

분산형전원이 도입된 배전계통에서의 정전비용산출 알고리즘에 관한 연구

노대석\*·최재석\*\*·차준민\*\*\*·김덕영\*\*\*\*  
 한국기술교육대학교\* 경상대학교\*\* 대진대학교\*\*\* 군산대학교\*\*\*\*

Evaluation Algorithm of Interruption Cost in Distribution Systems  
 Interconnected with Dispersed Storage and Generation Systems

Daeseok Rho\* · Jaesuk Choi\*\* · Junmin Cha\*\*\* · Deokyoung Kim\*\*\*\*  
 Korea University of Technology and Education\* Gyeongsang National University\*\*  
 Daejin University\*\*\* Kunsan National University\*\*\*\*

**Abstract** - This paper deals with a evaluation algorithm of interruption cost in distribution systems in the case where Dispersed Storage and Generation (DSG) systems are interconnected with the distribution systems. If DSG systems are operated as the function of the load levelling in distribution systems at the normal conditions and as the uninterruptible power supply in fault areas at the emergency conditions, the reliability improvement of the distribution systems can be expected. In other words, the benefit can be represented by the cost avoiding interruption according to the operation of DSG systems when a fault is occurred.

Therefore, this paper presents the evaluation algorithm for interruption cost in order to evaluate the benefit for the uninterruptible power supply of DSG systems in a quantitative manner.

1. 서론

분산형전원(열병합, 연료전지, 풍력, 태양광, 저장 시스템 등)이 부하가 밀집된 수용가 근방에 분산 배치되는 경우, 배전계통에서 발생할 수 있는 각종 사고(사고정전 및 작업정전)시에 분산형전원은 무정전 전원공급시스템으로서의 기능을 수행할 수 있다. 즉, 분산형전원이 정상시에는 부하평준화(또는 베이스전원) 기능을 수행하고, 사고 등의 긴급시에는 전원의 역할을 함으로써, 분산형전원의 운용의 효율성을 향상시킬 뿐만 아니라, 수용가에도 안정적인 전력을 공급하여 배전계통의 신뢰성을 향상시킬 수 있다<sup>[1]-[3]</sup>.

따라서, 본 연구에서는 분산형전원이 배전계통에 도입되는 경우, 정전비용에 대한 산출 알고리즘을 제안하여, 앞으로 기대되는 규제완화된 상황에서 배전계통의 효율적인 운용과 계획에 기여하고자 한다. 구체적인 알고리즘으로서는 정전비용을 정전시간의 2차 함수로 모델링하고, 또한 부하특성을 고려한 지역별 비용산출 식에 근거하여 분산형전원의 운용특성을 제안한다.

2. 정전비용 산출 알고리즘

2.1 기본개념

일반적으로 수지식 배전계통의 배전용변전소는 그림 1과 같이 3개의 주변압기(45/60MVA)와 각 주 변압기에는 6개씩의 고압선로로 구성되며, 이들 고압선로들은 수용가에게 전력을 높은 신뢰도로 공급 하기 위하여, 3분할 3연계 방식으로 운용되고 있다. 이 운용 방식은 사고나 작업정전에 의하여 전력을 공급하지 못하는 경우, 동일 변전소의 다른 변압기 나 다른 변전소의 주 변압기로부터 선로절체 등에 의하여 일정한 비율로 전력을 공급하는 것이다. 그러나, 다른 주 변압기의 용량한계나 계통구성에 의 하여 사고지역의 전체 부하에 전력을 공급하지 못 하는 경우가 발생하며, 또한 선로의 배전손실이나 전압강하 등도 고려하지 않으면 안된다.

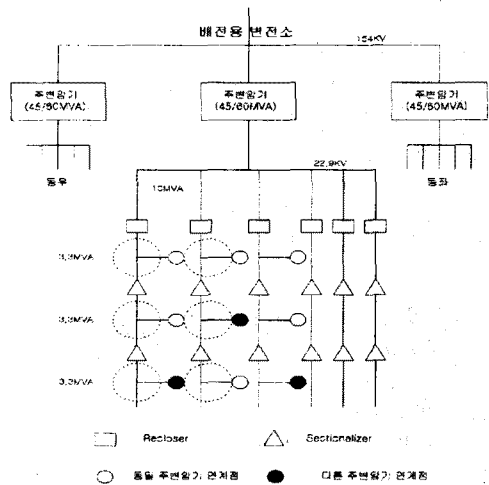


그림 1. 분산형전원이 도입된 배전계통

그런데, 분산형전원(분산형 전력저장시스템 포함)이 배전용변전소의 구내(주변압기 2차측)에 배치되는 경우, 평상시에는 경제적인 운용을 우선적으로 하는 부하평준화기능으로 운전하고, 사고나 작업정전 등의 긴급시에는 무정전 전력공급 기능으로 전환하여 운전하면, 정전지역에의 공급신뢰도를 어느 정도 향상시킬 수 있다. 열병합이나 연료전지와 같이 연속적인 운전이 가능한 분산형전원인 경우에는 정격용량 만큼 전력을 공급할 수 있으나, 태양광이나 풍력 등은 외부요인에 의하여 출력이 결정되는 간헐전원이므로 공급용량은 유동적이다. 또한, 이차전지와 같이 분산형 전력저장시스템은 전지의 충전용량에 의하여 그 공급능력이 결정된다. 따라서, 각 분산형전원의 특성을 고려하여 정전비용을 산출하는 알고리즘을 결정하여야 한다.

본 논문에서는 사고율과 복구율을 고려한 기대정전손실의 개념<sup>[4]</sup>으로부터 분산형전원이 도입된 경우의 정전비용을 산출하는 알고리즘을 제안한다. 또한, 분산형전원 가운데 그 운용특성이 가장 까다로운 전력저장시스템을 대상으로 한다.

## 2.2 기대 정전손실을 이용한 정전비용 산출 알고리즘

정전에 의한 손실 비용은 정전 지속시간과 정전 발생시각, 정전의 크기, 정전 지역의 부하특성 등에 의하여 결정된다. 일반적으로, 다음 식과 같이 정전 지속시간  $t$ 의 이차식으로 근사화할 수 있다.

$$F_{iju}(t) = (at^2_{ij} + bt_{ij} + c) L_{iju} \quad (1)$$

단,  $F_{iju}(t)$  : 정전 비용(Won per kW),  
 $t_{ij}$  : 정전 지속시간(hour)  
 $L_{iju}$  : 정전지역의 부하크기(kW)  
 $a, b, c$  : 정전지역의 부하특성 계수  
 $i$  : 배전용변전소 번호  
 $j$  : 고압선로 번호  
 $u$  : 시간대 번호

그런데, 분산형전원이 주 변압기의 2차측에 분산 배치되어 운용되는 경우, 정전시간 동안에 정전 지역의 부하에 일정한 용량의 전력을 공급할 수 있기 때문에 상기의 식에서 정전 지속시간과 정전 지역의 부하크기 등이 변하게 된다. 즉, 배전용변전소  $i$ 와 고압선로  $j$ 에 있어서, 시각  $u$ 에 발생하는 사고의 정전 손실비용은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F_{iju}(t, x_i, y_i) = \sum_{i=L_0} F_{iju} [t_{ij}, L_{iju}(x_i, y_i)] + \sum F_{iju} [t'_{ij}, L_{iju}(x_i, y_i)] \quad (2)$$

단,  $x_i$  : 분산형전원의 kW 도입용량  
 $y_i$  : 분산형전원의 kWh 도입용량  
 $L_0$  :  $t = 0$ 에서 분산형전원에 의하여 공급할 수 없는 고압선로의 집합

$t'_{ij}$  :  $t_{ij} - t_{sij}$

$t_{sij}$  : 정전후, 일단 분산형전원으로부터 공급을 받고, 그 후 재정전까지의 시간

한편, 배전용변전소  $i$ 와 고압선로  $j$ 에 있어서, 정전 계속시간  $t \sim t+\Delta t$  사이에서의 복구 확률은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$p_{ij}(t, t+\Delta t) = \mu_{ij} e^{-\mu_{ij}t} \Delta t \quad (3)$$

단,  $p_{ij}(t)$  : 정전 복구확률

$1/\mu_{ij}$  : 평균 정전 복구시간

따라서, 전체 고찰시간에 대하여 정전 발생시각에 대한 기대치인 기대 정전 손실비용(Expected Interruption cost)은 다음 식과 같이 정식화 할 수 있다.

$$F_{tot} = \sum_i \sum_j \int_{U_s}^{U_e} A_{iju} \int_0^\infty p_{ij}(t) F_{iju}(t, x_i, y_i) dt du \quad (4)$$

단,  $F_{tot}$  : 총 기대 정전 손실비용

$U_s \sim U_e$  : 전체 고찰시간

$A_{iju}$  : 배전용변전소  $i$ 와 고압선로  $j$ 에 대하여, 시각  $u$ 에서의 정전 발생확률

$$\int_{U_s}^{U_e} A_{iju} du = 1$$

$$\int_0^\infty p_{ij}(t) dt = 1$$

## 3. 시뮬레이션 예

### 3.1 시뮬레이션 조건

분산형전원이 배전용변전소의 주변압기 2차측에 분산 배치되어, 사고나 작업정전 등의 긴급시에 신뢰성 향상을 위한 운전(무정전 전원공급 기능)되는 경우, 정전비용을 줄이는 효과를 평가하기 위하여 다음과 같은 조건을 가정한다.

(1) 배전계통의 부하특성을 그림 2와 같이, 피크와 미들, 오프피크 시간대로 간략화하고, 분산형전원(여기서는 저장시스템)의 운용패턴도 오프시간대의 4시간동안 충전하고, 피크시간대에 방출하도록 한다.

(2) 수용가의 부하패턴은 공장지역과 상업지역, 주택지역으로 나누고, 이들 지역특성을 나타내는 정전손실의 계수는 표 1과 같다(여기서  $b=c=0$ ).

(3) 정전 발생시각은 계산의 간략화를 위하여, 매시 00분에 동일의 확률로 정전이 발생한다고 가정

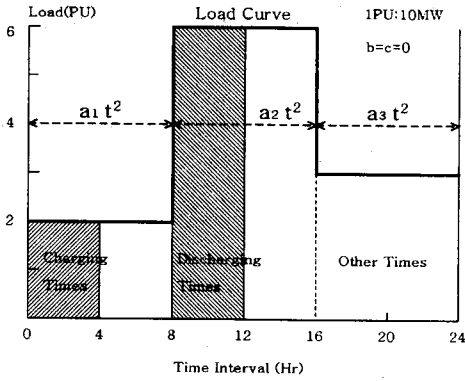


그림 2. 배전계통의 부하곡선과 분산형전원의 운용패턴  
(충전시간대 : 0~4, 방전시간대 : 8~12)

표 1. 각 부하지역의 정전비용 계수

	a <sub>1</sub> (Peak Hours)	a <sub>2</sub> (Middle Hours)	a <sub>3</sub> (Off-peak Hours)
Residential Area	0.002	0.007	0.002
Commercial Area	0.002	0.025	0.01
Industrial Area	0.01	0.03	0.02

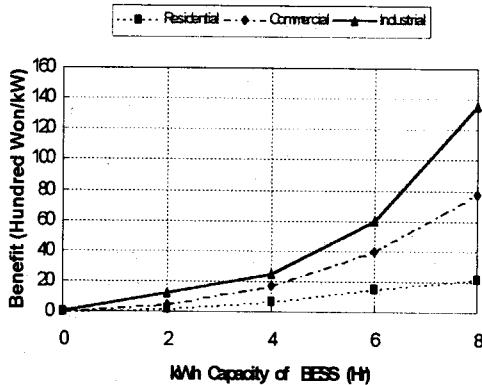


그림 3. 분산형전원의 운용효과  
(분산형전원 용량 : 6MW,  $\mu_{ij}$  : 0.04)

하여 평균치를 취한다.

### 3.2 시뮬레이션 결과

상기의 전제조건하에서, 정전 손실비용을 식 (4)에 근거하여 산출하였다. 여기에서는, 분산형전원이 도입되어 운용되는 경우, 정전손실에 대한 효과를 파악하기 위하여 평가지수( $M_{epx}$ )를 도입한다. 즉, 분산형전원의 도입전과 도입후의 총 기대정전 손실비용의 차를 구한다. 그림 3은 부하패턴에 따라 평가지수를 계산하여 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 정전손실이 큰 지역, 즉 정전손실 계수가 큰 공장지역에 분산형전원을 도입하면, 도입 효과가 크다는 사실을 확인할 수 있었다.

### 4. 결론

본 논문에서는 분산형전원이 도입된 경우, 사고나 작업정전 등의 비상시에 무정전 전원공급원으로서의 효과를 파악하기 위하여, 정전비용을 산출하는 알고리즘을 제안하여, 간단한 배전계통 모델에 적용하여 정량적인 평가를 수행하였다. 그러나, 이 논문에서는 정확한 정전비용 손실계수를 구하기가 어려워, 참고문헌 [4]의 데이터를 그대로 적용하여 우리나라의 실정과는 거리가 있다고 본다. 앞으로, 이에 대한 보완 연구와 상세한 배전계통의 적용 연구를 수행하고자 한다.

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구과제의 지원에 의하여 수행된 연구입니다.

### 참고 문헌

- [1] Daeseok Rho, H. Kita, K. Nishiya and J. Hasegawa, "A Study on the Introduction Evaluation of Dispersed Energy Storage Systems", Trans. IEE of Japan, Vol. 116-B, No. 2, Feb. 1996
- [2] Daeseok Rho, H. Kita, K. Nishiya and J. Hasegawa, "Voltage Regulation Methods Based on an Expanded Approach and Neural Networks for Distribution Systems Interconnected with Dispersed Storage and Generation Systems", Trans. IEE of Japan, Vol. 117-B, No. 3, March 1997
- [3] James J. Burke, "Power Distribution Engineering", Marcel Dekker, Inc. pp. 320-348 (1994)
- [4] 나라, 야마시로, 고이케, "정전손실을 고려한 사고시의 부하복구순서의 결정방법", 일본전기학회지 B, 101권 2호, 1981