creative commons

COMMONS DEED

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

dCollection

공학전문석사 학위 연구보고서

자동화된 배전계통 구간별 유지보수 가중치 적용 방법에 관한 연구

A Study on Application of Maintenance Weighting Factor in Automated Power Distribution System Sections

2021년 2월

서울대학교 공학전문대학원

응용공학과 응용공학전공

이 후 람

자동화된 배전계통 구간별 유지보수 가중치 적용 방법에 관한 연구

지도교수 윤 용 태

이 프로젝트 리포트를 공학전문석사 학위 연구보고서로 제출함

2021년 2월

서울대학교 공학전문대학원

응용공학과 응용공학전공

이 후 람

이후람의 공학전문석사 학위 연구보고서를 인준함

2021년 2월

위 원 장 문 승 일 (인)

위 원 윤 용 태 (인)

위 원 김 국 헌 (인)

국문초록

전력산업이 발달함에 따라 안정적 전력공급이 가능해졌고, 고객의 정전에 대한 민감도는 더욱 높아졌다. 전력설비 중 고객과 직접 연계되어 운영되는 배전설비의 경우 고장발생 시 고객에 직접적인 영향을 주는 만큼 적절한 유지보수의 시행으로 고장발생을 최소화 하는 것이 무엇보다 중요하다.

배전계통의 기존 유지보수 방법은, 일정 주기로 배전설비의 검사를 시행하며, 기자재 자체 결함이 확인되었을 시 교체를 시행한다. 하지만, 이는 기자재 자체에 초점을 맞췄기 때문에 그 고장이 계통에 어느정도 파급 효과를 가져다 주는지는 고려하지 않는다.

본 논문에서는 기자재의 고장이 계통에 미치는 영향을 고려한 RCM 기법의 취지를 활용하여 실제 우리나라 배전계통의 특징중 하나인 자동화된 배전계통에 맞는 유지보수 방법을 제안한다. 고장이 발생하면 자동화된 개폐기 사이의 구간이 주로 장시간 정전을 경험하기 때문에, 자동화 개폐기 사이 구간의 고객 특성을 활용하여 구간별 가중치를 적용하여 유지보수에 반영한다.

실제 현장의 고장데이터를 기반으로 고장률을 추출하였고, 신뢰도 지표인 SAIDI 및 정전 예상비용을 활용하여 가중치를 적용한 유지보수를 시행하였을 시 정전 예상비용이 더 감소함을 보인다.

주요어 : 가중치, 유지보수, DAS, RCM
학　번 : 2019-24565

목 차

제 1 장 서 론 ····· 1
제 1 절 연구의 배경 및 목적 ····· 1
제 2 절 연구 보고서 구성 및 개요 ····· 2
제 2 장 자동화된 배전계통 ····· 3
제 1 절 DAS ····· 3
제 2 절 고장복구 과정 ····· 4
제 3 장 유지보수 방법 ····· 8
제 1 절 TBM ····· 8
제 2 절 CBM ····· 11
제 3 절 RCM ····· 13
제 4 장 가중치 모델링 ····· 15
제 1 절 욕조곡선 ····· 15
제 2 절 신뢰도 지표 ····· 16
제 3 절 영향 분석 ····· 17
제 4 절 기자재 교체 가중치 부여 모델 ····· 20
제 5 장 사례연구 ····· 22
제 6 장 결 론 ····· 38
참고문헌 ····· 39
Abstract ····· 41

표 목 차

[표 1-1] 최근 5년간 DAS율 현황 ····· 3
[표 3-1] 순시 종류별 기준 ····· 9
[표 3-2] 점검 종류별 기준 ····· 10
[표 3-3] 위해도 판정 기준 ····· 11
[표 3-4] 설비진단 방법별 주기 ····· 12
[표 4-1] 기자재 교체 가중치 부여 모델 ····· 20
[표 5-1] 고압정전 원인별 분류 ····· 22
[표 5-2] 기자재불량 세부 원인별 분류 ····· 24
[표 5-3] 기자재 별 정전 영향 분석 ····· 25
[표 5-4] Load Point Data ····· 28
[표 5-5] 구간별 기자재 고장률 및 SAIDI 기대값 ····· 29
[표 5-6] 구간별 고압고객 계약전력 유형별 분류 ····· 30
[표 5-7] 구간별 정전 시 공급 지장비용 ····· 31
[표 5-8] 구간별 정전 예상비용 산정 ····· 32
[표 5-9] 구간별 가중치 부여 ····· 32
[표 5-10] 제약조건 ····· 33
[표 5-11] 유지보수 대상 ····· 33
[표 5-12] 기자재 교체수량 결정 ····· 34
[표 5-13] 가중치 적용 기자재 교체 방식 ····· 34
[표 5-14] 장기간 설치된 기자재 우선 교체 방식 ····· 35
[표 5-15] 정전 예상비용 가장 큰 구간 우선 교체 방식 ··· 36
[표 5-16] 구간별 기자재 교체수량 균등 배분 방식 ····· 36
[표 5-17] 기자재 교체 방식 별 최종 비교 분석 ····· 37

그 림 목 차

[그림 2-1] 배전선로 모델링 ····· 4
[그림 2-2] 고장발생 ····· 5
[그림 2-3] 고장구간 분리 ····· 5
[그림 2-4] 고장구간 전원측 송전 ····· 6
[그림 2-5] 고장구간 부하측 송전 ····· 6
[그림 2-6] 고장원인 제거 ····· 7
[그림 2-7] 고장구간 송전 ····· 7
[그림 4-1] 욕조곡선 ····· 15
[그림 4-2] Self Effect ····· 17
[그림 4-3] Down-Stream Effect ····· 18
[그림 4-4] Up-Stream Effect ····· 19
[그림 5-1] 자기제 LP 고장 소요년수에 따른 고장건수 ···· 26
[그림 5-4] 배전계통 모델링(관양S/S 주공D/L) ····· 27

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 목적

전력산업이 발달함에 따라 고품질의 안정적인 전력공급이 가능해졌고, 이는 고객의 정전에 대한 민감도가 높아졌음을 의미하기도 한다. 고도화된 사회에서는 정전이 발생하게 되면 사회에 미치는 피해와 파급력이 더욱 더 커지기 때문에, 정전 발생을 최소화 하는 것이 중요하다.

전력계통은 크게 전력을 생산하는 발전, 발전된 전력을 수용가 밀집지역 인근 변전소로 전송하는 송전, 송전된 전력을 배전하기 위하여 전압을 낮추는 변전, 그리고 변전소로부터 나와 수용가에 직접적으로 연계되어 전력을 직접 공급할 수 있게 해주는 계통인 배전으로 나눌 수 있다. 일반적으로 발전, 송전 및 변전계통의 경우는 정전이 발생하게 되면 광범위한 영역에 파급력을 가져다 줄 수 있으나 실제로 발생되는 건수는 많지 않다.

반면에, 배전계통의 경우 수용가와 직접 연계되어 있고 선로의 고장이 발생할 시 즉각적으로 영향을 미칠 수 있기 때문에 대다수의 정전의 발생은 주로 배전계통에서 발생한다. 그렇기 때문에 고객의 정전에 대한 민감도를 최소화 하기 위해서는 배전계통의 정전을 최소화 하는 것이 가장 중요하다. 한정된 예산을 바탕으로 유지보수를 시행하는 배전사업자는 주어진 예산으로 최대의 효과를 낼 수 있는 설비에 투자를 하는 것이

가장 효율적이다. 본 논문에서는 자동화 구간별 가중치를 부여하여 비용을 최소화 할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

제 2 절 연구 보고서 구성 및 개요

본 논문에서는 자동화 구간별 가중치를 부여하고, 이를 바탕으로 유지보수를 시행하는 방안을 제시한다.

2장에서는 자동화된 배전계통에 대하여 기술한다.

3장에서는 한전의 유지보수 방법인 TBM, CBM과 신뢰도 중심 유지보수인 RCM 기법에 대하여 알아본다.

4장에서는 신뢰도 지표를 활용하여 영향분석을 시행하고, 그 결과로 가중치 모델링을 시행하는 방법을 제안한다.

5장에서는 실제 배전계통을 모델링하여 사례연구를 진행한다.

6장에서는 사례연구 결과를 바탕으로 결론을 도출한다.

제 2 장 자동화된 배전계통

제 1 절 DAS

한전 배전계통은 배전 개폐기에 통신장치를 연결하여 자동화를 시켜 운영되고 있다. 이러한 자동화된 기기를 운영하기 위해 구축된 시스템을 DAS(Distribution Automation System)라고 한다. 전국의 모든 배전계통은 각 관할구역을 담당하는 배전센터에서 24시간 원격 감시를 시행한다. 고장이 발생하는 경우 자동화 개폐기를 원격 조작하여 신속하게 고장구간 분리 및 건전구간 송전을 시행하여 정전시간을 최소화 하는데 기여하고 있다. 배전계통에 설치된 배전 개폐기 대비 자동화된 개폐기의 비율을 DAS율 이라고 칭하는데 한전의 DAS율은 매년 증가하고 있다.

표 1-1 최근 5년간 DAS율 현황

연도	2015	2016	2017	2018	2019
DAS율(%)	52.7	57.9	63.2	66.9	67.5

DAS율의 증가는 각 배전선로를 구성하고 있는 자동화 개폐기 비율의 증가를 의미하는데, 이는 원격조작이 가능한 대상이 많아져서 결과적으로 신속하게 고장구간을 분리할 수 있는 범위가 더욱 더 확대되는 것을

의미한다.

제 2 절 고장복구 과정

배전선로의 고장복구 과정을 표현하기 위하여 다음과 같이 선로를 모델링 할 수 있다.

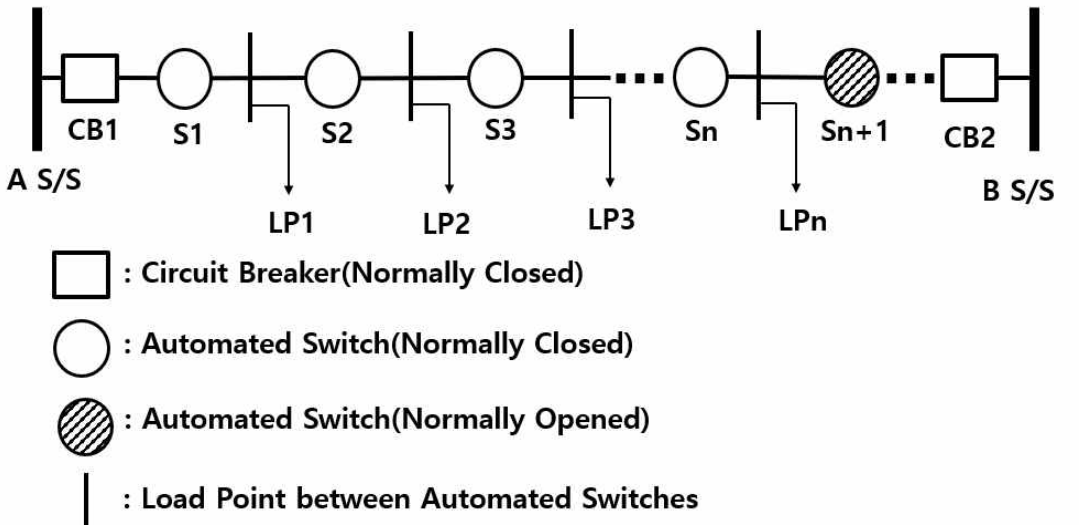

그림 2-1 배전선로 모델링

상기 모델과 같이 배전선로의 구성요소를 간략하게 차단기, 자동화 개폐기, 자동화 개폐기 사이의 부하점으로 표기가 가능하다. 여기서 부하점을 단순히 일반 개폐기 사이의 구간으로 구분하지 않고, 자동화 개폐기 사이의 구간으로 정의하였음에 주목하여야 한다. 다음으로 고장 발생 시 복구과정을 구체적으로 나타내 보고자 한다.

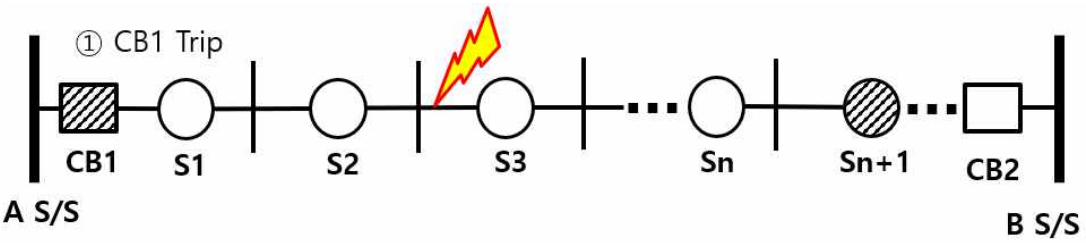

그림 2-2 고장발생

고장이 발생하는 경우를 상정하여 그림 2-2로 나타내었다. 개폐기 S2와 S3 사이에 고장이 발생하게 되면 고장전류가 발생하고, CB1의 계전기가 고장전류를 감지한 후 차단 동작을 수행하기 때문에 선로에 정전이 발생한다. 이때 정전범위는 S1 ~ Sn+1이다.

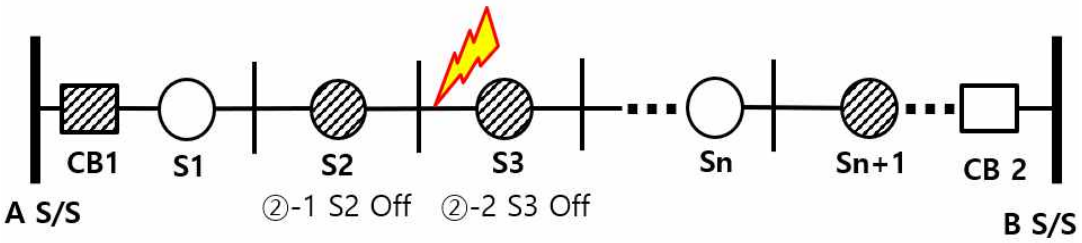

그림 2-3 고장구간 분리

다음은 고장구간을 분리하기 위한 과정을 그림 2-3에 나타내었다. 자동화 개폐기는 원격조작이 가능하기 때문에 고장점이 파악이 되면, 고장점의 전원측 및 부하측에 위치한 개폐기를 순차적으로 조작을 하게 된다. 즉, 전원측의 S2, 부하측의 S3의 개방동작을 차례로 수행한다.

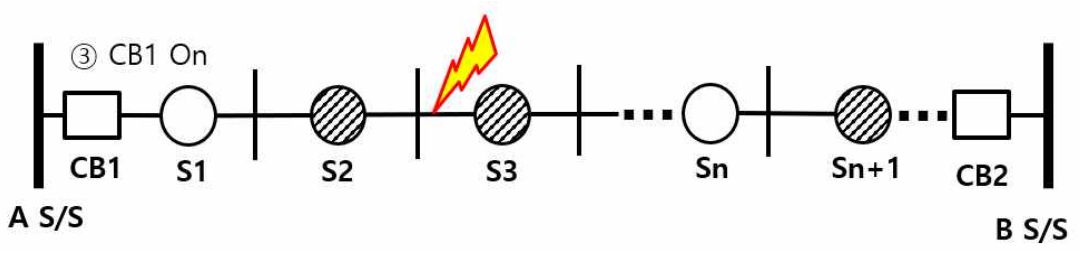

그림 2-4 고장구간 전원측 송전

그림 2-4와 같이 고장구간의 분리가 완료되면 차단기를 투입하여 고장구간의 전원측인 S1 ~ S2 사이의 부하에 전력이 공급된다. 그 후에 상시 연계점 자동화 개폐기인 Sn+1을 투입하여 S3의 부하측인 S3 ~ Sn+1 사이의 부하에 전력을 공급하는데, 이는 그림 2-5로 나타내었다.

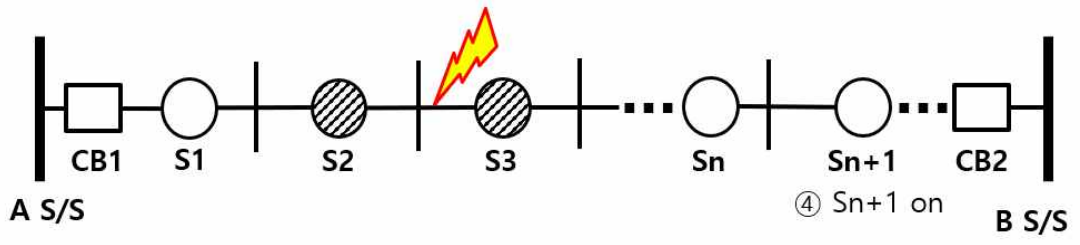

그림 2-5 고장구간 부하측 송전

고장구간을 제외한 나머지 구간의 전력을 공급하는데 약 3분정도 소요된다. 이후에는 배전센터에서 배전운영실에 현장출동 지시를 내려 고장원인을 파악하게 된다. 고장 원인이 제거되면 고장구간의 전원측이나 부하측 개폐기 중 하나를 선정하여 고장구간 내 부하에 전력을 공급한다. 그림 2-6은 고장 원인이 제거된 것을 나타내었고, 그림 2-7은 고장

구간 전원측 개폐기 S2를 투입하여 최종 송전이 완료됨을 나타내었다.

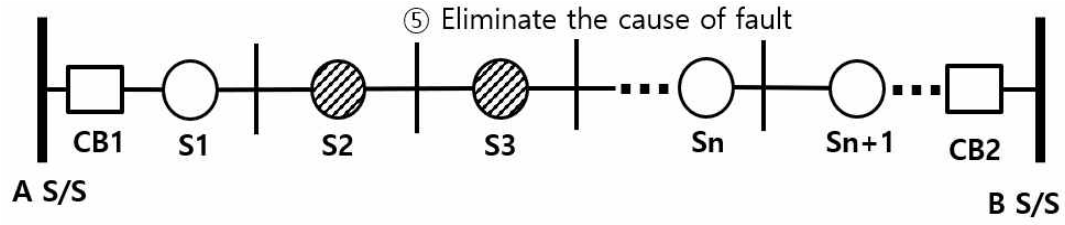

그림 2-6 고장원인 제거

각 관할 지사에서 현장까지의 이동거리에 따른 소요시간이 필요하기 때문에 실제 송전 완료 시 까지 적어도 5분 이상의 시간이 소요된다.

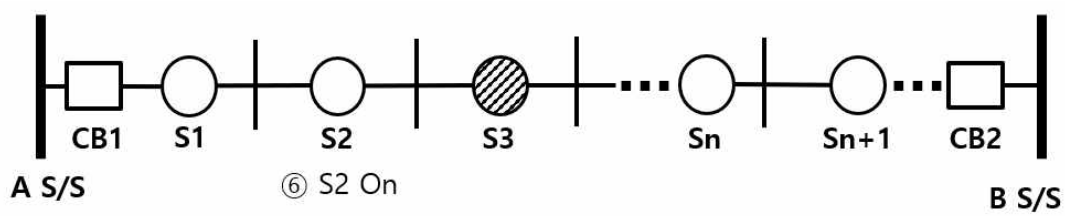

그림 2-7 고장구간 송전

배전선로 고장 시 복구과정을 간략하게 정리하였다. 상기와 같은 과정을 거치면서 한가지 확인할 수 있는 점은 고장이 발생한 후에 고장 제거 후 송전 완료 시 까지 가장 오래 정전시간을 경험하게 되는 범위는 바로 자동화된 개폐기 사이의 부하로 특정지을 수 있다는 점이다. 즉, 배전설비의 고장은 고장지점의 자동화 개폐기로 구분된 구간의 장시간 정전을 초래한다. 다음 장에서는 자동화된 배전계통의 특징을 활용하여 배전설비 유지보수에 응용할 수 있는 방법을 알아보고자 한다.

제 3 장 유지보수 방법

제 1 절 TBM

배전선로 고장을 예방하기 위해서, 한전에서는 배전설비에 대한 검사를 시행하는데 이는 전문인력 및 장비를 활용하여 배전선로의 이상유무를 사전에 확인하는 업무로 정의할 수 있으며 순시, 점검, 측정, 진단 등으로 구성된다.[1] 일정 주기마다 유지보수를 시행하는 것을 TBM(Time Based Maintenance) 이라고 하는데, 순시 및 점검이 이에 해당한다.

순시는 배전선로의 시설상태 이상유무와 배전선로 주변의 환경변화에 대한 안전확보 및 고장예방을 위하여 배전선로 및 주변상황을 조사하는 업무를 말한다. 배전선로의 순시 및 유지업무를 담당하는 배전운영실 직원이 순시자로써 순시 업무를 수행한다.

순시 업무는 고장예방을 위하여 배전설비의 이상유무와 시설 상태를 광학장비를 활용하여 배전선로 및 주변상황을 정기적으로 정밀 조사하는 정기순시와, 배전선로 주변의 환경변화에 대한 안전 확보와 기상악화 또는 계절적 영향에 의하여 고장발생 또는 발생 우려가 있는 경우 및 필요한 경우 상사의 지시에 따라 시행하는 안전순시로 나눌 수 있다.[1]

순시 종류별 기준은 다음의 표 3-1과 같다.

표 3-1 순시 종류별 기준

<table>
<tr><th>구분</th><th colspan="4">기준</th><th>비고</th></tr>
<tr><td rowspan="6">정기순시</td><td rowspan="4">가공</td><td rowspan="3">고압이상</td><td>번화가지역</td><td>6개월 1회 이상</td><td>차량, 도보 병행</td></tr>
<tr><td>주택지역</td><td>1년 1회 이상</td><td>차량, 도보 병행</td></tr>
<tr><td>기타지역</td><td>2년 1회 이상</td><td>차량, 도보 병행</td></tr>
<tr><td>저압</td><td colspan="2">2년 1회 이상</td><td>차량, 도보 병행</td></tr>
<tr><td>지중</td><td colspan="3">분기 1회 이상</td><td>차량, 도보 병행</td></tr>
<tr><td>국가 중요시설</td><td colspan="3">월 1회 이상</td><td>차량, 도보 병행</td></tr>
<tr><td>안전순시</td><td colspan="4">월 1회 이상 (고압 이상)</td><td>차량, 도보 병행</td></tr>
</table>

점검 업무는 순시로 조사하기 어려운 배전선로의 상태와 기기 등을 장비 등을 활용하여 면밀하게 점검하는 것을 말한다.[1]

설비 종류별 점검 기준은 다음의 표 3-2와 같다.

표 3-2 점검 종류별 기준

점검대상	점검주기		비고
기기류	가공 변압기	2 ~ 4년 (1회)	2년(도심, 공단) 4년(야외)
	가공 개폐기	2 ~ 4년 (1회)	2년(도심, 공단) 4년(야외)
	지중 변압기	2년(1회)	
	지중 개폐기	2년(1회)	
	피뢰기	필요시	설비진단시 병행
부 속 자재류	전 선	필요시	설비진단시 병행
	저압 접속개소	1회/10년	설비진단시 병행
	애자(청소)	필요시	설비진단시 병행
	케이블헤드 점검 및 청소	필요시	설비진단시 병행
지 중 설 비	맨홀, 전력구 내부점검	1년/2회	내부점검시 배수 및 청소 병행
	케이블 전용교, 첨가교량의 케이블 피로점검	필요시	

순시 및 점검의 결과로써 기자재별 위해도를 판정하게 되는데 즉, 급, 완의 3단계로 구분하여 유지보수 시행여부를 결정하게 된다.

위해도 판정기준은 다음의 표 3-3과 같다.

표 3-3 위해도 판정 기준

위해도	판 정 기 준	비 고
즉	○ 방치할 경우 안전사고나 설비고장의 발생이 명확히 예견되는 사항 ○ 휴전 없이 현장에서 시정 가능한 사항	○ 직영가능분은 현장순시시 시정
급	○ 1개월 이상 방치할 경우 ○ 안전사고 또는 설비고장이 예견되는 경우	○ 1개월 이내 시정 ○ 안전순시시 시정여부 확인
완	○ 당장은 위험성이 없으나 점차 위험성이 증가될 우려가 있는 사항	○ 위해상태를 판정하여 우선순위에 따라 순차적으로 시정 ○ 2개월 이내 시정함이 원칙

순시 및 점검의 결과 설비고장이 위험성이 감지되는 경우 즉, 급, 완으로 구분하여 2개월 이내에 시정이 됨을 확인할 수 있다.

제 2 절 CBM

배전설비의 상태를 기반으로 유지보수를 결정하는 방법을 CBM(Condition Based Maintenance) 이라 하는데, 설비진단이 이에 해당한다고 볼 수 있다.

설비진단은 배전선로의 열화(코로나, Arc, Spark 등) 및 과열에 의한 고장예방을 위하여 장비를 활용하여 진단하는 업무를 말한다. 진단장비

의 종류로는 광학, 초음파, 열화상 및 고주파 장비를 활용한다.

광학장비는 배전설비에 설치된 기자재의 균열, 부식, 침식 등 불량여부를 확인하기 위해 고성능 광학카메라(또는 쌍안경)를 활용하여 진단할 수 있도록 보조하는 장비를 말한다.

열화상 진단은 기자재 열화시 발생되는 발열에 의한 온도상승 정도를 측정하여 설비의 건전성 여부를 판정하는 진단기법을 말한다.

초음파 진단은 기자재 결함시 발생하는 방전펄스의 초음파를 가청음으로 변환하여 불량설비를 검출하는 진단기법을 말한다.

고주파 진단은 절연열화에 의한 코로나 방전 또는 불꽃 방전시 발생되는 RF 방전 잡음을 휴대가 가능한 안테나로 수신하여 특정대역 주파수와 크기를 분석하여 설비상태의 이상유무를 진단하는 방법을 말한다.

활선기별점검은 주상에서 활선장비 및 공구를 활용하여 육안확인 및 점검, 측정을 통하여 활선상태로 설비상태를 점검하는 진단방법을 말한다. 설비진단 주기는 다음의 표 3-4와 같다.[1]

표 3-4 설비진단 방법별 주기

방 법	주 기	대 상
고주파 / 초음파	1년(1회)	특고압 배전선로(전체)
열화상	1년(1회)	변대주, 입상주, 기기주 고주파/초음파 결과 불량 추정 시
광학	필요 시	고주파/초음파 결과 불량 추정 시 (정기순시시 병행)
활선 기별점검	필요 시	고주파/초음파 및 열화상 결과 불량 추정 시

설비진단은 기준에 따라 전 특고압 배전선로를 대상으로 기본적으로 연 1회 수행한다. 이때, 설비의 불량이 검출되면 정밀점검을 수행하거나 관련 규정에 의거하여 기자재 교체를 시행하게 된다. TBM과 다른점은 장비를 활용하여 설비의 상태를 판정하고, 설비 상태가 열화과정이 진행된다고 판정된다면 설비 고장으로 이어지기 전에 유지보수를 수행한다는 점이다. 이는 유지보수의 결정이 기자재의 상태에 기반하는 것을 의미한다.

제 3 절 RCM

유지보수 방법 중에 RCM(Reliability Centered Maintenance)이 있다. RCM은 신뢰도 중심 유지보수 방법으로써 고장이 발생할 수 있는 시스템의 기능을 고려한 체계로써 안정성과 경제성을 고려하여 적용 가능하고 효과적인 예방정비 업무를 우선순위에 기반하여 식별하는 것을 의미한다.[2]

시스템의 가장 중요한 기능에 집중하여 불필요한 유지보수 활동을 피함으로써 비용절감을 가능하게 하는데, 1970년 초기에 상업 목적의 항공산업 유지보수에 RCM 기법이 사용되었으며, 유지보수가 중요한 분야인 원자력 발전소, 무기체계 그리고 제품생산 등으로 확대되었다.[3]

해외 연구사례를 살펴보면, 구조화된 결정 분석 논리를 활용하여 시스템 기능의 중요한 위험을 정의하여 위험 경감과 시스템 기능 보존을 평

가하는 방법이 있다. RCM 기법인 FMEA(Failure Mode and Effects Analysis)를 수행하여 가장 최적의 유지보수 전략을 수립하는 것이다.[4] 그리고 중요도 및 조건 함수로 설비에 가중치를 부여하여 리클로져 유지보수에 활용하는 방안도 연구되었다.[5]

국내의 연구사례를 살펴보면, 수명시간을 고려한 지속시간이나 고장률에 의해 야기되는 정전횟수를 반영하기 위하여 시변고장률의 추출 방법이 제안되었다.[6] 그리고, 유지보수 비용과 정전비용을 고려한 최적 점검주기를 산정하기 위한 modified semi-Markov chain modeling도 제안되었다.[7] 또한, RCM 기법을 활용하여 자동화된 배전계통의 기자재 교체 우선순위 선정 방법에 대한 연구도 진행되었다.[8]

배전설비의 유지보수는 주로 설비 기자재의 교체에 초점이 맞춰져 있기 때문에 모든 유형의 고장을 분석하는 FMEA 방법을 적용하는 것보다, 특정 정전 원인의 세부 분석을 통하여 집중적인 유지보수 전략을 수립하는게 더 효율적이다. 또한, 설비의 운영 환경에 따라 고장률은 다르게 나올 수 있기 때문에, 해당 고장률을 적용하기 위하여 유지보수 대상 설비의 실제 현장데이터 기반의 고장률의 산정이 필요하다. 그리고, CBM 방식을 통해 불량이 판정된 기자재는 위해도 판정등급에 따라 적어도 3개월 이내에 교체를 해야 하고, 모든 설비는 연 1회 의무적으로 검사를 시행하기 때문에 일반적인 RCM 방법을 배전선로 유지보수에 적용하는 것은 좀더 많은 고민이 필요하다. 따라서, RCM의 기본 방향인 기자재의 고장이 계통에 미치는 영향을 고려하여 유지보수 가중치를 부여한 교체 우선순위를 선정하는 방법에 초점을 두어 연구를 진행하였다.

제 4 장 가중치 부여 모델링

제 1 절 욕조곡선

시스템의 신뢰도를 설명하기 위해서 욕조곡선이 활용된다. 욕조곡선은 시간이 흐름에 따라 시스템의 고장률의 변화를 곡선으로 표현한 것으로 총 3개의 구간으로 구분할 수 있다.[9]

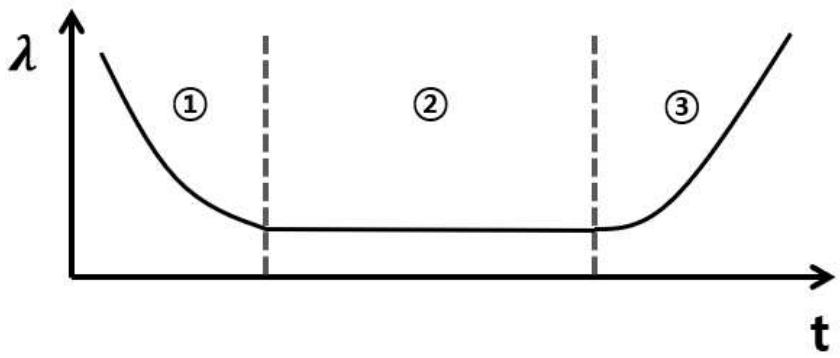

그림 4-1 욕조곡선

상기의 그림 4-1에 욕조곡선을 나타내었다.

첫 번째 구간은 Burn-in period로써 시스템이 가동되기 시작하면 고장률이 높았다가 시간이 흐름에 따라 고장률이 감소하는 양상을 보여준다. 주로, 기자재의 하자가 발생하거나 초기 불안정한 상태로 시스템의 안정화가 될 때 까지 잦은 고장이 발생하는 것을 의미한다.

두 번째 구간은 Useful life period로써 시스템이 안정화되어 고장률이 일정한 상태를 나타낸다.

마지막으로 세 번째 구간은 Wear-out period로써 시간이 지남에 따라 고장률이 지속적으로 증가하는 것을 의미한다. 시스템을 구성하고 있는 다양한 요소들이 열화되어 시스템의 고장율을 점차적으로 높이는 양상을 띄게 된다.

본 논문은 초기 및 말기의 급격한 열화과정이 아닌, 평상시 운영중에 발생하는 고장률을 기반으로 연구를 진행을 하고자 하여 두 번째 구간인 Useful life period의 Constant Failure Rate를 주로 활용하고자 한다.

제 2 절 신뢰도 지표

배전선로의 신뢰도를 알아보기 위해서는 신뢰도 지표를 활용해야 하는데, 한전에서는 주로 호당정전횟수 SAIFI와 호당정전시간 SAIDI를 사용한다.

호당정전횟수 SAIFI는 System Average Interruption Frequency Index의 약자로써 시스템의 평균 정전발생 횟수를 의미한다.[10] i 구간의 고장률을 λ_i, 고객호수를 N_i로 정의한다면 SAIFI는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \ [\text{f/yr}] \tag{4.1}$$

호당정전시간 SAIDI는 System Average Interruption Duration Index의 약자로써 시스템의 평균 정전발생 시간을 의미한다. i 구간의 고장률을 λ_i, 정전 지속시간을 r_i로 정의한다면 연간 정전시간 U_i는 λ_i와 r_i의 곱으로 나타낼 수 있다. 이를 활용하면 SAIDI를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \text{ [h/yr]} \tag{4.2}$$

본 논문에서는 상기의 SAIDI 지표를 응용하여 유지보수 최적화에 활용해 보고자 한다.

제 3 절 영향 분석

배전선로에 고장 발생 시 정전의 파급범위를 명확히 하기 위하여 영향분석을 시행해야 한다. 고장이 발생한 지점을 중심으로 크게 Self Effect, Down-Stream Effect, Up-Stream Effect의 3가지로 나누어 분석할 수 있다. 먼저 Self Effect를 그림 4-2로 나타내었다.

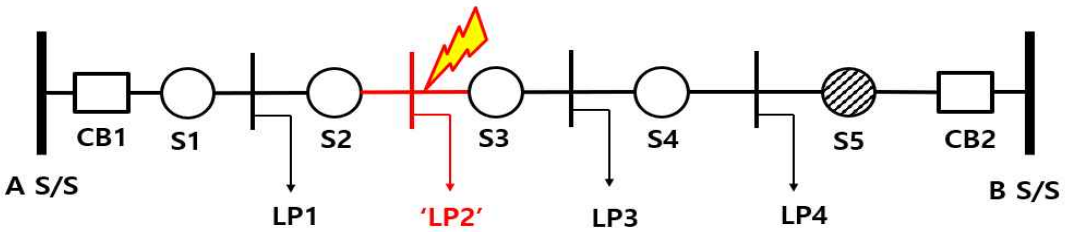

그림 4-2 Self Effect

Self Effect는 고장이 발생했을 시 고장개소와 인접한 전원측, 부하측 자동화 개폐기 사이의 부하에 정전이 발생하는 것을 의미한다. 즉, S2 ~ S3 사이에 정전이 발생하게 되면 LP2의 고객이 정전을 경험한다. 고장이 발생한 구간을 i로 정의하면, 정전호수는 N_i이고, 정전 지속시간은 r_i가 된다. 정전은 고장이 해소될 때 까지 지속된다.

다음은 부하측 영향인 Down-Stream Effect를 그림 4-3로 나타내었다.

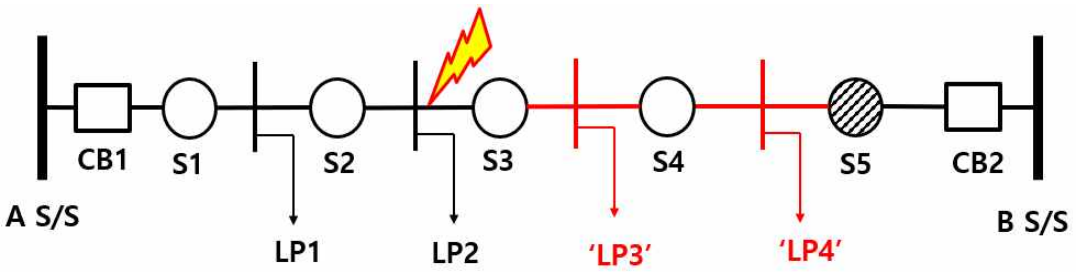

그림 4-3 Down-Stream Effect

Down-Stream Effect는 고장이 발생했을 시 고장개소의 부하측으로 인접선로의 연계 개폐기 까지의 부하에 정전이 발생하는 것을 의미한다. 즉, S3 ~ S5 사이의 LP3 및 LP4의 고객이 정전을 경험한다. 연계 개폐기를 통하여 부하측 건전구간에 전력공급이 먼저 이뤄진다고 가정한다면, 정전호수는 N_p이고, 정전 지속시간은 r_p가 된다. 정전은 고장구간 분리 후 연계개폐기가 투입될 때 까지 지속된다.

다음은 전원측 영향인 Up-Stream Effect를 그림 4-4로 나타내었다.

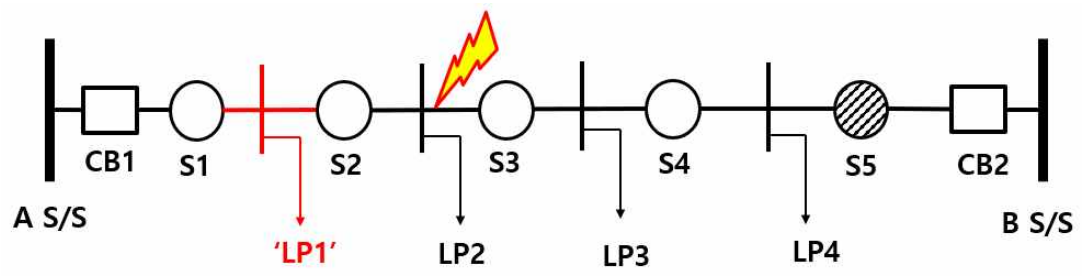

그림 4-4 Up-Stream Effect

Up-Stream Effect는 고장이 발생했을 시 고장개소의 전원측으로 인출 개폐기 까지의 부하에 정전이 발생하는 것을 의미한다. 즉, S1 ~ S2 사이의 LP1 고객이 정전을 경험한다. 고장구간 분리 이후에 전원측 차단기를 투입하면 송전이 이뤄지게 되는데, 부하측에 송전을 먼저 수행한다고 가정한다면 전원측은 부하측 송전시간 보다 더 많은 시간동안 정전을 경험하게 된다. 전원측의 정전호수는 N_s이고, 정전 지속시간은 r_s가 된다. 정전은 고장구간을 제외한 나머지 구간이 모두 송전될 때 까지 지속된다.

실제로 정전이 발생하게 되면, 배전센터에서는 고장구간을 파악하고 전원측이나 부하측 중 정해진 순서에 상관없이 송전을 시행한다. 본 논문에서는 고장구간을 기준으로 전원측, 부하측 구별 없이 정전구간의 수가 많은쪽을 우선 송전하여 p(Primary)로, 정전구간의 수가 적은쪽을 나중에 송전하는 것으로 가정하여 s(Secondary)로 정의하고자 한다.

제 4 절 기자재 교체 가중치 부여 모델

RCM 기법의 주 핵심은 기자재의 고장이 계통에 미치는 영향을 유지보수 결정 과정에 포함시킨다는 것이다. 배전선로에서의 고장의 발생은 고장점 전원측의 차단기의 동작으로 정전 범위가 규정되고, 고장점 전, 후의 자동화 개폐기로 구분된 구간이 고장이 해소되기까지 가장 많은 시간동안 정전을 경험하게 된다. 즉, 어떠한 기자재를 교체하고자 할 때 자동화된 구간별로 가중치를 부여하여 유지보수를 시행하게 된다면, 그 기자재의 고장으로 인한 파급되는 정전의 영향을 충분히 반영할 수 있다. 이를 위하여, 다음의 표 4-1과 같이 기자재 교체 가중치 부여 모델을 제안하고자 한다.

표 4-1 기자재 교체 가중치 부여 모델

구분	내용
1단계	고장 데이터 분석
2단계	유지보수 대상 기자재 선정
3단계	영향 분석
4단계	자동화 구간별 가중치 부여
5단계	유지보수 결정

1단계는 고장 데이터 분석 단계로써 실제 현장에서 발생한 고장 데이터를 기반으로 하여 어떤 유형의 고장이 주로 발생하였는지 파악한다.

2단계는 유지보수 대상 기자재 선정 단계로써 파악된 고장 데이터를 기반으로 하여 고장이 발생하였을 시 파급력이 큰 기자재를 유지보수 대상으로 선정한다.

3단계는 영향 분석 단계로써 유지보수를 시행할 배전계통의 자동화 구간별로 고장 발생 시 어느 범위의 고객에 영향을 미치는지 구체적으로 확인한다.

4단계는 자동화 구간별 가중치를 부여하는 단계로써 자동화 구간 내에 수전중인 고객의 계약종별 및 계약전력을 확인하여 공급 지장비용을 산정한 후 계산된 비용을 바탕으로 가중치를 부여한다.

5단계는 유지보수 결정 단계로써 주어진 보수예산을 바탕으로 기자재 교체 수량을 결정하고, 구간별 부여된 가중치를 활용하여 교체 대상을 확정한다.

제 5 장 사례연구

제안한 가중치 부여 모델을 검증하기 위하여, 실제 현장 데이터를 기반으로 사례연구를 진행하여 보기로 한다. 기자재 교체 가중치부여 모델에 따라서 총 5단계의 과정으로 진행할 수 있다.

<< 1단계 : 고장 데이터 분석 >>

고장의 주요 원인별 분류를 시행하기 위하여, 경기도 남쪽지역을 관할하고 있는 한국전력공사 경기본부 관내 고압정전의 실제 현장 데이터를 기반으로 분석을 시행하였다. 추출 기간은 10년(2010년 ~ 2019년)으로 하였으며, 원인별 분석 결과는 다음의 표 5-1에 나타내었다.

표 5-1 고압정전 원인별 분류

구분	고객파급	외물접촉	기자재불량	자연현상	일반인과실	제작불량	시공보수	작업자과실	전원측정전	원인불명	기타
비율(%)	34.7	24	12.2	11.9	5.3	1.0	0.9	0.8	0.5	7.0	1.7

고객파급이란 고압 수용가의 원인으로 정전이 발생된 고장을 의미하며, 고객 구내 수전설비 불량으로 인한 고장이 주로 발생한다.

외물접촉은 외적 요인으로 정전이 발생한 경우로써, 수목의 도괴 및 접촉 및 이물접촉 등의 고장이 이에 해당한다.

기자재불량은 배전설비 자체의 결함으로 인하여 고장이 발생한 경우를 나타내며, 하자기간이 지난 이후에 고장이 발생한 경우 기자재불량 범주에 속하게 된다.

자연현상은 주로 폭설, 강우, 강풍 등 자연재해로 인하여 발생하는 고장을 의미한다.

일반인과실 고장은 일반인이 원인을 유발한 고장으로써, 전력설비에 대한 차량충돌, 공사현장 작업차량에 전선접촉 그리고 천공기에 의한 지중케이블 천공 고장등이 이에 해당한다.

제작불량의 경우 배전설비 자체의 결함으로 인한 고장으로써 하자기간 이내에 발생한 고장을 의미한다.

시공보수 고장은 시공 및 보수불량 고장을 통칭하는 용어로써 점퍼선의 완철 접촉, 신설 전선의 전주 접촉 고장 등이 이에 해당한다.

작업자과실 고장은 배전설비 시공 업체 소속 작업자가 배전설비의 신설 및 유지보수 작업을 수행하면서 고장을 직접 유발시킨 건을 의미한다.

전원측 정전은 변전 및 송전측 고장으로 인한 정전을 의미한다.

원인불명 고장은 정전이 발생하였으나 고장 원인이 명확히 규명되지 못한 것을 의미한다.

기타 고장은 발생건수는 미미하나 상기 항목에 해당하지 않는 특수한 고장건수를 통칭하여 기타 고장으로 분류하였다.

상기 고장발생 유형 중 기자재의 직접적인 원인으로 발생한 고장은 기자재불량 및 제작불량으로 분류할 수 있다. 이중에서 제작불량 고장의 경우 하자기간 이내에 발생한 고장으로써 신뢰도 이론 중 욕조곡선을 적용한다면 초기 Burn-in period에 해당한다.

따라서, 기자재 유지보수를 위한 Useful life period의 일정한 고장률을 추출하기 위해서는 원인별 분류 항목 중 기자재불량 고장건에 대한 세부 분석이 필요하다. 이에 대한 분석결과를 표 5-2에 나타내었다.

표 5-2 기자재불량 세부 원인별 분류

구분	가공변압기	피뢰기	애자	가공개폐기	COS	전선	가공지선	전압조정기	지중기자재
비율(%)	32	19	12.8	7.8	7.3	5.6	2.2	0.1	13.2

상기 분석결과를 보면 가공변압기, 피뢰기, 애자가 총 정전의 63.8%를 점유한다. 전체 고장 중 주요 자재를 대상으로 시스템에 대한 파급효과를 심층 분석하기 위하여 다음의 2단계를 수행해야 한다.

<< 2단계 : 유지보수 대상 기자재 선정 >>

유지보수 대상 기자재를 선정하기 위하여 주요 자재에 대한 심층 분석을 시행해야 한다. 기자재별 일시정전 영향을 분석하기 위하여 다음의

표 5-3에 나타내었다.

표 5-3 기자재 별 정전 영향 분석

구 분	가공변압기	피뢰기	애자	
			자기제 LP애자	자기제 현수애자
일시정전(건) (5분이상)	7	17	27	10

주요 정전에 대한 점유율은 가공변압기 > 피뢰기 > 애자 순으로 되어 있는데, 5분이상 정전이 지속되는 일시정전의 경우를 확인해 보면 애자가 가장 비율이 높다. 애자는 제품의 제작 재료에 따라서 자기제(Porcelain) 제품과 폴리머(Polymer) 제품으로 나뉘는데, 이중에서도 자기제 LP(Line Post)애자가 일시정전 27건으로 가장 높게 나타났다. 즉, 이는 자기제 LP애자의 결함이 발생하여 고장이 발생할 시 계통에 가장 치명적인 영향을 미친다는 것을 의미한다. 이에따라 자기제 LP애자를 유지보수 대상 기자재로 선정하고, 다음 단계로 고장 통계자료를 활용하여 자기제 LP애자의 기자재 고장률을 추출하고자 한다.

자기제 LP애자의 고장률을 추출하기 위하여 MTTF(Mean Time To Failure)를 계산해야 한다. 10년간 통계데이터 중 제원확인이 가능한 72건의 고장을 활용하여 고장발생년도와 제작년도의 차로 고장발생 기간을 산정하였고, 그 결과는 다음의 식 (5.1)과 같다.

$$MTTF_{comp} = 16 \text{ [yr]} \tag{5.1}$$

식 (5.1)을 바탕으로 LP애자의 고장률을 식 (5.2)로 나타낼 수 있다.

$$\lambda_{comp} = \frac{1}{MTTF_{comp}} = 0.0625 \text{ [f/yr]} \tag{5.2}$$

분석결과를 종합해 보면 지난 10년간의 통계 데이터 상으로 확인 가능한 LP애자의 고장률은 시간에 따라서 감소하거나 증가하는 추세를 보이지 않기 때문에, Useful-life period의 일정한 고장률로써 활용이 가능함을 알 수 있다. 이와같은 사항은 다음의 그림 5-1에 나타내었다.

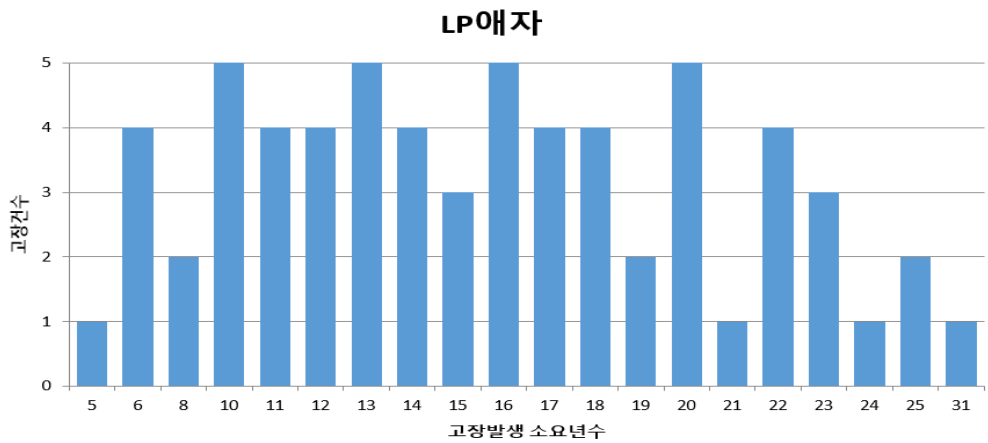

그림 5-1 자기제 LP 고장 소요년수에 따른 고장건수

다음은 자기제 LP애자의 고장이 발생하였을 시 평균 정전시간을 계산하기 위하여 재폐로성공 고장건을 제외한 표본을 활용하여 정전시간의 평균값을 계산하고자 한다. 총 42건의 표본으로 정전 복구시간과 정전

발생시간의 차로써 정전시간을 정할 수 있는데, 그 결과는 다음의 식 (5.3)과 같다.

$$r_i = 0.72 \text{ [h]} \tag{5.3}$$

다음으로 기자재의 고장이 시스템에 미치는 영향을 분석하기 위하여 3단계의 영향분석을 시행해야 한다.

<< 3단계 : 영향 분석 >>

시스템의 영향분석을 시행하기에 앞서, 유지보수를 시행할 배전선로를 선정해야 한다. 본 연구에서는 경기본부 안양지사 관내의 배전선로 중 가공설비로 운영되는 관양S/S(Substation) 주공D/L(Distribution Line)을 모델링 하여 활용하고자 한다.

해당 계통을 다음의 그림 5-4로 모델링 하였다.

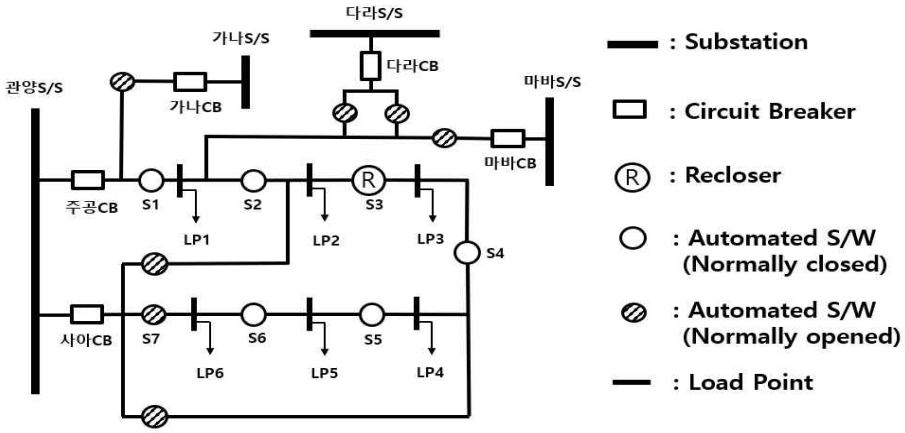

그림 5-4 배전계통 모델링(관양S/S 주공D/L)

주공D/L은 관양S/S로부터 전력이 공급되며 가나, 다라, 마바S/S 및 사아D/L과 연계되어 운영되고 있다. 선로 중간에 운영중인 S3가 리클로져로 설치되어 있는 것이 특징이다. 각각의 부하점인 LP는 자동화 개폐기로 구분된 구간 내에 존재하고, LP별 세부 데이터는 다음의 표 5-4로 나타내었다.

표 5-4 Load Point Data

구간번호 i	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	총계
고객호수(호) N_i	97	336	386	1,502	1	181	2,503
자기제 LP애자 수량(개) $N_{comp,i}$	71	16	43	38	3	23	194
고압고객 계약전력(kW) p_i	6,400	4,100	3,150	800	450	4,430	19,330

기자재의 고장률과 기자재의 수량을 알면 구간별 기자재 고장 기대값을 구할 수 있다. 이는 다음의 식 (5.4)로 나타낼 수 있다.

$$\lambda_i = \lambda_{comp} \times N_{comp,i} \tag{5.4}$$

구간별 고장 기대값으로 4장에서 언급한 신뢰도지표를 활용하여 구간

별 SAIDI 기대값을 구할수 있다. 이는 다음의 식 (5.5)로 나타낼 수 있다.

$$SAIDI_i = \frac{\lambda_i \times (r_i N_i + r_p N_p + r_s N_s)}{N_T} \tag{5.5}$$

여기서 r_p는 첫 번째 연계 개폐기 투입시간이고 r_s는 두 번째 연계 개폐기 투입시간 그리고 N_T는 총 고객 호수를 의미하며 이는 다음의 식 (5.6) ~ (5.8)으로 나타낼 수 있다.

$$r_p = 0.025 \text{ [h]} \tag{5.6}$$

$$r_s = 0.05 \text{ [h]} \tag{5.7}$$

$$N_T = N_i + N_p + N_s \tag{5.8}$$

상기의 식을 활용하여 구간별 기자재 고장발생 및 SAIDI의 기대값을 구할 수 있는데, 계산 결과는 다음의 표 5-5와 같다.

표 5-5 구간별 기자재 고장률 및 SAIDI 기대값

구간번호 i	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6
λ_i (f/yr)	4.4375	1.0000	2.6875	2.3750	0.1875	1.4375
$SAIDI_i$ (h/yr)	1.0226	0.1193	1.1166	3.0118	0.2463	0.1772

지금까지 자기제 LP애자의 고장률 및 자동화 구간별 정보를 활용하여 고장률 및 SAIDI 기대값을 알아보았다. 이를 활용하기 위해서, 다음 4단계의 구간별 가중치 부여 작업을 수행하여야 한다.

<< 4단계 : 자동화 구간별 가중치 부여 >>

배전선로는 기본적으로 모든 수용가와 직접 연계되어 전력을 공급한다는 공통 사항이 있으나, 실제로 공급받는 부하의 특성은 전부 다르다. 왜냐하면, 공급받는 지역에 위치하고 있는 고객의 유형별 특성에 따라 해당 지역을 공급하는 배전선로의 부하특성이 결정되기 때문이다. 고객은 수전 받고자 하는 전력의 사용 목적에 따라서 계약종별이 결정되게 된다. 계약종별이 각기 다른 고객은 정전 발생 시 받게되는 피해 예상금액도 다 다르기 때문에 이를 반영하여 유지보수에 활용한다면, 우선순위 선정에 큰 도움이 될 수 있다. 자동화 개폐기로 구분된 부하점의 고압고객 계약종별 현황을 다음의 표 5-6에 나타내었다.

표 5-6 구간별 고압고객 계약전력 유형별 분류

구 분(kW)	일반용	주택용	교육용	총 계
LP1	3,600	2,800	-	6,400
LP2	-	4,100	-	4,100
LP3	300	2,450	400	3,150
LP4	-	-	800	800
LP5	450	-	-	450
LP6	3,280	1,150	-	4,430
총 계	7,630	10,500	1,200	19,330

구간별 정전 발생 시 공급 지장비용($C_{int,i}$)을 산정하기 위하여 다음의 식 (5.9)를 활용하고자 한다.

$$C_{int,i} = \text{구간별 계약전력} \times \text{계약종별 전기요금} \tag{5.9}$$

계약종별 전기요금은 일반용(130.42원/kWh), 주택용(108.5원/kWh), 교육용(103.07원/kWh)을 적용하였고, 그 결과는 다음의 표 5-7과 같다.

표 5-7 구간별 정전 시 공급 지장비용($C_{int,i}$)

구 분(원/h)	일반용	주택용	교육용	총 계
LP1	469,512	303,800	-	773,312
LP2	-	444,850	-	444,850
LP3	39,126	265,825	41,228	346,179
LP4	-	-	82,456	82,456
LP5	58,689	-	-	58,689
LP6	427,778	124,775	-	552,553
총 계	995,105	1,139,250	123,684	2,258,039

구간별 정전 발생 시 정전 예상비용(C_i)을 산정하기 위하여 다음의 식 (5.10)을 활용하고자 한다.

$$C_i = SAIDI_i \times C_{int,i} \tag{5.10}$$

이를 바탕으로 구간별 정전 예상비용을 다음의 표 5-8에 나타내었다.

표 5-8 구간별 정전 예상비용(C_i) 산정

구간 번호 i	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	총 계
C_i(원)	790,789	53,071	386,543	248,341	14,455	97,912	1,591,111

최종적으로 정전 예상비용을 기반으로 다음의 표 5-9과 같이 구간별 가중치 부여가 가능하다.

표 5-9 구간별 가중치 부여

구간 번호 i	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	총 계
가중치 (%)	50	3	24	16	1	6	100

지금까지의 과정을 통하여 산정된 구간별 가중치를 유지보수에 활용하기 위하여 다음의 5단계 유지보수 결정 단계에서 구체적인 유지보수 대상을 확인해야 한다.

<< 5단계 : 유지보수 결정 >>

유지보수를 결정하기에 앞서, 해당 배전선로의 기자재 교체가 가능한 수량을 확정하기 위하여 다음의 표 5-10과 같이 제약조건을 설정하였다.

표 5-10 제약조건

구분	내용
유지보수 배분예산(B)	100,000,000원
자기제 LP애자 1개 교체비용(C_R)	1,356,131원

여기서, 자기제 LP애자는 폴리머 LP애자로 교체하는 것으로 한다.

제약조건을 활용하여 자기제 LP애자 교체 가능수량을 알아보기 위하여 다음의 식 (5.11)을 활용하면 된다.

$$N_m = \frac{B}{C_R} \tag{5.11}$$

상기의 식을 활용하면, 배전선로의 자기제 LP애자 교체 가능수량은 총 73개 이다. 73개의 기자재를 정전 예상비용을 최소화 할 수 있게 하기 위하여, 부여된 가중치를 활용하여 교체를 시행해야 한다. 유지보수 대상은 표 5-11에, 가중치 부여 결과 교체대상은 표 5-12에 나타내었다.

표 5-11 유지보수 대상

구간 번호 i	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	총계
Known	'02 - 4	'03 - 1	'05 - 5	'95 - 1	'05 - 3	'04 - 1	90
	'03 - 6	'05 - 3	'06 - 3	'99 - 1		'06 - 3	
	'04 - 3	'08 - 1	'07 - 3	'04 - 3		'07 - 3	
	'05 - 3	'09 - 4	'08 - 1	'05 - 4		'08 - 3	
	'06 - 3	'10 - 3	'09 - 6	'12 - 3		'09 - 3	
	'09 - 5		'12 - 1				
	'10 - 7						
Unknown	40	4	24	26	-	10	104
Total	71	16	43	38	3	23	194

표 5-12 기자재 교체수량 결정

구간 번호 i	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	총 계
자기제 LP애자 수량 (개) $N_{comp,i}$	71	16	43	38	3	23	194
가중치 (%)	50	3	24	16	1	6	100
교체 수량 (개)	**36**	**2**	**18**	**11**	**1**	**5**	**73**

계통의 미치는 파급효과를 감안하여 가중치를 부여한 교체 방법을 활용하는 경우의 예상 정전시간 및 정전비용은 다음의 표 5-13와 같다.

표 5-13 가중치 적용 기자재 교체 방식

구간 번호 i	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	총 계
교체 수량(개)	36	2	18	11	1	5	73
잔여 수량(개)	35	14	25	27	2	18	121
$SAIDI_i$ (h/yr)	0.2485	0.0913	0.3774	1.5205	0.1095	0.0335	2.3807
C_i(원)	192,168	40,615	130,648	125,374	6,426	18,511	513,742

자동화 개폐기 구간별 가중치 부여 방식의 효과를 검증하기 위하여 다음의 다양한 기자재 교체 방법을 적용하여 비교해 볼 수 있다.

첫 번째로, 제작년월이 가장 오래된 기자재부터 순차적으로 교체하는 방식이 있다. 이러한 경우, 예상되는 정전시간 및 정전비용의 기대값은 다음의 표 5-14과 같다.

표 5-14 장기간 설치된 기자재 우선 교체 방식

구간 번호 i	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	총 계
교체 수량(개)	24	9	15	9	3	13	73
잔여 수량(개)	47	7	28	29	-	10	121
$SAIDI_i$ (h/yr)	0.4481	0.0228	0.4735	1.7541	-	0.0335	2.7320
C_i(원)	346,521	10,143	163,916	144.636	-	18,511	683,726

두 번째로, 정전 예상비용이 가장 큰 구간부터 우선적으로 교체하는 방식이 있다. 비용 순으로 나열해 보면 LP1, LP3, LP4, LP6, LP2, LP5의 순서로 구분할 수 있는데, 이 방법을 사용했을 경우의 예상되는 정전시간 및 정전비용은 표 5-15에 나타내었다.

세 번째로, 구간별 기자재 교체 수량을 균등하게 배분하는 방식이 있다. 본 연구에 사용되는 배전선로의 경우는 LP5의 교체대상 기자재가

소량 설치되어 있으므로, 이는 전부 교체하고 나머지는 균등하게 배분하였다. 이에 대한 결과는 표 5-16에 나타내었다.

표 5-15 정전 예상비용 가장 큰 구간 우선 교체 방식

구간 번호 i	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	총 계
교체 수량(개)	71	-	2	-	-	-	73
잔여 수량(개)	-	16	41	38	3	23	121
$SAIDI_i$ (h/yr)	-	0.1193	1.0152	3.0118	0.2463	0.1772	4.5698
C_i(원)	-	53,071	351,441	248,341	14,455	97,912	765,220

표 5-16 구간별 기자재 교체수량 균등 배분 방식

구간 번호 i	LP1	LP2	LP3	LP4	LP5	LP6	총 계
교체 수량(개)	14	14	14	14	3	14	73
잔여 수량(개)	57	2	29	24	-	9	121
$SAIDI_i$ (h/yr)	0.6591	0.0019	0.5079	1.2014	-	0.0271	2.3974
C_i(원)	509,690	845	175,824	99,063	-	14,974	800,396

가중치 부여 방식과 다양한 유형의 기자재 교체 방식의 적용 결과를 종합하면 다음의 표 5-17로 정리할 수 있다.

표 5-17 기자재 교체 방식 별 최종 비교 분석

구 분	호당 예상 정전시간 $SAIDI_i$ (h/yr)	정전 예상비용 C_i(원)
장기간 설치 기자재 우선	2.7320	683,726
정전비용 최다 구간 우선	4.5698	765,220
구간별 교체 대상 균등 배분	2.3974	800,396
구간별 가중치 부여	**2.3807**	**513,742**

상기 네가지 유형의 교체방식 비교 결과를 보면, 구간별 가중치를 적용하여 기자재를 교체하는 경우의 호당 예상 정전시간 및 정전 예상비용의 기대값이 가장 낮은 것을 확인할 수 있다.

제 6 장 결 론

우리나라의 배전계통은 선로에 운영중인 자동화 개폐기가 매년 증가한다는 특징이 있다. 배전 기자재의 고장은 자동화 개폐기로 구분된 구간의 장시간 정전을 초래하기 때문에, 이와같은 특성을 반영하여 고장영향분석을 시행하였다.

그리고, 배전계통에 연계되는 고객의 유형은 선로별, 지역별 특성에 따라 다양하기 때문에 같은 유형의 고장이 발생하더라도, 고객의 정전으로 인한 피해 예상 금액은 모두 다르다고 볼 수 있다.

다양한 고객 유형 및 자동화된 배전계통의 특징을 반영하기 위해서 RCM 기법의 주요 원리중 하나인 기자재의 고장이 계통에 미치는 영향을 고려하였고, 신뢰도 지표를 활용하여 자동화 구간별 고객호수, 전기요금 등을 반영하여 구체적인 정전 예상비용을 산정하였다.

사례 연구에서는 실제 현장 데이터를 활용하여 다양한 유형의 기자재 교체 방식과 비교 함으로써 구간별 가중치를 부여한 기자재 교체 방식이 가장 경제적인 효과를 가져올 수 있다는 것을 확인하였다.

향후에는 고압고객 외에 저압고객의 정보를 반영하는 것 뿐만 아니라, 자동화 구간 내의 정보를 좀더 세분화 하여 단순 계약종별이 아닌 정전민감고객, 국가 중요시설 등에 가중치를 부여하여 유지보수에 반영하는 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 배전선로 검사지침, 한국전력공사, 2015

[2] Marvin Rausand, “Reliability centered maintenance”, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 60, pp. 121-132, 1998

[3] Douglas C. Brauer, Greg D. Brauer, “Reliability-centered maintenance”, Vol. R-36, No. 1, 1998

[4] John W. Goodfellow, “Applying Reliability Centered Maintenance (RCM) to Overhead Electric Utility Distribution Systems”, Power Engineering Society Summer Meeting, 2000, IEEE, Vol 1, pp. 566-569 16-20 July 2000

[5] Nutniti Walliyamethee and Komsan Hongesombut, “Maintenance Scheduling of Distribution Reclosers Using RCM Techniques, IEEE, APPEEC 1570568890, 2019

[6] J.F. Moon, H.T. Lee, J.C. Kim, and C.H. Park, “Extraction of Time-varying Failure Rate for Power Distribution System Equipment”, The Transactions of the KIEE, Vol. 54A, No. 11, pp. 548-556, 2005

[7] 박근표, 문종필, 윤용태, 이상성, 김재철, “배전계통 유지보수에 RCM 기법의 적용을 위한 modified semi-Markov chain modeling”, 대한전기학회 학술대회 논문집, Vol.2006 (11), p126-128, 2006

[8] 이후람, “RCM 기법을 활용한 자동화된 배전계통의 유지보수 우선순위 선정 방법에 관한 연구”, 대한전기학회 학술대회 논문집, Vol.2020 (7), p.671-672, 2020

[9] Georgia-Ann Klutke, Peter C. Kiessler, M. A. Wortman, “A Critical Look at the Bathtub Curve”, IEEE Transactions on reliability, Vol. 52, No. 1, 2003

[10] R. Billinton and Ronald N. Allan, “Reliability Evaluation of Power Systems”, Plenum Press, 1996

Abstract

A Study on Application of Maintenance Weighting Factor in Automated Power Distribution System Sections

LEE Hoo Rham

Department of Engineering Practice

Graduate School of Engineering Practice

Seoul National University

As growth of electric power industry, It is important to minimize occurrence of interruptions. Because, electric power distribution facilities are directly connected to customers.

Existing maintenance method of distribution system is time based maintenance. If the degradation of components are found, the replacement decision can be made.

In this paper, Using RCM method, maintenance decision is focused on the fault effect of the component to the distribution system. And, by reflecting increasing number of automated distribution switches in Republic of Korea, maintenance weighting factor are given to the sections divided by automated switches.

In the case study, The component failure rate is extracted by field fault data and reliability index SAIDI and expected interruption cost are used.

If maintenance decision made by weghting factor given to the automated sections, it can be seen that the expected power interruption cost decreased.

keywords : DAS, Maintenance, RCM, Weighting Factor
Student Number : 2019-24565