

## 서울메트로 전력케이블 장애현황 분석

위삼복\*, 정노건\*, 김재문\*, 김양수\*  
한국교통대\*

### Seoulmetro Power Cable`s Obstacle situation analysis

Sam-Bok Wi\*, No-Geon Jung\*, Jae-Moon Kim\*, Yang-Su Kim\*  
Korean National University of Transportation\*

**Abstract** - This research paper is to analyze the specific situation for the 157 failure cases of Seoul Metro power cable since 1990 and to consider the countermeasures. This is, also, to prevent accidents by analyzing the current state of each Line, the failure of causes, railroad tracks, installation year, opening year, and monthly failure conditions and by presenting the countermeasures. In addition, this research is to discuss the present installation situation of Seoul Metro power cable, the types of power cable, symptoms, causes and the countermeasures.

### 1. 서 론

전기에너지는 전선을 통해 흘러 이동하며, 전선의 열화(劣化) 등에 의해 전기에너지가 외부로 유출될 경우, 전기제대로 진전되기도 한다. 일반적으로 전압 레벨이 높아질수록 사고범위가 확대되고 이에 따라 경제적 손실도 증가된다. 케이블은 절연을 확보함과 동시에 원활한 전기에너지의 이동을 확보하는데 있다. 절연이 확보되지 못하면 설비사고나 기기의 피로 누적에 의한 사고로 진전된다. 전기철도의 급전방식에는 교류급전방식과 직류급전방식이 있다. 본 논문에서는 전기철도 시스템 중 직류급전방식의 대표적인 서울메트로 전력케이블 장애현황에 대해 분석하였다. 서울메트로 전력케이블을 용도별로 구분하면, 수전선로, 연락송전선로, 고압배전선로로 나눌 수 있다. 전력케이블의 사고의 과급효과는 매우 커서 정전상태는 물론, 화재로 진전하거나 인명피해를 입히는 등 다양한 형태의 손실을 발생시킨다. 서울메트로 전력케이블 사고 현황을 집계한 1990년 이후 전력케이블 장애현황은 총 157건이 발생되었다. 본 논문에서는 서울메트로 전력 케이블 장애 157건에 현황을 분석하고 대책에 대해 고찰하고자 한다.

### 2. 본 론

서울메트로 전력케이블 장애는 157건에 대해 호선별, 원인별, 선로별, 설치년도별, 개소별, 월별 장애현황에 대해 분석하고 대책을 제시하여 동종의 사고가 일어나지 않고 장애를 사전에 예방하는데 목적이 있다. 전력케이블의 장애에 가장 밀접한 것이 열화이다. 열화의 종류, 원인등과 서울메트로에 설치된 전력케이블의 종류, 용도에 대해 고찰하고자 한다.

#### 2.1 서울메트로 장애현황

서울메트로의 전력케이블은 총 651회선 1,999[km]가 설치되어있고, 표1에서 보듯이 호선별 장애현황을 살펴보면 2,3,4회선 순으로 빈도수가 높았다.

〈표 1〉 호선별 장애현황

호선	설치물량[km]	발생건수	비율[%]	비고
1	110	29	18.47	
2	835	66	42.04	
3	591	32	20.38	
4	463	30	19.11	
합계	1,999	157	100	

〈표 2〉 장애원인별 장애현황 분석 및 대책

발생원인	발생건수	비율[%]	비고
절연과피	119	75.80	
시공불량	27	17.20	
화재	7	4.46	
기타	4	2.55	

전력케이블의 사고의 주된 요인은 표2에서 보듯이 절연과피 및 시공불량이 대부분을 차지(93%)하고 있고, 대책으로는 접속작업 정밀시공 및 감독철저, 전력케이블 노후설비 개량공사 지속추진, 수축(온도변화)에 대해서는 지상부접속재 레진형, 지하부는 조립형으로 하고 접속부 양측에 열 수축 튜브 보강, 전력케이블 포설환경 개선 등이 있다.

〈표 3〉 선로별 장애현황 분석 및 대책

선로별	발생건수	비율[%]	비고
수전선로	68	43	
연락선로	23	15	
고압배전선로	66	42	

급단전이 빈번한 선로인 수전선로와 고압배전선로 사고가 대부분을 차지(85%)하고 있고, 대책으로는 전력케이블 열화진단등을 통하여 지속적인 관리가 필요하다.

〈표 4〉 설치년도별 장애현황 분석 및 대책

설치년도	발생건수	비율[%]	비고
1975~1980	51	32.48	
1981~1985	68	43.31	
1986~1990	0	0.00	
1991~1995	15	9.55	
1996~2010	23	14.65	
2011~2014	0	0.00	

20년 이상 노후화된 전력케이블의 사고율이 대부분을 차지(75.79%)하고 있고, 대책으로는 내구연한이 경과된 케이블은 우선순위를 정하여 점진적으로 교체 공사를 해야 할 것이다.

〈표 5〉 개소별 장애현황 분석 및 대책

선로별	발생건수	비율[%]	비고
접속개소	56	35.67	
비접속개소	101	64.33	

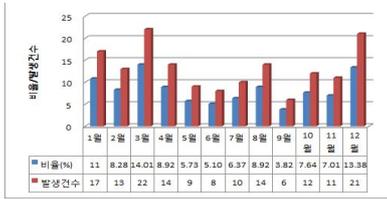


〈그림1〉 비접속개소



〈그림2〉 접속개소

전력케이블 비접속개소가 접속개소보다 비율이 높지만, 최근 5년간 사고현황은 접속개소에서 62[%], 비접속개소에서 38[%]가 발생 하였다. 대책으로는 접속개소는 정밀시공 및 감독철저, 비접속개소는 주로 굴곡개소에서 장애가 많이 발생하므로 케이블 포설시 최소 8D이상되도록 케이블을 포설한다.



〈그림 3〉 월별장애현황

전력케이블 장애는 여름철 보다는 겨울철의 사고 빈도수가 많았고, 월별로는 3월, 12월, 1월순으로 발생빈도수가 높았다. 대책으로는 정기점검 주기를 빈도수가 작은 5월경이나 9월경으로 하여 사고를 미연에 방지할 수 있도록 사전점검을 하여야 한다.

## 2.2 서울메트로 전력케이블 종류

### 2.2.1 특고압선로(수전선로, 연락송전선로)

수전선로는 한전 변전소에서 지하철 변전소간 연결되는 선로로서 1985년 계통당시는 22.9kV CN/CV 100mm<sup>2</sup>~400mm<sup>2</sup>로 다양한 굵기로 설치되었다가, 최근에는 난연성이 첨가된 22.9kV FR CN/CO-W (22.9kV-y 가교 폴리에틸렌절연 동심중성선 수밀형 저독성 난연 전력케이블)로 전량 교체되었고, 케이블 굵기 또한 325mm<sup>2</sup> 1C×3 로 규격화, 표준화 되었다.

연락송전선로는 지하철 변전소 상호간 연결되는 전력케이블로서 1985년 계통당시는 22.9kV CV 100mm<sup>2</sup>~400mm<sup>2</sup>로 설치되었다가 최근(2011년)부터 난연성이 첨가된 22.9kV FR CN/CO-W 250mm<sup>2</sup> 1C×3 로 표준화, 규격화되어 교체공사가 진행되고 있다.

〈표 6〉 22.9kV(특고압) CV 전력케이블의 종류

구분	품명(기호)	특징
제대형	CV/CN	생산중단
수밀형	CN/CV-W	도체공간을 매꾸 : 확산방지
난연저독형	FR CN/CO-W	연소시 유독가스 방지
수트리억제형	TR CN/CV-W	수명 신뢰성 향상

### 2.2.2 고압선로(고압배전선로)

고압배전선로는 지하철변전소에서 전기실까지 연결 되는 선로와 전기실간(역간) 연결되는 케이블로서 계통당시에는 CV 38mm<sup>2</sup>~250mm<sup>2</sup>로 설치되었고 최근에는 난연성 케이블인 6.6kV HFCO-W (가교폴리에틸렌절연 수밀형 저독성 난연 폴리 올레핀시스 전력케이블)로 교체가 이루어지고 있다. 변전소에서 전기실간 고배 메인케이블은 240mm<sup>2</sup>로 규격화, 표준화를 이루었고, 전기실간 상호 연결되는 고압배전선로는 호선별로 다소 차이가 있다. 1,3,4호선은 50mm<sup>2</sup>~240mm<sup>2</sup> 1C×3, 2호선은 150mm<sup>2</sup> 로 설치되었다.

## 2.3 전력케이블 열화(劣化)

### 2.3.1 전력케이블의 열화 개요

전기기기에 이용되고 있는 각종 고분자 절연 재료는 열, 전기, 환경 및 기계적 요인들에 의한 스트레스를 장기간 받으면 초기의 물성치를 유지하지 못하고 변질되기도 하고 극단적인 경우 파괴 되기도 하는데 이것을 열화(劣化)라고 하며 이로 인해 수명이 저하 하게 된다. 케이블의 열화진행은 케이블 자체가 가지고 있는 결함의 형태, 조건, 사용환경등에 따라 크게 좌우되며, 이 주요 요인들에 따라 수트리, 화학 트리, 전기트리로 나눌수있다. 여기서, 트리는 말은 그림과 같이 열화 진행되는 모양이 나뭇가지 모양 같다고 해서 트리라 칭해지고 있으며, 수트리는 케이블 내에서 수분이 존재하면 국부적으로 고 전계가 발생하는 분위기에 포설된 케이블의 경우에 황화물이 PE층을 투과하여 도체인 동과 반응하여 황화물을 만들고 운전중에 이러한 분자들이 외부로 나가면서 나무 모양으로 성장하여 가는 것이고, 전기 트리는 케이블 내 공극이나 돌기와 같은 결격지점 에서 부분 방전에 의해 부분적으로 나뭇가지 모양과 유사형태로 진전되는 트리로서, 궁극적으로는 절연 파괴로 이어지게 된다. 전력케이블의 설계 내용 년수는 30년이지만 실제 수명은 8~12년 정도이고, 평균 5'6년 정도가 지나면 사고가 급증하고 있는 현실이다. 전력케이블은 일반적으로 절연 저항 측정값이 1기가 이상(전선회사에서는 1.5기가 이상)이 되면 양호라고 한다. 하지만, 전력케이블의 잔존 수명을 예측 하기 위해서는 신뢰도 높은 열화검출법이 필요하다.

### 2.3.2 전력케이블 열화 종류

전력케이블이 시간의 경과에 따라 절연 성능이 저하되는 열화는 보통 구성재료의 변질에 의한 성능(품질) 저하의 원인에 의하여 발생한다. 즉 전압, 열, 수분, 화학물질과 개미 쥐 등의 생물이 있고, 접속개소의 시공불량에 의한 보이드 발생, 클랙, 이물질 혼입, 수분침투 등의 열화 요인이 있다. 전기적 열화 원인에는 운전 전압, 과전압이고 서지전류이고 형태는 부분

방전 열화, 전기트리, 수트리로 나타난다. 케이블 제작중에 절연물에 혼입된 이물이나 공극(Void), 포설 공사중에 받은 스트레스에 의해 생긴 균열부분에 전계가 집중 하여 부분방전이 발생되고, 진도전류, 유전체손, 전자기력에 의한 전기적 스트레스가 절연열화의 발생 원인이 되고 있다.

온도(열)에 의한 원인에는 이상온도 상승, 열신축 이고 형태는 열에 의해 재질이 화학적으로 변화된다. CV케이블의 절연체가 열(온도) 상승에 따라 고분자 연결 고리의 분열반응으로 화학적 반응이 촉진되고, 비닐시스는 높은 온도 또는 증기에 의해 가스체가 추출되어 경화한다. 따라서 전력케이블의 온도상승 한계는 절연재료의 열학적 관점에서 결정되어야 한다.

〈표 7〉 전력케이블 열화증상 및 원인

증상	주요원인
갈라짐	부하전류 고다통전
형상 또는 색상변화	전계불량, 주위온도의 이상고온
팽윤(부풀어오름)	화학약품, 부식성가스, 이상열 노출
단자부 발열	조임, 압축불량
절연또는 스위스파괴	개폐서이지 유입
케이블의 발열	전계불량, 고조파 유입
스위스표면트레킹	접시불량지속
접속점 내부 트레킹	접속시공 잘못 지속
스위스 손상	설치류 피해, 기계적 타박
수트리	스위스손상, 접속잘못, 취급부주의
도체, 차폐체의 부식	수분침투,(스위스손상, 접속잘못)

## 3. 결 론

사고분석은 전기제해의 재발방지를 위한 중요자료로서 열화의조건 또는 주변환경을 개선하는 효과로 이용될 수 있다. 본 논문은 사고 케이블의 원인 분석에 중요한 자료가 될 것으로 판단된다. 최근 25년 동안의 서울메트로 전력케이블 장애현황 157건을 원인별, 선로별, 설치년도별, 개소별, 월별 분석결과는 다음과 같다.

- 1) 접속작업 정밀시공 및 감독철저, 전력케이블 노후설비 개량공사 지속추진하고, 수축(온도변화)에 대해서는 지상부접속재 레진형, 지하부는 조립형으로 하고 접속부 양측에 열 수축 튜브 보강, 전력케이블 포설환경 개선하여야 한다.
- 2) 전력케이블 열화진단을 정례화하여 조기예방하는 대책이 필요한 것으로 사료된다.
- 3) 전력케이블 열화진단을 통해 얻은 결과값으로 전력케이블 교체 의 우선순위를 정해 교체하여 사고를 최소화 해야 한다.
- 4) 곡선구간 전력케이블 포설시 곡선반경은 최소8D이상으로 포설, 시공도록 하여 굴곡개소를 최대한 완만하게 시공하여야 한다.
- 5) 전력케이블 정기점검 시기를 사고 빈도수가 작은 5월, 9월경에 실시하여 사고를 최소화 하여야 할 것으로 사료된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 전기철도 급전시스템과 보호, 김정철, 기다리2004, p368
- [2] 전기설비의 진단기술, 일본전기학회, 대한전기협회 공역, 1994
- [3] NEW 전기철도기술사 해설, 정창희, 동일출판사, 2010, p14
- [4] 최신 전기철도공학, 양병남, 성안당 2008, p19
- [5] 전기철도공학, 김양수, 유해출, 동일출판사 2008, p10
- [6] 열화진단 Manual, 전기협동 연구회, 1992
- [7] 전기설비 진단기술, 전기학회, 1998