



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2019年

2月

碩士學位論文

전기철도 전력시스템의
유형별 고장분석 및 신뢰성 향상

李相錄

2019年 2月

碩士學位論文

전기철도 전력시스템의 유형별 고장분석 및 신뢰성 향상

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

李 相 錄

2019年 2月

碩士學位 論文

전기철도 전력시스템의
유형별 고장분석 및 신뢰성 향상

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

李 相 錄

전기철도 전력시스템의 유형별 고장분석 및 신뢰성 향상

Reliability Improvement and Analysis by Fault Types
for Electric Railway Power System

2019年 2月 25日

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

李 相 錄

전기철도 전력시스템의 유형별 고장분석 및 신뢰성 향상

指導教授 崔 孝 祥

이 論文을 工學碩士學位 申請論文으로 提出함

2018年 10月

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

李 相 錄

李 相 錄의 碩士學位 論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 教授 조 금 배 (印)

委 員 朝鮮大學校 教授 최 연 옥 (印)

委 員 朝鮮大學校 教授 최 효 상 (印)

2018年 11月

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

목 차

I. 서론	1
II. 이론적 고찰	2
A. 송변전 . 전철 . 전력	2
1. 전기철도 송변전 설비의 개요	2
2. 전기철도 전차선 설비의 개요	4
3. 전기철도 전력 설비의 개요	5
B. 주요시설물 현황 및 고장원인 진단	7
1. 전기철도 시설물 현황	7
2. 송변전 전철 전력설비 고장원인 진단	11
III. 원인 분석 및 대책	15
A. 전기철도 설비별 고장원인 분석	15
1. 송변전 분야	15
2. 전철 분야	19
3. 전력 분야	22
B. 전기철도 설비별 고장예방 대책	25
1. 송변전 분야	25
2. 전철 분야	25
3. 전력 분야	26
IV. 예방보전 활동 및 관찰	27

A. 고장예방 보전 프로세스	27
1. 전기철도 시설물 유지보수 및 점검방법 분석	27
2. 효율적인 PM(Preventive Maintenance) 정책	30
3. 전차선로 보호설비 적용 및 관찰	32
V. 결론	36
참 고 문 헌	37

List of Tables

Table 2-1 전기철도 변전설비 현황	3
Table 2-2 전기철도 전철설비 현황	4
Table 2-3 전기철도 수배전 설비 현황	6
Table 2-4 전기철도 전력설비의 분류	6
Table 3-1 광주본부 변전소 년별 고장 현황	15
Table 3-2 광주본부 변전소 월별 고장 현황	16
Table 3-3 광주본부 변전소 요인별 고장 현황	16
Table 3-4 변전설비 최근 5년간 설비별 고장 분석	17
Table 3-5 변전설비 최근 5년간 월별 고장 분석	18
Table 3-6 변전소 설비별 고장 현황	18
Table 3-7 변전소 년별 고장 현황	19
Table 3-8 전철설비 운행선별 급전장애 현황	20
Table 3-9 전철설비 최근 5년간 월별 고장 현황	20
Table 3-10 전철설비 요인별 고장 현황	21
Table 3-11 전철설비 최근 5년간 설비별 고장 현황	22
Table 3-12 전력설비 운행선별 고장 현황	22
Table 3-13 전력설비 월별 고장 현황	23
Table 3-14 전력설비 설비별 고장 현황	23
Table 3-15 전력설비 원인별 고장 현황	24
Table 4-1 전기철도 검측차 보유 현황	28
Table 4-2 전차선로 순회 방법 및 점검주기	29
Table 4-3 전차선로 검측차 점검방법 및 주기	29
Table 4-4 구간별 애자 청소주기	30
Table 4-5 전철 변전소 고장점표정장치 설치 현황	34

List of Figures

Fig. 2-1 호남선 고압배전선로 급전계통도	7
Fig. 2-2 전기철도 전력용 CU 구성도	8
Fig. 2-3 호남선 광주송정역 수변전실 전력용 CU	8
Fig. 2-4 호남선 광주송정역 수변전실 C-GIS	10
Fig. 2-5 전기 기기의 열화 및 고장 베스테르브 커브	12
Fig. 4-1 전차선로 검측차 DATA	28
Fig. 4-2 PM전 Bath-tube	31
Fig. 4-3 PM후 Bath-tube	31
Fig. 4-4 일정기간 전기철도 설비교체 정책	31
Fig. 4-5 호남선 전차선로 장애예방을 위한 개선책	33
Fig. 4-6 광주송정역 수변전실 개량된 전력설비	34
Fig. 4-7 노안SS 2층 전철배전반	35

ABSTRACT

Reliability Improvement and Analysis by Fault Types for Electric Railway Power System

Lee Sang-rok

Advisor : Prof. Hyo Sang Choi

Electrical Engineering Technology

Convergence

Industrial Technology Convergence

Graduate School of Chosun University

The role of electric railway is crucial in meeting the demand for timely and timely railway. The main interest of this study is to secure the high performance and nystagmus of system stabilization circuit of electric railway is being used as a representative person of the train instead of the existing diesel vehicle due to the close hardness, high efficiency, high efficiency and regularity by using the electric energy. The korean power is receiving the 3phase 154Kv power and the SCOTT transformer The large railway train is designed to be able to hang on the rail at a speed of 300KM/h with the dynamic action of the electric line and the pantograph by receiving the electric energy converted into single phase power through the electric railway.

The internal and external problems caused the delays and stoppages of railway trains to be delayed and the reliability and timeliness of the railway were maintained. The effect of the railway system on the

inconvenience and economy of the citizens would also be considerably large. Among the many facilities of the electric railway system. Collecting problems by disabilities in the field The results of this study are as follows. in this study, we analyze and compare data frame of specific area of railway system in specific area for five years from 2014 to 2018 and perform simulation and apply it to conservation and maintenance of actual railway cost, And it will be a great help to maintain the reliability of the equipment.

I. 서론

국내 철도는 1896년 미국인 모스에게 경인선 철도 부설권을 허가해주면서 시작되었다. 1899년 노량진에서 제물포간 개통을 시작으로 국내 여객 및 화물의 수송을 담당하며 한국의 경제발전에 이바지 하고 있다. 21세기 교통혁명의 주역인 고속철도는 국토의 균형적인 발전은 물론 경제, 정치, 문화와 사회 여러 분야에서 커다란 변화가 시작되었다. 전기철도는 환경 친화적 운송수단으로 안전성, 신속성, 효율성이 뛰어나 점차적으로 전기철도 가선구간이 늘어나고 있으며, 전기철도는 시스템의 신뢰성을 바탕으로 대량수송 및 정시성을 확보하고 있으며, 고장으로 인한 열차지연은 국가경제 발전에 민감한 영향을 주고 있다. 따라서 전기철도의 설비에 대한 안전은 포괄적으로 계획하고, 설비의 유지보수 담당자는 승객 및 공중에 대한 모든 안전규칙을 준수하고 열차 안전운행을 확보해야 한다.

전기철도에서 송변전과 전철, 전력 분야의 높은 설비 품질 유지의 목표로 장애 발생 유형별로 설비를 분류하여 분석하였고, 시공 표준에 의한 기준 값과 비교 분석하여 유지보수 여부를 판단하는 기준을 만들었다.

본 연구에서 철도시스템의 핵심적 설비인 송변전과 전철, 전력 파트의 안정적인 운영과 효율적인 관리방향을 제시하고 분야별 고장사례 및 문제점 등을 분석하고 비교하여 안정적인 시스템 유지보수가 되도록 유도하였고, 또한 고장유형별 신뢰성과 안정성을 바탕으로 핵심기술 적용방법과 관찰을 통한 시설물 관리의 신뢰성 향상 방법을 연구하였다. 전기철도의 대량수송과 정시성을 유지하기 위한 설비의 신뢰성 유지와 현재 운영 시스템의 문제점 등을 파악하여 비교 분석하였다.

II. 이론적 고찰

A. 송변전 전철 전력 설비

1. 전기철도 송변전 설비의 개요

국내 전기철도 급전 방식은 크게 직류 1500v를 변전소에서 공급받아 급전하여 사용하는 서울을 포함한 대도시의 지하철과 교류 단상 25kv를 급전하는 철도의 지상 전기철도의 2가지 급전 방식이 있다. 지하철구간 급전 방식은 전압이 낮고 대 전류 이다. 따라서 전차선에 전압을 유지하고 설비의 전식 방지를 위해서는 레일 전압이 낮게 설계되어야 한다. 그러므로 변전소 간의 설비 간격을 짧게 하고 직류 변전소를 병렬로 구성하여 급전하고 있다. 전기철도 중 교류 철도는 강원도 산업선에 일부 운영 중인 BT(Booster transformer)구간 외 모두 AT(Auto-transformer) 급전 방식으로 구성되어 있다. 국내 전기철도는 방면별 급전 방식을 선택하고 있다. 방면별 동상급전 방식과 상하행선별 이상급전 방식의 교류급전 방식이 있다. 상하행선별 이상급전은 위상이 90°인 Scott 결선 변압기는 M상과 T상 전압을 상, 하행선에 각각 급전하여 변전소 앞에 이상용 절연구분 장치가 필요 없고 열차는 고속으로 운행할 수 있다. 이상급전 방식인 상하행선별 전류의 위상각 차이가 90°이므로 병행 통신선로 시설물에 대한 유도 장애 전압이 방면별로 급전의 $1/\sqrt{2}$ 이 된다. 상하행선별 이상급전은 설비의 고장으로 보수시 단선 운전을 하는 경우 한상의 변압기에 부하가 걸리게 되어 전압 변동을 높게 하고 전원 계통의 불평형을 증가 시킨다.

국내에서 많이 사용하고 있는 방면별 급전 방식은 설비 면에서 역구내의 건널선용 이상 구분용 절연 구분 장치가 필요 없으므로 설비의 구성이 단순하여 역간의 거리가 매우 짧은 국내 전기철도에 적합하다. 급전 구분소(SP-Sectioning post)에서 상선과 하선이 동상이고 상선과 하선을 병렬로 결선하는 타이(tie)결선을 하여 전압 강하를 경감시키고 건널선의 아크를 없애 회생제동 효율을 증가시키는 장점이 있다. 표 2-1은 2018년 기준 전기철도 변전설비 현황이다.

Table 2-1 전기철도 변전설비 현황 [2018년 1월 1일 기준]

구분		단위	계	일반철도	고속철도	비고
변전소 (ss)	직류	개소	5	5	-	
	교류	"	56	43	13	"
급전구분소 (SP)		"	67	52	15	"
보조급전구분소 (SSP)		"	157	156	1	"
병력급전소 (PP)		"	42	-	42	"
급전제어소 (CC)		"	1	1	(1)	"
송전선로 (연장)	가공	Km	751.7	565.7	186.0	"
	지중	"	676.1	474.0	202.1	"
	계	"	1427.8	1039.7	388.1	"

1) SCOTT 결선 변압기

Scott결선 변압기는 3상에서 단상을 얻기 위하여 단상 변압기 2대를 T결선하여 3상 전원에서 상차각 90°인 단상 2회선을 공급하도록 만든 변압기이다. Scott결선 변압기는 T상 권선이 M상 권선의 중앙점에 결선되어 있으므로 T상의 전류가 M상 중앙점에서 M상 좌우 양쪽 권선에 각각 균등하게 흐르게 되어 M상 철심에는 서로 Ampere_turn수가 같고 방향이 반대인 자속이 발생하여 자속이 서로 상쇄되므로 M상 변압기 임피던스는 T상 변압기 전류 흐름에 영향을 미치지 않게 된다. 따라서 T상 변압기 임피던스 Z_T 와 M상 변압기 임피던스 Z_M 이 같게 되면, 즉 $Z_T=Z_M$ 이 되면 T상과 M상의 변압기의 전압 강하도 같게 된다.

2. 전기철도 전차선 설비의 개요

전차선로는 급전선로와 귀선로 같은 전기적 회로를 구성하여 전기철도의 지상에의 고정된 철도 시설물에서 나오는 전기에너지를 이용하여 차량을 견인하는 중요한 철도시스템의 구성요소이다. 열차가 고속으로 운행하기 위해서는 전차선과 팬터그래프 간의 이션현상을 방지하고 양호한 전기적 운전을 위해서 전차선과 레일면을 일정한 높이로 유지하고 가고를 크게 하여 압상력을 균일하게 하며 가공 전차선로는 팬터그래프를 통해 전기차량에 에너지를 공급하는 인터페이스 역할을 담당하고 있기 때문에 기계적이고 전기적 특성을 고려하여 재질이나 속도가 결정되며 가선장력도 고려되어진다. 전차선로는 고속으로 달리는 열차에 전기에너지를 공급하는 전차선과 전차선을 지지하며 전류를 부담하는 조가선 및 드로퍼와 이를 지지하는 가동브래킷과 장력장치 등으로 구성되고 있다. 전차선을 제외한 나머지 시설물은 전선 종류가 연선이며 가닥 단선이 발생하면 전선이 풀리면서 빠르게 단선으로 진행된다. 유지보수가 매우 어려운 전차선로는 대기환경과 순환전류, 열차 통과 횟수와 진동, 장력상태와 부식 등을 고려하고, 가동브래킷과 곡선당김금구는 기계적인 특성을 고려하여 유지보수 하여야 한다. 표 2-2은 국내 전기철도 전철설비 현황과 선로의 영업거리와 전철화율을 보여주고 있다.

Table 2-2 전기철도 전철설비 현황 [2018년 1월 1일 기준]

구분	단위	계	일반철도	고속철도	비고
전철 영업 거리	Km	2,994.4	2,337.1	657.3	전철화율 72.3% 철도거리 4,139.3Km
전차선 가선거리	Km	9,082.9	7,377.1	1,705.8	-

3. 전기철도 전력 설비의 개요

철도 전력설비는 철도 시설물 운영과 열차운전에 중요한 역할을 담당하고 있는 설비이다. 전기 동차의 운전에는 필요한 운전용 전력의 공급을 비롯하여 조명설비, 동력설비, 신호 보안설비, 통신설비 및 여객서비스의 부대설비 등이 모두 전기로서 운영되고 있기 때문이다. 현재 우리나라 철도가 추진하고 있는 열차의 고속화와 안전운행을 위한 전력 시설의 첨단화 및 자동화가 필요하다.

초기의 전력설비의 정비에는 고장이 발생했을 경우 최초로 대응하는 사고 후의 보전적인 생각이 많았다. 그 후에 일정한 기간마다 기기들의 부품 교환이나 주기적 점검을 실시하고 돌발 사고를 방지하는 예방보전[PM]이 도입되어 설비의 신뢰성 유지에 기여해 왔다. 그러나 현시대에는 고품질의 안정적인 전력공급이 요구되고 있으며, 전기 설비의 원활한 운용과 신뢰성 확보를 가장 중요하게 생각하기 때문에 예방보전[PM]만으로 전기설비의 안전을 장담할 수 없다. 전기철도 수배전 설비의 경우 정지하지 않은 상태에서 즉, 운영 중에 진단을 행하는 것이 무엇보다 중요하다. 최근 기술 동향은 설비들의 고장을 미연에 포착하여 사고를 미리 예지하고 위험한 사고로 진행되기 전에 설비를 보완하는 예측보전 기술들을 중심으로 사고의 예방이 이루어지고 있다. 사고의 예측 보전 기술은 설비의 상태를 정량적으로 분석하여 이상 징후를 초기 단계에 감지하는 이상예지 진단과 설비 성능의 내구연한(耐久年限) 변화에 착안하여 설비들의 노화진단을 중심으로 발전하고 있다. 국내 전기철도 전력설비의 현황과 전력 소비 실태를 살펴보면 표 2-3와 표 2-4와 같다.

Table 2-3 전기철도 수배전 설비 현황 [2018년 1월 1일 기준]

구분		단 위	계	일반철도	고속철도	비 고
배전 선로	가선거리 (영업거리 기준)	KM	6,088.36	4,851.16	1,237.2	-
	가선연장		18,265.08	14,553.48	3,711.6	-
수전변전설		개 소	149	131	18	-
비상발전기 (100KW이상)		대	18	13	5	-

Table 2-4 전기철도 전력설비의 분류

설비기준	세부설비 및 기능
전선로 설비	○송. 배전선로 ○전차선로 ○옥내배전선로
수변전 설비	○수전설비 ○변전설비
동력용 전원설비	○차량 정비차 . 역사의 동력기기 ○차량검수 설비 ○급수 및 냉난방 설비
조명 설비	○청사 . 역소 . 정차장의 조명등 ○주차장 . 구내외 투광등
신호통신 전원설비	○신호기기 ○전철기 ○전화교환 및 전력 원격제어 설비
전산기기설비	○승차권 전산화 ○역무자동화 설비 ○전철 및 전력의 원격제어 설비
여객서비스 및 기타설비	○열차시각안내표지 ○승차권 자동판매기 ○광고설비 및 기타설비

B. 주요시설물 현황 및 고장원인 진단

1. 전기철도 시설물 현황

a) 수배전반

전력 계통 시스템의 감시와 보호를 위하여 사용되는 설비로 기기와 구조물 등과 이들 장비들을 연결하여 접속하는 전선의 집합체로 구성되어 있다. 전자화 배전반(Intelligent Digital Switchgear)은 산업과 기술의 발달과 함께 대용량화되는 복잡한 전력계통을 Digital Network System Integration 기술을 적용하여 효율적인 계통 운용을 위하여 배전반 내에 각종 전자화 제어계전기들을 내장하여 배전반의 Digital System Integration Network화의 실현으로 신뢰성 증가와 설비의 경량화 및 소형화를 이룬 시스템의 복합체이다. 그림 2-1은 호남선 고압 배전선로 급전계통도이다.

b)원격소규모제어장치(Supervisory control And Data Acquisition System)

철도의 집중 원격감시제어 시스템 또는 원방감시제어 데이터수집 시스템이며 SCADA System은 디지털이나 아날로그 신호를 이용하여 원격지에 있는 장치의 상태나 정보들을 원격 소장치(Remote Terminal Unit)로부터 수신하고 표시하여 중앙에서 원격장치를 감시하고 제어하는 시스템이다.

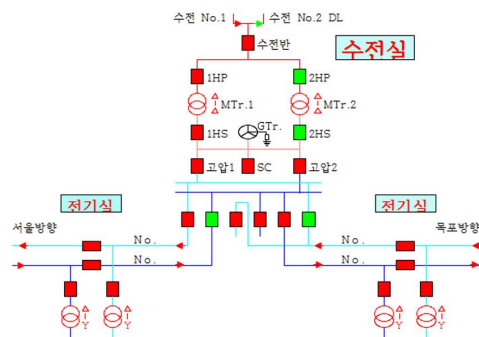


Fig. 2-1 호남선 고압배전선로 급전계통도

설비들의 각각을 원격지에서 상태 파악이 가능하고 설비들의 상태를 DB화하여 설비들의 위급한 상태에 대응하여 다양한 방법으로 원격지로 통보가 가능하며 자동제어 기능들이 부가적으로 추가되어 무인 운전이 가능한 시스템 집합이다. SCADA System은 전기실 배전반에 취부 되며 소규모제어장치에서 전송된 데이터를 분석하여 보내온 메시지의 명령을 수행하기 위하여 자료를 디지털 전력 보호감시 제어장치(IED)에 전송하는 역할을 한다. 또한 모든 디지털 전력 보호 감시제어장치의 데이터를 소규모제어 장치나 SCADA 장치로 전송하는 역할을 한다. 그림 2-2는 전기철도 전력용 CU 구성도이며, 그림 2-3는 광주송정역 수변전실 전력용 CU의 모습이다.

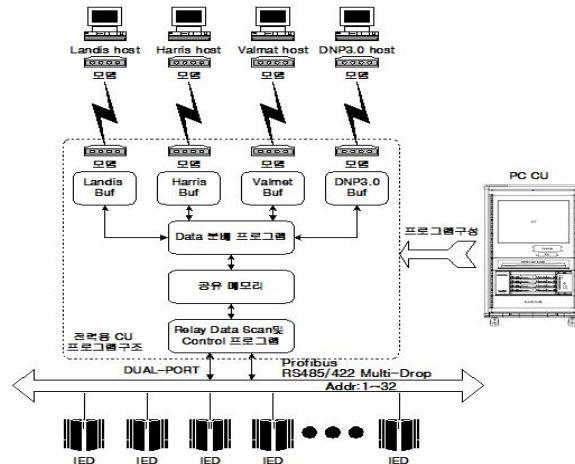


Fig. 2-2 전기철도 전력용 CU 구성도



Fig. 2-3 광주송정역 수변전실 전력용 CU

c) 보호계전기

보호계전기의 기능은 수배전 전기 선로에 이용 중인 모든 설비들의 계측값을 확인하고 기기들의 동작 상태나 이상 발생시 선로를 On/Off 등의 제어기능을 수행하는 기기이다. 최근에 생산되어 사용하고 있는 보호계전기는 수배전반에서 사용되는 각종 유도형(기계식) 계측기들을 일체화하여 하나의 디지털 계측기로 집약한 Digital Intergrated Protection and Monitoring Equipment 기기 등의 사용이 확대되고 있다. 선로의 단락사고와 지락사고 등으로 계통을 보호하기 위해 기존의 유도형이나 정지형 보호계전기와는 다른 Micro-Processor를 사용하여 고기능의 보호 기능인 알고리즘을 구현한 디지털 보호계전기이다. 다양한 부가 기능인 자기진단기능과 Fault Recording 기능을 가지고 있어 사고가 발생하면 뛰어난 신뢰성으로 용이하게 분석을 할 수 있다.

d) 고압 및 특고압 케이블

전기철도의 배전방식은 기능정비와 더불어 전력공급의 안정성 때문에 지중 고압 전력케이블이 많이 사용되고 있다. 지중 케이블은 가공전선로에 비하여 낙뢰(落雷) 및 폭풍우에 의한 피해가 적은 이점이 있으나 건설비가 비싸고 일단 사고가 발생하면 불량개소를 찾는 데 어려우므로 사용에 있어서는 케이블의 특성을 고려하여 용도에 맞게 선택하여 사용하여야 한다. 따라서 전기철도의 설비들은 절연물로 보호되고 있으며 절연이 나쁘면 누전이 되어 감전이나 전기로 인한 화재가 발생하게 된다.

고압 및 특 고압케이블의 절연물 손상 등으로 케이블의 절연 파괴시 배전계통의 안정적 전원공급에 지장을 초래하여 열차 운행에 지장을 주므로 절연저항 측정과 유지보수 관리가 매우 중요하다. 절연저항(Megger)측정기로 케이블에 직류 전압을 인가하여 그 때에 흐르는 누설 전류를 측정하여 절연 상태를 파악한다. 최초 시설물 시공시 설정된 기준 값으로 정밀 시공하여야 하며, 유지보수 기준 값에 따라서 작업자가 시설물 상태를 점검하고 기준 값에 따라 시설물 유지보수를 철저히 하여 열차의 정시성 운행과 공공시설물인 철도의 안전운행을 목표로 최선의 방법을 시행하는 것이 대단히 중요하다.

e) 가스절연개폐기

가스절연 개폐기(C-GIS, GLBS) 설비는 절연성능이 우수한 SF6 가스로 충전부를 밀봉시켜 정상상태의 개폐뿐만 아니라 사고시의 이상 상태에서도 선로를 안전하게 차단하여 계통의 안전성을 유지하는 설비이고, 가스절연 개폐기(C-GIS, GLBS)는 원칙적으로 무보수 무 점검이 가능하게 되어 있으며, 예방보전(PM) 측면에서 평상시에 가스의 압력이 기준치에 적합한지 점검을 한다. 그림 2-4은 광주송정역 수변전실 가스절연개폐기(C-GIS)와 전력배전반이다. 광주송정역 수배전반 C-GIS 설비는 2015년 호남고속철도 개통과 함께 신설된 설비이며, 배전반 설비의 신뢰성 유지 및 안정화(安定化)를 위해서 과학적이고 체계적인 노력들이 많이 필요 하였다. 수전실의 가스절연개폐 설비의 탱크 속 SF6 가스의 유출사고가 자주 발생하는 고장과 수배전반 제어보드인 DC-DC컨버터 설비불량 등으로 해당부품 교체이력이 너무 많아 전력시설물 운영상 신뢰성이 매우 낮아 있는 편이다.

본 논문에서 연도별로 빈번하게 발생하는 고장발생 현상과 원인분석을 통하여 보다 효율적인 수배전반 설비운영이 가능하도록 현재 전력설비들의 문제점 분석에 노력하였다.



Fig. 2-4 호남선 광주송정역 수변전실 C-GIS

2. 송변전 전철 전력설비 고장원인 진단

철도의 모든 수배전 설비는 통전에 의한 발열과 부하변동 및 온도와 습도 등의 외부적 환경 변화에 따른 Surge와 Noise, 개폐시 Arc energy, 가동부의 변형 등의 여러 요인들에 의한 절연성능 및 개폐성능이 저하가 된다.

전력설비에 대한 지속적인 보수 및 점검과 합리화를 통하여 안정된 전력을 공급 받을 수 있도록 설비를 운영하고 유지보수 하는 담당자는 전력 품질의 높은 신뢰성 유지에 최선을 다하여야 한다.

- 진단. 점검(통전성능 진단. 점검 / 개폐성능 진단. 점검 / 절연성능 진단. 점검) 통전, 개폐, 절연 성능이 정상적으로 유지 되는지를 확인하여 전력설비의 안전성 확보
- 전력계통해석(기술기준 적합성검토 / 보호협조 계산 / 전력조류 계산)
계통의 고장전류, 보호협조, 전력조류 계산과 부하량 분석 등으로 사고를 최소화하여 전력설비의 신뢰도를 향상시키고 합리적으로 운영될 수 있도록 함
- 예방. 보전 (예방, 보전 측정 / Trend관리Model / 잔여수명추정)
설비의 이력관리에 의해 잔존수명을 예측하고 적기에 교체함으로써 신뢰도 향상과 전력설비의 운전비용을 줄일 수 있다.

a) 진단의 중요성

그림 2-5은 전기기기의 베스터브 커브이다. 베스터브(Bathtub) 커브란 전기설비 기기의 전형적인 열화고장 패턴을 나타내는 그래프이며, 기기의 수명에 대한 기본적인 개념을 파악할 수 있다.

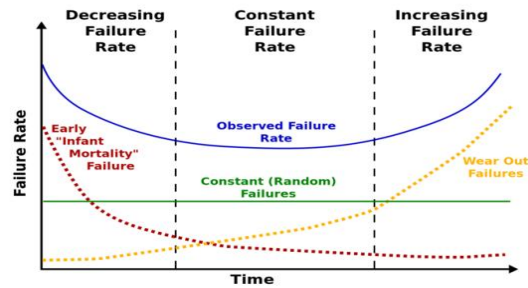


Fig. 2-5 전기 기기의 열화 및 고장 베스터브 커브

□ 초기 고장시기

설비의 가동을 시행하여 잠시 동안 외부적 환경에 적응하지 못해 발생하는 문제나 제작의 잘못이 나타나는 시기이다. 이 기간은 시간이 지나면서 고장률이 떨어지는 경향을 보인다.

□ 우발 고장시기

초기의 기기들은 고장 시기가 어느 정도 지나면서 고장률이 시간의 경과에 상관없이 거의 일정한 기간 동안은 계속된다. 이 기간은 고장률이 낮으며 안정된 운영을 기대할 수 있다.

□ 마모/열화 고장시기

우발적인 고장 시기들이 지나면 부품의 열화나 마모에 의하여 시간이 경과함에 따라서 고장률이 증가하는 증상이 있다. 이 시기에 설비의 기능을 유지하기 위해서 오버홀(Overhaul) 이나 갱신이 필요하다. 전기 설비들의 수명은 일반적으로 우발 고장기의 길이로 좌우되며, 이 기간을 연장하기 위한 적절한 행동이 필요하다. 여기서 문제가 되는 것은 “허용 고장률을 얼마로 설계 하는가” 하는 것이며, 구체적으로 수치는 당해 기기가 고장을 일으켰을 경우, 2차 재해의 영향 또는 고장에 수반되는 정전의 영향 등에 따라 설비마다 결정할 문제이다.

b) 각종 요인별 분석

케이블, 애자, 전선 및 설비 등은 사용 환경과 사용 조건들에 의해 또는 사용

회로에 생기는 단락 및 지락 등에 의한 영향으로 열화가 발생하여 사고의 원인이 되며, 정도의 차이는 동일한 설비라도 약간의 차이들이 존재한다.

☐ 환경적 요인

- 철도의 환경적인 요인으로 먼지, 오손, 염분, 부착, 습기, 고온, 부식성, 자외선, 그리스정화, 금속부식, 절연물 변질 등으로 발생한다.

☐ 전기적 요인

- 낙뢰(落雷) 의한 서지 전압과 과전압으로 나타난다.
- 과전류 개폐 (아크 용손) 등으로 나타난다.

☐ 열적인 요인

- 히트 사이클(중합도저하, 팽창수축, 변형, 비틀림, 탄성저하), 단락, 과부하, 고조파 진입 등으로 나타난다.

☐ 기계적 요인

- 단락(피로, 균열파손, 마모, 변형, 접착 불량), 충격, 외부 응력, 동작의 반복, 과전류 등으로 나타난다.

☐ 화학적 요인

- 부분방전, 절연 저하(화학 생성물) 등으로 발생한다.

c) 진단 Process

1) 진공밸브 진공도 측정

- 측정방법 : 차단기 주회로 도체 양극간 전압을 인가하여 진공밸브의 진공상태를 측정함.
- 예방효과 : 진공상태 내부에 고정극과 가동극 사이가 차단기 OFF시 6mm ~ 7mm 이내로 진공도 불량시 선로에 치명적인 대형 단락사고의 위험 예방

2) 접촉저항 시험

- 측정방법 : 차단기 투입 후 주단자 전원측과 부하 측간의 접촉력을 시험함.
- 예방효과 : 동시 투입시 개극이 불안정할 경우 점점극 접촉력 약화와 이상 마모로 인한 상불평형 및 결상 발생에 따른 사고예방

3) 개폐동작분석

- 측정방법 : 차단기 투입, 트립[Trip]시 동시에 각 상의 극을 ms 단위로 측정하여 상간 기구부 평형 및 밸브의 이상 여부를 진단함.
- 예방효과 : 진공밸브 내부의 점점극간 접촉의 불안전 및 기구부의 불균형 상태를 진단하여 사고를 예방함.

4) 절연저항 측정

- 측정방법 : 차단기 주회로 대지간 및 양극간 제어회로와 대지간을 측정하여 기준치에 적합여부를 확인함.
- 예방효과 : 지락 및 단락 또는 제어 회로부 누전을 예방함.

5) Mechanism 점검

- 측정방법 : 차단기 내부 기계적 기구부의 마모 연동에 의한 고정부 이완 및 피로를 판단하고, 대기 중 부식성 확인 및 스프링의 탄성을 확인 판단함.

6) ABC 트립장치(OCR, OCGR 시험)

- 측정방법 : 각 전류설정 Setting에 대한 트립[Trip] 신호를 가하여 기준치 동작을 측정하여 설비의 특성에 맞추어 Setting을 재설정함.
- 예방효과 : OCR, OCGR의 오동작으로 인한 차단발생 예방함.

Table 3-2 광주본부 변전소 월별 고장 현황

월 년도	계	7월	8월	9월
합계	23	13	9	1
2014	5	4	1	-
2015	3	1	2	-
2016	5	4	1	-
2017	3	2	1	-
2018	7	2	4	1

Table 3-3 광주본부 변전소 요인별 고장 현황

년도 구분	계	2014	2015	2016	2017	2018	전년대비
합 계	23	5	3	5	3	7	
직접요인	6	3	1	1	-	1	↑ 1
간접요인	17	2	2	4	3	6	↑ 3

표 3-3은 요인별 고장[Trip]현황으로 직접적인 요인보다 간접적인 요인으로 광주본부 전철 변전소 고장[Trip]요인이 3배가량 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 최근 5년간 광주본부 전철 변전소에서 발생한 월별 고장[Trip] 현황을 표 3-2에서도 알 수 있다.

계절적으로 기온이 상승하는 7월~8월에 전철 변전 설비 고장[Trip] 발생이 현저하게 증가 하는 것으로 분석 되었다. 한국 국내에 가선된 전기철도 시설물들과 광부본부의 호남 지방에 설치된 전기철도 설비들이 위치한 지형적인 요인과 계절적인 요인들의 이유로 여름에는 주위 환경이 습하고 매우 덥기 때문에 전철 변전소 내의 설비들과 각종 전자부품 등이 온도에 민감하게 반응하여 오동작을 일으키거나, 내구성이 취약한 전자 부품들의 부식이나 전식으로 차단기를 비롯한 기기들의 작동이 온화하지 못하여 고장을 일으키는 원인으로 분석되었다.

표 3-1의 분석으로 백양사 변전소와 일로 변전소가 노안 변전소보다 고장 발생이 높게 나타나고 있는 것을 분석 할 수 있다. 고장 원인들을 비교하고 추적한 결과 백양사 변전소가 위치한 곳은 지형적으로 고도가 매우 높은 산속에 위치하여 낮과 밤의 온도 차이가 심하게 벌어진다. 또한 전철 변전소가 위치한 주위에 황룡강 물줄기가 흐르고 있어 안개가 자주 발생하는 지형적인 특색과 더불어 전철 변전소 주변 들녘에는 넝쿨 식물들이나 과충류 등이 많이 서식하는 곳으로 분석 되었다. 표 3-3은 광주본부 전철 변전소 설비들의 2014년~2018년까지 설비들을 고장 요인별로 분석하여 나타내며, 고장 요인은 직접적인 요인과 간접적인 요인의 2가지 요소로 분석을 하였다.

표 3-3은 전철 변전소 설비들의 직접적인 고장 요인으로 총 “6건” 중 기관차 운전취급 부주의로 “2건”이 발생하였고, 차량 팬터그래프 절연불량으로 “1건”의 고장[Trip] 사고가 발생하였다. 표 3-3의 장애 요인 중 간접적인 요인으로 외부적 환경에 의한 고장[Trip]은 총 발생 요인 중 “17건”, 설비 고장 요인들 중 과충류와 이물질에 의한 고장[Trip]이 “11건”, 호남고속철도 2단계 공사 진행 중 건설 현장의 공사 인부들의 작업 부주의에 의한 고장[Trip]이 “2건”, 낙뢰(落雷)에 의한 수전 장애가 “5건” 발생한 것을 분석할 수 있었다.

Table 3-4 변전설비 최근 5년간 설비별 고장분석

설비별 년도	계	GIS	UPS	배전반	변압기	소규모 장치	수전 선로	원격 진단
합계	11	5	0	0	1	1	1	3
2014년	3	2	-	-	-	-	-	1
2015년	3	1	-	-	-	1	1	-
2016년	2	-	-	-	1	-	-	1
2017년	2	1	-	-	-	-	-	1
2018년	1	1	-	-	-	-	-	-

- GIS : 가스절연개폐장치
- UPS : 무정전전원공급장치

Table 3-5 변전설비 최근 5년간 월별 고장분석

설비별 월별	계	GIS	UPS	배전반	변압기	소규모장치	수전선로	원격진단
합계	11	5	0	0	1	1	1	3
7월	5	2	-	-	1	1	1	-
8월	4	1	-	-	-	-	-	3
9월	2	2	-	-	-	-	-	-

표 3-4는 최근 광주본부의 5년간 년별 설비고장 현황을 보여준다. 표 3-4의 분석결과 GIS 고장건수가 “5건”발생하여 46%로 가장 높게 발생하였다. 표 3-5의 최근 5년 월별 설비 고장을 분석하면 7월에 “5건” 발생하여 45% 비율로 가장 높게 나타났고, 다음은 8월에 “4건”으로 36%의 기기고장이 발생했으며, 9월에는 설비 고장이 “2건” 발생으로 19%의 비율로 나타났다. 국내 남부지방 호남지역 기후로 6월말에 장마가 시작되어 7월초에 장마가 한창인 것으로 보아 덥고 습한 날씨들이 전철변전소 설비에 나쁜 영향들을 주므로 결국에는 전기 기기들의 오동작으로 이어지는 것을 알 수 있었다.

Table 3-6 변전소 설비별 고장 현황

설비별 년도	계	GIS	UPS	배전반	변압기	소규모 장치	수전 선로	원격 진단
합계	11	5	0	0	1	1	1	3
백양사	2	1	-	-	-	-	1	-
노안	6	3	-	-	1	-	-	2
일로	3	1	-	-	-	1	-	1

Table 3-7 변전소 년별 고장 현황

변전소	계	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년
합계	11	3	3	2	2	1
백양사	2	-	1	-	1	-
노안	6	2	1	1	1	1
일로	3	1	1	1	-	-

표 3-6은 전철 변전소 설비별 고장 현황을 보여주며, 노안 전철 변전소가 “6건”(54%)으로 고장률이 가장 높게 나타났다. 기타 설비별로 GIS가 “5건”, 원격진단 “3건”, 변압기 “1건”, 소규모장치 “1건”, 순으로 분석 되었다. 특히 노안 변전소 GIS 설비의 고장 발생률이 높은 것은 광주송정~고막원간 호남고속철도 2단계 공사 진행 관계로 전철변전소내 급단전시 차단기 투개방 횟수가 잦아 차단기 스프링 장력의 변형으로 인한 차단기 걸림 현상으로 분석되었다. 또한 유지보수 및 전철변전 설비들의 점검 시간은 줄어들고 있어서 고장률이 다소 높아진 것으로 분석되었다. 전철변전소 고장요인을 과학적으로 정밀 분석해 보면 노안 전철 변전소의 현장조작반 보조계전기의 상시여자용 코일의 여자력 부족 및 코일접점 불량으로 분석되었다.

2. 전철 분야

표 3-8은 최근 5년간 광주본부 가공전차선로 고장원인 분석 결과를 보여준다. 운행선별 고장요인을 분석하면 호남선이 가공전차선로 고장률이 가장 높게 나타나고 있다. 호남선은 가공전차선로 시설물들이 다른 지선들에 비교해 복잡한 구조로 가설되어 있고, 운행선상의 열차 상하선 운행이 집중되며, 가설된 전기철도 시설물 주위에는 나무가 많이 서식하고 있는 산악지역이며, 또한 전기철도 시설물 주위에는 넝쿨 식물들이 많이 서식하는 지역으로 전기철도 장애원인 및 설비 고장 등으로 직접적인 연관성이 있는 것으로 분석된다.

표 3-8은 2015년 4월 호남고속선 개통 직후 전차선로 고장 발생률이 일시적으로 감소 추세에 있었으나, 2017년 이후부터는 가공전차선로 급전장애가 많이 늘

어난 것을 분석할 수 있었다. 또한 현재 호남고속선 2단계 공사관계로 운행선상에서 건설공사와 열차운행을 동시에 시행하여 운행선로 설비의 직접적인 장애요인으로 작용한 것으로 분석되었다. 표 3-9의 7월~ 9월에 가공전차선로 급전장애가 급증하는 이유를 분석하면 계절적인 요인으로 자연적 현상인 낙뢰(落雷)와 태풍 및 외부적 요인인 이물질접촉으로 가공전차선로 고장 빈도가 갑자기 증가하였다. 호남선 가공전차선로 지형적인 특색과 시설물 고장[Trip] 요인들로 까치집, 수목, 넝쿨식물, 파충류, 조류 등이 가공전차선로에 영향을 주는 요인들로 분석되었다.

Table 3-8 전철설비 운행선별 급전장애 현황

선별	계	2014	2015	2016	2017	2018	전년 대비
합계	23	6	2	3	5	7	2
호남선	22	5	2	3	5	7	2
광주선	1	1	-	-	-	-	-
대불선	0	-	-	-	-	-	-

Table 3-9 전철설비 최근 5년간 월별 고장 현황

년도	계	7월	8월	9월
합계	23	13	8	2
2014	6	3	2	1
2015	2	1	1	0
2016	3	3	0	0
2017	5	4	1	0
2018	7	2	4	1

Table 3-10 전철설비 요인별 고장 현황

구분 \ 연도	합계	2014	2015	2016	2017	2018	전년 대비
합 계	23	6	2	3	5	7	2
내부요인	8	5	1	0	0	2	2
외부요인	15	1	1	3	5	5	-
비 고		설비 고장 낙뢰 취급부 주의	이물질 설비 노후	이물질 (뱀, 조류)	낙뢰 이물질 (조류 등)	이물질 , 낙뢰 차량 고장 위급	

표 3-10은 가공전차선로 고장요인을 내부요인과 외부요인으로 분류하여 분석하였다. 가공전차선로 고장요인 중 외부적인 원인이 내부적인 원인보다 2배정도 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 외부적인 고장요인으로 이물질에 의한 급전장애 발생률이 70% 이상으로 분석된다. 초자연적인 현상이고 외부적인 요인인 낙뢰(落雷)에 의한 전차선로 고장 발생률(27%)보다 월등히 높은 분석 수치이다. 가공전차선로 설비인 호남선은 운행선상 농사를 짓는 농가가 많다. 선로주변에는 폐비닐이 많아 바람에 날려 가공전차선로 급전장애를 발생시키는 요인으로 나타났다. 호남선 가공전차선로 주변에는 동식물 등이 다량으로 서식하고 있으며 평야와 논밭의 지형적인 환경에서 과충류 서식지가 있는 일로역 근처에서는 2017년 작년 한해에 다량의 가공전차선로 급전장애가 발생한 것으로 분석됐다. 또한 초자연적 현상인 낙뢰(落雷)와 태풍의 작용인 외부적인 환경적 요인도 가공전차선로 급전장애 원인으로 분석되었다.

표 3-11은 최근 5년간 광주본부에서 발생한 가공전차선로 설비별 고장현황을 분석한 것이다. 활차식 자동장력조정장치의 소 활차 베어링내부에 빗물이 유입되어 구리스가 고착되면서 유동성불량으로 내부베어링의 급속한 마모현상으로 설비고장이 발생한 경우로 분석됐다. 또한 비 절연보호선 접속부 볼트 조임이 느슨해져 날씨에 따른 보호선의 이완과 수축이 반복되면서 전선의 가닥소손이 발생하여 설비고장으로 이어지는 사고가 2014년에 “1건” 발생한 것으로 분석되었다.

Table 3-11 전철설비 최근 5년간 설비별 고장 현황

구분 \ 연도	계	2014	2015	2016	2017	2018	전년 대비
합 계	3	3	0	0	0	0	
애자류	0	-	-	-	-	-	
전선류	2	1	1	-	-	-	
설비류	2	2	-	-	-	-	
지지물	0	-	-	-	-	-	
표지류	0	-	-	-	-	-	
기타	0	-	-	-	-	-	
비고		장력 장치 비절연보호선	드로퍼				

3. 전력 분야

표 3-12는 최근 5년간 운행선별 전력설비 장애현상을 분석하였다. 운행선별 호남선이 “10건” 발생으로 62.5%, 전력설비 고장률이 가장 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 다음으로 경전선 ”3건“, 대불선 ”2건“, 광주선 ”1건“, 순으로 분석됐다. 표 3-13은 전력설비를 월별요인으로 분석했다. 기온이 높은 8월에 가장 많은 설비고장이 집중되어 있었다. 다음으로 7월과 9월 순으로 월별 전력설비 고장원인이 분석되었다.

Table 3-12 전력설비 운행선별 고장 현황

연도 \ 선별	계	호남선	광주선	경전선	대불선
합계	16	10	1	3	2
2014년	1	1	-	-	-
2015년	4	1	-	1	2
2016년	5	3	-	2	-
2017년	3	3	-	-	-
2018년	3	2	1	-	-

Table 3-13 전력설비 월별 고장 현황

연도 \ 월별	계	7월	8월	9월
합계	16	5	6	5
2014년	1	-	-	1
2015년	4	1	3	-
2016년	5	2	1	2
2017년	3	1	2	-
2018년	3	1	-	2

Table 3-14 전력설비 설비별 고장 현황

설비 연도	계	개폐기	UPS	수배전	원제설비	전원 전설기	조명 타워	지중 선로	정류 기	케이블
합계	16	0	2	5	3	0	0	1	0	5
2014년	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-
2015년	4	-	-	-	1	-	-	-	-	3
2016년	5	-	1	1	1	-	-	-	-	2
2017년	3	-	1	2	-	-	-	-	-	-
2018년	3	-	-	2	1	-	-	-	-	-

표 3-14는 광주본부에서 운영 중인 전력설비들을 년별로 분류하고 고장현상을 분석하였다. 2014년~2018년 최근 5년간 고압케이블 절연불량과 수 배전설비 불량량이 각각 “5건”씩 발생하였다. 다음으로 원제설비 순으로 고장률이 높게 발생하는 것으로 분석되었다.

표 3-15는 전력설비를 원인별로 고장현황을 분석하였다. 직접적인 원인에 의한 고장이 “14건”으로 87% 발생하였고, 간접요인에 의한 전력설비 고장 “2건”으로 분석되었다. 기타 고장요인들은 기상악화에 의한 외부적인 환경들이 설비 고장에 영향을 주고 있었다.

Table 3-15 전력설비 원인별 고장 현황

설비 연도	계	직접원인				간접원인		
		설비 불량	노후	자체 부주의	기타	기상 조건	공사 부주의	기타
합계	16	6	8	0	0	2	0	0
2014년	1	1	-	-	-	-	-	-
2015년	4	2	1	-	-	1	-	-
2016년	5	2	2	-	-	1	-	-
2017년	3	-	3	-	-	-	-	-
2018년	3	1	2	-	-	-	-	-

B. 전기철도 설비별 고장예방 대책

1. 송변전 분야

□ 분해점검 시행

- GIS 차단기 기계적 결림은 분해 후 정밀점검 시행으로 어느 정도 예방이 가능하다. 최근 6년간 차단기 동작횟수가 2000회 이상이며, 차단기 투 개방 횟수가 많아 부품의 기계적 피로도가 매우 높다. 차단기 주요부품 내용연수 관리를 철저하게하고 데이터관리로 적기에 주요부품을 구입 후 교체하면 사전에 고장을 예방할 수 있다.

□ 예비품 확보

- 전철배전반과 UPS등 설비파트별 비상용 예비품을 확보하여 고장예방에 대비하면 미연에 장애발생을 예방할 수 있다.

2. 전철 분야

□ 이물질 관리

- 전차선로 설비고장 원인분석 결과 간접적 원인제공으로 조류등지, 조류배설물, 과충류 접촉으로 인한 설비고장이 전차선분야에서 많이 발생하였다. 따라서 전차선로 근접개소에 조류등지는 사전에 제거하고, 조립철주 및 지선 봉에 이물질 접근방지용 캡 설치로 급전장애를 어느 정도 미연에 예방할 수 있다.

□ 단로기 취급

- 급전장애의 직접적인 원인인 전기철도 차량기지內 소속단로기 취급시 부주의 등의 인적오류에 의한 트립[Trip]은 단로기취급 해당역 및 차량분야에서 단로기 취급시 조작방법을 수시로 교육하면 트립[Trip]사고를 예방할 수 있다.

3. 전력 분야

□ 고압케이블 열화관리

- 케이블 열적열화 , 흡수열화 , 전기적 열화발생으로 케이블의 절연저항이 낮아지고 있다. 절연저항측정과 접속개소 열화상측정값을 데이터화하여 과학적이며 통계적이 관리로 장애와 고장을 예방할 수 있다.

□ 노후설비 개량화

- 보호계전기 및 소규모원격제어장치 등 10년 이상 노후화된 설비를 단계적인 개량사업을 통하여 개선해나가고 유지보수 물품의 단종설비는 산업기기 전문 업체에 수리를 의뢰하여 수명을 연장하고, 기기 예비품을 확보하여 장애를 예방 할 수 있다.

IV. 예방보전 활동 및 관찰

A. 고장예방 보전 프로세스

1. 전기철도 시설물 유지보수 및 점검방법 분석

전기철도 설비는 시스템적으로 복잡하고 또한 경부선과 호남선 등의 전기철도 시설물은 전체적으로 유지보수 구간이 너무 길며 고장이나 사고형태도 다양하게 나타나고 있어 도보순회나 열차순회로는 세밀한 점검이 모두 이루어질 수 없고 또한 고장이나 사고의 발견이 매우 어렵다. 전기철도에서 현재 운영 중에 있는 검측장비인 열화상 측정, 전차선로 동특성 측정시스템, 망원경은 시설물의 파손과 소손, 구성품의 균열 및 파손, 볼트너트 풀림 등의 정밀한 판별에는 한계가 있다. 전기철도 유지보수는 세칙에 따른 유지보수 기준과 시설물 점검주기 및 유지보수 매뉴얼을 이용하고, 내용연수와 시설물 교체주기에 따라 시설물 등을 교체하고 있다. 전기철도 시설물 점검방법은 인력과 모터카를 이용한 순회점검 및 야간 차단작업[RBM]을 통해 예방 보수적 성격인 시간적으로 접근하는 시설물 점검방법을 선택하고 있다. 전기철도 시설물의 주요 고장원인과 장애원인은 직접적인 원인과 간접적인 원인으로 발생하며, 낙뢰(落雷)와 태풍 같은 외적요인과 기기결함 및 내용연수 초과 등과 같은 내적인 요인들로 발생한다. 또한 인적오류로 일어나는 설비취급 부주의는 열차운행에 많은 악영향을 미친다.

본 연구의 목적은 이러한 고장 유형들로부터 설비의 신뢰성 유지와 보전 프로세스 개선으로 신뢰성이 바탕이 되는 송변전 및 전철전력 설비의 효율적인 유지보수 프로세스가 필요하다고 판단된다.

Table 4-1 전기철도 검측차 보유 현황

종합 검측차	전차선로 시험차	레도 및 전차선 검측차
		

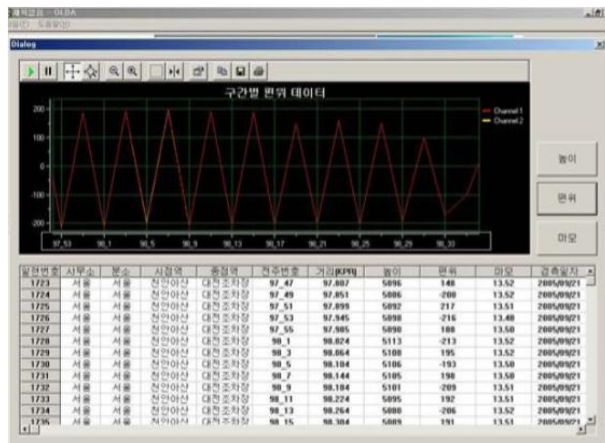


Fig. 4-1 전차선로 검측차 DATA

표 4-1은 현재 전기철도에서 사전적인 예방보전[PM]을 위한 운행 중인 종합 검측차 보유 현황이며, 그림 4-1은 전차선로 검측차 데이터이다. 표 4-2는 전기 철도 관리를 위해 도보순회와 열차순회 점검주기를 계획적이고 체계적으로 설계 하여 운영하고 있다. 또한 표 4-3은 전차선로 종합 검측차 점검 주기 및 방법을 이용하여 보다 체계적이고 과학적인 선로 유지보수 운영 시스템을 보여주고 있다.

Table 4-2 전차선로 순회 방법 및 점검주기

구 분			도보 순회	열차 순회	모터카 순회	공통사항
일 반 철 도	전동열차 운행구간	지상	1주1회	1일1회	-	○ 공사개소 도보순회는 주2회 점검 ○ 열차가 병행 운행하는 구간은 짧은 순회 주 기적용 ○ 간선형 전동 열차는 기타 여객열차 적용
		지하	-		2주1회	
	고속여객열차 운행구간		2주1회	2일1회	-	
	기타 여객열차 운행구간	태백·영 동선 이외 선로			-	
		태백선, 영동선				
	화물열차 운행구간				1주1회	
고속여객열차 전용 운행구간			1월1회	1월2회	-	

Table 4-3 전차선로 검측차 점검방법 및 주기

구 분			전차선 검측차 (높이/마모/편위)			모니터링 검측차 (동특성/아크)	비 고
			종합 검측차	전철 시험차 1호	궤도검측차 (편위, 높이)		
일반 철도	전동열차 운행구간	지상	-	1월 1회	-		
		지하	-	1년 1회	-		
	고속여객열차 운행구간		-	6월 1회	3월 1회		
	기타선		-	6월 1회	3월 1회		
고속여객열차 전용 운행구간			1월 1회	-	-	1월 2회	

Table 4-4 구간별 애자 청소주기

구 분	적용구간	청소주기	비 고
비에 씻기지 않는 애자	교류전기차 운행구간	3년	현수애자, 장간애자
	직류전기차 운행구간	5년	절연봉, 지지애자
	교류전기차 + 디젤차운행구간	1년	터널 브래킷
		3년	장간애자, 현수애자 절연봉, 지지애자
비에 씻기는 애자	전체 구간	5년	

표 4-4의 전기철도는 터널구간과 일반구간으로 구분하여 전차선로 가선구간의 애자청소 주기를 구체적인 규정에 의한 과학적인 계획으로 시스템을 운영하고 있다.

2. 효율적인 PM(Preventive Maintenance:예방보전) 정책

시스템의 신뢰성(Reliability) 향상 요인으로 구조적 설계, 효율적인 예방보전과 정밀한 검사정책 등이 필요하다. 고장확률 및 열화로 인한 신뢰성 저하를 줄이기 위해 미리 정해진 시간 또는 규정된 기준에 따라서 수행 되어지는 계획적인 보전 활동을 의미한다. 예방 보전은 시스템의 고장을 감지해 신뢰성을 높여주고 고장을 미리 방지하여 설비로 인한 손실을 줄여주는 장점이 많다.

육조 고장률에서 초기고장은 설계불량이나 제조과정에서 결함으로 발생한다. 우발고장은 품질 안정화가 이루어지는 과정에서 일정한 고장률로 나타나며, 마모고장은 어느 기간 이상 설비들을 사용하면 부품의 열화현상으로 고장률이 증가하는 것을 말한다. 그림 4-2~4-3의 예방보전 활동 후의 고장률 그래프를 보면 설비의 수명이 많이 늘어나 있는 것을 알 수 있다. 예방보전으로 설비의 고장률을 줄이고 설비의 수명을 연장시킬 수 있다.

(1) 일정간격 교체 정책(The Constant Interval Replacement Policy : CIRP)

CIRP는 가장 간단한 예방보전과 교체정책이다. 이 정책 하에서는 다음과 같은

정책이 행해진다.

- 예방교체 : 고정된 시간간격에서 행해짐
- 고장교체 : 부품이 고장 났을 때 행해짐

즉, 아래의 그림 4-4와 같이 구간 $(0, t_p)$ 사이에서 고장이 발생하면 고장교체를 하고, 시간 t_p 에서 예방교체를 한다. 이때의 단위시간당 기대비용은 아래식과 같다.

$$C(t_p) = \frac{\text{고장 교체의 기대비용 합} + \text{예방교체 비용}}{\text{구간의 기대 길이}(t_p)} \quad (4.1)$$

이를 수식으로 나타내면 식 (4.2)와 같다.

$$C(t_p) = \frac{C_P + C_f M(t_p)}{t_p} \text{ 이다.} \quad (4.2)$$

C_P : 예방교체 비용, C_f : 고장교체 비용, $M(t_p)$: $(0, t_p)$ 구간에서의 교체의 기대횟수

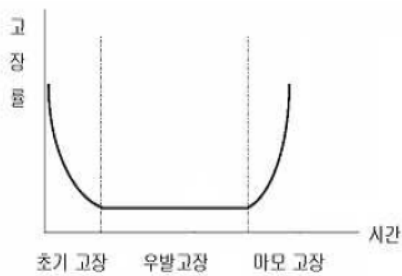


Fig. 4-2 PM전 Bath-tube

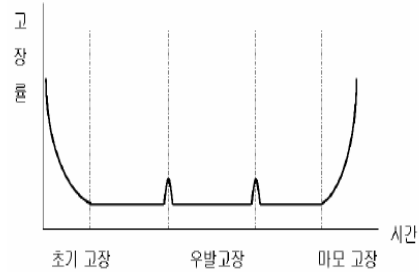


Fig. 4-3 PM후 Bath-tube

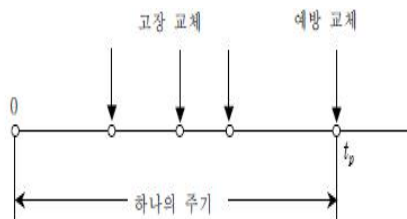


Fig. 4-4 일정기간 전기철도 설비 교체 정책

(2) 先 결정 설비교체 정책(Replacement at Predetermined age)

먼저 결정된 시점에서 CIRP의 단점을 보완한 교체 정책이다. 예방교체지점 t_p 와 한계고장횟수 N 중 먼저 발생하는 시점에서 시스템을 교체하는 방법이다. 기대 비용은 식 (4.3)과 같다.

$$C(t_p) = \frac{\text{주기 당 총 교체 기대비용}}{\text{구간의 기대주기 길이}} \quad (4.3)$$

3. 전차선로 보호설비 적용 및 관찰

전기철도는 안정적인 운영과 신뢰성을 바탕으로 유지보수 체계를 정립하고 시스템들의 특성을 고려하여 효과적인 유지보수가 이루어질 수 있도록 논리적이고 과학적인 방법들이 필요하다.

기존의 획일적이고 주기적인 오버홀(Overhaul)을 줄여서 시스템의 정상적인 작동을 보장하기 위한 방법들이 필요하다. 따라서 안정적이고 신뢰성이 향상되는 논리적인 유지보수 방법들을 체계적으로 적립하여 데이터를 수집하고 계통의 구분을 통해서 중요 아이템을 선정하여 최적의 유지보수 방법을 선택해야 한다.

그림 4-5에서와 같이 호남선 전차선로 시설물의 신뢰성과 안정성 유지의 목표로 전차선로 시설물을 과학적으로 개량하였다. 철도 내연기관차에서 나오는 매연은 터널內 오염도를 높여 가동 브레이크와 장간애자의 절연성능을 저하시킨다. 장애 예방을 목적으로 터널內 오염의 수준을 검측하고자 측정 장비를 설치하여 터널內 오염데이터를 실시간 받아 분석하고 있다. 또한 조류둥지에 의한 전차선로 고장[Trip] 방지의 목적으로 전주 빔 상단에 조류둥지 생성방지용 망을 설치하여 이물질에 의한 설비들의 고장률을 줄였다.

철도역사內 선상연결통로 하부에 가선된 가공전차선로는 절연방호 관으로 피복하여 외적 장애요인으로 인한 고장률을 최소화 하였다. 오염도가 높은 터널개소는 시설물 관리에 있어서 취약한 환경으로 구분하고, 가선되어 운영 중인 가공전차선로 시설물 중 드로퍼 클램프 균열이 자주 발생하여 전기기관차 운행에 지장을 주므로 설비안정성을 높이는 STS 재질의 드로퍼 클램프를 설치하여 터널內 가공전차선로의 신뢰성을 향상시켰다.



Fig. 4-5 호남선 가공전차선로 장애예방을 위한 개선책

가공 전차선로는 계절적인 요인에 의한 온도가 상승하는 여름에는 전차선로 주변에서 서식하는 덩굴식물이나 파충류 등에 의한 전차선로의 고장[Trip]이 빈번하게 발행한다. 고장을 예방하기 위해선 전철주를 지지하는 지선에 덩굴식물과 파충류 등의 접근 방지를 위한 보호설비가 장착되었다. 대도시의 주거 밀집지역은 전기 철도시설물과 철도 과선교가 많고, 인적오류로 인한 외적요인으로 전차선로 고장[Trip] 사고가 많이 발생하고 있다. 따라서 가공전차선로에 절연 조가선을 설치하고, 가공전차선로 보호를 위한 방호책등을 확장 설치하여 전기철도시설물의 체계적인 예방보전에 목표를 두었다.

표 4-5은 광주본부 전철 변전소에서 현재 운영 중인 고장점표정장치 보유현황이다. 전철변전설비 신뢰성향상을 위한 주요부품은 내용연수 경과 전 적기에 부품교체가 이루어져야하며, GIS 차단기내부 정밀분해점검[Overhaul]을 계획적으로 시행하여 예방보전(PM)이 체계적으로 이루어져야 한다. 또한 고장점표정장치의 신뢰

도향상을 위한 데이터관리 및 보정작업이 주기적으로 시행되어야 한다.

그림 4-6는 2015년 호남선 고속철도개통으로 15년 이상 노후화된 설비들은 개량하고 기기이상인 설비나 내용연수가 경과된 수배전 설비들은 철거하고 새로운 전기 설비들로 시스템을 개량하여 현재 운영 중에 있다. C-GIS 배전설비와 절연성능이 우수한 SF6 가스를 충전물로 밀봉하여 안정적인 차단기 투 개방이 가능하였다. 최신식 알고리즘 로직을 바탕으로 개발된 비츠로테크 보호계전기를 전력배전반으로 설계하여 Local 및 Remote로 배전반 설비들의 안정적인 조작이 가능하게 되었으며, 과거 설비보다 과학적이고 효율적인 시스템을 확보하여 운영하게 되었다.

Table 4-5 전철변전소 고장점표정장치 설치현황 [2018.1월1일 기준]

소속	변전소	방식	수량	제작사	설치연월	비고
광주 본부	백양사	흡상전류비	2	P&C TECH	2003.10	일반선
	노안	흡상전류비	2	P&C TECH	2003.10	일반선
	노안	리액턴스	2	테크윈	2014.10	고속선
	일로	흡상전류비	2	P&C TECH	2003.10	일반선



(a) 노후설비 개량 [보호계전기]



(b) 노후설비 개량 [전력 배전반]

Fig. 4-6 광주송정역 수변전실 개량된 전력설비



(a) 고장점 표정장치



(b) 변전소 전철배전반



(c) 변전소 로컬관제

Fig. 4-7 노안SS 2층 전철배전반

그림 4-7은 노안SS 전철배전반실에 설치되어 운영 중인 고장점표정반과 전철 배전반의 전경이다. 전기철도는 무엇보다 높은 신뢰성과 안전성 및 신속성이 요구되는 시설물의 복합체이다. 전기철도시설물의 안정은 국가경제 및 국민 실생활과 밀접한 관계 속에서 열차의 고속운전과 정확성이 요구되어진다.

전철변전소의 고장점표정장치는 단락 및 지락 등의 고장이 발생하면 실제발생한 사고지점을 정확하게 분석하여 보여주는 시스템이다. 따라서 고장점표정장치는 실제로 발생한 사고지점을 유지보수 자에게 정확하게 확인시켜 고장시간을 최소화하여 설비의 신뢰성을 높이는 철도의 주요 핵심시설물 중에 하나이다. 현재 국내 전기철도에서는 리액턴스 방식과 흡상전류비 방식의 두 가지 방식 중 적합한 방식을 선택하여 사용하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 주간경향, “한국철도의 미래와 방향”, 2018.
- [2] 환경부, “한국기후 환경네트워크”, 2017.
- [3] 박현준, “전기시스템 성능향상 기술연구”, 한국철도기술연구원, 2006.
- [4] 민형기, “일반전기기술실무”한국철도공사인재개발원, 2012.
- [5] 한국철도공사, “경부고속선 전차선로 안전진단 및 기술자문 용역보고서”, 2013.
- [6] 한국철도공사, “전철전력설비 유지보수 시행 세칙”, 2015.3.개정.
- [7] 김정철, “급전계통 해석과 한국철도전기의 이해“ 도서출판 기다리, 2008.
- [8] Sin, Hwa-Yeong, Lee,gyu-bok, “수배전설비 진단 및 보수점검”, 한국전기기술인협회, P22-29, 2004년.
- [9] 윤응규, “Reliability Centered Maintenance, Electric Railway Catenary”, 서울과학기술대학교 박사논문, 2016년.
- [10] 임병옥, “고속철도차량(KTX) RCM 적용에 관한 연구, 한국철도학회 논문집 제8권 제5호, 2005, PP 470~476.
- [11] 문효선, “A Study on Reliability Analysis of Metro Signaling Equipments and RCM Approach”서울과학기술대학교 석사논문, 2013년.

- [12] 유양하, “철도차량의 신뢰성 기반 유지보수 방안 (RCRM), 충남대 박사 학위 논문, 2014.
- [13] 심수민, “부품 고장률이 변화하는 C(2,n;F) 시스템의 신뢰성 분석”, 학위논문(석사) 서울대학교 대학원: 산업공학과, 2003.
- [14] 김문주, “A Study on Optimal Preventive Maintenance Policy, 학위논문(석사) 全南大學校 大學院 : 통계학과, 2005.
- [15] 박영식, “누설전류를 이용한 교류 25[kV]전기철도용 애자 오염상태 측정에 관한 연구, 우송대학교 철도대학원, 2015.2.
- [16] 한국철도시설공단, “설계서 및 공사 시방서”, 2015.
- [17] 임준휘, “study on applying phase shifting method to electric railway for parallel power feeding”, 서울과학기술대학교 철도전문대학원, 2013.2.
- [18] 원종철, “study on the failure factors reduction of auto-transformer using harmonic improvement”, 우송대학교 철도대학원, 2014.2.
- [19] 국토해양부, “철도업무편람”, 2015.
- [20] 한국철도공사 전기기술단, “전기업무자료, 제18호”, 2011.

감사의 글

배움을 즐거움으로 생각하고 2년간의 대학원생활을 열정적으로 할 수 있게 도움을 주신 주위 많은 고마우신 분들께 먼저 깊은 감사를 드립니다. 그리고 이 논문을 쓰기까지 2년 전 대학원 공부를 시작할 수 있게 인도해주신 박채욱 처장님께 감사의 마음을 전합니다.

가난한 직공의 아들로 변변한 학교도 다니지 못했지만 비범한 노력으로 영국 최고의 과학자가 된 패러데이의 그의 스승 화학자 험프리데이비를 만나게 되어 인생이 바뀌게 되었던 계기가 되었습니다.

직장과 학업을 병행하며 2년의 힘든 과정을 이끌어 주시고 힘이 되어주신 스승님 조금배 교수님, 지도교수이신 최효상 교수님, 김남훈 교수님, 최연옥 교수님 등을 비롯하여 도움을 많이 주신 교수님들께도 감사드립니다.

항상 곁에서 힘이 되어주고 지지해준 아내 임송연 여사께 감사드리고, 큰딸 은아 그리고 아들 준호에게도 자랑스러운 아버지가 되고 싶고 사랑한다.

끝으로 대학원 2년간의 과정 속에서 힘이 되어주신 주위의 모든 분들께 깊은 감사를 드립니다.

2018년 12월 겨울의 길목에서...

이상록 드림