

A Study on the Reliability Evaluation of Underground Distribution System

崔商鳳*·金大景**·鄭聖煥*

(Sang-Bong Choi · Dae-Kyeong Kim · Seong-Hwan Jeong)

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 algorithm to evaluate reliability of underground distribution system by using a model system as new urban area. Evaluation results which is established are shown in detail according to whether automatic system is introduced or not.

Key Words : Underground Distribution System, Reliability, Interruption Time, Interruption Customer, New Urban Area

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 영향이 적지 않다고 볼 수 있다. 한편, 최근 들어 세계의 각 전력회사에서는 도시 경관의 향상과 화재 예방의 면에서 배전선의 지중화를 계획적으로 추진하고 있는데 이때 도입 선정에 있어 필수적인 사항 중에 하나가 배전계통 구성 방식의 공급신뢰도 평가이다. 일반적으로 배전계통 구성 방식의 공급신뢰도 평가는 우선 해당지역에 대하여 적용 가능한 계통 구성방식을 제안하고 제안한 계통구성 방식별로 설계를 실시하여 신뢰도 지수를 산정함으로써 신뢰도 평가를 시행하고 있다. 그러나 대다수의 경우, 신뢰도 평가 방법에 있어 배전기자재 중 주로 선로사고만을 고려하여 정전 발생시 모선별 부하와 그와 연결된 수용가 수를 고려하여 신뢰도 평가를 산정하는 방법을 채택해오고 있다[1][2][3].

그러나 실제 지중 배전계통에는 선로뿐만이 아니고 개폐기, 변압기, 접속재 등 다양한 배전기자재가 존재하는데 이들 각각의 사고확률도 다를 뿐만 아니라 이들의 사고 형태별로 정전되는 수용가 수와 정전 시간도 다르기 때문에 보다 정확한 신뢰도 지수를 산출하기 위해서는 이와 같은 요소들을 좀더 구체적이고 논리적으로 결정할 수 있는 접근 방법이 제고되게 되었다. 다시 말하면, 신뢰도 지수보다 정확히 산정하기 위해서는 배전기자재의 고장 및 공

급방식 형태에 따라 정전시간 및 정전 수용가 수의 산출을 실제 계통 구성 및 운용 특성에 맞게 엄격하게 설정할 필요가 있다는 것이다. 즉, 정전시간의 경우, 각 배전기자재 고장확률 및 계통공급 방식 형태에 근거하여 고장 발생시 고장복구를 위해 출동하는 시간 및 평균 고장탐지 시간 그리고 개폐절체에 따른 시간을 모두 고려하여 평균 정전시간을 산출하여야 한다. 또한 정전 수용가 수의 경우에도 마찬가지로 각 배전기자재 사고 및 계통공급 방식 형태에 따라 정전으로 인한 수용가 수를 보다 논리적으로 산출하여야 한다.

따라서 저자 등은 이러한 논리에 근거하여 다양한 지중 배전계통 구성 방식에 대하여 좀더 정확하게 경제성과 신뢰성을 평가할 수 있는 방법을 검토하였다.[4] 그러나 최근 들어 국내에도 배전자동화 시스템의 본격적인 도입이 임박해옴에 따라 이번 회에는 좀더 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 기법을 추가로 제시하고 수도권 도시지역을 샘플 대상 지역으로 선정하여 실제 적용함으로써 계통 계획자가 지역별로 지중배전 계통구성 방식의 공급신뢰도 평가에 도움을 줄 것으로 판단된다.

2. 지중배전 공급방식별 신뢰도 평가 기법

국내에 배전계통의 지중화 도입에 있어 가장 큰 문제점의 하나가 지중배전 기자재의 공간확보이다. 그러나 신도시 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 개발

* 正 會 員 : 電氣研究員 選任研究員

** 正 會 員 : 電氣研究員 責任研究員

接受日字 : 2001年 1月 31日

最終完了 : 2001年 6月 21日

에 대한 요구가 급증하고 있는 추세이기 때문에 이들 신도시 지역의 지중화를 위한 배전계통 공급 방식별 공급신뢰도의 평가가 절실히 요망되고 있다.

지금 현재 신도시 지역은 환경보존 문제와 도시 미관상의 문제로 대부분 지중 배전공급방식이 적용되고 있으며 계통 구성방식은 타계통 절체가 가능한 연계 방식이 적용되고 있다. 그러나 해외 선진국의 배전계통 구성방식을 살펴보면 단일 배전계통 구성 방식을 적용하는 경우는 거의 드물고 지역 및 부하 특성에 따라 배전계통 구성 방식을 달리하는 혼용 시스템 방식을 채택하고 있다.

2.1 지역별 지중 배전계통 공급방식의 공급신뢰도 평가

본 논문에서는 각 지역별 지중 배전계통 공급방식의 공급신뢰도 평가 기법으로서 신뢰도 지수를 산출하기 위한 각 항목별 요소를 우리 나라 실정에 적합하도록 정립하기 위하여 배전기자재별 고장확률에 따른 정전시간 및 정전 수용가 수를 실제 계통 운용 특성에 맞게 설정함으로써 각 계통 공급 방식별로 공급 신뢰도를 보다 정밀하게 평가할 수 있는 기법을 제시하였다.

2.1.1 자중 배전계통의 공급신뢰도 평가 알고리즘

다음은 각 지역에 대하여 배전계통 공급방식별로 배전기자재별 고장확률에 따른 정전시간 및 정전 수용가 수를 엄격하게 구분하여 산출함으로써 자동화 및 비자동화 시스템에 따른 공급신뢰도를 보다 정확하게 평가하기 위한 새로운 알고리즘을 제시하였으며 순서에 따른 흐름도를 그림 1과 같이 제시하였다.

- (1) 해당지역에 대한 데이터 수집 및 분석
해당지역에 대한 관련 전기적 데이터를 수집하고 분석한다.
- (2) 배전계통 공급방식의 설정
신도시 지역은 중요 수용가가 많은 고부하밀도 지역이므로 이를 고려하여 평가할 계통구성방식은 다음과 같이 신뢰도가 높은 방식으로 선정한다.
 - ◆ 스포트/상용·예비/레귤러네트워크 혼합방식
 - ◆ 상용·예비/레귤러네트워크 혼합방식
 - ◆ 고·저압 연계 방식
 - ◆ Radial Branch 방식
- (3) 계통구성 방식별 설계
각 계통구성 방식별 설계는 해당지역의 부하 및 환경, 도로 그리고 현장 여건 등을 고려하여 다음 사항을 설계한다. 단, 네트워크 방식을 설계할 경우에는 “네트워크 최적화 수법에 의한 고·저압 지중 배전계통의 계획 수법[5]”과 “22kV SNW 배전의 설계 지침[6]”에 근거하여 시행한다.
 - ◆ 간선, 지선 케이블 경로의 최적화
 - ◆ 변압기, 개폐기, 맨홀 위치 및 대수
 - ◆ 적정 변압기 용량의 산정
- (4) 신뢰도 평가
배전계통 공급방식별로 배전기자재의 고장확률과 고장원인별 정전수용가 수 및 정전시간의 산출을 자동화와 비자동화 시스템별[7]로 구분하여 신뢰도 지수를 평가한다. 상세한 산정 기준에 대해서는 다음 2.1.2에 기술하였다.
 - ◆ 배전기자재 고장확률 산정
 - ◆ 배전기자재별 정전 수용가 수 산출
 - ◆ 배전기자재별 정전시간 산출
 - ◆ 정전수용가 수 산출
 - ◆ 정전시간 산출

- ◆ 배전기자재별 정전 수용가 수 산출
 - ◆ 배전기자재별 정전시간 산출
 - ◆ 공급방식별 신뢰도 지수 산출
 - ◆ 자동화/비자동화시스템별 신뢰도 지수 산출
- (5) 적정공급 방식의 선정
배전계통 공급방식별로 평가된 신뢰도 지수에 근거하여 합리적인 적정 공급방식을 선정한다. 단, 신뢰도 지수와 경제성은 서로 상충관계에 있으므로 투자대비 신뢰도를 고려하여 적정 공급방식을 선정하여야 한다.

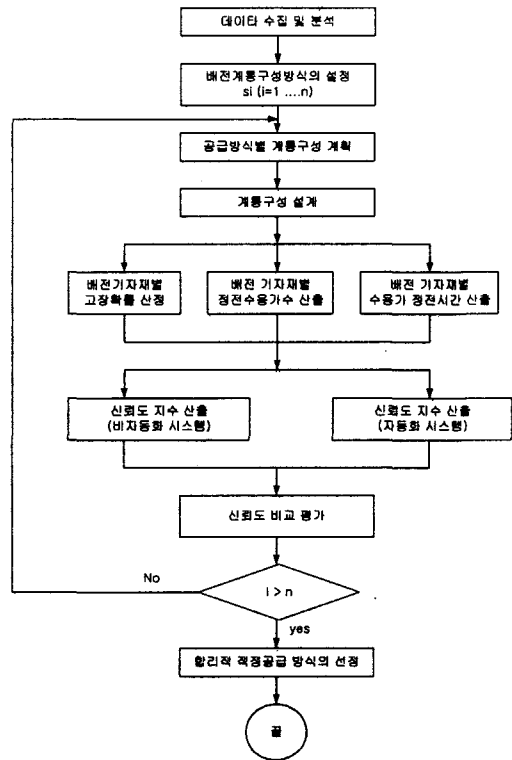


그림 1 지중 배전계통 공급방식 신뢰도 평가 흐름도
Fig. 1 Flowchart to evaluate reliability of underground distribution system

2.1.2 신뢰도 평가를 위한 항목별 산정 기준의 설정

일반적으로 각 계통 구성방식별 신뢰도 평가는 IEEE에서 제시한 대표적인 지표로서 평균정전회수(SAIFI), 시스템 평균정전시간(SAIDI), 수용가 평균정전시간(CAIDI) 그리고 평균 공급가용률(ASAI)등의 4가지로 대별될 수 있는데 이와 같은 신뢰도 지수 평가의 정확성 유무는 지수 평가에 적용되는 항목의 산정 기준의 엄격성 여부에 달려있다. 따라서 본 논문에서는 지중 배전계통 공급방식별로 이와 같은 신뢰도 지수의 산출시 그 정확도를 제고시키기 위하여 우선 각 배전기자재별 고장확률을 산정하고 기자재별 고장확률에 따른 정전시간과 정전 수용가 수를 보다 논리적으로 산출하기 위한 기준을 다음과 같이 설정하였다.

- 가. 지중배전 기자재별 고장확률
지중배전 기자재인 케이블, 변압기, 개폐기, 접속체에 대한 고장확률을 최근의 지중배전 기자재별 고장에 대한 국내 자

료를 참조하여 다음 표 1 과 같이 산정하였다.

표 1 지중배전 기자재별 고장확률
Table 1. Probability of outage for underground distribution equipment respectively

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

- ◆ 고장복구를 위한 출동시간은 30분
- ◆ 개폐기당 평균 개폐기 절체시간은 3분
- ◆ 고장절체를 위해 이동하는 시간은 10분
- ◆ 각 계통구성방식별 선로 수를 산정한다.
- ◆ 각 계통구성방식별 평균개폐기 수=개폐기 수÷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 시스템 인 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.

- ◆ 간선케이블(개폐기,접속재)고장으로 인한 정전수용가 수
=간선 케이블(개폐기,접속재) 수용가 수 ÷ 간선 수
- ◆ 지선케이블(개폐기,접속재)고장으로 인한 정전수용가 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 수용

가 별로 정전시간이 조금씩 다르므로 이를 고려하여 평균개념을 도입하였다.

2.2 사례 검토

신도시 지역의 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/레귤러네트워크 혼합방식, 상용·예비/레귤러네트워크 혼합방식, 고·저압 연계 방식, Radial Branch 방식을 적용하여 계통구성을 다음과 같이 설계하였다.

가. 스포트/상용·예비/레귤러네트워크 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 스포트네트워크 계통으로 100~1,000kVA 수용가에 대해서는 상용·예비선 공급 그리고 계약전력 100kVA 이하의 수용가에 대해서는 레귤러네트워크로 공급하는 방식으로 설계하였다. 따라서 사례지역의 고압수용가 16호 중에서 계약전력 1,000kVA 이상인 6호 수용가에 대해서는 스포트네트워크 공급방식, 나머지 10호 수용가에 대해서는 상용·예비선 공급방식으로 그리고 저압수용가에 대해서는 레귤러네트워크 방식을 적용하였다. 다음 표 2와 표 3은 각각 블록별 레귤러네트워크 변압기 구성과 스포트네트워크 변압기 구성을 도시하였으며 사례지역에 대한 최종 공급 구성도는 다음 그림 2와 같다.

표 2 블록별 최대수요전력과 레귤러네트워크 변압기 구성
Table 2 Peak demand power and composition of regular network transformer in block respectively

구 분	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 스포트네트워크 변압기 구성
Table 3 Composition system of spot network transformer in block respectively

구 분	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

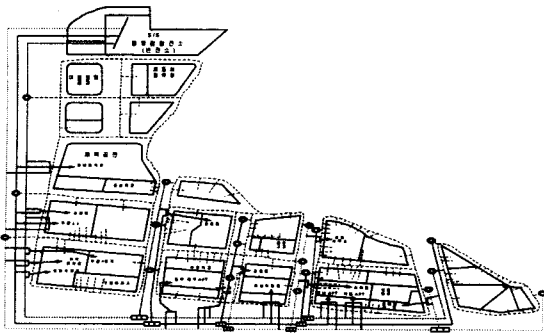


그림 2 스포트/상용·예비/레귤러네트워크 방식 구성도
Fig. 2 spot/primary selective/regular network system

나. 상용·예비선/레귤러네트워크 혼합방식

사례지역에 대한 상용·예비선/레귤러네트워크 혼합방식의 적용은 다음과 같다. 즉, 저압수용가를 위한 계통 구성은 앞서 제시한 스포트/상용·예비/레귤러네트워크 혼합방식과 같게 4개의 블록별로 표 2와 같이 레귤러네트워크 공급방식으로 설계하였으며 고압수용가에 대해서는 상용·예비선 공급방식을 적용하였다. 사례지역에 대한 최종 공급 구성도는 다음 그림 3과 같다.

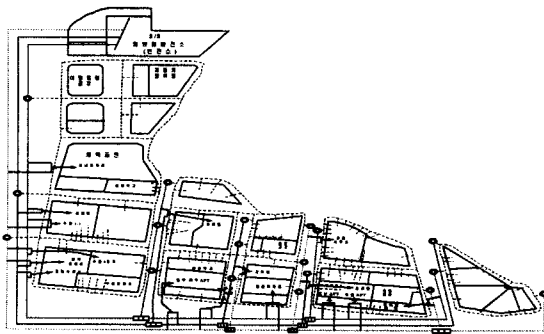


그림 3 상용·예비/레귤러네트워크 방식 구성도
Fig. 3 Primary selective/regular network system

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 변압

기 구성을 설계하였으며 고압 수용가는 계약전력 500~1,000kVA 수용가는 고압연계방식으로 그리고 계약전력 1,000kVA이상의 수용가는 상용·예비선 공급방식을 적용하였으며 이때 변압기 구성은 다음 표5와 같다. 사례지역에 대한 최종 공급 구성도는 다음 그림 4와 같다.

표 4 블록별 최대수요전력과 대용량 변압기 구성
Table 4 Peak demand power and composition of large capacity transformer in block respectively

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
Table 5 Primary selective system in block respectively

구 분	수용가 명	계약전력 (kW)	변압기 구성
지역 I	블록 #1 실내체육관	1,600	2,000kVA
	블록 #1 주공아파트	1,300	1,500kVA
	블록 #2 시청	1,850	2,000kVA
	블록 #2 효성아파트	1,350	1,500kVA
	블록 #3 영남아파트	2,000	2,000kVA
	블록 #3 극동아파트	1,200	1,500kVA

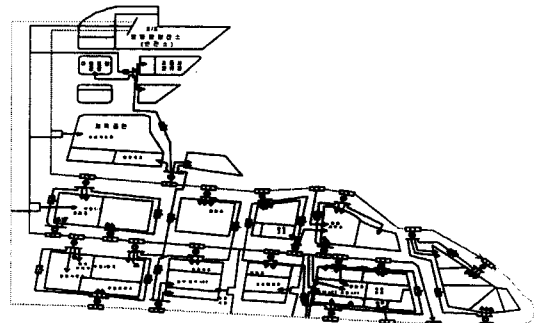


그림 4 고·저압 연계 방식 구성도
Fig. 4 Primary/secondary loop system

라. Radial Branch 공급방식

사례지역에 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 적용하였으며 최종적인 계통 구성도는 다음 그림 5와 같다.

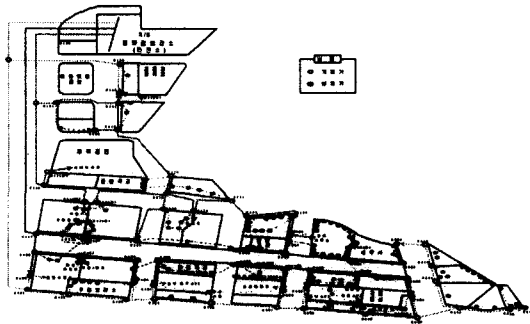


그림 5 Radial Branch 방식 구성도
Fig 5. Configuration system of radial branch

2.2.3 지중배전 기자재별 정전시간 및 정전수용가 수 산정

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)

Table 6 Interruption time of main cable fault(non-auto)

계통공급 방식	개폐소수 ①	간선수 ②	간선당 개폐소수 ③=①/②	출동시간(분) ④	평균고장 탐지시간(분) ⑤	평균개폐 절체시간(분) ⑥	평균정전 시간(분) ⑦=④+⑤+⑥
스포츠/상용·예비/레귤러	10	3	3.33	0.0	0.0	3.0	3.00
상용·예비/레귤러	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

샘플 지역의 각 계통구성방식별 간선케이블 고장에 대한 정전 시간 산출은 다음과 같다.

- ① 모든 계통공급방식의 간선 수는 3회선이다.
- ② 모든 방식에 대하여 간선케이블 고장시 다른 회선으로 절체가 가능하므로 개폐절체시간은 3분이다.

(2) 지선 케이블

지선 케이블에 대한 각 기자재별 정전시간은 다음 표 7과 같다

표 7 지선 케이블 정전시간(비자동화 시스템)

Table 7 Interruption time of branch cable fault(non-auto)

계통공급 방식	개폐소수 ①	연계수 ②	연계당 개폐소수 ③=①/②	출동시간(분) ④	평균고장 탐지시간(분) ⑤	평균개폐 절체시간(분) ⑥	평균정전 시간(분) ⑦=④+⑤+⑥
스포츠/상용·예비/레귤러	8	3	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0
상용·예비/레귤러	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

- ① 모든 방식에서 지선이 존재하며 이때 연계 수는 3개이다.

- ② 고·저압 연계 방식에서의 평균고장탐지와 개폐절체시간의 계산

- ◆연계당 개폐소 수=24/3=8.0
- ◆ $n=(8.0 \div 2^n) \leq 1=3.00$
- ◆평균고장탐지시간=(n - 1)×10 분/이동당=20.0
- ◆평균개폐절체시간=(2n-1)×3분/개폐소당=15.00

- ③ Radial Branch 방식에서의 평균고장탐지와 개폐절체시간의 계산

- ◆연계당 개폐소 수=67/3=22.3
- ◆ $n=(22.3 \div 2^n) \leq 1=4.48$
- ◆평균고장탐지시간=(n-1)×10분/이동당=34.8
- ◆평균개폐절체시간=(2n-1)×3분/개폐소당=23.88

(3) 변압기

- ①고·저압 연계 방식에서의 절체시간 계산

- ◆출동시간=30분
- ◆개폐절체시간=3분

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

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)

Table 8 Interruption time of main cable fault(auto)

계통공급 방식	개폐소수 ①	간선수 ②	간선당 개폐소수 ③=①/②	출동시간(분) ④	평균고장 탐지시간(분) ⑤	평균개폐 절체시간(분) ⑥	평균정전 시간(분) ⑦=④+⑤+⑥
스포츠/상용·예비/레귤러	10	3	3.33	0.0	0.0	0.0	0.00
상용·예비/레귤러	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

- ◆ 자동화 시스템에서는 간선 케이블 고장시 각 계통공급방식별로 정전이 발생되지 않는다.

(2) 지선 케이블

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

표 9 지선 케이블 정전시간(자동화 시스템)

Table 9 Interruption time of branch cable fault(auto)

계통공급 방식	개폐소수 ①	연계수 ②	연계당 개폐소수 ③=①/②	출동시간(분) ④	평균고장 탐지시간(분) ⑤	평균개폐 절체시간(분) ⑥	평균정전 시간(분) ⑦=④+⑤+⑥
스포츠/상용·예비/레귤러	8	3	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0
상용·예비/레귤러	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

- ① 모든 방식에서 지선이 존재하며 이때 연계 수는 3개다.
- ② 자동화 시스템의 경우, 스포츠/상용·예비/레귤러네트워크와 상용·예비/레귤러 네트워크 방식은 지선케이블 고장시 정전이 발생되지 않는다.

③ 고·저압 연계 방식과 Radial Branch 방식에서의 최소 개폐절체시간은 부하절체를 분석하기 위한 시간을 고려하여 3분으로 한다.

④ 고·저압 연계 방식에서의 평균 개폐절체시간의 계산

- ◆연계당개폐소 수=24/3=8.0
- ◆최소개폐절체시간=3.00
- ◆평균개폐절체시간=3.00+(8.0/10)=3.80

⑤ Radial Branch 방식에서의 평균 개폐절체시간의 계산

- ◆연계당 개폐소 수=67/3=22.3
- ◆최소개폐절체시간=3.00
- ◆평균개폐절체시간=3.00+(22.3/10)=5.23

(3) 변압기

① 고·저압 연계 방식에서의 절체시간 계산

- ◆출동시간=30분
- ◆개폐절체시간=3분

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

다. 각 방식별 기자재별 정전수용가 수

(1) 스포트/상용·예비/레귤러네트워크 방식

- ◆간선 케이블 (10 ÷ 3) = 3.33
- ◆지선 케이블
- ◆변압기 10 ÷ 10 = 1.0
- ◆간선 개폐기 (10 ÷ 3) = 3.33
- ◆지선 개폐기
- ◆간선 접속재 (10 ÷ 3) = 3.33
- ◆지선 접속재

(2) 상용·예비/레귤러네트워크 방식

- ◆ 간선 케이블 (16 ÷ 3) = 5.33
- ◆ 지선 케이블
- ◆ 변압기 16 ÷ 16 = 1.0
- ◆ 간선 개폐기 (16 ÷ 3) = 5.33
- ◆ 지선 개폐기
- ◆ 간선 접속재 (16 ÷ 3) = 5.33
- ◆ 지선 접속재

(3) 고·저압 연계 공급 방식

- ◆ 간선 케이블 6 ÷ 3 = 2.0
- ◆ 지선 케이블 (118 ÷ 3) ÷ 2 = 19.7
- ◆ 변압기 124 ÷ 30 = 4.13
- ◆ 간선 개폐기 6 ÷ 3 = 2.0
- ◆ 지선 개폐기 (118 ÷ 3) ÷ 2 = 19.7
- ◆ 간선 접속재 6 ÷ 3 = 2.0
- ◆ 지선 접속재 (118 ÷ 3) ÷ 2 = 19.7

(4) Radial Branch 공급 방식

- ◆ 간선 케이블 6 ÷ 3 = 2.0
- ◆ 지선 케이블 (118 ÷ 3) ÷ 2 = 19.7
- ◆ 변압기 124 ÷ 124 = 1.00
- ◆ 간선 개폐기 6 ÷ 3 = 2.0
- ◆ 지선 개폐기 (118 ÷ 3) ÷ 2 = 19.7
- ◆ 간선 접속재 6 ÷ 3 = 2.0
- ◆ 지선 접속재 (118 ÷ 3) ÷ 2 = 19.7

3. 지중배전 공급방식별 신뢰도평가 결과 및 비교분석

3.1 지중배전 공급방식별 신뢰도 지수 산출

사례검토 대상지역의 계통구성형태별로 비자동화 시스템과 자동화 시스템에 대하여 앞서 2.1.2에서 제시한 신뢰도 항목별 산정기준의 설정에 근거하여 각 배전기자재별 고장확률에 따른 정전 수용가 수와 정전시간을 논리적으로 계산하여

신뢰도 평가 지수별로 4가지의 신뢰도 지수를 산출하였다. 다음 표 10에서 표 13은 계통구성형태별로 비자동화 시스템에 대한 신뢰도 지수를 도시하였으며 표 14에서 표 17은 자동화 시스템에 대한 신뢰도 지수를 도시하였다.

표 10 스포트/상용·예비/레귤러네트워크 방식의 신뢰도 지수표(비자동화 시스템)

Table 10 Index of reliability for spot/primary selective/regular network system(non-auto)

정전원인	고장율	길이 대수	수용가수	정전 시간 (분)	정전 수용가수 (원인별)	정전 수용가수 (년간)	수용가 정전시간 (년간)(분)
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦=④*⑥
간선케이블	0.0129	22.40	16	3.0	3.33	0.9622	2.8867
지선케이블	0.0129	21.27	108	0.0			
네트워크 변압기	0.00145	36	114	120.0			
변압기	0.00145	10	10	120.0	1.0	0.0145	1.7400
간선개폐기	0.00145	18	16	3.0	3.33	0.0869	0.2607
지선개폐기	0.00145						
간선접속재	0.0003	193	16	3.0	3.33	0.1928	0.5784
지선접속재	0.0003						
소 계						1.2565	5.4659
작업정전						3.7694	9.8386
합 계						5.0258	15.3044

신뢰도 계산

⑧ 전체 수용가 수 : 124

⑨ 수용가 공급 수요시간 : $124 \times 60 \times 24 \times 365 = 6.51744 \times 10^7$

SAIFI(시스템 평균정전 횟수)=⑥/⑧=0.0405

CAIDI(수용가 평균정전 시간)=⑦/⑥=3.0452

SAIDI(시스템 평균정전 시간)=⑦/⑧=0.1234

ASAI(평균공급가용율)=(1-⑦/⑨)=100.0000

표 11 상용·예비/레귤러네트워크 혼합방식의 신뢰도 지수표(비자동화 시스템)

Table 11 Index of reliability for primary selective/regular network system(non-auto)

정전원인	고장율	길이 대수	수용가수	정전 시간 (분)	정전 수용가수 (원인별)	정전 수용가수 (년간)	수용가 정전시간 (년간)(분)
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦=④*⑥
간선케이블	0.0129	22.40	16	3.0	5.33	1.5402	4.6205
지선케이블	0.0129	21.27	108	0.0			
네트워크 변압기	0.00145	18	108	120.0	1.00	0.0232	2.7840
변압기	0.00145	16	16	120.0	5.33	0.1855	0.5565
간선개폐기	0.00145	24	16	3.0			
지선개폐기	0.00145						
간선접속재	0.0003	199	16	3.0	5.33	0.3182	0.9546
지선접속재	0.0003						
소 계						2.0670	8.9155
작업정전						6.2011	17.8311
합 계						8.2682	26.7466

신뢰도 계산

⑧ 전체 수용가 수 : 124

⑨ 수용가 공급 수요시간 : $124 \times 60 \times 24 \times 365 = 6.51744 \times 10^7$

SAIFI(시스템 평균정전 횟수)=⑥/⑧=0.0667

CAIDI(수용가 평균정전 시간) = ⑦ / ⑥ = 3.2349

SAIDI(시스템 평균정전 시간) = ⑦ / ⑧ = 0.2157

ASAI(평균공급가용율) = (1 - ⑦ / ⑨) = 100.0000

표 12 고·저압 연계방식의 신뢰도 지표표(비자동화 시스템)
Table 12 Index of reliability for primary/secondly composition system(non-auto)

정전원인	고장율	길이 대수	수용가수	정전 시간 (원인별)	정전 수용가수 (원인별)	정전 수용가수 (년간)	수용가 정전시간 (년간)(분)
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦=④*⑥
간선케이블	0.0120	2.45	6	3.0	2.0	0.0632	0.1896
지선케이블	0.0120	28.7	118	65.0	19.7	7.2961	474.2447
간선개폐기	0.00145	6	6	3.0	2.0	0.0174	0.0522
지선개폐기	0.00145	24	118	65.0	19.7	0.6856	44.5614
변압기	0.00145	30	124	33.0	4.13	0.1797	5.9286
간선접속재	0.0003	22	6	3.0	2.0	0.0132	0.0396
지선접속재	0.0003	161	118	65.0	19.7	0.9515	61.8482
소계						9.2066	586.8643
작업정전						27.6198	1,173.729
합계						36.8264	1,760.593

신뢰도 계산

- ⑧ 전체 수용가 수 : 124
- ⑨ 수용가 공급 수요시간 : $124 \times 60 \times 24 \times 365 = 6.51744 \times 10^7$
- SAIFI(시스템 평균정전 횟수) = $\text{⑥} / \text{⑧} = 0.2970$
- CAIDI(수용가 평균정전 시간) = $\text{⑦} / \text{⑥} = 47.8079$
- SAIDI(시스템 평균정전 시간) = $\text{⑦} / \text{⑧} = 14.1983$
- ASAI(평균공급가용율) = $(1 - \text{⑦} / \text{⑨}) = 99.9973$

표 13 Radial Branch방식의 신뢰도 지표표(비자동화 시스템)
Table 13 Index of reliability for radial branch composition system(non-auto)

정전원인	고장율	길이 대수	수용가수	정전 시간 (원인별)	정전 수용가수 (원인별)	정전 수용가수 (년간)	수용가 정전시간 (년간)(분)
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦=④*⑥
간선케이블	0.0120	0.95	6	3.0	2.0	0.0245	0.0735
지선케이블	0.0120	17.4	118	88.68	19.7	4.4092	391.0039
간선개폐기	0.00145	6	6	3	2.0	0.0174	0.0522
지선개폐기	0.00145	67	118	88.68	19.7	1.9139	169.7207
변압기	0.00145	124	124	120.0	1.0	0.1798	21.5760
간선접속재	0.0003	16	6	3.0	2.0	0.0096	0.0288
지선접속재	0.0003	244	118	88.68	19.7	1.4420	127.8901
소계						7.9964	710.3352
작업정전						23.9891	1,420.67
합계						31.9854	2,131.01

신뢰도 계산

- ⑧ 전체 수용가 수 : 124
- ⑨ 수용가 공급수요시간 : $124 \times 60 \times 24 \times 365 = 6.51744 \times 10^7$
- SAIFI(시스템 평균정전 횟수) = $\text{⑥} / \text{⑧} = 0.2579$
- CAIDI(수용가 평균정전 시간) = $\text{⑦} / \text{⑥} = 66.6242$
- SAIDI(시스템 평균정전 시간) = $\text{⑦} / \text{⑧} = 17.1855$
- ASAI(평균공급가용율) = $(1 - \text{⑦} / \text{⑨}) = 99.9967$

표 14 스포트/상용·예비/레귤러 네트워크방식의 신뢰도 지표표(자동화 시스템)
Table 14 Index of reliability for spot/primary selective/regular network system(auto)

정전원인	고장율	길이 대수	수용가수	정전 시간 (분)	정전 수용가수 (원인별)	정전 수용가수 (년간)	수용가 정전시간 (년간)(분)
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦=④*⑥
간선케이블	0.0129	22.4	16	0.0	3.33	0.9622	0.0000
지선케이블	0.0129	21.3	108	0.0			
네트워크 변압기	0.00145	36	114	120.0			
변압기	0.00145	10	10	120.0	1.0	0.0145	1.7400
간선개폐기	0.00145	18	16	0.0	3.33	0.0869	0.0000
지선개폐기	0.00145						
간선접속재	0.0003	193	16	0.0	3.33	0.1928	0.0000
지선접속재	0.0003						
소계						1.2565	1.7400
작업정전						3.7694	3.1320
합계						5.0258	4.8720

신뢰도 계산

- ⑧ 전체 수용가 수 : 124
- ⑨ 수용가 공급 수요시간 : $124 \times 60 \times 24 \times 365 = 6.51744 \times 10^7$
- SAIFI(시스템 평균정전 횟수) = $\text{⑥} / \text{⑧} = 0.0405$
- CAIDI(수용가 평균정전 시간) = $\text{⑦} / \text{⑥} = 0.9694$
- SAIDI(시스템 평균정전 시간) = $\text{⑦} / \text{⑧} = 0.0393$
- ASAI(평균공급가용율) = $(1 - \text{⑦} / \text{⑨}) = 100.0000$

표 15 상용·예비/레귤러네트워크방식의 신뢰도 지표표(자동화 시스템)
Table 15 Index of reliability for primary selective/regular network system(auto)

정전원인	고장율	길이 대수	수용가수	정전 시간 (분)	정전 수용가수 (원인별)	정전 수용가수 (년간)	수용가 정전시간 (년간)(분)
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦=④*⑥
간선케이블	0.0129	22.4	16	0.0	5.33	1.5402	0.0000
지선케이블	0.0129	21.3	108	0.0			
네트워크 변압기	0.00145	18	108	120.0	1.00	0.0232	2.7840
변압기	0.00145	16	16	120.0	5.33	0.1855	0.0000
간선개폐기	0.00145	24	16	0.0			
지선개폐기	0.00145						
간선접속재	0.0003	199	16	0.0	5.33	0.3182	0.0000
지선접속재	0.0003						
소계						2.0670	2.7840
작업정전						6.2011	5.5680
합계						8.2682	8.3520

신뢰도 계산

- ⑧ 전체 수용가 수 : 124
- ⑨ 수용가 공급 수요시간 : $124 \times 60 \times 24 \times 365 = 6.51744 \times 10^7$
- SAIFI(시스템 평균정전 횟수) = $\text{⑥} / \text{⑧} = 0.0667$
- CAIDI(수용가 평균정전 시간) = $\text{⑦} / \text{⑥} = 1.0101$
- SAIDI(시스템 평균정전 시간) = $\text{⑦} / \text{⑧} = 0.0674$
- ASAI(평균공급가용율) = $(1 - \text{⑦} / \text{⑨}) = 100.0000$

표 16 고·저압 연계 방식의 신뢰도 지수표(자동화 시스템)
Table 16 Index of reliability for primary/secondly composition system(auto)

정전원인	고장율	길이 대수	수용 가수	정전 시간 (원인별)	정전 수용가수 (원인별)	정전 수용가수 (년간)	수용가 정전시간 (년간)(분)
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦=④*⑥
간선케이블	0.0120	2.45	6	0.0	2.0	0.0632	0.0000
지선케이블	0.0120	28.7	118	3.8	19.7	7.2961	27.7251
간선개폐기	0.00145	6	6	0.0	2.0	0.0174	0.0000
지선개폐기	0.00145	24	118	3.8	19.7	0.6856	2.6051
변압기	0.00145	30	124	33.0	4.13	0.1797	5.9286
간선접속재	0.0003	22	6	0.0	2.0	0.0132	0.0000
지선접속재	0.0003	161	118	3.8	19.7	0.9515	3.6157
소계						9.2066	39.8746
작업정전						27.62	79.7491
합계						36.83	119.6237

신뢰도 계산

- ⑧ 전체 수용가 수 : 124
- ⑨ 수용가 공급 수요시간 : $124 \times 60 \times 24 \times 365 = 6.51744 \times 10^7$
- SAIFI(시스템 평균정전 횟수) = ⑥ / ⑧ = 0.2970
- CAIDI(수용가 평균정전 시간) = ⑦ / ⑥ = 3.2483
- SAIDI(시스템 평균정전 시간) = ⑦ / ⑧ = 0.9647
- ASAI(평균공급가용율) = $(1 - ⑦ / ⑨) = 99.9998$

표 17 Radial Branch 방식의 신뢰도 지수표(자동화 시스템)
Table 17 Index of reliability for radial branch composition system(auto)

정전원인	고장율	길이 대수	수용 가수	정전 시간 (원인별)	정전 수용가수 (원인별)	정전 수용가수 (년간)	수용가 정전시간 (년간)
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦=④*⑥
간선케이블	0.0120	0.95	6	0.0	2.0	0.0245	0.0000
지선케이블	0.0120	17.4	118	5.23	19.7	4.4092	23.0599
간선개폐기	0.00145	6	6	0.0	2.0	0.0174	0.0000
지선개폐기	0.00145	67	118	5.23	19.7	1.9139	10.0095
변압기	0.00145	124	124	120.0	1.0	0.1798	21.5760
간선접속재	0.0003	16	6	5.23	2.0	0.0096	0.0502
지선접속재	0.0003	244	118	0.0	19.7	1.4420	0.0000
소계						7.9964	54.6956
작업정전						23.9891	109.3911
합계						31.9854	164.0867

신뢰도 계산

- ⑧ 전체 수용가 수 : 124
- ⑨ 수용가 공급 수요시간 : $124 \times 60 \times 24 \times 365 = 6.51744 \times 10^7$
- SAIFI(시스템 평균정전 횟수) = ⑥ / ⑧ = 0.2579
- CAIDI(수용가 평균정전 시간) = ⑦ / ⑥ = 5.1300
- SAIDI(시스템 평균정전 시간) = ⑦ / ⑧ = 1.3233
- ASAI(평균공급가용율) = $(1 - ⑦ / ⑨) = 99.9997$

3.2 결과 비교 분석

앞서 표 10에서 표 17까지 제시한 신뢰도 평가에 대한 결과를 다음 표 18에 비교 분석하여 제시하였다. 분석결과를

살펴보면, 이미 주지하듯이 우선 크게 자동화 시스템을 도입한 계통공급 조건이 자동화 시스템을 도입하지 않은 시스템에 비하여 신뢰도면에서 우수함을 알 수 있다. 한편, 자동화 시스템을 포함한 전체적인 공급방식 조건에 대하여 신뢰도 지수의 가장 대표적인 시스템 평균 정전시간인 SAIDI에 대한 평가 순위를 분석하여 보면 표 18에서 보여주듯이 스포트/상용·예비/레귤러(자), 상용·예비/레귤러(자), 스포트/상용·예비/레귤러, 상용·예비/레귤러, 고·저압연계(자), Radial Branch(자), 고·저압연계, Radial Branch 방식 순으로 신뢰도 지수가 높게 평가되어 있다. 따라서 이와 같은 신뢰도 지수를 근거로 하여 사례검토 대상지역인 신도시 지역에 대하여 합리적으로 적용 가능한 계통 구성방식을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 신도시 지역의 경우는 다른 지역에 비해 공간확보가 용이하므로 네트워크 시스템 도입이 유리하다.
- ② 스포트/상용·예비/레귤러네트워크 공급방식이나 상용·예비/레귤러네트워크 공급방식은 고신뢰성의 계통구성 방식이기 때문에 자동화 시스템을 도입하여도 고·저압 연계 혼합방식이나 Radial Branch 방식만큼 투자비 대비 신뢰도가 향상되지 않는다.
- ③ 따라서 스포트/상용·예비/레귤러네트워크 공급방식이나 상용·예비/레귤러네트워크 공급방식 중에서 전력회사의 기본계획 수립과의 연계성을 고려하여 선정하는 것이 적합하다.

표 18 지중 배전계통 구성방식별 신뢰도 비교 요약
Table 18 Summary for comparison of underground configuration system respectively

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

4. 결 론

본 논문에서는 배전계통 계획자가 지중배전 계통구성 방식별로 공급신뢰도를 산정할 수 있는 평가 알고리즘을 도출하기 위하여 그 기준이 되는 신뢰성 데이터 요소를 지중배전 기자재별 고장확률에 따른 수용가 정전시간 및 수용가 수의 논리적 산출 기준에 근거하여 자동화 시스템과 비자동화 시스템별로 구분하여 국내 실정에 적합하게 평가할 수 있는 산

정 기법을 다음과 같이 개발하였다.

- (1) 각 지역별로 다양한 지중 배전계통 구성 방식에 대하여 공급신뢰도를 평가할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 특히, 각 지중 배전계통 구성방식에서의 공급신뢰도 평가 기준이 되는 신뢰성 데이터의 항목별 산정 기준을 보다 엄격하고 논리적으로 제시하였을 뿐만 아니라 자동화 시스템 도입여부에 따른 산정 방법을 추가로 제시함으로써 지중 배전계통 구성 방식의 올바른 공급신뢰도 평가 방법을 도출하였다.
- (2) 부하밀도가 높은 도시지역에서 사용 가능한 4가지 지중 배전계통 공급방식에 대한 선로구성 방법 및 부하공급 방식을 제시하고 각각의 특징을 비교 분석하였으며 이를 근거로 샘플대상 지역인 신도시 지역에 실제로 각 공급 방식별 설계를 시도하였다.
- (3) 본 알고리즘을 수도권 신도시 지역을 샘플 대상지역으로 선정하여 실제 적용함으로써 계통 계획자가 신도시 지역에 대하여 지중 배전계통 구성방식별로 공급신뢰도 지수의 평가시, 정확도를 제고시킬수 있는 방법을 제시하였다.
- (4) 지중 배전계통 구성방식의 공급신뢰도를 결정하는 항목별 산정 기준은 최근의 한전 지중배전 기자재별 고장확

절차와 작업 시간을 고려하여 논리적률과 국내 작업 현장에서 적용하고 있는 정전복구 작업으로 산출하였으며 이를 근거로 자동화 시스템 도입 여부에 따라 각 지중 배전계통 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 설계지침", 구주전력, 1996.
- [7] "Outage Reduction and Modernization of Distribution Automation", 구주전력, 1992.

저 자 소 개



최 상 봉 (崔商鳳)

1958년 2월 12일 생. 1981년 아주대 전자공학과 졸업. 1991년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1989년~현재 한국전기연구소 지중시스템 연구그룹 선임연구원



정 성 환 (鄭聖煥)

1964년 3월 10일 생. 1987년 부산대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 박사과정. 1989년~현재 한국전기연구소 지중시스템 연구그룹 선임연구원



김 대 경 (金大景)

1958년 2월 20일 생. 1981년 부산대 전기공학과 졸업. 1983년 한양대 대학원 전기공학과 졸업. 1999년 영국 UMIST 박사과정. 97년~현재 한국전기연구소 지중시스템 연구그룹장 책임연구원