와 접촉적으로 절제되어 있다. 즉, 계통에 1선지하 고압시 상도체와 절제선이 전기적으로 최외곽 구성되어 고장전류가 발생되는 시스템이다. 배전계통의 선간전압은 22.9kV이고, 상선압은 13.2kV이다. 배전선로는 도로를 따라 설치되는데 그림3과 같이 건축물의 측면 또는 가로수와 평행하여 시설되는 것이 보편적이다.

건물쪽에 시설된 배전선로



가로수와 병행된 배전선로

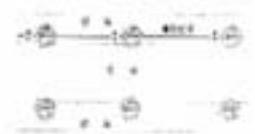


그림3 우리나라 배전선로의 설치 위치도

따라서 배전선로의 안전성과 가로수의 가지 및 나무를 위한 적절한 절제가 절충적인 수밖에 없는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 원인과 영향에서는 커다란 일련 또는 연초에 가로수 전지자멸에 많은 경비와 인력을 지출하고 있는 실정이다.

2.2 배전선로 특고압용 절연현상적 절연특성

2.2.1 절연현상의 세 가지

우리나라의 배전계통에 사용되는 절연선(유압선)은 Polyethylene에 합성인 및 가지선을 표시하거나 과전 회로가 있는 상태에서 가변하여 Polyethylene 분자의 일부가 결합해서 이루어진 구조 Polyethylene으로 절연된 ACSRY/AW-CX를 사용하고 있다. 절연현상의 절연력에 대한 제원과 절연현상에 요구되는 성능을 살펴보면

다음과 같다.

표1 ACSB/AW OC의 제원

전선종류 (MM)	도체		절연체 두께 (mm)	시험전압 (kV)	최소절연저항 (ΩT-90℃)
	소재	길이			
3Φ	65B	3.5	3.0	25	1300
3Φ	65B	3.5	3.5	25	1400
1Φ	185B	3.2	6.0	25	1500

표2 성능시험

시험종류		요구사항
수중시험		시험전압을 1분간 가한 상태에서 2년 경과
스파크시험		시험전압을 415kV간 이상 걸었 후
절연체 손상시험	상부시험	전압강도: 10kV/cm 이상, 단상용 300% 이상
	가열시험	(130±1)℃ 수중냉각기 중에서 15시간 방치하고, 절연에서 4시간 후 90시간 이내 축열이 단상용도 및 단상용은 가열온도 80% 이상
가열열충격시험		130±1℃에서 하중을 4kg으로 시험을 할 수해 강도를 40% 이상
연속적열, 저온저부시험		남아있어 없어야 함
내 도체성		중성회로 0.01에서 0.25 이상이 전도성 초과인시 부호, 전도성상만 표시함

2.2.2 전선로의 사고 현황 및 유형

90년대에서 2000년대에 걸쳐 배전선로의 발생한 고장유형률 분석결과 분석한 결과를 보면 전선고장(39%), 배선고장(21.3%), 변압기고장(11.8%) 등의 순으로 발생된 것을 알 수 있다. 즉, 전선과 관련된 고장이 가장 많은 고장 점유율을 보이고 있다. 전선 고장 유형을 좀더 자세하게 분석하면 총 전선과 관련한 고장이 67%, AL 전선에 의한 고장이 30%, OC 전선에 의한 고장이 42.6%, 스프링트 원유 개는 고장이 5.4%, 코지암 손상에 의한 고장이 5.4%를 점유한 것으로 나타났다. OC 전선에 의한 고장이 가장 많이 발생하고 있음을 알 수 있다. OC 전선에 의한 고장을 좀더 자세하게 분석하면 다음과 같다.

표3 OC 전선의 원인별 고장 현황 단위(90'00)

원인명	종류	발생회차	인원	회차	피해금액												
전선	1	2	13	9	9	18	20	1	5	2							

표3을 보면, 피복결손으로 인한 고장은 52%를 차지하고 있다. 절연전선지 단선고장의 원인으로 추정하고 있는 것은 이에 대한 이유도, 전선 내에 존재하고 있는 윤곽에 의한 단선, 피복결손이나 외부 충격에 의한 단선 그리고 시공 및 보수 불량에 의한 원유개소의 침투가량이 증가한 상태에서 부하전류 또는 고장전류가 흘러 절연저항이 떨어지게 되어 발생하여 통전되는 경우도 있을 수 있다.

단선고장원인 중 본 연구와 관련된 내용은 피복 결손 이외의 원인과 피복결손에 의한 단선으로 볼 수 있다. 이에 대한 자료 용인 임원승 제언하여 보면, 피복결손에 의해 발생한 사고에 대한 임원승 제언, 제언전선과 절연전선의 피복 사이에서 이동여지는 부분전선에 의한 피복의 결손에 의한 단선사고 그리고 피복결손 및 피복 치환 원천 발생 원인 개소의 누설전류에 의한 절연전선의 피복의 침식 등으로 나눌 수 있다.

2.2.3 전선로의 사고 메커니즘

AW/OC 전선은 도체 부분이 알루미늄(AL)이고 피복재는 가교 Polyethylene으로 절연되어 있다. 특히 알 배전선로에 사용되고 있는 피복재의 특징은 최고 전압인 25.8kV의 전압에 충분히 견디어야 하고, 자외선에 대하여 화학적으로 특성 변화가 없는 화학적으로 안정되어야 한다. 또한 낙뢰나 저지 전압에 대하여 충분히 견디어야 한다. 그러나 이 피복재의 단점은 나뭇잎과 같은 이물질과 간질결핵이 반복되면 부분방전이 급부적으로 지속되면서 발생하고 그 과정에서 절연체의 피복에 열충격 후 발생하는 단락현상이 발생하여 피복재가 벗겨져 순간부의 노출로 전로고장으로 이어지게 된다. 이러한 현상을 전기적으로 등기화하여 표현하면 그림4(a)와 같다.

배전선로 절연체의 피복재의 수명이 길수록이면 그림 4(a)와 같이 전기적으로 피복이 수명이 된다. 피복이 수명이 되는 이유는 최고알 배전선로의 중성선에서 대지와 접지가 되어 있기 때문에 수명이 배전선로의 중성선과 접지가 되면 접지되는 순간 전압선과 접지된 부분과 수명이 차이가 대지와 연결되어 있기 때문에 전기적으로 피복이 수명이 되게 된다. 그러나 전선선의 피복으로 절연된 상태이지만 절연전선과 접지된 수목시에는 절연체 내에 전하가 축적되고 다시 전하를 방출하는 과정 현상이 발생하게 된다. 이러한 과정이 반복적으로 같은 부분에서 계속되면 절연체 내에서 절연열과 현상이 복합적으로 발생하게 된다. 이러한 상태가 반복되면 결국 전선선의 절연체는 그림4(b)와 같이 전원이 과전압으로 결국에는 전기 충격을 지킬 수 있는 고장으로 이어진다.



그림4 수목접촉 증가회로 (a) 전선의 피복 손상 그림4 수목 접촉에 의한 부분방전 현상

2.2.4 전선로 어둠침묵에 의한 사고 방지대책

상기의 현상을 방지하기 위해서 본 연구에서는 전선설계를 재검토하여 여러 가지 성능성질과 물리적인 실험을 시행하였다.

3 전선설계

3.1 전선설계의 재검토 특성 및 구조

본 전선설계를 시작점으로 만든 제품은 TPL인 소재로 이 물질의 특성은 낮은 온도에서도 좋은 유연성을 유지할 수 있고, 여름철과 같은 높은 온도에서도 지나치게 유연성이 증가하지 않고 겨울철에도 유연성이 유지되는 좋은 특성이 있다. 이러한 특징은 재질이 매우 유연성이 변하는 PVC나 XLPE 등 보다 유연성이 좋다. 이 때문에 더한 물리적 전기적 특성을 다른 재질이

물리적 특성과 비교 정리하면 표 4와 같다.

표 4 TPU와 PE 재료의 특성 비교

항목	단위	TPU	PVC	PE
내전압강도	kV/mm	25.4-32.7	45.6	20
내전압상수		5.1	8.8-8.5	2.1-2.6
체적저항	Ωm	8-10 ¹⁴	2-10 ¹⁴	10 ¹³
경도	shore d	80A	00P-02B	55-60B
연장		1.85	1.5	0.5
인장강도	MPa	31-40.3	33.2	32-36
파괴신장률	%	525-630	173-230	10-12
충격강도	J/m	1.4	0.9	0.3-0.7
이온저항	mg/1000cm ² h	50	8-13	
내열온도	℃	125	165	90

이 순계를 이용하여 전선일체형 여러 가지 형태를 디자인하였다. 또한, 전선일체형의 구조를 최적화할 위하여 5개의 경우를 만들어 분석해석을 하였다.



그림 5 케이스 1의 전제해석 결과

전선일체형에서 전기적으로 가장 문제가 되는 부분은 전선 일체형의 인접부분에 대한 디자인을 다양하게 하였다.

3.2 전선일체형의 전제해석

전선일체형에 사용되는 전선일체형 전선의 개수적으로 인접한 곳에 설치되기 때문에 전기적으로 인접한 구조의 전선일체형이 많이 고, 전계가 어느 한 곳에 집중이 되면 전계의 집중된 부분에서 쉽게 절연 열화현상이 발생할 수 있다. 따라서 이러한 현상을 최소화하기 위하여 아래와 같이 분석해석을 하였다.

가. 전제해석 조건
기유전율: 두꺼운 전도의 상전압인 11.3KV를 적용 하였다.

나. 분석 대상
① 열점부의 전계집중 정도
② 절연체 내부 상호작용 정도

다. 설계 적용된 재료 조건

1. 도체 : 알루미늄 : 도선종(CMR-007 [Nard], 비유전율(1))
2. 외 피복층 유전체 : 폴리에틸렌 : 비유전율(2.25)
3. 중간층 유전체 : 폴리머이드 : 비유전율(4.3)
4. 절연과 중간층 유전체간 유전체 : 비유전율(2.2)
5. 절연 : 공기 : 비유전율(1.0006)
6. 도선 : 15.300[V]
7. 절연과 중간층 유전체간 유전체 : duralid : 비유전율(2.2)
8. 절연 : 공기 : 비유전율(1.0006)
9. 절연체간 : 도어인 절연체 : 절연화합물 Daken 필딩

라. 해석결과
케이스 1> 케이스 4> 케이스 5> 케이스 3> 케이스 2
의 순서로 분석

그림5에서 제시한 전선일체형 열점부의 디자인 순서대로 전계를 해석한 결과는 다음과 같다.

1) 케이스 1

5개의 모델 중 가장 심하게 전계가 집중되고 있다. 그림 6에서 색이 밝은 장소로 나타난 부분이 전계의 해석이 가장 심한 곳인데 절연체의 두 번째 절연부에 심하게 전계가 집중되고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 상태가 장기간 유지되면 절연에 변형을 가져올 수 있다. 그러나 디자인상으로 보면 열점부가 미흡하므로 되어 있기 때문에 연결해야 할만한 상태가 있다.



그림6 케이스1의 전제해석 결과

2) 케이스 2

5개의 케이스 중 가장 전계의 세력이 떨어져 있다. 또한 절연 부분의 치리도 단순하면서도 잘 연결시킬 수 있는 구조가 아닌가 생각된다. 전계의 분포도 매우 완만하고 집중되는 부분이 없고 도체 내부 채워진을 이루는 곳이 없다. 따라서 절연 내부 전계가 집중되는 부분이 없기 때문에 가장 좋은 디자인이 아닌가 생각된다. 그러나 디자인상으로 보면 열점부가 한 곳에 집중되므로 연결해야 할만한 상태가 있다.



그림7 케이스2의 전제해석 결과

3) 케이스 3

이 경우는 케이스 2에 대해서는 전계가 집중되는 경향을 있으나 그 정도가 매우 미미하다. 따라서 단일 케이스 2가 디자인상에 어려움이 있다면 케이스 3은 전계 분포도 전계는 완만 것으로 생각이 된다. 디자인상으로 분석하면 열점을 절연체가 두개로 구성되어 있으나 절연체가 너무 얇아 연결해야 할만한 상태로 사용된다.



그림8 케이스3의 전제해석 결과

한 케이스 4

케이스 1보다도 확대되어 있지만 노크 내에 선계가 집중되는 현상을 보이고 있다. 따라서 열전달의 내부에 강한 전계 집중이 존재할 수 있을 것으로 사료된다. 다음과 같은 이유로 보면 매우 번갈아가 아순으로 되어 있기 때문에 전압력이 높은 것으로 생각된다.



그림9 케이스4의 전계파장 결과

한 케이스 5

이 경우에는 노크 내의 선계가 집중되고 집중을 할 수 있다. 따라서 장파장으로 이 정도의 전계가 가해지면 제질의 변형을 시킬 수 있을 것으로 사료된다. 전압력의 구조를 보면 두 면에 장파장의 굴곡 정도가 커다라 하여 특이적인 현상이기 될 수 있다.

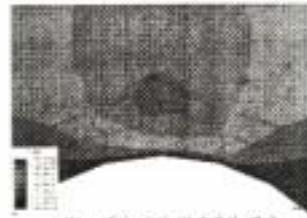


그림10 케이스5의 전계파장 결과

3.3 권선도체의 전기적 재특성

3.3.1 절연 내압 시험(Break down voltage test)

절연내압시험은 권선내압시험을 이례로 같이 시행하였다.

표5 절연내압시험 내역

장차번호	시험 단계	시험횟수	비고
OTS	1.5mm	5회	

절연내압시험을 하기 위하여 권선도체를 구성하고 있는 직렬을 각각 5mm 권선도체 부재가 1.5mm가 되도록 시료를 만들었다. 권선도체의 구조상 절연층은 제작되어 권주 방향으로 흘러는 성질이 있어 권선도체를 향하여 되도록 존재한다. 존재가 끝나면 그림11과 같이 전압을 2.0mm 정도 간격을 한 후 절연체 시료(리프팅)를 넣고 시험용기에 권선도체를 넣는다. 절연체의 기포가 없으면 해리시 기다린 다음 절연이 파괴될 때까지 30분 정도로 전압을 올린다. 이러한 시험을 5회 반복하여 상술을 내어 같은 경우 후 시료두께 1.0mm로 권선도체 권선도체의 절연내압시험을 5회로 같이 하였다.

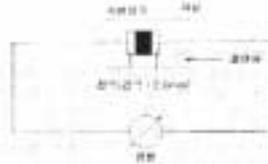


그림11 시험설치의 전기 회로

표6 절연 내압 시험결과

시험횟수	공격 전압 (kV)	주파수 (Hz)	절연내압시험 (kV)	비고
1			37.3	이표두께 1.5mm
2			39.0	
3			35.6	
4	10	61.8	38.1	
5			35.6	
계			182.6	
평균			36.52	
허용값			28.8	이표두께 1.5mm

3.3.2 절연 시험 시험

절연시험시험은 30분내의 제한값을 얻기 위하여 아래에 같이 시행하였다.

표7 절연시험시험 내역

장차번호	시험 단계	시험횟수	비고
절연시험 테스트기	회전속	5회	

시험방법은 그림12와 같이 시험의 표면에 등 배이로를 두 곳에 잡는다. 같은 간격은 5cm로 한다. 등 배이로가 시험의 표면에 완전히 부착되도록 한다. 또한 절연체의 절연시험 테스트기의 단자를 등 배이로에 넣고 테스트기의 배너를 누른다. 이런 절차를 5회 계속한다. 이 같이 제한값으로 절연시험결과를 한다.

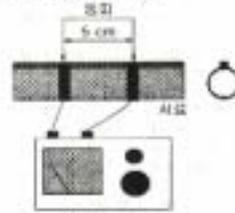


그림12 절연시험 시험

표8 절연시험 시험결과

시험횟수	시험 단계	시험전압 (kV)	절연시험 (kV)	비고
1	5	1.000	0	
2	5	1.000	0	
3	5	1.000	0	
4	5	1.000	0	
5	5	1.000	0	
계			0	

상기 표와 같이 절연시험 값이 0으로 매우 부족한 것으로

로 나타났다.

3.3.3 주사 열량 분석 시험

본 재료의 용융점을 알아보기 위한 시험은 하대와 같이 하였다. 시료는 매우 얇은 쪽으로 폭의 간격이 일정하게 구분다. 한편 시료를 주사 열량 분석기에 넣고 시험하였다. 분석결과에 의하면 용융점이 330°C이다. 그림13의 그래프를 보면, V자 곡선의 양쪽이 거칠게 형성된 것으로 보아 재료에 불순물이 포함되어 있는 것으로 생각된다.

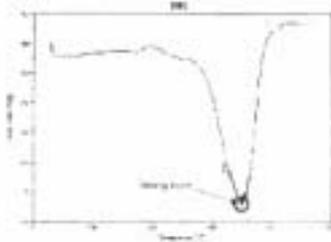


그림13 주사 열량 분석 곡선

4. 결 론

신축공식 선적 또는 순축시 시인된 재료는 상당 많은 수량으로 결구된다. 작고일 배원선으로 의하여 일정한 지를 지하는 형태로 사용되고 있는 라일호스가 있다. 이 재료는 당시 내상으로부터 비파괴에 있는 것이 존재하는지 사용하고 있다. 그러나 본 연구에서 언급하고 있는 전신선재는 내상물과 당시 적용되는 것을 전체로 한 것이다. 특히, 사용까지 두는 내상물질과 같이 간헐적으로 접촉이 지속되는 곳에 사용하는 것을 대상으로 하고 있다. 따라서 내이도성을 높이고 무분쟁전에 의해 적절한 신뢰성을 하고, 누설전류에 의한 크래키의 현상(한 화상성) 등을 방지할 수 있을 것으로 생각된다. 결과적으로 수직의 전이현상을 줄여 가로수 높의 수축이 발생하고 수축에 의한 전이현상을 줄이고 배원선재의 고장률을 줄여 신뢰성에 도움이 될 것으로 생각된다. 특히, 현재 사용하고 있는 재료의 결구상 때문에 발생현상 또는 누설의 지점에 문제가 있으나 본 연구에서 사용된 재료는 유연성이 좋아 작업성을 높인 것에 특징이다.

그러나 아직 현장에 적용하여 장기 분해에 의해 발생할 수 있는 문제점에 대한 검토 과정을 거쳐서 보편하는 것과 활용현상은 보다 쉽게 할 수 있는 작업방법이 제시되는 과제가 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) 고주열 공학, 1987, 정일규, 이치훈, 김, 문순환, 567-571, 211-240.
- (2) 고주열 재료용 관선의 설계기준 대해 연구개발 요약 보고서, 1986, 30, 한국전력 연구연구원, 467-48.
- (3) 서울대학교 박이서 교수 연구에 관한 연구, 1980, 한국전력 연구연구원, 122-136.
- (4) 정일규, "배원선재 고장현상을 위한 결구상을 분석하고 그 결구형태", p.235-240, 1989.
- (5) 한국전력연구원, "보편 전선 단선사고 방지 대책 연구결과", p.33-53, 1987.
- (6) 서울대학교, "전선배열의 결구 및 안전성시험", p.16-25, 1982.
- (7) 한국전력공사 중앙연구원 배원선연구팀, 1989, 배원선장 3, p.87, 2005.



4. 가로수용 전선피복덮개 시공방법(순서)

전선보호관 시공 순서(시공 방법)

①



제품포장을 풀고 보호물을 분리한다.

②



작업구간의 후방부에서 제품을 전선에 씌운다. 이때 시작(첫부분)점에 결속 보호 크립을 끼운다.

③



제품을 전방부로 밀면서 동시에 결속 부분을 압착하여 결합 시킨다. 이때 보호크립을 사용하면 용이함.

④



전선을 모두 씌운 후 나머지는 칼로 절단하여 마무리 한다.

⑤



마지막 끝 지점에 결속보호 크립을 끼운다.

5. 가로수 실태

- 잘 관리된 가로수



저녁 단양



일본 동경



충북 청주



독일 뮌헨

- 비정상적으로 관리되는 가로수



고압전선으로 인해 불균형한 가로수(강원 평창 오대산입구)



불균형한 버즘나무(서산)
- 121 -



불균형한 양버즘나무(경기도 구성)



불균형한 버드나무(해미읍)