

국내 지중 배전계통의 부하특성별 최적계통 결정절차 및 사례검토

노형래*, 조성수*, 박창호*, 김병숙**, 이수목**

*한전 전력연구원, **한전 중앙교육원

Optimal configuration for underground power distribution system and its case study

Hwang Nai Roh*, Seong Soo Cho*, Chang Ho Pak*, Byung Sook Kim**, Soo Muk Lee**

*KEPCO Korea Electric Power Research Institute, **KEPCO Central Training Institute

Abstract - This paper presents the method of determination for optimal underground power distribution system in our country. To get optimal system, it is necessary to evaluate reasonably important factors such as installation cost, reliability index, customer interruption cost, convenience of installation and system flexibility.

This study also described the new method which was applied to Ul-San industrial park as a case study.

1. 서 론

현재 국내의 지중배전 계통구성방식은 대부분 open loop방식을 적용하고 있으며, 부하특성에 대한 다양한 계통구성방식의 적용이나 검토가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 그러나, 산업의 고도화와 고객설비의 특성상 고품질 전력에 대한 요구는 날로 늘어나는 상황을 감안하면, 전력회사의 입장에서는 양적·질적으로 변화된 전력수요에 대한 대비책이 필요하다. 따라서, 획일화 된 현재의 계통구성방식에서 탈피하여 신뢰도도 만족시키면서 경제적인 계통을 구성할 수 있는 다양한 계통구성 방안이 필요하다.

이러한 방안으로 제안된 부하특성별 최적계통 결정절차와 실제 공단지역에 적용한 사례를 검토하여, 향후 안정적으로 고품질의 전력을 공급할 수 있는 계통구성 방안을 정립하고 이에 대한 현장 적용성 및 활용성을 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 최적계통 결정절차

어떤 대상지역에 대한 최적계통을 결정하기 위해서는 우선 대상지역에 대한 부하특성 및 분포를 분석하여야 하며, 이를 근간으로 필요한 목표신뢰도가 설정되어야만 한다. 그러나, 이러한 목표신뢰도에 대한 검증된 결과가 없으므로, 본 논문에서는 현재 적용된 계통보다 신뢰도가 높고 적용가능한 계통구성방식에 대해 경제성 및 신뢰도를 평가하여 최적의 계통을 결정하는 방법을 채택하였다.

또한, 검토된 결과를 현재 배전계통과의 통합성, 지중배전기기의 공간확보성, 신규수요에 효율적으로 대처할 수 있는 유연성, 시스템 변경의 용이성을 직관적으로 종합검토하여 최종적으로 최적계통을 선정하였다.

2.1.1 경제성 평가

계통구성 방식별 경제성을 평가하기 위해서는 보다 합리적이고 객관적인 기법이 적용되어야 한다. 아직 국내의 제반환경이 이를 뒷받침할만한 통계적 자료나 검증된 평가기법이 미비한 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 가장 초보적인 지중개략공사비를 근간으로 하여 투자비와

고객 정전비용을 경제성 평가의 지표로 삼았다.

지중개략공사비는 현재 한국전력에서 실무에 사용되는 통계자료로서 간이설계 과정을 거쳐 기자재비와 노무비를 개략적으로 산출하여 투자비를 계산하였다.

고객 정전비용은 정전으로 인하여 고객이 받을 수 있는 직·간접 피해를 비용으로 계산한 것으로 아직 국내에서는 이에 대해 구체적으로 정립된 예가 없다. 따라서, 본 논문에서는 공단지역의 경우에는 전력원 단위로 부터 고객 정전비용을 계산하였으며, 그외 지역에서는 고객중별 정전비용을 산출하기 위해 경제지표별 지역내 총생산(1995년 지역내 총생산, 통계청)과 전력사용량을 조사하여 공공용과 상업용에 대한 정전비용을 산출하였으며, 가정용과 오피스텔은 각각 전력요금과 상업용 정전비용을 참고하여 산출하였다.[1]

2.1.2 신뢰성 평가

신뢰성은 다음과 같은 4가지 신뢰도 지수를 계산함으로써 평가한다.

① 시스템 평균정전회수(SAIFI : System Average Interruption Frequency Index)

$$SAIFI = \frac{\sum \text{고객 정전회수}}{\text{전체 고객 수}}$$

② 시스템 평균정전시간(SAIDI: System Average Interruption Duration Index)

$$SAIDI = \frac{\sum \text{고객 정전시간(분)}}{\text{전체 고객 수}}$$

③ 고객 평균정전시간(CAIDI: Customer Average Interruption Duration Index)

$$CAIDI = \frac{\sum \text{고객 정전지속시간(분)}}{\text{정전고객 수}}$$

④ 평균공급 가용률(ASAI : Average Service Availability Index)

$$ASAI = \frac{\sum \text{고객 공급유효시간(분)}}{\text{고객 공급수요시간}}$$

이때, 신뢰도 지수를 산출하기 위해 필요한 고객 정전 시간, 정전회수, 지속시간 등은 기자재별 고장확률을 계산하고, 계통구성방식별 기자재 구성요소를 분석하여 산출하게 된다.[1]

2.1.3 최적계통 결정

계통구성 방식별로 경제성 및 신뢰성 평가가 완료되면, 최종적으로 수행성 및 유연성을 검토하여 대상지역에 대한 최적계통을 선정하게 된다. 현장 적용에 있어서 앞서 설명한 이론적인 접근이외에 중요한 요소가 수행성 및 유연성이며, 이것은 실제 대상지역의 여러 주변여건에 따라 크게 좌우될 수 있는 요소이다.

수행성과 유연성은 전력회사의 정책결정 사항과도 밀접한 관계가 있으므로 실무자들의 경험적이고 직관적인 결정이 중요한 역할을 하게 될 것이다.

2.2 사례검토

본 절에서는 울산 공단지역의 실제 계통에 적용한 사례를 최적계통 결정절차에 따라 검토하고, 현장적용시 수행성 및 유연성 향복의 착안사항을 알아보고자 한다.

2.2.1 부하특성 분석

대상지역의 고객 수는 총 62호로 전체 계약전력은 36,300kW이며, 계통구성 방식은 4개 회선이 연계된 open loop 공급방식으로써 계통도는 그림1과 같다.

이러한 공단지역의 부하특성은 계약전력 1,000kW 이상의 수용과 100~1,000kW의 수용이 혼재되어 있는 형태가 일반적이다.

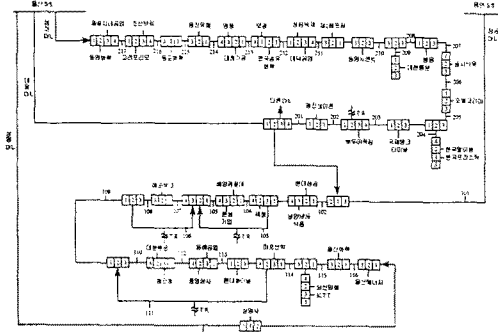


그림1 기존의 open loop 계통도

따라서, 공단지역에서는 다음과 같은 새로운 계통구성 방식에 대해서 경제성 및 신뢰성을 평가하고자 한다.

- 연계계통 공급방식
- 상용·예비선/연계 혼합방식
- 상용·예비선 공급방식
- Radial Branch 공급방식

2.2.2 공급방식별 경제성 및 신뢰성 평가

(1) 계통구성 방식

가. 연계계통 공급방식

대상지역에 대해 계약전력 구분없이 모든 수용을 연계계통 공급방식으로 구성하였으며, 계통도는 그림2와 같다.

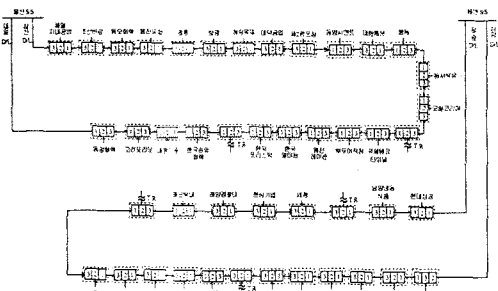


그림2 연계계통 공급방식 계통도

나. 상용·예비선/연계 혼합방식

기본적으로 연계계통으로 구성하고, 계약전력 1,000kW이상의 수용에 대해서는 그림3과 같이 상용·예비선 공급방식을 적용하였다.

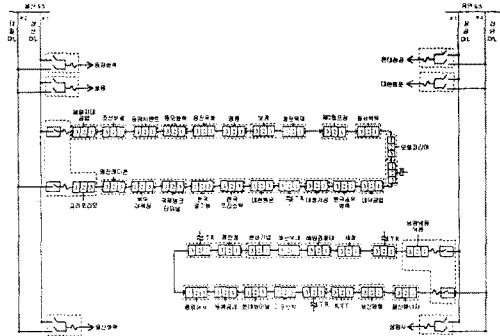


그림3 상용·예비선/연계 혼합방식 계통도

다. 상용·예비선 공급방식

계약전력 구분없이 모든 수용을 상용·예비 2회선 공급방식으로 구성하였으며, 계통도는 그림4와 같다. 고압수용 중심지역에 적합하며, 연계방식에 비해 신뢰도가 우수하나 ALTS 설치시 투자비가 증가한다.

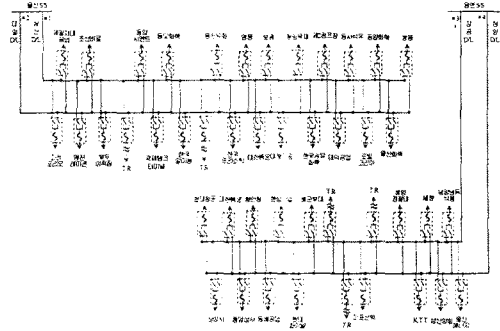


그림4 상용·예비선 공급방식 계통도

라. Radial Branch 공급방식

기본적으로 기준선로에 연결된 branch의 부하를 공급하되, 계약전력 1,000kW 이상 수용은 상용·예비선 방식으로 별도 공급하고, 그의 수용은 간선 연계개폐기를 통해 branch별로 연계하여 공급한다. 연계계통 방식에 비해 신뢰도는 우수하나, 개폐기 수가 늘어난다.

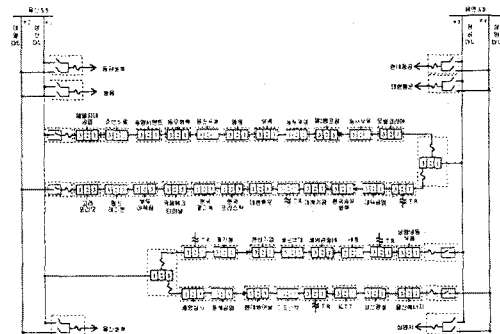


그림5 Radial Branch 공급방식 계통도

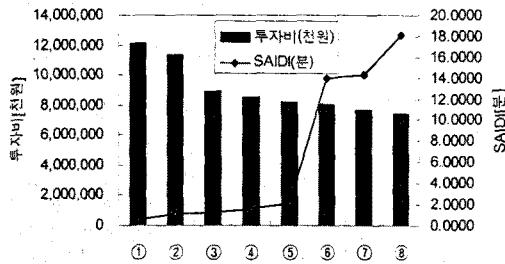
(2) 경제성 및 신뢰성 평가

경제성 측면에서 계통구성방식별 투자비를 비교해 보면, 연계계통 공급방식, Radial Branch 공급방식, 상용·예비/연계 혼합방식, 상용·예비선 공급방식의 순으로 투자비가 적게 소요되지만, 고객 정전비용은 상용·예비선 공급방식, Radial Branch 공급방식, 상용·예비/연계 혼합방식, 연계계통 공급방식 순으로 적게 발생한다. 이러한 고객 정전비용은 신뢰성 평가결과와 동일하며, 그 결과는 표1 및 그림6과 같다.

표1 계통구성방식별 경제성 및 신뢰성 평가

계통구성방식	투자비 (천원)	신뢰도 데이터				고객 정전비용 (천원)
		SAIFI	CAIDI (분)	SAIDI (분)	ASAI	
연계방식	7,531,519 (1)	0.3279	55.2556	18.1193 (8)	99.996	28,964 (8)
상용·예비/연계방식	8,157,277 (3)	0.2793	51.0378	14.2560 (7)	99.997	22,788 (7)
상용·예비선방식	11,410,895 (7)	0.7421	2.9358	2.1787 (5)	99.999	3,482 (5)
Radial Branch방식	7,747,971 (2)	0.2626	53.2077	13.9700 (6)	99.997	22,331 (6)
연계방식(자)	8,291,614 (4)	0.3279	4.6346	1.5198 (4)	99.999	2,429 (4)
상용·예비/연계방식(자)	8,990,528 (6)	0.2793	4.0536	1.1323 (2)	99.999	1,809 (2)
상용·예비선방식(자)	12,212,930 (8)	0.7421	0.7034	0.5220 (1)	99.999	834 (1)
Radial Branch방식(자)	8,615,004 (5)	0.2626	4.8869	1.2831 (3)	99.999	2,051 (3)

주: (자)는 자동화시스템을 의미함.
() 안의 숫자는 평가순위를 표시함.



- 주)
- ① : 상용·예비선 방식(자)
 - ② : 상용·예비선 방식
 - ③ : 상용·예비/연계 혼합방식(자)
 - ④ : Radial Branch 방식(자)
 - ⑤ : 연계 방식(자)
 - ⑥ : 상용·예비/연계 혼합방식
 - ⑦ : Radial Branch 방식
 - ⑧ : 연계 방식

그림6 계통구성방식별 경제성 및 신뢰성 비교

2.2.3 최적계통 결정

기본계획과의 관련성 및 기자재 공간확보 측면에서 수행성을 검토해 보면, 연계계통 공급방식이 가장 우수하며 상용·예비선 공급방식은 접속개소가 많고 개폐기 설치대수가 증가하여 가장 불리한 것으로 검토되었다. 또한 유연성 검토결과, 상용·예비선 공급방식은 자동화시스템 적용여부에 관계없이 시스템 변경이 용이하므로 유연성이 가장 우수하고 연계계통 공급방식이 가장 불리한 것으로 검토되었다.

한편, 기자재의 공간확보 문제에 있어서 공단지역의

특성상 도심 변화가지역과 달리 고객 구내에 기기 설치가 가능하므로, 특별한 경우를 제외하면 수행성은 큰 문제가 되지 않는다. 또한 공단지역의 부하형태를 살펴보면, 저압수용보다는 고압수용을 중심으로 부하가 분포되어 있으며, 부하특성상 정전으로 인한 고객의 직접적인 생산손실이 클 것으로 예상되므로 고압수용 중심의 고신뢰성 계통구성방식을 적용하는 것이 적합할 것이다.

따라서 1,000kW 이상의 고압수용이 밀집되어 있는 공단지역에서는 상용·예비선(자) 공급방식이 적합하며, 고압수용과 저압수용이 혼재되어 있는 공단지역에서는 Radial Branch(자) 공급방식이나 상용·예비/연계(자) 혼합방식이 적합하다.

3. 결 론

본 논문에서는 경제성 및 신뢰성 평가를 근간으로 다양한 배전부하에 적합한 최적계통 결정절차 및 울산 공단지역의 적용사례를 검토하였다.

경제성 평가는 계통구성방식별로 투자비와 고객 정전비용을 산출하여 비교하였으며, 신뢰성 평가는 SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI의 신뢰도지수를 계산하여 비교하였다. 신뢰도 지수 중 계통구성방식별 신뢰도 특성을 가장 잘 나타내주는 시스템 평균정전시간(SAIDI)을 신뢰성 평가기준으로 선정하였다. 울산 공단지역의 적용사례 검토결과, 상용·예비선(자) 공급방식이 가장 높은 신뢰도를 가지는 계통구성방식이 밝혀졌다. 그러나 신뢰도가 높은 반면, 투자비는 가장 많이 소요되는 시스템이므로 1,000kW 이상의 고압수용이 밀집되어 있는 지역에 한하여 제한적으로 사용하는 것이 적합할 것이다. 또한 고압수용과 저압수용이 혼재되어 있는 지역에서는 Radial Branch(자) 공급방식이나 상용·예비/연계(자) 혼합방식이 상용·예비선(자) 공급방식보다 신뢰도는 떨어지지만 투자효과를 극대화시킬 수 있는 계통구성방식이다.

향후 투자비 비교를 통한 단순한 경제성 평가기법 보다는 투자효과를 객관화시킬 수 있는 경제성 평가기법이 개발되어야 고신뢰성 배전방식인 네트워크 계통에 대한 투자를 활성화시킬 수 있으리라 생각한다. 따라서 고객 정전비용과 같은 경제성 평가를 위한 지표가 보완 연구되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김병숙 외, "지중배전선로의 최적계통 구성에 관한 연구", 전력연구원 최종보고서, 1998
- [2] 최상봉 외, "지역별 지중 배전계통구성방식의 합리적인 평가기법", 전력계통연구회 춘계학술대회 논문집, pp.119-126, 1999
- [3] "System Master Plan Report", Tronto Hydro, Canada, 1997