

공급지장비를 고려한 배전계통 계획수립

김용하*, **우성민***, 조성린**, 박창규***, 유정희****
 인천대학교*, 한국전력공사**, 금호건설**, 한화종합기술단****

A Study on Plan of Distribution System considering Customer Interruption Cost

Yong-Ha Kim*, Sung-Min Woo*, Chang-Gyu Park**, Jung-Huy You**
 University of Incheon*, KEPCO**, K < UMHO E&C***, Han Hwa ENG****

Abstract - This paper analyzes customer interruption cost for out industrial customer through data survey. And CIC calculated SCDF using regression function. That is, it extract optimal SCDF from AHP. And then to calculate VBDR applied This algorithm to the distribution system. We proved the adequacy and usefulness of the result.

1. 서 론

배전계통은 수용가에 가장 근접하고 있으며 전력공급의 신뢰도를 높이는 것은 공급자나 사용자 모두에게 가장 중요한 요소로서 작용하고 있다. 산업용 수용가의 경우, 지속정전은 말할 것도 없으며 순간정전에 특히 문제가 발생되는데 향후 순간정전에 민감한 부하가 증가 할 것으로 예측되어 전력회사에서는 순간정전을 포함하여 정전이 수용가에 어떠한 영향을 미치는지 파악할 필요성이 있다.

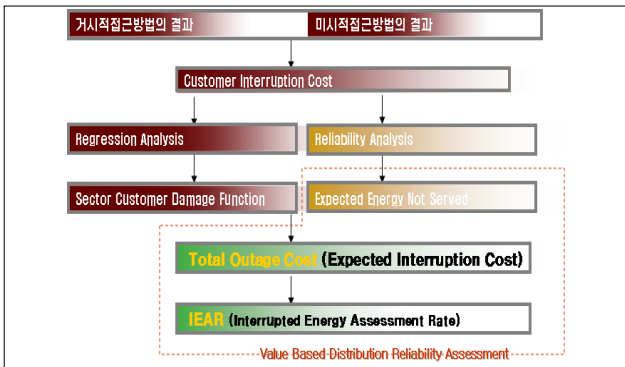
공급신뢰도를 높이기 위해서는 많은 설비 투자가 필요하며 이 투자비는 전기요금으로 반영되게 된다. 그러므로 높은 수준의 신뢰도를 유지하면서 적은 비용으로 배전계획을 수립하는 것이 매우 중요하다. 즉, 공급지장비용의 추정이 필수적이며 이것이 결국 공급 신뢰도 비용이 된다.

이에 본 논문에서는 산업용수용가의 조사결과를 토대로 하여 수학적, 통계학적인 해석법으로 처리함으로써 좀 더 객관적이고 타당성이 있는 공급지장비 추정하여 수용가의 공급지장비를 산정하고 이를 배전계통에 적용함으로써 배전계통 계획수립시 타당성 있게 공급지장비를 고려할 수 있도록 하였다.

2. 배전계통의 공급지장비산정

2.1 본 연구의 알고리즘

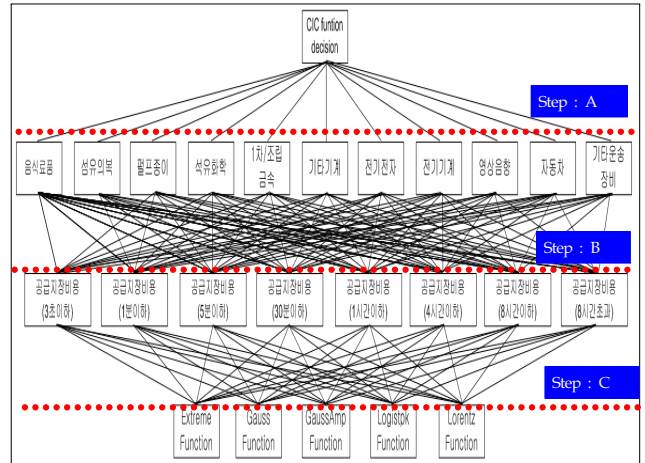
본 연구의 공급지장비를 산정하기 위한 알고리즘은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 본 연구의 플로우 차트

2.2 계층화 의사결정법을 이용한 최적 SCDF산정

본 연구의 최적의 SCDF로 도출하기 위해서 계층화의사결정(Analytic Hierarchy Process : AHP)를 적용하였다. 즉, 단순 회귀모형, 곡선회귀모형, 다중회귀모형, 비선형회귀모형 등으로 CIC를 추정하여 이 중에서 독립변수가 예측하는 종속변수에 미치는 값이 적절하다고 판단되는 회귀모형을 AHP 적용 대상함수로 선정하였고, 이러한 회귀모형 중에서 구성된 종속변수의 값의 오차를 이용하여 일대일비교행렬을 구성하여 최적의 Eigen-value를 도출함으로써 최적의 SCDF를 결정하였다. 이에 대한 계층구조는 <그림 2>와 같다.



<그림 2> AHP를 이용한 최적 SCDF산정

<그림 2>에서 상기의 회귀모형 중에서 예측하는 종속변수의 값이 수렴되는 회귀모형을 대상으로 하여 일대일 비교행렬 구성을 기준 값과의 회귀모형의 값과의 오차범위에 의해 구성하였다. 즉, 오차는 Step : A, Step : B, Step : C 오차로 3가지 타입의 일대일 비교행렬을 구성하기 위해서 식 (1)과 같이 오차범위를 표현하였다.

$$ERROR_{system} = \frac{\sum ERROR_{F,S,I}}{I}$$

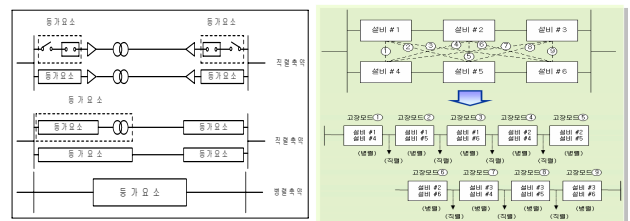
$$ERROR_{F,S,I} = \frac{\sum ERROR_{F,S}}{S}$$

$$ERROR_{F,S} = \left| 1 - \left(\frac{\text{기준값}}{\text{기준값} + \text{회귀모형값}} \times 2 \right) \right| \quad (1)$$

단, F : 적용함수의 종류
 S : 적용시간의 종류
 I : 산업체 수용가 종별

2.3 Reliability Analysis

배전계통은 다양한 종류의 전기설비가 직렬 및 병렬로 복잡하게 연결되어 있다. 이중 고장 등에 의해 전력을 공급할 수 없는 상태를 완전정전 상태(Total Loss of Confinuity: 이하 TLOC)를 대상으로 하여 신뢰도의 계산을 하였다. 즉, 전체 계통에 대하여 신뢰도를 구하는 방법으로 <그림 3(a)>와 같이 직렬 및 병렬회로의 신뢰도 계산에 근거한 계통축약 방법(Network Reduction Method)과 <그림 3(b)>와 같은 고장모드-효과분석법(Failure modes and Effects Analysis)등을 적용하여 계산하였다.

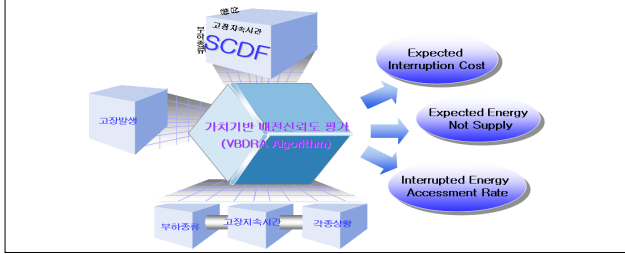


(a) 계통축약법 (b)고장모드효과분석법

<그림 3> AHP를 이용한 최적 SCDF산정

2.4 Value Based Distributed Reliability Assessment

고장이 발생하였을 때, SCDF를 사용하여 가치를 기반으로 하는 신뢰도 평가 방법을 VBDRA라고 한다. VBDRA는 부하의 종류 및 상황과 함께 고장발생을 및 지속시간을 SCDF를 통해 예상 공급지장에너지(Expected Energy Not Supply : EENS), 정전비용기대치(Expected Interruption Cost : ECOST), 차단에너지비용(Interrupted Energy Assessment Rate : IEAR)를 계산하고, 이 값을 가치로서 평가하는 것이다. VBDRA의 개념은 <그림 4>와 같다.



<그림 4> 가치평가법에 의한 배전계통의 공급지장비

<그림 4>과 같이 공급지장비용과 관련한 배전계통의 가치평가는 다음의 기본적인 절차를 거쳐 배전계통 신뢰도 가치평가치수인 EENS, ECOST, IEAR를 도출한다.

STEP 1 : 우선 배전계통에 연계된 부하점 i 에 해당하는 고장원인별(j) 배전선로 i 기기의 연간평균고장빈도(λ_{ij}), 배전선로 i 기기의 고장지속시간(r_{ij})을 구한다. 그리고 식 (2) 및 식 (3)과 같이 수용가별(i), 정전원인별(j) 예상 공급지장에너지($EENS_{ij}$)와 정전비용기대치($ECOST_{ij}$)을 계산한다.

$$EENS_{ij} = L_i r_{ij} \lambda_{ij} \quad (2)$$

$$ECOST_{ij} = c_{ij} L_i r_{ij} \lambda_{ij} \quad (3)$$

단, L_i : 수용가 형태(i)의 평균 부하
 $c_{ij} = f(r_{ij})$: SCDF 함수적용

STEP 3 : STEP1 - 3의 과정을 모든 요소에 대해 반복한 후 모든 수용가에 대한 예상 공급지장에너지($EENS_i$), 정전비용기대치($ECOST_i$) 그리고 차단에너지비용($IEAR_i$)을 계산한다. 모든 수용가별로 $EENS_i$, $ECOST_i$, $IEAR_i$ 가 계산될 때까지 반복 수행하고 계통전체 값을 계산한다.

$$EENS = \sum_{i=1}^{N_p} EENS_i = \sum_{i=1}^{N_p} L_i \sum_{j=1}^{N_j} r_{ij} \lambda_{ij} \quad (4)$$

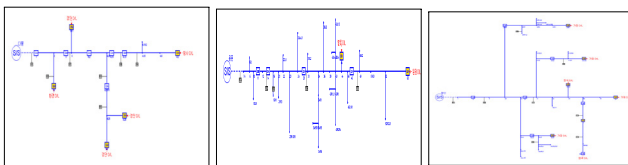
$$ECOST = \sum_{i=1}^{N_p} ECOST_i = \sum_{i=1}^{N_p} L_i \sum_{j=1}^{N_j} c_{ij} \lambda_{ij} \quad (5)$$

$$IEAR = \frac{ECOST}{EENS} \quad (6)$$

단, N_p : 시스템 내 수용가 형태의 총 수

3. 사례연구

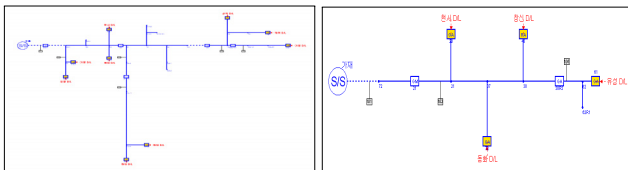
본 연구는 <그림 5>와 같이 5개의 D/L 즉, A D/L, B D/L, C D/L, D D/L, E D/L의 모델계통을 분석하였다.



(a) A D/L

(b) B D/L

(c) C D/L



(d) D D/L

(e) E D/L

<그림 5> 가치평가법에 의한 배전계통의 공급지장비

설문조사 캐나다 Saskatchewan에서 작성한 설문조사를 인용하여 우리나라 현실에 맞게 재구성하였다. 이를 지역별로 안배를 고려하여 약 1,026여개의 산업용 수용가를 대상으로 시행하였고, 이로부터 도출된 CIC를 2.2절의 가정을 거쳐 도출된 최적SCDF는 식 (7)과 같다.

$$\text{Logistpk} : y = y_0 + \frac{4Ae^{-\frac{x-x_c}{w}}}{(1 + e^{-\frac{x-x_c}{w}})^2} \quad (7)$$

$$\text{단, } z = \frac{x - x_c}{w}$$

구분	y0	xc	w	A
음식료품	-394,679	47,222	18,993	1,613,946
섬유의복	-98,228,743	51,821	1,478,742	98,268,857
목재나무	-13,399,584,799	53,376	6,541,779	13,399,824,223
펄프종이	-32,111	54,525	34,591	59,408
출판인쇄	-49,637,098,594	47,914	6,552,447	49,637,825,015
석유화학	-4,290,799,381	51,296	6,605,404	4,290,915,250
요업	-15,595,478,074	49,347	6,429,814	15,595,726,902
1차/조립고속	-592,310	52,454	31,632	1,157,400
기타기계	-11,183,293,026	81,356	5,329,972	11,183,969,188
사무기기	-40,440,637,203	45,813	5,451,429	40,441,581,739
전기전자	-9,335,844,416	45,035	3,940,246	9,336,296,272
전기기계	-12,657,960,788	79,908	5,636,530	12,658,613,390
영상음향	-23,275,108,029	54,875	6,846,099	23,275,503,252
의료광학	-8,909,069,220	50,213	4,247,902	8,909,404,713
자동차	-4,253,841,650	99,973	4,123,718	4,254,513,460
기타운송장비	-1,658,404	49,781	61,429	1,964,053
가구 및 기타	-23,477,898,544	57,646	6,683,782	23,478,365,906
채생재료	-29,350,659,352	51,337	6,360,324	29,351,179,452

<그림 5>의 계통도에서 식 (7)을 적용하여 도출된 배전계통의 공급지장비는 <표 1>과 같다.

<표 1> 공급지장비 산정결과

부하종류	부하크기 [kW]	ECOST T[원/년]	EENS [kW/년]	IEAR [원/kW]
A D/L	10,520	836,225,650	21,176	39,490
B D/L	10,520	681,785,763	17,788	38,328
C D/L	15,645	1,134,751,554	39,552	28,690
D D/L	30,630	1,714,889,878	59,645	28,752
E D/L	18,345	1,896,659,402	62,512	30,341

4. 결론

(1) 정전지속 시간별 총 피해비용(CIC)를 SCDF로 구성한 결과 Peak function의 Extreme, Gauss, GaussAmp, Giddings, Logistpk, Lorentz가 적용 가능한 함수로 결정하였다. 이를 이산 값인 CIC를 기준으로 회귀모형을 분석된 종속변수의 값을 계층화의사결정(Analytic Hierarchy Process : AHP)를 적용하여 오차에 따라서 3가지 타입의 일대일비교행렬하고 Eigen-value를 도출한 결과 Logistpk function의 Eigen-value가 최적의 SCDF인 것으로 선정되었다.

(2) 이를 통하여 5개의 모델계통 중에서 ECOST와 EENS는 E D/L이 가장 크므로 우선순위 투자대상으로 판단되지만, 차단에너지비용(Interrupted Energy Assessment Rate : IEAR)은 A D/L이 가장 이 큰 것으로 분석되었다. 즉, 본 사례연구의 배전계통 투자우선순위는 A D/L > B D/L > E D/L > D D/L > C D/L 순으로 하는 것이 효과적이라 하겠다.

[참고 문헌]

[1] Roy Billinton, Ronald N. Allen: "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press, 1984
 [2] R. Billinton, R. N. Allan, "Reliability Assessment of Large Electric Power System" Kluwer Academic Publishers, Ch5. 1988
 [3] R. Billinton, "Power system Reliability Evaluation", Gordon and Breach, Science Publishers, 1970
 [4] "Optimal reserve management for restructured power generating systems", Science Direct, Reliability Engineering & System Safety, pp.792 - 799, July. 2006