

## 분산형전원이 도입된 배전계통의 신뢰도평가에 관한 연구

송석환 노대석      최재석 차준민  
한국기술교육대학교      경상대학교 대진대학교

### A Study on the Analytical Approach for Reliability Assessment in Distribution Systems Interconnected with Dispersed Storage and Generation Systems

Seokhwan Song Daeseok Rho      Jaeseok Choi and Junmin Cha  
Korea University of Technology      Kyeongsang University      Dajin University

**Abstract** This paper deals with the analytical approach for the reliability assessment in radially operated distribution systems. The existing indexes can consider the number and configuration of the load, but can not consider the characteristics of the load which is the one of the most important factor in the investment cost for the distribution systems. Therefore, This paper presents the new indexes considering the expected interruption cost for the load section and protection systems in the case where the Dispersed Storage and Generation Systems are introduced to distribution systems. And this paper shows the effectiveness of the proposed methods by simulating at the model systems.

#### 1. 서 론

본 논문에서는 기존의 해석적인 수법에서 여러 신뢰도 지표가 주로 수용가의 수와 지형적인 영향만을 고려한 단점을 보완하기 위하여, 어느 특정지역의 수용가가 실제로 정전되는 경우를 상정하여 수용가의 정전비용을 계산하여, 이에 의한 영향을 신뢰도 지표 속에 나타내도록 하였다. 즉, 정전비용에 따른 수용가의 중요도를 고려하기 위하여, 수용가의 정전비용 특성을 이용한 새로운 신뢰도 평가지수를 정의하여, 양적인 면에서 뿐만 아니라 질적인 면에서도 가장 경제적으로 신뢰도를 향상시킬 수 있는 특정 계통이나 지역, 설비 등을 선택할 수 있는 새로운 신뢰도 평가수법을 제안하였다. 또한, 배전계통에 분산형전원이 도입된 경우를 상정하여 상기의 신뢰도지수를 산정하는 수법을 제안하였으며, 사고구간을 줄이는 리클로우징과 섀셔넬라이저의 동작을 포함한 배전계통의 보호협조시스템도 고려한 신뢰도지수 산정법도 제안하였다.

본 논문에서 제안한 수법들을 모델 배전계통에 적용하여, 기존의 수법과의 비교평가에 의하여 그 유용성을 확인하였다.

#### 2. 신뢰도평가 수법

방사상 배전계통에 있어서, 일반적으로 사용되는 신뢰도 지수(Reliability Index)는 대상 지역에 대한 사고율 기대치(Expected Failure Rate)와 평균 정전시간, 연간 정전시간의 3개의 지수이다. 또한, 신뢰도를 향상시키는 척도를 비용의 효과 측면에서 평가하기 위하여, 추가적으로 연간 공급지장전력(NDP)과 연간 광급지장애너지(NDE)라는 두 개의 지수가 사용되고 있다.

#### 2.1 신뢰도지수

신뢰도지수의 기대치(평균치)는 다음 식과 같이 계산된다.

$$f = \sum_i \lambda_i \quad (= \lambda) \quad (\text{정전횟수/년}) \quad (1)$$

$$\Delta T = \sum_i \lambda_i K_i \quad (= U) \quad (\text{정전시간/년}) \quad (2)$$

$$r = \frac{\Delta T}{f} \quad (\text{정전시간/정전횟수}) \quad (3)$$

여기서,  $f$ : 연간 정전횟수,  $\Delta T$ : 연간 정전지속시간  
 $r$ : 평균 정전시간(정전횟수당 지속시간)  
 $\lambda_i$ : 구성요소  $i$ 에 대한 연간 사고횟수의 기대치  
 $K_i$ : 구성요소  $i$ 에 대한 평균 복구시간(절체시간)

이들 지수들은 일정한 값이 아니라 확률분포에 근거한 기대치(또는 평균치)이며, 장기간에 걸친 평균치를 나타낸다.

한편, 이 모델의 프로그램은 각 부하구간에 대한 NDP와 NDE의 기대치를 다음 식과 같이 구한다.

$$NDP = P f \quad (4), \quad NDE = P \Delta T \quad (5)$$

여기서,  $P$ : 각 부하지점의 부하크기(kW)

#### 2.2 정전비용을 고려한 수정 신뢰도지수

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 근사화시킬 수 있다.

$$F_{ku}(t) = (at^2_k + bt_k + c) L_{ku} \quad (6)$$

단,  $F_{ku}(t)$ : 정전 비용(원/kW),  $t_k$ : 정전 지속시간(Hour)  
 $L_{ku}$ : 정전지역의 부하크기(kW),  $k$ : 정전지역(구간)  
 $u$ : 시간대 번호

한편, 대상구간  $k$ 에 있어서 정전 지속시간  $t \sim t + \Delta t$  사이의 복구 확률은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_k(t, t + \Delta t) = r_k e^{-r_k \Delta t} \quad (7)$$

단,  $P_k(t)$ : 정전 복구확률,  $r_k$ : 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.

$$F_{tot} = \sum \int_{U_s}^{U_c} A_{ku} \int_0^{\infty} p_k(t) F_{ku}(t) dt du \quad (8)$$

단,  $F_{tot}$ : 총 기대 정전 손실비용,  $U_s \sim U_c$ : 전체 고찰시간

$A_{ku}$  : 각 구간에 대하여, 시각  $u$ 에서의 정전 발생확률

$$\int_0^{\infty} p_k(t) dt = 1, \quad \int_U A_{ku} du = 1$$

기존의 신뢰도 지수인 NDP와 NDE는 계통의 구성상태나 부하의 특성을 고려할 수 없기 때문에, 여기에서는 식 (9)와 같이 대상구간 부하의 중요도(각 구간의 정전비용에 대한 전체 구간의 정전비용에 대한 백분율)를 계산하여, 이것을 기존의 신뢰도 지수에 가중치의 형태로 곱하여, 식 (10), 식 (11)와 같은 새로운 신뢰도 지수들을 정의한다.

$$W_k = \sum \frac{F_k}{F_{Tot}} \times 100\% \quad (9)$$

$$NNDP_k = W_k \cdot NDP_k \quad (10)$$

$$NNDE_k = W_k \cdot NDE_k \quad (11)$$

단.  $k$  : 구간,  $W$  : 수용가의 중요도(가중치)

### 3. 분산형전원을 고려한 신뢰도 평가수법

분산형전원(열병합, 연료전지, 풍력, 태양광, 저장시스템 등)이 부하가 밀집된 수용가 근방에 분산 배치되는 경우, 배전계통에서 발생할 수 있는 각종 사고(사고정전 및 작업정전)시에 분산형전원은 부정전 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.

따라서, 본 연구에서는 분산형전원이 배전계통에 도입되는 경우, 정전시간 동안에 정전지역의 부하에 일정한 용량의 전력을 공급한다는 알고리즘에 근거하여, 정전비용을 고려한 신뢰도지수를 평가한다.

### 4. 보호협조시스템을 고려한 신뢰도 평가수법

일반적으로 수지식 배전계통의 배전용변전소는 그림 1과 같이 3개의 주변압기(45/60MVA)와 각 주 변압기에는 6개씩의 고압선로로 구성되며, 이들 고압선로들은 수용가에게 전력을 높은 신뢰도로 공급하기 위하여, 3분할 3연계 방식으로 운용되고 있다. 이 운용 방식은 사고나 작업정전에 의하여 전력을 공급하지 못하는 경우, 동일 변전소의 다른 변압기나 다른 변전소의 주 변압기로부터 선로절체 등에 의하여 일정한 비율로 전력을 공급하는 것이다. 또한, 사고가 발생하는 경우 리클로우지(Recloser)와 섹셔널라이저(Sectionerlizer)를 적절하게 조합하여 동작시키는 보호협조시스템에 의하여, 건전한 구간에는 전력을 계속 공급하도록 하여 전력공급의 신뢰도를 향상시킬 수 있다. 예를 들어, 그림 1의 b구간에 사고가 일어나면 보호협조시스템이 없는 경우에는 a, b, c 전 구간에 전력을 공급하지 못하게 되나, 리클로우지와 섹셔널라이저가 있는 경우에는 b 구간의 섹셔널라이저가 동작하여 a 구간에는 정전이 발생하지 않게 된다. 또한, c 구간에서도 연계스위치

의 동작에 의하여 다른 선로로부터 전력을 공급받을 수 있다. 따라서, 보호협조시스템에 의하여 사고구간을 분리하여 건전한 구간의 부하에 전력을 계속 공급하여 신뢰도를 높일 수 있음을 알 수 있다. 본 논문에서는 이러한 보호협조시스템을 고려하여 신뢰도지수를 산정하도록 하였다.

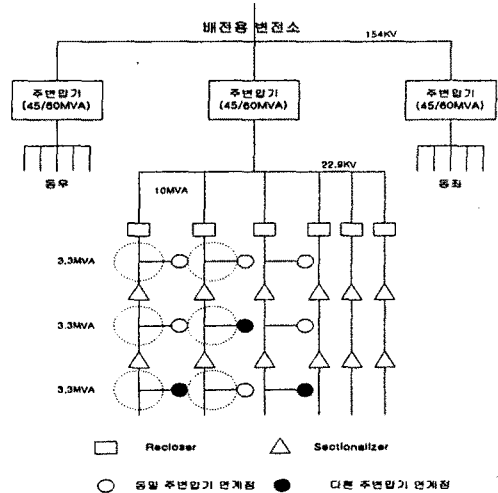


그림 1. 22.9kV 방사상 모델 배전계통

## 5. 시뮬레이션 예

### 5.1 모델 계통 및 신뢰도 데이터

본 논문에서 제안한 알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여, 다음과 같은 모델 계통과 신뢰도 데이터를 상정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

- ① 그림 2와 표 1과 같은 모델 배전계통 및 계통 구성데이터를 상정하였다.
- ② 표 2와 같은 영구 사고의 통계치와 평균치를 신뢰도 산정을 위한 입력데이터로 사용하였다. 이것은 평균 사고율의 기대치와 복구시간을 나타낸 것으로, 절체 시간은 개폐기와 제어장치의 형태에 따라 달라지며, 공급지역의 선로 길이와 지역적, 기후적인 특성에 따라 달라진다. 따라서, 절체시간은 각 개폐기의 정전시간이나 계통의 평균치로 주어지게 된다.
- ③ 정전손실비용의 부하특성 데이터는 표 3과 같다. 여기서 b, c 계수 값은 간략화를 위하여 0으로 가정하였다.

### 5.2 신뢰도 모델 및 시뮬레이션 결과

상기의 기본 모델계통에 분산형전원이 총 부하량의 5%, 10%가 도입된 신뢰도 모델(I)과 보호협조시스템을 고려한 신뢰도 모델(II)에 대한 신뢰도 지수를 산정하였다. 먼저, 신뢰도 모델(I)에 근거하여 각 구간별 신뢰도 지수를 산정한 결과는 표 4와 같다. 이 표에서는 각 구간(6개)별로 분산형전원이 0%, 5%, 10%가 도입된 경우를 상정하여 신뢰도 지수를 계산

하였으며, 분산형전원이 없는 경우에 비하여 모든 구간에서 신뢰도 지수가 향상됨을 확인할 수 있다. 또한, 신뢰도 모델(II)에 있어서 각 구간의 사고에 의하여 영향을 끼치는 구간은 표 5와 같으며, 이에 근거하여 산정된 신뢰도 지수는 표 6과 같다.

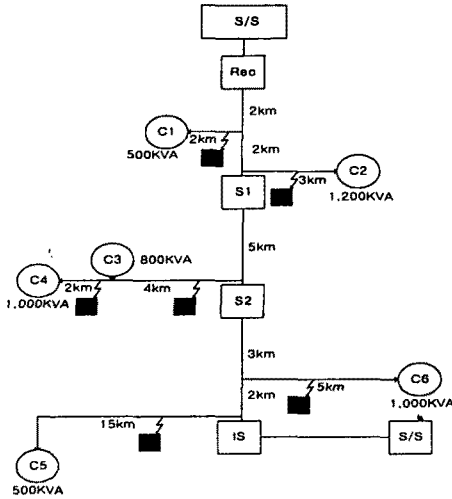


그림 2. 22.9kV 방사상 모델 배전계통

(□)부터 (□)지점은 사고지점을 나타냄

표 1. 모델계통 구성데이터

구역	내역	부하특성	피크부하 크기(kW)	공 장 (km)	개폐기 수	주상 변압기수	비 고
C1	상업지역		500	4	1	10	
C2	공장지역		1200	7	1	24	
C3	상업지역		800	13	2	16	
C4	주거지역		1000	15	2	20	
C5	주거지역		500	29	3	10	
C6	공장지역		1000	17	3	20	

(주) 주상변압기 수는 50KVA를 기준용량으로 계산

표 2. 영구사고에 대한 사고불개치(평균치)

구성요소	사고율 (회수/년간)	복구시간 (시간/사고당)	비 고
가공선로	0.06	0.02	
차단기	0.017	0.06	
구분개폐기	0.014	0.015	
주상변압기	0.01	0.03	

(주) 선로는 km당 값이며, 그 외는 각 기기당 값임.

표 3. 각 부하지역의 정전비용 계수

	a1 (오프피크시간대)	a2 (피크 시간대)	a3 (중부하 시간대)
농촌지역	0.002	0.007	0.002
상업지역	0.002	0.025	0.01
공장지역	0.01	0.03	0.02

표 4. 신뢰도 모델(II)에 의한 신뢰도 지수

(분산형전원이 5% 도입된 경우)

지수 \ 구간	C1	C2	C3	C4	C5	C6
f (정전횟수/년간)	0.307	0.627	0.921	1.081	1.835	1.215
ΔT (정전시간/년간)	0.00732	0.01512	0.02013	0.02373	0.03774	0.02634
r (평균정전시간)	0.02384	0.02411	0.02186	0.02195	0.02057	0.02168
NDP	76.75	595.65	506.55	810.75	458.75	911.25
NDE	1.83	14.364	11.07	17.8	9.44	19.76
NNDP	5.23	234.39	75.88	47.43	8.95	283.03
NNDE	0.12	5.65	1.66	1.04	0.18	6.14

표 5. 보호협조시스템에 의하여 영향을 끼치는 구간

사고지점	영향을 끼치는 부하구간	사고 지점 구간 내역
①	C2, C3, C4, C5, C6	4+3=7km
②	C1, C3, C4, C5, C6	7+2=9km
③	C4, C5, C6	13+2+3+2=20km
④	C3, C5, C6	15+2+3=20km
⑤	C6	29+2+3+4+2+5=45km
⑥	C5	17+2+3+4+2+17=45km

표 6. 신뢰도 모델(II)에 의한 신뢰도 지수

(보호협조 고려하여 분산형전원이 5% 도입된 경우)

지수 \ 구간	C1	C2	C3	C4	C5	C6
f (정전횟수/년간)	0.487	0.747	1.341	1.381	2.795	2.895
ΔT (정전시간/년간)	0.01092	0.01752	0.02853	0.02973	0.05694	0.05994
r (평균정전시간)	0.02242	0.02345	0.02128	0.02153	0.02037	0.0207
NDP	121.75	709.65	737.55	1035.75	698.75	2171.25
NDE	2.73	16.64	15.69	22.3	14.24	44.96
NNDP	8.29	279.25	110.48	60.59	13.63	674.39
NNDE	0.19	6.55	2.35	1.3	0.28	13.96

## 6. 결 론

본 논문에서 제안한 새로운 신뢰도 지수에 근거하여 분산형전원이 도입된 경우와 보호협조시스템을 고려한 경우에 대하여 신뢰도 지수를 산정하는 수법을 제안하여 실제용 운용에 보다 근접한 신뢰도 지수를 산정하였다 이들 값들은 각 지역의 부하특성을 고려하기 위하여 정전비용의 가중치가 계산되어 기존의 지수보다 합리적인 값을 확인할 수 있었다. 앞으로는 실 계통을 대상으로 여러 경험치와 통계치들을 개발 모델에 적용하는 연구를 수행할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: 2000-1-30200-006-3) 지원으로 수행된 결과의 일부임

## 참 고 문 헌

- 송석환 외 : '정전비용특성을 고려한 배전계통의 신뢰도평가에 관한 연구', 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2001. 7
- G. Kjolle and Kjell Sand, "RELRAD - An Analytical Approach for Distribution System Reliability Assessment," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, April 1992, pp. 809-814.