

배전계통에서 정전부하 특성비용을 고려한 신뢰도평가 방안에 관한 연구

노대석^{1*}, 김재언²

A Study on the Reliability Assessment Considering Interruption Cost of Load Characteristics in Distribution Systems

Dae-Seok Rho^{1*} and Jae-Eon Kim²

요약 본 논문은 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.

Abstract This paper deals with the analytical approach for the reliability assessment in radially operated distribution systems. The approach can estimate the expected reliability performance of distribution systems by a direct assessment of the configuration of the systems using the reliability indexes such as NDP(Non-Delivery Power) and NDE(Non-Delivery Energy). The 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 shows the effectiveness by simulating at the model systems.

Key Words : Reliability, Assessment, Distribution System, Interruption Cost

1. 서론

신뢰도 개념은 사실상 대부분의 엔지니어 분야에 적용된다고 해도 과언이 아닐 정도로 넓은 분야에서 사용되고 있다. 신뢰도는 어떤 계통의 성능에 대한 척도를 나타내며, 이러한 척도는 대상 계통의 성능 척도를 만족시키고, 여러 대안들에 대한 비교 결과들을 제시해 주며, 경제적인 결정을 하는데 도움을 주는 것이다. 즉, 신뢰도의 궁극적인 목적은 “시스템이 충분히 신뢰성이 있는가”, “어떤 대안이 사고를 적게 유발하는가”, “시스템의 성능을 향상시키기 위하여 어느 부분에 돈을 투자할 것인가”와 같은 질문에 답을 제공해 주는 것이다. 일반적으로 배전계통의 신뢰도 해석은 계통 계획담당자의 중요한 도구로

서 간주되어 왔다. 즉, 이것은 서비스에 대한 적절한 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. 신뢰도 평가수법은 시뮬레이션 수법과 해석적인 수법으로 크게 두 개의 그룹으로 나눌 수 있다. 먼저, 전자는 매우 탄력적인 수법이나, 계산시간이 많이 걸리고 정도 면에서 문제점이 있으나, 발전계통과 복합계통, 변전소의 신뢰도 평가에 성공적으로 적용되어 왔다. 후자의 해석적인 수법에서는 네트워크 모델이 배전계통의 신뢰도 평가에서 가장 보편적인 수법으로 사용되어 왔는데, 그 이유로서는 이 수법의 간편성과 배전계통의 구성도가 네트워크 모델과의 유사성

¹한국기술교육대학교 정보기술공학부

²충북대학교 전기전자컴퓨터공학부

*교신저자: 노대석(dsrho@kut.ac.kr)

에서 기인하기 때문이다. 그러나 이 수법은 사고분리나 부하복구, 복합적인 보호협조와 같은 종속적인 사건들을 쉽게 다룰 수 없다는 한계성을 가지고 있어서, 이의 보완 모델에 대한 연구가 활발하게 진행 중이다^{[14], [6]-[8]}.

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, 부하특성을 고려하지 않은 기존의 평가수법과 부하특성(정전비용 특성)을 고려한 새로운 평가수법에 대하여, 모델 배전계통에 대한 시뮬레이션을 수행하여 새로운 평가수법의 유용성을 확인하였다^{[4]-[5], [9]-[10]}.

2. 신뢰도 평가 수법

방사상 배전계통에 있어서, 기본적인 신뢰도 지수 (Reliability Index)로서는 대상 계통(또는 지역)에 대한 사고율 기대치(Expected Failure Rate)와 평균 정전시간, 연간 정전시간의 기대치라는 3가지의 지수가 일반적으로 사용되고 있다. 또한, 신뢰도를 향상시키는 척도를 비용의 효과 측면에서 평가하기 위하여, 추가적으로 연간 공급장전력(NDP)과 연간 공급장에너지(NDE)라는 두 개의 지수가 사용되고 있다.

2.1 기존의 신뢰도 지수^{[1]-[3]}

신뢰도 지수의 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

ΔT : 연간 정전지속시간

r : 평균 정전시간 (정전 횟수당 지속시간)

λ_i : 구성요소 i에 대한 연간 사고횟수의 기대치

K_i : 구성요소 i에 대한 평균 복구시간 (절체시간)

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

한편, 각 부하구간에 대한 NDP와 NDE의 기대치는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

여기서, P : 각 부하구간의 부하크기(kW)

한편, 정전횟수는 지수 분포를 따른다고 가정되며, 상관 분포계수는 사고 통계치로부터 구해진다. 해석적인 계산에 대하여 주어진 분포에 의하여 복구시간을 나타내는 데에 문제점이 있으므로, 여기서는 통계적 분포에 근거한 다음의 개념을 이용한다.

$$F_k = \frac{\sum_i F_{ri}(t) \cdot \lambda_i + \sum_j F_{kj}(t) \cdot \lambda_j}{\sum_i \lambda_i + \sum_j \lambda_j} \quad (6)$$

여기서, $F_k(t)$: 부하구간 k의 정전지속시간의 누적 분포치

$F_{ri}(t)$: 구성요소 i의 복구시간의 통계 누적 분포치

$F_{kj}(t)$: 구성요소 j의 절체시간의 통계 누적 분포치

λ_i : 부하구간 k에 대하여 복구시간(정전시간)을 유발하는 구성요소 i의 연간 사고횟수의 기대치

λ_j : 부하구간 k에 대하여 절체시간(정전시간)을 유발하는 구성요소 j의 연간 사고횟수의 기대치

2.2 기대 정전손실을 이용한 정전비용산출

알고리즘^{[9]-[10]}

정전에 의한 손실 비용은 정전 지속시간과 정전 발생 시각, 정전의 크기, 정전 지역의 부하특성 등에 의하여 결정된다. 일반적으로, 다음 식과 같이 정전 지속시간 t의 이차식으로 근사화시킬 수 있다.

$$F_{ku}(t) = (at_k^2 + bt_k + c) L_{ku} \quad (7)$$

단, $F_{ku}(t)$: 정전 비용(원/kW),

t_k : 정전 지속시간(Hour)

L_{ku} : 정전지역의 부하크기(kW)

k : 정전구간
u : 시간대 번호

W_k : k구간 수용가의 중요도(가중치)
 $NNDP_k$, $NNDE_k$: 수정된 NDP와 NDE

한편, 정전구간 k에 있어서, 정전 계속시간 $t \sim t+\Delta t$ 사이에서의 복구 확률은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$p_k(t, t + \Delta t) = r_k e^{-r_k t} \Delta t \quad (8)$$

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.

$$F_{tot} = \sum \int_{U_s}^{U_c} A_{ku} \int_0^{\infty} p_k(t) F_{ku}(t) dt du \quad (9)$$

단, F_{tot} : 총 기대 정전 손실비용
 $U_s \sim U_c$: 전체 고찰시간
 A_{ku} : 각 구간에 대하여, 시각 u에서의 정전 발생확률

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

$$\int_{U_s}^{U_c} A_{ku} du = 1$$

2.3 새로운 신뢰도 지수

기존의 신뢰도 지수인 NDP와 NDE는 계통의 구성 상 태나 부하의 특성을 고려할 수 없기 때문에, 여기에서는 식 (10)과 같이 대상구간 부하의 중요도(각 구간의 정전 비용에 대한 전체 구간의 정전비용에 대한 백분율)를 계산하여, 이것을 기존의 신뢰도 지수에 가중치의 형태로 곱하여, 식 (11)과 식 (12)와 같이 새로운 신뢰도 지수들을 정의한다.

$$W_k = \sum \frac{F_k}{F_{tot}} \times 100\% \quad (10)$$

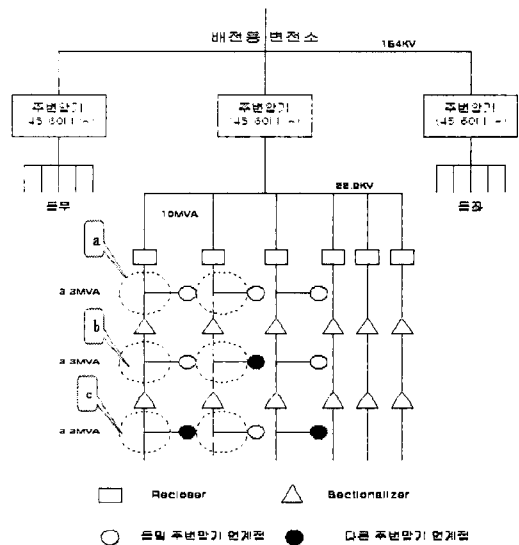
$$NNDP_k = W_k \cdot NDP_k \quad (11)$$

$$NNDE_k = W_k \cdot NDE_k \quad (12)$$

단, F_k : k구간의 정전비용
 F_{tot} : 전체구간의 정전비용

3. 보호협조시스템을 고려한 신뢰도 평가수법

일반적으로 수지식 배전계통의 배전용변전소는 그림 1과 같이 3개의 주변압기(45/60MVA)와 각 주 변압기에는 6개씩의 고압선로로 구성되며, 이들 고압 배전선로들은 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 리클로저(Recloser)와 섹셔널라이저(Sectionerlizer)를 적절하게 조합하여 동작시키는 보호협조시스템에 의하여, 건전한 구간에는 전력을 계속 공급하도록 하여 전력공급의 신뢰도를 향상시킬 수 있다.



[그림 1] 22.9kV 방사상 모델 배전계통

예를 들어, 그림 1의 b구간에 사고가 일어나면 보호협조시스템이 없는 경우에는 a, b, c 전 구간에 전력을 공급하지 못하게 되나, 리클로저와 섹셔널라이저가 있는 경우에는 b 구간의 섹셔널라이저가 동작하여 a 구간에는 정전이 발생하지 않게 된다. 또한, c 구간에서도 연계스 위치의 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.

보호협조시스템을 고려한 신뢰도 지수의 계산 절차로서는 먼저 사고지점에 따른 사고 영향 구간을 구하고, 식(10) - 식(12)를 이용하여 신뢰도지수를 산정한다.

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 모델 계통 및 신뢰도 데이터

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

① 모델 계통은 그림 2와 같은 22.9KV 방사상 모델 배전계통을 사용하였고, 계통 구성데이터는 표 1과 같다.

② 신뢰도 산정을 위한 입력데이터는 표 2와 같이 실제 계통의 사고 통계치와 평균치를 사용하였다. 이것은 평균 사고율의 기대치와 복구시간을 나타낸 것으로, 절체 시간은 개폐기와 제어장치의 형태에 따라 달라지며, 공급지역의 선로길이가 지역적, 기후적인 특성에 따라 달라진다. 따라서, 절체 시간은 각 개폐기의 정전시간이나 계통의 평균치로 주어지게 된다.

③ 정전손실비용의 부하특성 데이터는 표 3과 같다. 여기서는 간략화를 위하여 b, c 계수 값을 0으로 가정하였다.

④ 기존의 신뢰도지수는 식(4)와 식(5)로 산출하지만, 본 제안 논문의 새로운 신뢰도 지수는 식(7) - (10)을 바탕으로 식(11)과 식(12)로 산출할 수 있다. 이 때 필수적인 데이터가 식(7)의 a, b, c 데이터인데, 이것이 표 3의 정전비용계수로서, 여기서는 b와 c를 0으로 가정하고(2차식의 계수에 비해 큰 영향은 없음), a를 3개의 지역(공장, 상업, 주거지역)으로 나누어 나타낸 것이다.

[표 1] 모델계통 구성 데이터

내역 구역	부하특성	피크부하 크기(kW)	공장 (km)	개폐기수	주상 변압기수	비고
C1	상업지역	500	4	2	10	
C2	공장지역	1200	7	2	24	
C3	상업지역	800	13	3	16	
C4	주거지역	1000	15	3	20	
C5	주거지역	500	29	4	10	
C6	공장지역	1000	17	4	20	

(주) 주상변압기 수는 50KVA를 기준용량으로 계산하고 유리는 구분개폐기에 포함시킴.

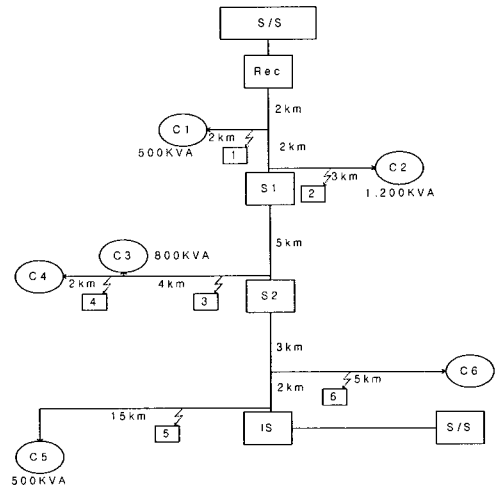
[표 2] 영구사고에 대한 사고 통계치(평균치)

구성요소	사고율 (회수/년km)	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 기기 당 값임.

[표 3] 각 부하지역의 정전비용 계수

	a1 (오프피크시간대)	a2 (피크시간대)	a3 (중부하시간대)
주거지역	0.002	0.007	0.002
상업지역	0.002	0.025	0.01
공장지역	0.01	0.03	0.02



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

4.2 신뢰도 모델 및 시뮬레이션 결과

여기서는 다음과 같이 두개의 신뢰도 모델을 상정한다.

- (1) 신뢰도 I 모델 : 부하 특성(중요도)을 고려하지 않은 기존의 신뢰도 평가수법
- (2) 신뢰도 II 모델 : 정전비용 특성을 고려한 새로운 신뢰도 평가수법
- (3) 신뢰도 III 모델 : 보호협조를 고려한 새로운 신뢰도 평가수법

상기의 신뢰도 모델에 근거하여 각 구간별 신뢰도 지수를 산정한 결과는 다음과 같다.

① 신뢰도 I 모델에 근거하여 각 구간별 신뢰도 지수를 산정한 결과는 표 4와 같다. 이 표에서와 같이, NDE(기존의 신뢰도 지수)가 가장 큰 지역을 순서대로 나열하

면 C₄, C₆, C₂, ... 지역이다. 따라서 기존의 신뢰도 지수에 의하면 계통 향상 투자 계획 1순위는 C₄로 결정된다. 그러나 실제로 C₄지역은 주거지역이므로 부하의 중요도는 낮아 비합리적임을 알 수 있다.

② 신뢰도 II 모델에 의하여 생성된 신뢰도 지수는 표 5와 그림 3과 같다. NNDE(새로운 신뢰도 지수)를 크기 순으로 나열하면, 표 4와는 달리 C₂, C₆, C₃, ... 지역이 되며, 투자 우선순위가 부하의 중요도가 높은 공장지역(C₂, C₆)으로 높게 나타나 합리적인 결과임을 알 수 있다.

③ 신뢰도 III 모델에 있어서 각 구간의 사고에 의하여 영향을 끼치는 구간은 표 6과 같으며, 이에 근거하여 산정된 신뢰도 지수는 표 7과 같다.

상기의 3가지 신뢰도 모델에 대한 결과를 요약하면, 계통의 투자 우선순위는 표 8과 같다. 이 표에서 알 수 있듯이, 기존의 신뢰도지수는 부하의 정전비용 특성을 고려하지 않아 투자비에 대한 회수효과를 나타낼 수 없지만, 본 논문에서는 투자비에 대한 경제적인 효과가 나타난다. 즉, 기존의 지수는 투자비에 대한 경제적인 효과가 적은 주거지역이 1순위로 나타나는 오류를 포함하고 있지만, 본 논문에서는 정전이 되었을 때 효과가 크게 나타나는 공장지역이 우선 순위 지역으로 선정됨을 확인할 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제시한 신뢰도 지수에 의한 투자 순위가 적합함을 확인할 수 있었다.

[표 4] 각 구간별 신뢰도 지수(신뢰도 I 모델)

지수 \ 구간	C1	C2	C3	C4	C5	C6
f(정전횟수/년간)	0.371	0.691	0.985	1.145	1.899	1.279
ΔT(정전시간/년간)	0.009	0.0161	0.015	0.025	0.039	0.028
r(평균정전시간)	0.024	0.024	0.0148	0.022	0.021	0.0219
NDP(kW)	185.5	829.2	788	1145	949.5	1279
NDE(kWh)	4.515	20.196	11.712	25.44	19.725	21.93
총NDP	5176.6					
총NDE	103.518					

[표 5] 각 구간별 신뢰도 지수(신뢰도 II 모델)

지수 \ 구간	C1	C2	C3	C4	C5	C6
f(정전횟수/년간)	0.371	0.691	0.985	1.145	1.899	1.279
ΔT(정전시간/년간)	0.009	0.0161	0.015	0.025	0.039	0.028
r(평균정전시간)	0.024	0.024	0.0148	0.022	0.021	0.0219
NNDP	13.2	440.3	90.4	47.6	19.8	282.7
NNDE	0.3	10.7	1.3	1.1	0.4	4.8

[표 6] 보호협조시스템에 의하여 영향을 끼치는 구간

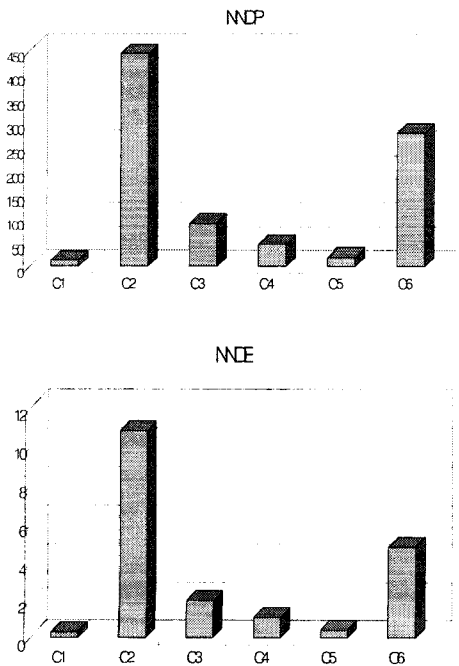
사고지점	영향을 끼치는 부하구간	사고 지점 구간 내역
1	C2, C3, C4, C5, C6	4+3=7km
2	C1, C3, C4, C5, C6	7+2=9km
3	C4, C5, C6	13+2+3+2=20km
4	C3, C5, C6	15+2+3=20km
5	C6	29+2+3+4+2+5=45km
6	C5	17+2+3+4+2+17=45km

[표 7] 신뢰도 III 모델에 의한 신뢰도 지수

지수 \ 구간	C1	C2	C3	C4	C5	C6
f(정전횟수/년간)	0.537	0.797	1.391	1.431	2.845	2.945
ΔT(정전시간/년간)	0.01242	0.01902	0.03003	0.03123	0.05844	0.06144
r(평균정전시간)	0.02313	0.02386	0.02159	0.02182	0.02054	0.02086
NDP	268.5	956.4	1112.8	1431	1422.5	2945
NDE	6.21	22.82	24.02	31.23	29.22	61.44
NNDP	19.28	510.34	127.75	58.81	29.3	642.6
NNDE	0.45	12.18	2.76	1.28	0.6	13.4

[표 8] 배전계통의 투자 우선순위

모델	계통 투자 우선순위	
	NDP	NNDP
신뢰도 I 모델	C4→C6→C2→C5 →C3→C1	C6→C4→C2→C5 →C3→C1
신뢰도 II 모델	C2→C6→C3→C4 →C5→C1	C2→C6→C3→C4 →C5→C1
신뢰도 III 모델	C6→C4→C5→C3 →C2→C1	C6→C2→C3→C4 →C5→C1



[그림 3] 신뢰도 II 모델에 의한 각 구간별 신뢰도 지수

4. 결론

본 논문에서는 실 계통 적용에 보다 유효한 신뢰도 지수를 산정하기 위하여, 각 지역의 부하특성을 고려한 새로운 신뢰도 지수를 제안하였다. 이들 지수에 의한 값들과 기존의 신뢰도 지수의 값들을 비교한 결과, 각 지역의 부하특성에 바탕을 둔 정전비용의 가중치를 계산한 새로운 지수가 기존의 지수보다 합리적인 값임을 확인할 수 있었다. 앞으로는 신뢰도 산정에 필수적인 각 요소의 값들에 대한 경험치와 통계치들을 구할 수 있는 모델을 개발하는 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] 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.
- [2] R. Brown, S. Gupta, S.S Venkata, R.D. Christie, and R.Fletcher, 'Distribution System Reliability Assessment Using Hierarchical Markov Modeling,' IEEE PES Winter Meeting, altimore, MD, January, 1996, pp. 207-215.
- [3] 나라, 야마시로, 고이케, "정전손실을 고려한 사고시의 부하복구순서의 결정방법", 일본전기학회지 B, 101권 2호, 2001, pp. 449-456.
- [4] 노대석 외 : "A Study on the Fuzzy ELDC of Composite Power System Based on Fuzzy Set Theories", 7803-7519-X, 2002, IEEE
- [5] 김재철 외 "배전계통의 전력품질 및 신뢰도평가의 방법", 대한전기학회 학회지 pp. 24-31, 2001.3
- [6] 김진오 "새로운 전력시장과 신뢰도 평가", 대한전기학회 학회지 pp. 9-14, 2001.3
- [7] R.N. Allen, R. Billinton, I. Sjarief, L. Goel, and K. S. So, "A Reliability Test System for Educational Purposes - Basic Distribution System Data and Results", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6. No. 2, May 1991. pp. 181-188.
- [8] R. Billinton, R.N. Allan : "Reliability evaluation of Power Systems", Great Britain : Pitman, 1984.
- [9] 노대석 외 : "신에너지전원이 도입된 배전계통에서의 신뢰도평가 방안에 관한 연구", 한국산학기술학회, 추계학술회 논문집, 2007. 11, pp. 152-155.
- [10] 노대석 외 : "배전계통에서 부하특성을 고려한 신뢰도 평가에 관한 연구", 한국산학기술학회, 춘계학술회 논문집, 2008. 5, pp. 87-90.

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[정회원]



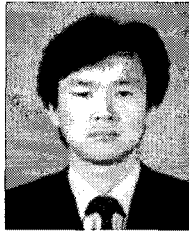
- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과(공학사)
- 1987년 2월 : 고려대학교대학원 전기공학과(공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 부교수

<관심분야>

전력계통, 배전계통, 분산전원연계, 전력품질해석

김 재 언(Jae-Eon Kim)

[정회원]



- 1982년 2월 : 한양대학교 전기공학과(공학사)
- 1984년 2월 : 한양대학교대학원 전기공학과(공학석사)
- 1996년 3월 : 일본 교토대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1984년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국전기연구소 연구원/배전연구팀장
- 1998년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부, 컴퓨터정보통신연구소 부교수

<관심분야>

전력계통, 배전계통, 분산전원연계, 전력품질해석