

지역별 지중 배전계통 공급방식의 공급신뢰도 평가 기법

최상봉*, 정성환*, 김대경*,
한국전기연구소*

A Study on the Reliability Evaluation in Regional Underground Distribution System

Choi Sang Bong*, Jeong Seong Hwan*, Kim Dae Kyeong*,
KERI*

Abstract - The objective of this study is to evaluate properly reliability of underground distribution system taking into account domestic circumstance. Interruption time and number of interruption customer by distribution system based on actual condition in domestic utility are considered as important index to estimate reliability of underground distribution system. This paper presents evaluation results regarding the reliability of an underground distribution system using a model system as new urban area, evaluation results which is established whether automatic system is introduced or not are shown in detail.

1. 서 론

배전설비는 전력설비 중에서 수용가가 가장 가까이에 있고 막대한 설비 수 때문에 여러 가지면에서 국민생활과 밀접한 관계에 있다. 이와 같은 이유로 배전설비의 형성이 사회에 미치는 영향은 매우 크다고 볼 수 있다. 한편, 최근 들어 세계의 각 전력회사에서는 도시 경관의 향상과 방염의 면에서 배전선의 지중화를 계획적으로 추진하고 있는데 이때 필수적인 사항 중에 하나가 배전계통 구성방식의 공급신뢰도 평가이다. 일반적으로 배전계통 구성방식의 공급신뢰도 평가는 우선 해당지역에 대하여 적용 가능한 계통 구성방식을 제안하고 제안한 계통 구성 방식별로 설계를 실시하여 신뢰도 지수를 산정함으로써 신뢰도 평가를 시행하고 있다[1][2][3]. 그러나 신뢰도 지수를 정확히 평가하기 위해서는 선행적으로 배전 기자재별 정전시간 및 정전 수용가 수 등의 산정을 그 나라 특성에 맞게 설정하여야 한다. 따라서 필자 등은 다양한 지중배전계통 구성 방식에 대하여 경제성과 신뢰성을 국내 실정에 맞게 평가할 수 있는 방법을 제시하였다.[4] 그러나 최근 들어 국내에도 배전자동화 시스템의 본격적인 도입이 임박함에 따라 이번 회에는 좀 더 상세하게 배전계통 구성방식별로 자동화 시스템과 비자동화 시스템에 따른 공급신뢰도를 평가할 수 있는 기법을 제안하였다. 따라서 본 논문에서는 지중배전계통 구성 방식별로 자동화 시스템 도입에 따른 공급신뢰도를 평가할 수 있는 알고리즘을 추가로 제시하고 수도권 신도시 지역을 샘플 대상 지역으로 선정하여 실제 적용함으로써 계통 계획자가 신도시 지역의 지중배전 계통구성 방식의 공급신뢰도 평가에 도움을 줄 것으로 판단된다.

2. 본 론

국내에 배전계통의 지중화 도입에 있어 가장 큰 문제점의 하나가 지중배전 기자재의 공간확보이다. 그러나 도시 지역의 경우 다른 지역에 비해 도시계획이 잘 이루어져 있어 공간확보 문제가 큰 걸림돌로 작용하지 않기 때문에 이 지역에서의 지중화 추진은 쉽게 이루어질 것으로 판단된다. 또한 최근 들어 지역개발의 여론에 힘입어 새로운 신도시의 개발에 대한 요구가 급증하고 있는 추

세이기 때문에 이들 신도시 지역의 지중화를 위한 배전계통 공급 방식별 공급신뢰도의 평가가 절실히 요망되고 있다.

2.1 지중 배전계통 구성방식의 공급신뢰도 평가

본 논문에서는 지역별 지중 배전계통 구성방식의 공급신뢰도 평가 기법으로서 신뢰도 지수를 산출하기 위한 각 항목별 요소를 우리 나라 실정에 적합하도록 정립함으로써 각 계통 구성 방식별로 신뢰도를 평가할 수 있는 기법을 제시하였다.

2.1.1 지중 배전계통의 공급신뢰도 평가 알고리즘

다음은 신도시 지역에 대하여 배전계통 구성방식별로 자동화 및 비자동화 시스템에 따른 공급신뢰도를 평가하기 위한 알고리즘을 제시하였으며 순서에 따른 흐름도를 그림 1과 같이 제시하였다.

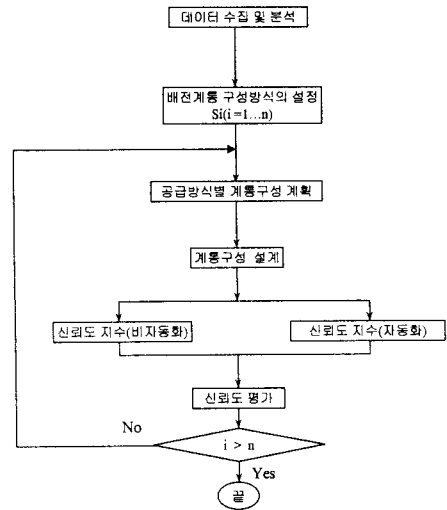


그림 1 지중 배전계통 신뢰도 평가를 위한 흐름도

2.1.2 신뢰도 평가를 위한 항목별 선정

각 계통 구성방식별 신뢰도 평가는 자동화 시스템 및 비자동화 시스템별로 평균정전회수(SAIFI), 시스템 평균정전시간(SAIDI), 수용가 평균정전시간(CAIDI) 그리고 평균공급가용률(ASAI)등의 4가지로 대별될 수 있으며 이들 신뢰도 지수를 평가하기 위한 항목으로서 배전기자재의 고장확률과 계통구성 방식에 따른 배전기자재의 고장원인별 정전수용가 수와 정전시간의 산출에 대한 기준을 다음과 같이 선정하였다.

가. 지중배전 기자재별 고장확률

지중배전 기자재인 케이블, 변압기, 개폐기, 접속재에 대한 고장확률을 최근의 지중배전 기자재별 고장에 대한 국내 자료를 참조하여 다음 표1과 같이 선정하였

다.

표 1 지중배전 기자재별 고장확률

항목 기자재별	고장길이 (건수)①	전체길이 (대수)②	고장확률 ①/②
케이블	154km	11,937km	0.0129(길이/km)
접속재	36	105,478	0.0003(건수/대)
변압기	24	16,555	0.00145(건수/대)
개폐기	18	12,430	0.00145(건수/대)

나. 지중배전 기자재별 정전시간(년간)

지중배전 기자재별 정전시간 산정은 우리나라 지중배전 사업소에서 적용하고 있는 정전복구 작업 절차와 작업시간에 근거하여 케이블, 변압기, 개폐기, 접속재에 대한 고장확률을 최근의 국내 자료를 참조하여 다음과 같이 수식화하였다.

- ◆개폐기당 평균 개폐기 절체시간은 3분
- ◆고장절체를 위해 이동하는 시간은 10분
- ◆각 계통구성방식별 선로 수를 산정한다.
- ◆각 계통구성방식별 평균개폐기 수=개폐기수÷선로 수
- ◆고장발생점 탐지를 위한 이동회수(n)=(평균개폐기 수÷2)ⁿ≤1
- ◆평균고장탐지시간=(n-1)×10분/이동당
- ◆평균개폐절체시간=(2n-1)×3분/개폐기당

단, 위에서 제시한 기자재별 정전시간은 비자동화 시스템인 경우를 기준으로 산정하였으며 자동화 시스템의 경우에는 개폐기 절체시간이나 고장절체를 위해 이동하는 시간은 최소한의 고장분석 시간을 제외하고는 없는 것으로 간주된다. 또한 비자동화 시스템의 경우에도 계통구성형태별로 절체가 필요하지 않는 방식이 있으므로 이를 고려하여 정전시간을 산출하였으며 각 계통구성형태에 따른 구체적인 지중배전 기자재별 정전시간은 사례검토 대상지역에서 제시하였다.

다. 기자재별 정전 수용가 수

지중배전 기자재별 정전 수용가 수는 지중배전 기자재별로 고장이 발생하였을 경우 그로 인해 정전이 발생하는 수용가 수를 나타내며 기자재별 정전수용가 수의 산출 방법은 다음과 같다.

- ◆간선 케이블(개폐기,접속재) 고장으로 인한 정전 수용가 수 =간선 케이블(개폐기,접속재) 수용가 수 ÷ 간선 수
- ◆지선 케이블(개폐기,접속재) 고장으로 인한 정전 수용가 수 =(지선 케이블(개폐기,접속재) 수용가 수 ÷ 지선 수)÷2

간선 케이블(개폐기,접속재)의 경우는 간선당 수용가 수가 정전되며 지선 케이블(개폐기,접속재)의 경우에는 지선당 수용가 수에 평균적으로 1/2 만큼의 수용가가 정전된다. 그 이유는 기자재별 정전시간의 산출을 지선 케이블(개폐기,접속재)에서 공급받는 모든 수용가가 정전으로부터 완전히 복구하는 시간으로 산정하였으나 실제로는 복구절차에 따라 수용가 별로 정전시간이 조금씩 다르므로 이를 고려하여 평균개념을 도입하였다.

2.2 사례 검토

지역별 지중배전계통 구성 방식의 신뢰도를 평가하기 위한 사례 검토로서 경인지역의 신도시를 대상지역으로 선정하였다. 다음은 사례 검토 대상지역에 대한 개략적인 개요를 설명하였다.

2.2.1 개요

- ① 주공 아파트 단지, 일부주택 지역
- ② 대상회선 : 3회선
- ③ 대상면적 : 1.8km²
- ④ 전체 수용가 수 : 135호
- ⑤ 전체 부하(계약전력) : 26,500kVA

2.2.2 공급방식별 계통구성 설계

대상지역은 신도시 지역으로 도로 조건이 매우 양호하고 부하의 분포가 균등하게 분포되어 있는 지역으로 앞서 제시한 바와 같이 스포트/상용·예비/레귤러네트워킹 혼합방식, 상용·예비/레귤러네트워킹 혼합방식, 고·저압 연계 방식, Radial Branch 방식을 적용하여 계통구성을 다음과 같이 설계하였다.

가. 스포트/상용·예비/레귤러네트워킹 혼합방식

사례 대상지역은 크게 4개의 블록으로 구분이 가능하며 이 지역에 대한 계통 공급 설계는 부하의 크기를 고려하여 3회선으로 공급하도록 하였다. 공급방식은 계약전력 1,000kVA 이상의 수용가에 대해서는 스포트네트워킹 계통으로 100~1,000kVA 수용가에 대해서는 상용·예비선 공급 그리고 계약전력 100kVA 이하의 수용가에 대해서는 레귤러네트워킹으로 공급하는 방식으로 설계하였다. 따라서 사례지역의 고압수용가 16호 중에서 계약전력 1,000kVA 이상인 6호 수용가에 대해서는 스포트네트워킹 공급방식, 나머지 10호 수용가에 대해서는 상용·예비선 공급방식으로 그리고 저압수용가에 대해서는 레귤러네트워킹 방식을 적용하였다. 다음 표 2와 표 3은 각각 블록별 레귤러네트워킹 변압기 구성과 스포트네트워킹 변압기 구성을 도시하였다.

표 2 블록별 최대수요전력과 네트워크 변압기 구성

구분	최대수요전력 (kVA)	네트워크 변압기 구성	
지역 I	블록 #1	2,375	1,000kVA×3
	블록 #2	5,620	750kVA×6, 1,000kVA×3
	블록 #3	3,295	1,500kVA×3
	블록 #4	2,435	1,000kVA×3

표 3 블록별 스포트네트워킹 변압기 구성

구분	수용가 명	계약전력 (kW)	네트워크 변압기 구성	
지역 I	블록 #1	실내체육관	1,600	750kVA×3
	블록 #1	주공아파트	1,300	750kVA×3
	블록 #2	시청	1,850	750kVA×3
	블록 #2	효성아파트	1,350	750kVA×3
	블록 #3	영남아파트	2,000	1,000kVA×3
	블록 #3	극동아파트	1,200	1,000kVA×3

나. 상용·예비선/레귤러네트워킹 혼합방식

사례지역에 대한 상용·예비선/레귤러네트워킹 혼합방식의 적용은 다음과 같다. 즉, 저압수용가를 위한 계통 구성은 앞서 제시한 스포트/상용·예비/레귤러네트워킹 혼합방식과 같게 4개의 블록별로 표 2와 같이 레귤러네트워킹 공급방식으로 설계하였으며 고압수용가에 대해서는 상용·예비선 공급방식을 적용하였다.

다. 고·저압 연계 혼합방식

사례지역에 대한 고·저압 연계 혼합방식의 적용은

다음과 같다. 즉, 변압기 용량을 대용량화(500~1,000kVA)하는 것으로 하여 다음 표 4에 제시한바와 같이 블록별로 계약전력 500kVA 이하의 저압 수용가에 공급하는 것으로 대용량 변압기 구성을 설계하였으며 고압 수용가는 계약전력 500~1,000kVA 수용가는 고압연계방식으로 그리고 계약전력 1,000kVA 이상의 수용가는 상용·예비선 공급방식을 적용하였으며 이때 변압기 구성은 다음 표5와 같다.

표 4 블록별 최대수요전력과 대용량 변압기 구성

구 분	최대수요전력 (kVA)	대용량 변압기 구성
지역 I	블록 #1	500kVA×6, 750kVA×1
	블록 #2	1,000kVA×7
	블록 #3	500kVA×1, 1,000kVA×4
	블록 #4	750kVA×1, 1,000kVA×2

표 5 블록별 상용·예비선 변압기 구성

구 분	수용가 명	계약전력 (kW)	변압기 구성
지역 I	블록 #1	실내체육관	2,000kVA
	블록 #1	주공아파트	1,500kVA
	블록 #2	시 청	2,000kVA
	블록 #2	효성아파트	1,500kVA
	블록 #3	영남아파트	2,000kVA
	블록 #3	극동아파트	1,500kVA

라. Radial Branch 공급방식

사레지역에 대한 고·저압 연계 혼합방식의 적용은 다음과 같다. 즉, 계약전력 1,000kW 이상인 수용가에 대해서는 상용·예비선과 같은 단일 브랜치를 구성하였으며 나머지는 저압으로 공급하는 계통 구성방식을 적용하였다.

2.2.3 기자재별 정전시간 및 정전 수용가 수

대상지역의 계통구성형태별로 비자동화 시스템과 자동화 시스템에 대한 지중배전 기자재별 정전시간 및 정전 수용가 수의 산출은 다음과 같다.

가. 기자재별 정전시간(비자동화 시스템)

(1) 간선 케이블

간선 케이블에 대한 각 기자재별 정전시간은 다음 표 6과 같다

표 6 간선 케이블 정전시간(비자동화 시스템)

계통공급 방식	개폐소 수 ①	간선 수 ②	간선당 개폐소수 ③=①/②	출동시간(분) ④	평균고장 탐지시간(분) ⑤	평균개폐 절체시간(분) ⑥	평균정전시간(분) ⑦=④+⑤+⑥
스포츠/상용·예비/레귤러네트워크	10	3	3.33	0.0	0.0	3.0	3.00
상용·예비/레귤러네트워크	16	3	5.33	0.0	0.0	3.0	3.00
고·저압 연계	6	3	2.00	0.0	0.0	3.0	3.00
Radial Branch	6	3	2.00	0.0	0.0	3.0	3.00

(2) 지선 케이블

지선 케이블에 대한 각 기자재별 정전시간은 다음

표 7과 같다.

표 7 지선 케이블 정전시간(비자동화 시스템)

계통공급 방식	개폐소 수 ①	연계 수 ②	연계당 개폐소수 ③=①/②	출동 시간(분) ④	평균고장 탐지시간(분) ⑤	평균개폐 절체시간(분) ⑥	평균정전시간(분) ⑦=④+⑤+⑥
스포츠/상용·예비/레귤러네트워크	8	3	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0
상용·예비/레귤러네트워크	8	3	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0
고·저압 연계	24	3	8.0	30	20.0	15.00	65.00
Radial Branch	67	3	22.3	30	34.8	23.88	88.68

(3) 변압기

① 고·저압 연계 방식에서의 절체 시간 계산

◆ 출동시간 = 30 분

◆ 개폐절체시간 = 3 분

② 스포트/상용·예비/레귤러네트워크, 상용·예비/레귤러네트워크 그리고 Radial Branch 방식에서의 절체시간 = 120 분

나. 각 기자재별 정전시간(자동화 시스템)

(1) 간선 케이블

자동화 시스템에서의 간선 케이블에 대한 각 기자재별 정전시간은 다음 표 8과 같다.

표 8 간선 케이블 정전시간(자동화 시스템)

계통공급 방식	개폐소 수 ①	간선 수 ②	간선당 개폐소 수 ③=①/②	출동 시간(분) ④	평균고장 탐지시간(분) ⑤	평균개폐 절체시간(분) ⑥	평균정전시간(분) ⑦=④+⑤+⑥
스포츠/상용·예비/레귤러네트워크	10	3	3.33	0.0	0.0	0.0	0.00
상용·예비/레귤러네트워크	16	3	5.33	0.0	0.0	0.0	0.00
고·저압 연계	6	3	2.00	0.0	0.0	0.0	0.00
Radial Branch	6	3	2.00	0.0	0.0	0.0	0.00

(2) 지선 케이블

자동화 시스템에서의 지선 케이블에 대한 각 기자재별 정전시간은 다음 표 9와 같다.

표 9 지선 케이블 정전시간(자동화 시스템)

계통공급 방식	개폐소 수 ①	연계 수 ②	연계당 개폐소 수 ③=①/②	출동 시간(분) ④	평균고장 탐지시간(분) ⑤	평균개폐 절체시간(분) ⑥	평균정전시간(분) ⑦=④+⑤+⑥
스포츠/상용·예비/레귤러네트워크	8	3	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0
상용·예비/레귤러네트워크	8	3	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0
고·저압 연계	24	3	8.0	0.0	0.0	3.80	3.80
Radial Branch	67	3	22.3	0.0	0.0	5.23	5.23

(3) 변압기

비자동화 시스템과 같음.

다. 각 방식별 기자재별 정전수용가 수

(1) 스포트/상용·예비/레귤러네트워크 방식

- ◆ 간선 케이블 $(10 \div 3) = 3.33$
- ◆ 지선 케이블
- ◆ 변압기 $10 \div 10 = 1.0$
- ◆ 간선 개폐기 $(10 \div 3) = 3.33$
- ◆ 지선 개폐기
- ◆ 간선 접속재 $(10 \div 3) = 3.33$
- ◆ 지선 접속재
- (2) 상용·예비/레귤러네트워크 방식
 - ◆ 간선 케이블 $(16 \div 3) = 5.33$
 - ◆ 지선 케이블
 - ◆ 변압기 $16 \div 16 = 1.0$
 - ◆ 간선 개폐기 $(16 \div 3) = 5.33$
 - ◆ 지선 개폐기
 - ◆ 간선 접속재 $(16 \div 3) = 5.33$
 - ◆ 지선 접속재
- (3) 고·저압 연계 공급 방식
 - ◆ 간선 케이블 $6 \div 3 = 2.0$
 - ◆ 지선 케이블 $(118 \div 3) \div 2 = 19.7$
 - ◆ 변압기 $124 \div 30 = 4.13$
 - ◆ 간선 개폐기 $6 \div 3 = 2.0$
 - ◆ 지선 개폐기 $(118 \div 3) \div 2 = 19.7$
 - ◆ 간선 접속재 $6 \div 3 = 2.0$
 - ◆ 지선 접속재 $(118 \div 3) \div 2 = 19.7$
- (4) Radial Branch 공급 방식
 - ◆ 간선 케이블 $6 \div 3 = 2.0$
 - ◆ 지선 케이블 $(118 \div 3) \div 2 = 19.7$
 - ◆ 변압기 $124 \div 124 = 1.00$
 - ◆ 간선 개폐기 $6 \div 3 = 2.0$
 - ◆ 지선 개폐기 $(118 \div 3) \div 2 = 19.7$
 - ◆ 간선 접속재 $6 \div 3 = 2.0$
 - ◆ 지선 접속재 $(118 \div 3) \div 2 = 19.7$

2.2.4 공급방식별 신뢰도 평가 및 비교 분석

대상지역의 계통구성형태별로 비자동화 시스템과 자동화 시스템에 대하여 신뢰도 평가 요소 항목별로 신뢰도 지수를 산출하여 비교하였다. 다음 표 10에 각 시스템에 대한 비교 분석을 요약하여 제시하였다.

표 10 지중배전계통 구성방식별 신뢰도 비교 요약

공급 조건	신뢰도 데이터			
	SAIFI	CAIDI (분)	SAIDI (분)	ASAI
스포츠/상용·예비/레귤러 방식	0.0405	3.0452	0.1234 ③	100.0000
상용·예비/레귤러 방식	0.0667	3.2349	0.2157 ④	100.0000
고·저압 연계 방식	0.2970	47.8079	14.1983 ⑦	99.9973
Radial Branch 방식	0.2579	66.6242	17.1855 ⑧	99.9967
스포츠/상용·예비/레귤러 방식(자)	0.0405	0.9694	0.0393 ①	100.0000
상용·예비/레귤러 방식(자)	0.0667	1.0101	0.0674 ②	100.0000
고·저압 연계 방식(자)	0.2970	3.2483	0.9647 ⑤	99.9998
Radial Branch 방식(자)	0.2579	5.1300	1.3233 ⑥	99.9997

3. 결 론

본 논문에서는 배전계통 계획자가 신도시 지역에 대하여 지중배전 계통구성 방식별로 공급신뢰도를 산정할 수 있는 평가 알고리즘을 도출하기 위하여 그 기준이 되는 신뢰성 데이터 요소를 자동화 시스템과 비자동화 시스템으로 구분하여 국내 실정에 적합하게 평가할 수 있는 산정 기법을 다음과 같이 개발하였다.

(1) 지역별로 지중배전계통 구성 방식에 대하여 공급신뢰도를 평가할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 특히, 각 지중배전계통 구성방식에서의 공급신뢰도 평가 기준이 되는 신뢰성 데이터를 제시하고 이를 국내 실정에 적합하게 산정할 수 있는 기법을 제시하였을 뿐만 아니라 자동화 시스템 도입여부에 따른 산정 방법을 추가로 제시함으로써 지중배전계통 구성 방식의 올바른 공급신뢰도 평가방법을 도출하였다.

(2) 본 알고리즘을 수도권 신도시 지역을 샘플 대상으로 선정하여 실제 적용함으로써 계통 계획자가 지중배전계통 구성방식별로 국내 실정에 적합하게 공급신뢰도를 평가할 수 있는 방법을 제시하였다.

(3) 지중배전계통 구성방식의 공급신뢰도를 결정하는 관련 데이터는 최근의 한전 지중배전 기자재별 고장확률과 국내 작업 현장에서 적용하고 있는 정전복구 작업 절차와 작업 시간을 고려하였으며 이를 근거로 자동화 시스템 도입 여부에 따라 각 지중배전계통 구성 방식별로 기자재별 정전시간 및 정전수용가 수를 산출하는 방법을 제시하였다.

[참 고 문 헌]

- [1]"Guide to value-based distribution reliability Planning Volume I, CEA Report, Canada, 1996
- [2]"Guide to value-based distribution reliability Planning Volume II, CEA Report, Canada, 1996
- [3]"System Master Plan Report", Toronto Hydro Electric, Canada, 1997
- [4]최상봉의 "지역별 지중배전계통 구성방식의 합리적인 평가 기법", KIEE Trans. Vol 49, No 3, Mar. 2000
- [5]"네트워크 최적화 수법에 의한 고·저압 지중 배전계통의 계획 수법", 일본전력중앙연구소, 1989.9
- [6]"22kV SNW 배전의 설계자침", 구주전력, 1996.
- [7]"Outage Reduction and Modernization of Distribution Automation", 구주전력, 1992.