

# 신재생에너지전원이 도입된 배전계통에서의 신뢰도평가에 관한 연구

김 찬혁, 노 대석  
한국기술교육대학교  
e-mail: dsrho@kut.ac.kr

## Reliability Assessment for Distribution System interconnected with New Energy Sources

Chanhyeok Kim, Daeseok Rho  
Korea University of Technology and Education

### 요 약

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 신재생에너지전원(이하 분산형전원)이 도입된 경우를 상정하여 상기의 신뢰도지수를 산정하는 수법을 제안하였으며, 사고구간을 줄이는 리클로우저와 섹셔널라이저의 동작을 포함한 배전계통의 보호협조 시스템도 고려한 신뢰도지수 산정법도 제안하였다.

### 1. 서 론

일반적으로 배전계통의 신뢰도 해석은 계통 계획담당자의 중요한 도구로서 간주되어 왔다. 즉, 이것은 서비스에 대한 적정한 품질을 확인하고, 또한 계통의 여러 확장계획(투자비와 손실 고려)들 가운데 최적의 대안을 선정하는데 필수적인 것으로, 전력회사에서는 배전계통의 신뢰도 해석에 점점 더 많은 관심을 가지고 있는 실정이다.

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 도

입된 경우를 상정하여 상기의 신뢰도지수를 산정하는 수법을 제안하였으며, 사고구간을 줄이는 리클로우징과 섹셔널라이저의 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 신뢰도지수(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 공급지장애너지(NDE)라는 두 개의 지수가 사용되고 있다.

**(1) 신뢰도지수**

신뢰도지수의 기대치(평균치)는 다음 식과 같이 계산된다.

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

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

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

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.

$$NDP = Pf \quad (\text{년간 정전전력}) \quad (4)$$

$$NDE = P \Delta T \quad (\text{년간 정전전력량}) \quad (5)$$

여기서,  $P$  : 각 부하지점의 부하크기(kW)

**(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.

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

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 계속시간  $t \sim t+\Delta t$  사이의 복구 확률은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

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

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.

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

단,  $F_{tot}$  : 총 기대 정전 손실비용  
 $U_s \sim U_e$  : 전체 고찰시간  
 $A_{ku}$  : 각 구간에 대하여, 시각  $u$ 에서의 정전발생확률  
 $\int_0^\infty p_k(t) dt = 1, \quad \int_{U_s}^{U_e} A_{ku} du = 1$

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.

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

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

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

여기서,  $k$  : 구간  
 $W$  : 수용가의 중요도(가중치)

**3. 신재생에너지전원을 고려한 신뢰도 평가수법**

신재생에너지전원(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 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.

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

**4. 시뮬레이션 및 사례분석**

본 논문에서 제안한 알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여, 다음과 같은 모델 계통과 신뢰도 데이터를 상정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2와 표 1과 같은 모델 배전계통 및 계통 구성데이터를 상정하였다. 또한, 표 2, 3은 신뢰도 산정을 위한 입력데이터이다.

상기의 기본 모델계통에 분산형전원이 총 부하량의 5%, 10%가 도입된 신뢰도 모델에 대한 신뢰도 지수를 산정한

결과는 표 4와 같다. 이 표에서는 각 구간(6개)별로 분산형전원이 0%, 5%, 10%가 도입된 경우를 상정하여 신뢰도 지수를 계산하였으며, 분산형전원이 없는 경우에 비하여 모든 구간에 있어 신뢰도 지수가 향상됨을 확인할 수 있다. 표 7은 보호협조시스템을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 신뢰도 지수를 비교한 것으로 투자 우선순위 구간에 대하여 비슷한 양상을 보여준다.

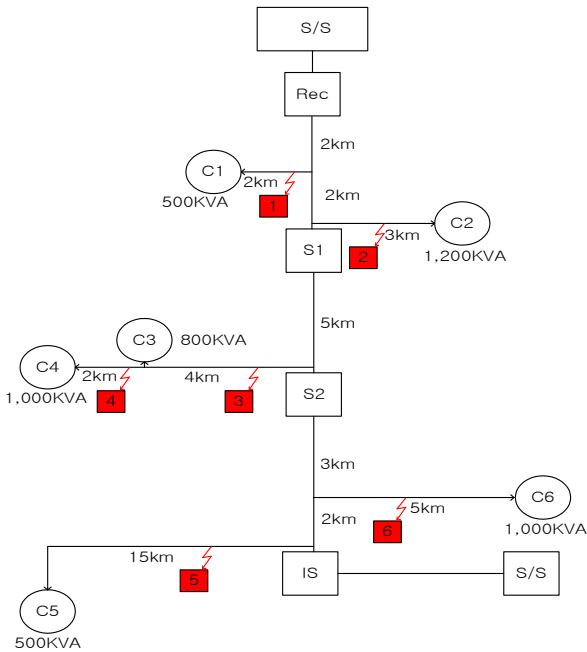


그림 2. 22.9kV 방사상 모델 배전계통  
([1]부터 [6]지점은 사고지점을 나타냄)

표 1. 모델계통 구성데이터

내역 구역	부하특성	피크부하(kW)	공 장 (km)	개폐기 수	주상 변압기수	비고
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	

(주상변압기 수는 50KVA를 기준용량으로 계산)

표 2. 영구사고에 대한 사고통계치(평균치)

구성요소	사고율 (회수/년간)	복구시간 (시간/사고당)	비고
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

	a <sub>1</sub> (오프피크시 간대)	a <sub>2</sub> (피크 시간대)	a <sub>3</sub> (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. 분산형전원이 5%도입된 신뢰도지수

지수	구간 C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
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. 신뢰도 모델의 비교

내역	지수	계통 투자 우선 순위	
		NDP	NNDP
보호 협조 고려 안됨	기본계통	C6→C4→C5→C2→C3→C1	C2→C6→C3→C4→C5→C1
	DSG 5%도입	C6→C4→C2→C3→C5→C1	C6→C2→C3→C4→C5→C1
	DSG 10%도입	C6→C4→C2→C3→C5,C1	C6→C2→C3→C4→C5,C1

## 5. 결 론

본 논문에서 제안한 새로운 신뢰도 지수에 근거하여 분산형전원이 도입된 경우와 보호협조시스템을 고려한 경우에 대하여 신뢰도 지수를 산정하는 수법을 제안하여 실제 계통 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.

## 참고문헌

- [1] James J. Burke, "Power Distribution Engineering", Marcel Dekker, Inc. pp. 320-348 (1994)
- [2] 나라, 야마시로, 고이케, "정전손실을 고려한 사고시의 부하복구순서의 결정방법", 일본전기학회지 B, 101권 2호, 1991