

# 수용가의 신뢰도 평가를 위한 분산전원 모델링

(Modeling of Distributed Generation to Calculate Reliability of Customers)

조종만\* · 배인수 · 심 현 · 김진오\*\*

(Jong-Man Jo · In-Su Bae · Hun Shim · Jin-O Kim)

## 요 약

본 논문은 분산전원이 연계된 배전계통의 신뢰도를 평가할 수 있는 해석적 기법과 그에 맞는 분산전원의 모델을 제시한다. 분산전원은 송전계통에 연계된 대규모 발전기와는 다른 운영방식을 가지기 때문에 기존의 기법과는 다른 해석기법과 모델을 필요로 한다. 제시되는 신뢰도 해석기법은 Monte-Carlo 시뮬레이션에 비해 간단하면서도 피크 부하를 사용하는 해석기법에 비해 정확하기 위해 Load Duration Curve를 사용하였고, 최종적으로는 사례연구를 통해 제시된 기법의 정확성을 입증하였다.

## Abstract

Unlike the large sized generations of transmission system, the distributed generations have complexities in analyzing and determining model. This paper presents an analytical method for the reliability evaluation of distribution system including the distributed generations. The method using Load Duration Curve model is simpler than the Monte-Carlo Simulation and is more accurate than that using peak load model. The modeling of distributed generation to analysis reliability of customers using LDC is proposed in this paper, and is compared with the MCS method as a result of case studies.

Key Words : Distributed Generation, Distribution System, Reliability, Load Duration Curve, Customers

## 1. 서 론

수용가와 가장 가까운 전력계통 요소인 배전계통은 수용가가 느끼는 전력의 품질과 직결되는 요소이며, 수용가가 경험하는 정전의 제일 큰 부분은 배전

계통 설비의 고장으로 인해 발생한다[1]. 배전계통에 직접 연계되는 분산전원은 설치목적 및 형태에 따라 운영방식에 차이가 있으며 계통에 정전이 발생할 시에도 연계를 통해 전력을 공급할 지 여부가 달라진다[2,3]. 그 외 분산전원의 특징으로는 재공급을 위한 기동시 기동에 실패할 확률이 존재하며, 운전 중인 상태에서 발생할 수 있는 분산전원 자체의 고장 확률도 고려해야 한다. 배전계통은 일반적으로 방사형 형태로 구성되어 있고 분산전원은 용량에 있어서 기존 전력원에 비해 상대적으로 작기 때문에, 계통에서 정전이 발생할 때 어느 범위의 수용가에게까지

\* 주저자 : 한양대학교 전기공학과 박사과정  
\*\* 교신저자 : 한양대학교 전자전기공학부 교수  
Tel : 02-2220-0347, Fax : 02-2297-1569  
E-mail : jokim@hanyang.ac.kr  
접수일자 : 2005년 8월 5일  
1차심사 : 2005년 8월 8일  
심사완료 : 2005년 8월 29일

전력을 재공급할 수 있을지 여부를 판별해야 한다 [2]. 가장 일반적으로 사용한 방식은 분산전원의 정격용량과 수용가의 피크부하를 이용하여 고장발생 시 계통 재구성 과정을 해석하는 것이었다[4,5]. 2004년 국내 전력수요량을 살펴보면 최저부하는 피크부하에 비해 약 43.2[%]에 불과하고, IEEE RTS 부하 모델의 경우에는 피크부하에 대한 최저부하 비율은 30[%]이다. 따라서 분산전원으로 인한 신뢰도 변화를 알아보기 위해서는 사고발생 시간에서의 부하량과 발전량을 비교하여 재공급 범위를 결정해야 한다 [6]. 그 외 분산전원 자체의 고장은 주로 부하량이 클 때 즉 분산전원이 운전 중일때 발생하고 분산전원 기동실패는 부하량이 작을 때 즉, 분산전원이 정지 상태일 때 발생한다는 특징도 함께 고려한다.

## 2. 본 론

### 2.1 Load Duration Curve

전력계통의 신뢰도를 산출하기 위해 부하를 나타내는 모델로서 지금까지 가장 널리 사용하는 것은 그림 1 (a), (b)의 직선으로 표현된 최대 피크부하를 이용하는 피크부하(Peak Load) 모델이다. 1년 내내 피크부하 상태라고 가정하는 경우도 있고, 고장발생 후 계통 재구성 과정에서만 피크부하를 사용하고 공급지장 전력량을 계산할 때에는 평균부하를 사용하는 경우도 있다[4]. MCS(Monte-Carlo Simulation)에서 시간에 따라 변하는 부하를 표현하기 위해 사용하는 방식은 시간별 부하(Daily Peak Load) 모델로서 1시간 단위의 피크치를 시간에 따라 열거하며 그림 1 (a)와 같다.

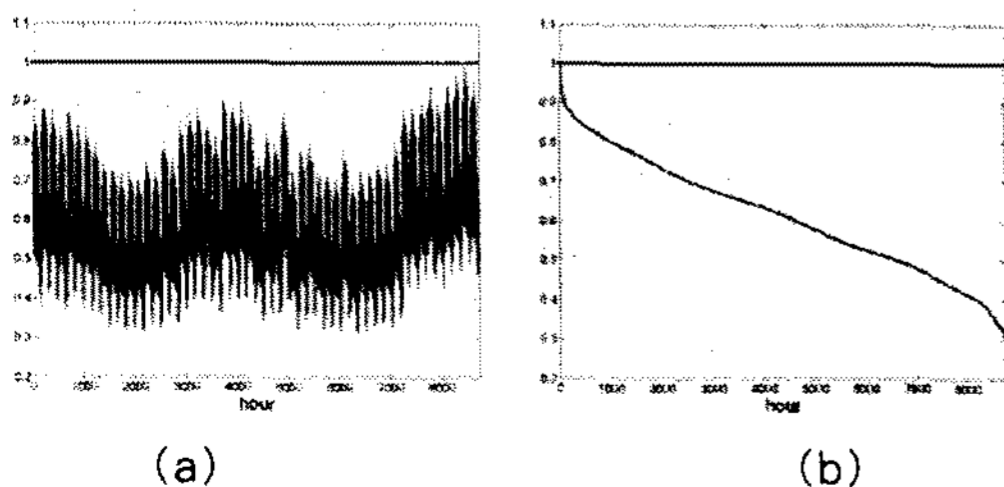


그림 1. (a) DPL 모델 (b) LDC 모델  
Fig. 1. (a) DPL model (b) LDC model

LDC(Load Duration Curve) 모델은 DPL 모델과 동일하게 1시간 단위로 그리고 각 부하값은 1시간 동안의 부하 중 피크치를 나타낸다. 그렇지만 DPL 모델과는 달리 시간에 따라 부하를 열거하는 것이 아니라 그림 1 (b)와 같이 부하의 크기에 따라 내림차순으로 다시 정렬한다. 본 논문에서는 해석적 기법에 이용할 수 있으면서 시간 단위로 부하를 표현할 수 있는 LDC를 이용하여 이에 적합한 분산전원의 신뢰도 모델을 수립하였다[1,5,6].

### 2.2 분산전원의 운전상태

피크용 분산전원은 고부하 시간의 비싼 전력가격을 회피하여 전력비용을 절감하고 여분의 전력이 발생한다면 반대로 계통에 유입하여 전력판매 수익을 얻을 수 있는 분산전원을 말한다[3]. 피크용 분산전원은 그 설치목적에 의해 전력가격이 높은 시간에만 운전을 하며 전력가격은 전력수요(부하)의 함수로 볼 수 있다. 즉 고부하 시간에서만 피크용 분산전원은 운전을 하며, 분산전원의 연료비용과 전력가격을 비교하여 분산전원이 전력을 생산하는 연간 총 운전시간  $t_{run}$ 을 구할 수 있다. 분산전원은 대규모 전력원에 비해 자체 고장률이 높지만 간헐적으로 운전하며, 이와 같은 피크용 분산전원에 대한 평균고장률은 식 (1)과 같다[2].

$$\lambda_{ave} = \lambda \times \frac{t_{run}}{T} \quad (1)$$

여기서  $T$ 는 고려하는 전체 시간  $t$ , 즉 1년에 대해 계산할 경우에는  $T=8760$ 이고,  $\lambda$ 는 일반적인 고장률을 말한다.

그렇지만 식 (1)과 같은 분산전원의 평균고장률을 이용할 경우 고장률은 전체적으로 감소할지라도 분산전원의 고장이 운전 중에만 발생한다는 즉, 고부하 시간에 정전이 발생한다는 점이 무시되므로 평균고장률을 이용하기 보다는 고장률은 시간에 대한 함수로 표현하는 것이 더 적합하다.

대기용 분산전원은 계통에서 정전이 발생할 때 중요부하에 전력을 공급하기 위해 설치하는 분산전원을 말하며, 정전이 발생할 경우에만 비상전력을 공급하기 위한 분산전원이다[3]. 정전시간이 사고요소

## 수용가의 신뢰도 평가를 위한 분산전원 모델링

의 복구시간에서 대기용 분산전원의 기동시간으로 감소하는 효과가 있지만, 기동시간이 존재하며 기동 실패도 고려해야 한다.

피크용 분산전원은 정전이 발생할 경우에는 계통과 분리하여 단독운전을 허용하지 않는 것이 일반적이지만 재투입을 허용하여 정전 수용가에 전력을 재공급할 수 있다면, 피크용 분산전원의 장점과 대기용 분산전원의 장점이 결합하여 경제적 이득과 신뢰도 향상이라는 두 가지 장점을 모두 얻을 수 있다[7]. 이런 혼합 운영방식의 분산전원을 해석하기 위해서는, 사고가 발생한 시점에서 분산전원이 운전 중이 있는지 대기 중이었던지를 우선 구분할 필요가 있다. 그림 2와 같이 LDC를 이용하면, 분산전원  $k$ 는 0부터  $t_{run,k}$ 까지 시간  $t$ 에서는 운전 중이고, 그 이후의 시간에서는 대기 중인 상태로 볼 수 있다.

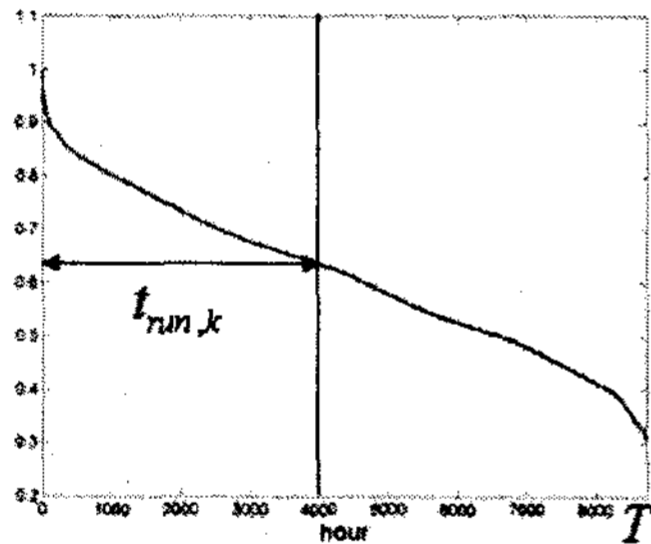


그림 2. 분산전원 운전상태  
Fig. 2. Operation mode of DG

계통사고 발생 시점에서 운전 중인 분산전원은 이미 운전을 통해 전력을 공급하고 있으므로 대기 중인 분산전원에 비해 빠른 대처가 가능하며 기동실패는 고려할 필요가 없다. 대기 중인 분산전원은 사고 발생시 정지 중인 상태에서 기동에 성공해야만 전력 공급이 가능하며, 정전지역에 재공급하는 시간 동안의 분산전원 자체 고장은 무시한다.

### 2.3 수용가측 신뢰도 산출

수용가  $i$ 의 신뢰도 값  $R_i$ 는 용량제약이 없는 전력원(변전소)으로 인한 신뢰도 값과 용량제약이 있는 전력원(분산전원)으로 인한 신뢰도 값을 모든 고장  $j$ 에 대해 합산하여 식 (2)와 같이 구한다[8]. 신뢰

도 값  $R_i$ 란 각 수용가에 해당하는 지속정전 횟수, 순간정전 횟수, 정전시간, 공급지장 전력량을 말한다.

$$R_i = \sum_j \{R_{unlimit, i, j} + R_{limit, i, j}\} \quad (2)$$

계통요소  $j$ 에서 고장이 발생하면, 용량제약이 없는 변전소로부터의 전력과 용량제약이 있는 분산전원으로부터의 전력은 재투입 시간의 차이로 인해 순간정전이나 지속정전 둘 중 하나로 나타난다. 또한 두 가지 운전상태의 분산전원은 지속정전을 순간정전 감소시키거나 혹은 완전히 정전을 제거할 수도 있다. 신뢰도를 구하는데 있어서 이런 여러 상황이 일반화 되어 있지는 않다. 고장발생  $j$  이후 수용가  $i$ 에서 나타날 수 있는 상황에 대해 Impact Factor  $E_{e, r, i, j}(t)$ 를 다음과 같이 정의한다.

첨자  $e$ 는 고장발생 후 재투입 상황을 나타내며 다음과 같다.

- $e=1$  : 변전소를 통해 재공급 받는 상황
- $e=2$  : 어떤 전력원과의 연결되지 않거나 용량부족 이유로 재공급을 받지 못하는 상황
- $e=3$  : 모두 기동에 성공한 1대 이상의 대기 중인 분산전원을 통해 재공급을 받는 상황
- $e=4$  : 1대 이상의 대기 중인 분산전원을 통해 재공급 받지만 1대 이상이 기동에 실패한 상황
- $e=5$  : 모두 운전 중인 분산전원을 통해서만 재공급을 받는 상황

첨자  $r$ 은 신뢰도 값의 변화를 표현하며 다음과 같다.

- $r=1$  : 지속고장으로 인한 지속정전 횟수의 변화
- $r=2$  : 지속고장으로 인한 정전시간의 변화
- $r=3$  : 지속고장으로 인한 순간정전 횟수의 변화
- $r=4$  : 순간정전으로 인한 순간정전 횟수의 변화
- $r=5$  : 지속고장으로 인한 공급지장 전력량 변화

식 (2)의 두 가지 전력원으로 인한 각 신뢰도 값은 식 (3), (4)와 같다.

$$R_{unlimit, i, j} = \left[ 1 - \prod_{k=1}^N (1 - A_{0, k}(i, j)) \right] \times \frac{1}{T} \sum_{t=0}^T \lambda_j(t) E_{1, r, i, j}(t) \quad (3)$$

$$R_{limit, i, j} = \prod_{k=1}^{N_{limit}} \{1 - A_{0, k}(i, j)\} \quad (4)$$

$$\times \frac{1}{T} \left[ \sum_{j=1}^{U_i T} \lambda_j(t) E_{2, r, i, j}(t) \right]$$

$$+ \sum_{t=U_i T+1}^T \lambda_j(t) \left\{ \begin{array}{l} F_{1, i, j}(t) E_{3, r, i, j}(t) \\ + F_{2, i, j}(t) E_{4, r, i, j}(t) \\ + F_{3, i, j}(t) E_{5, r, i, j}(t) \end{array} \right\}$$

여기서  $N_{limit}$ 는 분산전원의 총 개수를 나타내고,  $N_{unlimit}$ 는 변전소의 총 개수이다.  $T$ 는 8760시간(혹은 8736시간)을 말하고,  $U_i$ 는 고장  $j$ 가 발생할 경우 수용가  $i$ 가 분산전원으로부터 전력을 공급받지 못할 시간의 비율을 나타낸다.

$A_{\beta, k}(i, j)$ 는 Connection Matrix로서 각 고장 요소에 따라 전력원과 수용가와의 연결이 가능한지를 나타내는 행렬이다. 용량과 관계없이 연결이 가능한지 여부를 나타낼 뿐 실제로 고장발생 후 재공급하는지를 나타내지는 않는다. 즉 행렬의 각 요소는 계통설비  $j$ 에서 고장이 발생한 후 수용가  $i$ 가 전력원  $k$ 에 연결이 가능한지 여부를 나타낸다.  $\beta$ 는 전력원의 공급용량에 제약이 있는지 여부를 표현하며  $A_{0, k}(i, j)$ 는 변전소와 같이 용량에 제약이 없는 전력원에 대한 Connection Matrix이다.  $A_{0, k}(i, j)$ 의 각 요소는 0과 1의 값을 가지며 0은 전력원과 연결이 불가능한 상태, 1은 전력원과 연결이 가능한 상태를 나타낸다.  $A_{1, k}(i, j)$ 은 분산전원과 같이 용량에 제약이 있는 전력원과의 연결을 나타내며, 0은 전력원과 연결이 불가능한 상태를 말한다. 1 이상의 자연수는 전력원과 연결이 가능한 상태를 나타내고 용량제한 전력원의 재공급 우선순위를 오름차순으로 표현한다.

식 (3), (4)에 포함되어 있는 Impact Factor의 첨자  $r$ 에 1을 대입하면  $R_i$ 는 수용가  $i$ 의 지속정전 횟수가 되며,  $r=2$ 이면 정전시간,  $r=5$ 이면 공급 지장 전력량이 된다. 순간정전 횟수는  $r=3$ 을 대입한  $R_i$ 와  $r=4$ 를 대입한  $R_i$ 를 더하면 구할 수 있다. 운전 중인 분산전원의 자체고장을 표현할 수 있도록 고장률은 시간의 함수로 식 (3), (4)에 포함하였으며, 분산전원  $k$ 의 고장률은 운전 중인 0부터  $t_{run, k}$ 까지의 시간  $t$ 에서는  $\lambda_k$ 이고 대기 중인  $(t_{run, k} + 1)$ 부터  $T$ 까지의 시간에서는 0이다.

## 2.4 분산전원이 수용가 신뢰도에 미치는 영향

식 (4)의  $F_{1, i, j}(t)$ 는 고장  $j$ 가 발생한 상황에서 수용가  $i$ 에 재공급하는 대기 중인 분산전원이 기동에 모두 성공할 확률을 나타내고,  $F_{2, i, j}(t)$ 는 재공급하는 대기 중인 분산전원 중 1대가 기동에 실패할 확률,  $F_{3, i, j}(t)$ 는 재공급하는 분산전원이 모두 운전 중인 확률이다. 이 세 가지 확률을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$F_{1, i, j}(t) = \left[ 1 - \prod_{k=1}^{N_{limit}} \{1 - \alpha_k(t) W_{k, i, j}(t)\} \right] \quad (5)$$

$$\times \prod_{k=1}^{N_{limit}} [1 - \alpha_k(t) W_{k, i, j}(t) \{1 - P_{s, k}(t)\}]$$

$$F_{2, i, j}(t) = \left[ 1 - \prod_{k=1}^{N_{limit}} \{1 - \alpha_k(t) W_{k, i, j}(t)\} \right] \quad (6)$$

$$\times \left( 1 - \prod_{k=1}^{N_{limit}} [1 - \alpha_k(t) W_{k, i, j}(t) \{1 - P_{s, k}(t)\}] \right)$$

$$F_{3, i, j}(t) = \left[ 1 - \prod_{k=1}^{N_{limit}} \{1 - W_{k, i, j}(t)\} \right] \quad (7)$$

$$\times \prod_{k=1}^{N_{limit}} \{1 - \alpha_k(t) W_{k, i, j}(t)\}$$

여기서  $P_{s, k}(t)$ 는 분산전원  $k$ 가 기동에 성공할 확률을 나타낸다.  $\alpha_k(t)$ 는 분산전원  $k$ 의 운전상태를 표현하는 함수로서 0이면 운전 중인 상태, 1이면 대기 중인 상태를 의미하며 식 (8)과 같이 구한다.  $W_{k, i, j}(t)$ 는 고장  $j$ 가 발생한 상황에서 분산전원  $k$ 가 수용가  $i$ 에 전력을 재공급하고 있는지 여부를 나타내는 함수로서 식 (9)와 같이 구한다.

$$\alpha_k(t) = u \langle t - t_{run, k} - \delta \rangle \quad (8)$$

$$W_{k, i, j}(t) = u \langle L_{k-1, i, j}(t) - L_{k, i, j}(t) - \delta \rangle \quad (9)$$

여기서  $L_{k, i}(t)$ 는 분산전원  $k$ 가 전력을 공급한 후에도 재공급 받지 못한 수용가  $i$ 의 부하를 의미한다.  $u \langle x \rangle$ 는 계단함수(Step Function)로 양수의  $x$ 값은 1, 음수의  $x$ 값은 0으로 반환한다.  $\delta$ 는 계단함수에서 사용하기 위한 즉,  $u \langle 0 \rangle$ 을 방지하기 위한 아주 작은 양수 미소분이다.

### 2.5 분산전원의 재공급 범위

계통요소  $j$ 의 고장은 다른 계통요소  $j'$ 의 고장에 영향을 미치지 않고 서로 독립적으로  $j$ 에 대해 고려하는 시점에서는  $j$ 의 정보가 필요하지 않다. 그러므로 2.5절에서는 각  $j$ 에 대해 각각 계산하며 간단한 표현을 위해  $j$ 를 따로 표기하지 않았다.

분산전원이 공급하는 전력이 부족하여 수용가에서는 1년 중 전력을 재공급받지 못하는 시간이 발생할 수 있다. 수용가  $i$ 가 분산전원으로부터 전력을 공급받지 못할 확률  $U_i$ 는 식 (10)을 통해 구한다.

$$U_i = \frac{\tau_i}{T} \quad (10)$$

여기서  $\tau_i$ 는 고장발생 후 수용가  $i$ 가 재공급 받지 못한 시간으로 식 (11)을 통해 구한다.

$$\begin{cases} \tau_i = 1 \\ \tau_i = [\min\{x \mid L_{N_{limit}, i}(x) = 0\}] - 1 \\ L_{N_{limit}, i}(t) > 0 \\ L_{N_{limit}, i}(t) \leq 0 \end{cases} \quad (11)$$

$L_{N_{limit}, i}(t)$ 는 모든 용량제한 전력원을 고려한 후에도 재공급 받지 못한 수용가  $i$ 의 부하이다. 전력원  $k$ 가 전력을 공급한 후에도 재공급 받지 못한 수용가  $i$ 의 부하  $L_{k, i}(t)$ 는 식 (12)와 같다.

$$L_{k, i}(t) = u \langle L_{k-1, i}(t) - P_{k, i}(t) - \delta \rangle \times \langle L_{k-1, i}(t) - P_{k, i}(t) \rangle \quad (12)$$

수용가  $i$ 에 전력을 재공급한 후 전력원  $k$ 의 남은 여분의 전력  $P_{k, i}(t)$ 는 식 (13)과 같다.

$$P_{k, i}(t) = u \langle P_{k, i}(t) - L_{k-1, i}(t) - \delta \rangle \times \langle P_{k, i}(t) - L_{k-1, i}(t) \rangle \quad (13)$$

분산전원의 용량부족은 의미 그대로 용량에 제약이 있는 전력원에 대해서만 고려한다. 분산전원은 한정된 용량을 가지고 있으므로 미리 정한 우선순위에 따라 전력을 공급하며, 이때 재공급할 수 있는 수용가의 범위는 고장이 발생한 시간의 부하크기와 분

산전원 용량을 비교하여 구한다. 수용가측 신뢰도 산출을 위해 필요한  $L_{k, i}(t)$ 은 모든  $n$ 과 모든  $k$ 에 대해 반복적으로 그림 3과 같은 순서로 계산한다.

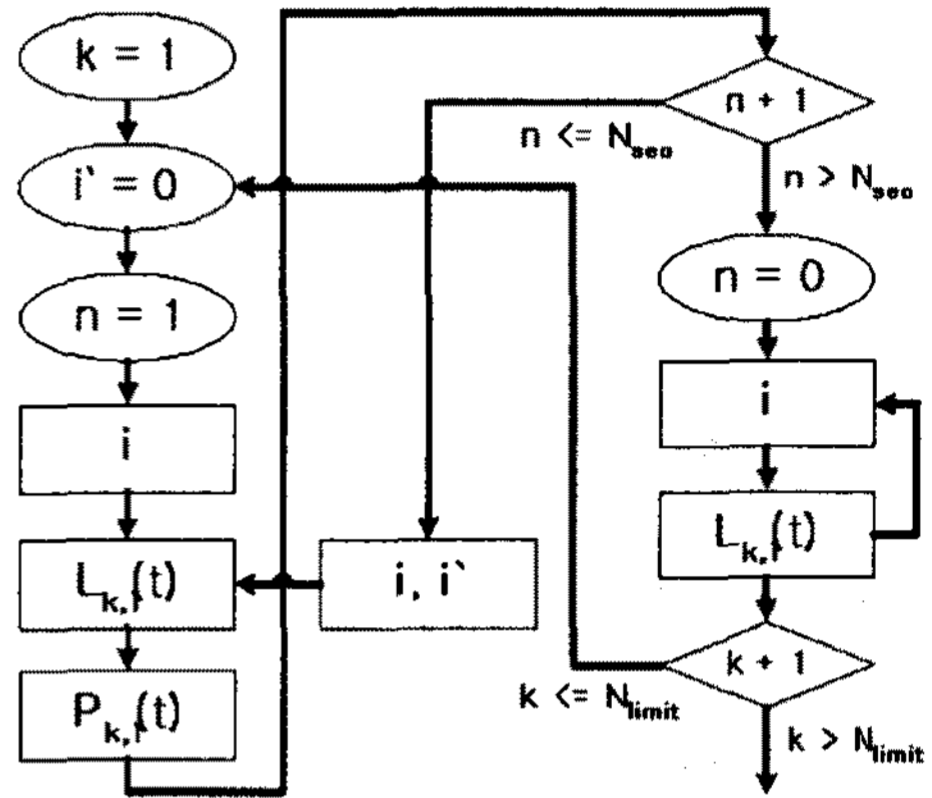


그림 3. 용량부족 계산 흐름도  
Fig. 3. Flowchart to calculate resource insufficiency

그림 3의  $N_{sec}$ 은 총 수용가의 수,  $n$ 은 Connection Matrix의 열벡터  $A_{1, k}(i)$ 에서 각 요소를 나타낸다. 공급 우선순위  $n$ 을 순차적으로 증가시키면서 반복계산하며  $n$ 이 결정되면 식 (14)를 통해  $i$ 를, 식 (15)를 통해  $i'$ 을 결정한다. 또한  $n=0$  즉, 분산전원  $k$ 와 연결이 불가능한 모든 수용가  $i$ 에 대해서는 식 (16)과 같다.

$$A_{1, k}(i) = n \quad (14)$$

$$A_{1, k}(i') = n - 1 \quad n > 1 \quad (15)$$

$$L_{k, i}(t) = L_{k-1, i}(t) \quad \{\forall i \mid A_{1, k}(i) = 0\} \quad (16)$$

$P_{k, 0}(t)$ 는 분산전원  $k$ 의 공급가능 용량을 나타내는데, 연료형 분산전원의 경우에는 일정한 상수값이다.  $L_{0, i}(t)$ 는 수용가  $i$ 의 부하를 나타내며 해당 수용가의 LDC를 이용하여 식 (17)과 같이 구한다. 즉, 변전소와의 연결이 불가능할 경우에만 LDC를 부하로 이용한다.

$$L_{0, i}(t) = LDC_i(t) \times \prod_{k=1}^{N_{limit}} \{1 - A_{0, k}(i)\} \quad (17)$$

## 2.6 사례연구

부하는 IEEE RTS[1]의 부하데이터를 사용하였고, 분산전원의 크기와 종류, 개폐기 위치, 모선도 등 계통에 대한 기본데이터는 참고문헌[8]을 참조하였다. 모의계통은 그림 4(a)와 같이 총 40모선으로 이루어져있다. 고장의 영향을 판별하는 과정에서 개폐기로 분리되는 구간 내에서는 동일한 신뢰도 결과가 나타난다. 이러한 영역을 Section이라 표현하면, 하나의 Section은 동일한 신뢰도 결과를 도출할 뿐만 아니라 Section 내에 있는 설비들의 고장은 동일한 파급효과를 가진다[8]. 본 사례연구에서는 배전계통을 구성하는 모든 간선(Feeder), 지선(Lateral), 부하점(Load Point)은 Section의 개념으로 묶어서 표현하였다. 따라서 7개의 개폐기가 존재하는 모의계통은 그림 4(b)와 같이 변전소를 제외한 총 7개의 Section으로 구분하였다.

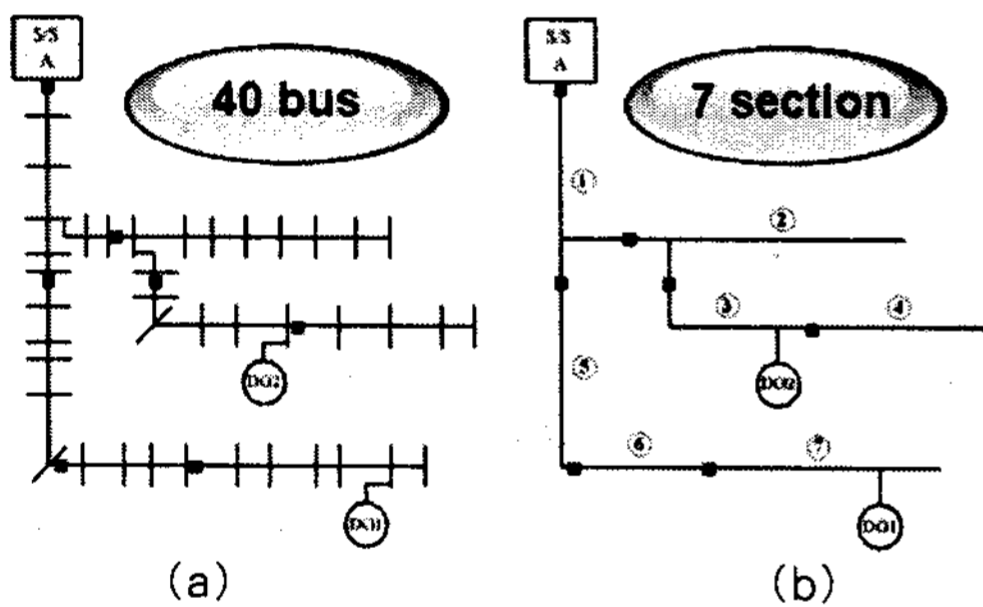


그림 4. (a) 40모선 모의계통  
(b) 7 Section 모의계통  
Fig. 4. (a) 40 bus test system  
(b) 7 section test system

Section의 길이는 Section 번호에 따라 22, 22, 10, 13.5, 13.5, 11.5, 14([mile])이고, 고장률은 [mile]당 0.08[f/year], 피크부하는 [mile]당 30[kW]로 놓았다. 모든 고장의 복구시간은 2시간, 순간고장 횟수는 지속고장 횟수의 4배라고 하였다.

2대의 분산전원은 일정한 출력을 낼 수 있는 연료형 분산전원으로 가정하였다. 7번 Section에 연계된 분산전원을 1번 DG( $k=1$ )라 하고 3번 Section의 분산전원을  $k=2$ 라 하면, 용량 1000, 500([kW]), 고장률 1, 1([f/year]), 기동성공 확률 0.95, 0.9, 총 운전시

간 3644, 2557(hour)이다.

총 세 가지 경우의 Case를 이용하여 신뢰도를 산출하였다. Case 1은 다른 Case와 비교할 수 있는 가장 정확한 대표값을 위해 시간별 부하모델(DPL 모델)을 사용하는 MCS 기법으로 신뢰도를 계산하였다. Case 2는 본 논문에서 제시한 분산전원 모델링 기법과 LDC를 이용하는 수용가측 신뢰도 산출기법을 그대로 모두 이용하였다. Case 3은 부하를 1년 내내 피크값이라고 가정하였고 그 외에는 Case 2와 동일하다.

표 1 (a). Section의 지속정전 횟수, 정전시간  
Table 1 (a). Sustained interruption frequency and interruption duration of section

/year	지속정전 횟수			정전시간(hour)		
	Case 1	2	3	1	2	3
Sec 1	1.7554	1.76	1.76	3.4928	3.52	3.52
2	3.4503	3.4690	3.52	6.8920	6.9381	7.04
3	1.3513	1.3417	1.3417	2.7023	2.6833	2.6833
4	3.3942	3.3887	5.6927	6.7828	6.7774	11.385
5	1.1845	1.2050	2.84	2.3353	2.4101	5.68
6	0.9924	1.0028	1.0028	2.0012	2.0055	2.0055
7	1.6456	1.6467	1.6467	3.2840	3.2934	3.2934

표 1 (b). Section의 순간정전 횟수, 공급지장 전력량

Table 1 (b). Momentary interruption frequency and interruption energy of section

/year	순간정전 횟수			공급지장전력량(kW)		
	Case 1	2	4	1	2	4
Sec 1	7.0583	7.04	7.04	1412.5	1427.4	2323.2
2	14.170	14.131	14.08	2808.6	2831.8	4646.4
3	16.593	16.570	16.570	516.71	514.54	805.00
4	24.758	24.758	22.771	1852.0	1855.0	4611.1
5	9.7594	9.6930	11.36	593.58	612.04	2300.4
6	11.896	11.874	11.874	418.80	419.36	691.91
7	17.002	16.997	16.997	886.21	889.90	1383.2

Case에 따른 각 Section의 신뢰도 값을 살펴보면 표 1과 같다. Case 2는 모든 Section과 모든 신뢰도 값에 있어서 Case 1과 거의 동일한 값을 보여주고 있다. Case 3은 재공급 우선순위가 높은 Section 3, 7에 비해 재공급 우선순위가 낮은 Section 2, 4에서

## 수용가의 신뢰도 평가를 위한 분산전원 모델링

신뢰도 결과가 큰 차이를 보이고 있다. Section 2가 Section 4에 비해 재공급 우선순위가 더 낮지만 DG2 자체가 용량이 작아서 Section 2까지는 영향을 미치지 못하기 때문에 Section 2가 Section 4에 비해 상대적으로 신뢰도 값 차이가 작다. 다른 Case에서는 저부하 시간에라도 재공급이 가능한 지역이 Case 3은 피크부하 모델을 사용했으므로 1년 내내 재공급이 불가능하다는 점을 보여주는 결과이다. 1년 내내 피크부하로 가정했기 때문에 전체적으로 보면 공급 지장 전력량을 계산하는데 있어서 그 차이가 가장 심하게 나타난다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 수용가의 신뢰도 값을 LDC를 이용하여 구하는 해석적 기법을 제시하였고 여기에 사용하기 위한 분산전원의 모델링 기법을 같이 제시하였다. 제안된 기법은 피크용 분산전원과 대기용 분산전원을 혼합한 운영방식, 기동실패, 운전에 따른 고장률 같은 분산전원 만의 특성을 포함하고 있으며, 고장발생시 한정된 용량의 분산전원이 어느 수용가에게까지 비상전력을 재공급할 수 있는지를 고려하였다.

사례연구에서는 MCS 기법과 본 논문에서 제시하는 해석적 기법을 수용가의 신뢰도 값을 통해 비교하여, 피크부하 모델을 사용하는 기법에 비해 제시된 기법의 정확성을 보였다. 본 논문에서 언급하는 분산전원에 관한 수식은 용량이 작은 N/O Switch나 변전소의 용량제약 등에 몇 가지 변수를 조절하여 (기동성공 확률  $P_s=1$ ,  $t_{run}=T$  등) 사용할 수 있을 것이다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2004-B-220) 주관으로 수행된 과제임.

### References

- [1] Billinton, R., Allan, R.N., Reliability Evaluation of Power Systems, 2nd Edition, Plenum Press, New York, 1996.
- [2] Hegazy, Y.C., Chikhani, A.Y., "Intention Islanding of Distributed Generation for Reliability Enhancement",

Quality and Security of Electric Power Delivery Systems, CIGRE/IEEE PES International Symposium, pp. 208-213, Oct. 2003.

- [3] Brown, R.E., Freeman, L.A.A., "Analyzing the Reliability Impact of Distributed Generation", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, vol. 2, pp. 1013-1018, July 2001.
- [4] Chowdhury, A.A., Agarwal, S.K., Koval, D.O., "Reliability Modeling of Distributed Generation in Conventional Distribution Systems Planning and Analysis", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 39, no. 5, pp. 1493-1498, Sept.-Oct. 2003.
- [5] Greatbanks, J.A., Popovic, D.H., Begovic, M., Pregelj, A., Green, T.C., "On Optimization for Security and Reliability of Power Systems with Distributed Generation", IEEE Power Tech Conference Proceedings, vol. 1, pp. 8, June 2003.
- [6] Pregelj, A., Begovic, M., Rohatgi, A., Novosel, D., "On Optimization of Reliability of Distributed Generation-Enhanced Feeders", Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 6, Jan 2003.
- [7] Maurhoff, B., Wood, G., "Dispersed Generation Reduce Power Costs and Improve Service Reliability", Rural Electric Power Conference, pp. C5/1-C5/7, May 2000.
- [8] Jen-Hao Teng, Tain-Syh Luor, Yi-Hwa Liu, "Strategic Distributed Generator Placements for Service Reliability Improvements", IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, vol. 2, pp. 719-724, July 2002.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 조종만 (趙鍾萬)

1959년 7월 27일생. 1986년 2월 서울산업대학교 전기공학과 졸업(학사). 1999년 2월 경상대학교 전기공학과 졸업(석사). 2002년~현재 한양대학교 전기공학과 박사과정.

#### 배인수 (裵引洙)

1975년 2월 14일생. 1998년 2월 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 2003년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년~현재 동대학원 전기공학과 박사과정.

#### 심헌 (沈憲)

1973년 8월 26일생. 1996년 한국기술교육대학교 전기공학과 졸업(학사). 2001년 동대학원 전기공학과 공학석사 졸업(석사). 2003년~현재 한양대학교 전기공학과 박사과정. 2001년~현재 (주)에스에너지 기술연구소 선임연구원.

#### 김진오 (金鎭吾)

1956년 1월 17일생. 1980년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 12월 Texas A&M 대학교 전기공학과 졸업(박사). 1987년~현재 한양대학교 전자전기공학부 교수.