베이지 규칙을 활용한 배전선로 위험도 평가모델 -가공배전분야-

A Risk Evaluation Model of Power Distribution Line Using Bayesian Rule -Overhead Distribution System-

정 중 만^{*} · 박 용 우^{*}
(Jong-Man Joung · Yong-Woo Park)

Abstract - After introducing diagnosis equipment power failure prevention activities for distribution system have become more active. To do facility diagnosis and maintenance work more efficiently we need to evaluate reliability for the system and should determine the priority line with appropriate criteria. Thus, to calculate risk factor for the power distribution line that are composed of many component facilities its historical failure events for the last 5 years are collected and analysed. The failure statics show that more than 60% of various failures are related to environment factors randomly and about 20% of the failures are refer to the aging. As a strategic evaluation system reflecting these environmental influence is needed, a system on the basis of the probabilistic approach related statical variables in terms of failure rate and failure probability of electrical components is proposed. The figures for the evaluation are derived from the field failure DB. With adopting Bayesian rule we can calculate easily about conditional probability query. The proposed evaluation system is demonstrated with model system and the calculated indices representing the properties of the model line are discussed.

Key Words : Bayesian rule, Risk probability, Distribution network, Facility maintenance, Failure rate

1. 서 론

배전계통은 수많은 배전설비로 구성되어진 하나의 복잡한 시스템이다. 더욱이 구성 설비의 열화, 자연재해, 시공불량 등 많은 고장요인에 노출되어 정전의 위험이 있다. 이러한 시스템의 신뢰도를 안정되게 유지하기 위해서는 많은 노력을 기울여야 한다. 신뢰도란 주어진 기능을 설계수명 기간 동안 정상적으로 수행할 수 있는 확률을 말하고, 위험도는 신뢰도와는 반대로 고장이 발생하여 정상적인 기능을 수행할 수 없는 확률을 말한다. 첨단산업의 발전, 국민생활 수준의 향상과 더불어 신뢰도 및 고장예방 활동에 대한 관심이 증가되었다.

시스템의 신뢰도 또는 위험도 평가는 많은 문제점을 해결해야 하는 도전적인 과제이다. 특히, 배전분야의 경우 다양한 설비가 대규모로 설치되어 있어 관련 데이터를 확보 및 관리하고 정보를 추출하는 것이 신뢰도 평가를 위해 무엇보다 중요하다. 배전 시스템의 운영정보는 배전 자동화와 더불어 다양한 정보들이 전산화 되었고 고장정보 또한 축적되고 있다.

고장정보를 활용한 전력시스템의 신뢰도 평가를 위한 연구가 많이 이루어져 왔다. 특히, 전력설비가 급격히 확대되

는 시기에는 운영비용에 대비 투자수익을 평가하여 투자 전략을 수립하는 연구가 이루어졌는데 설비의 수명평가가 주요 내용 이었다. 설비 고장률로부터 설비의 고장확률분포를 산정하여 운영수명(MTTF, Mean Time To Failure)을 평가하였다. 그리고 고장발생 시 정전에 따른 공급지장 비용을 산정하는 연구들이 활발히 진행되었다. 최근에는 설비의 수명연장과 정전예방을 위한 진단활동과 스마트 그리드 연구가 활발히 이루어짐에 따라 시스템의 신뢰도 분석 및 취약설비 적출, 고장예지기술 등에 관심이 커져가고 있다.

설비의 신뢰도를 확보하기 위한 유지, 보수기술은 TBM(Time Based Maintenance), CBM(Condition Based Maintenance), RCM(Reliability Centered Maintenance) 순으로 진보하고 있다. 배전분야에서는 '10년 말부터 진단장비가 본격적으로 도입되었으며, RCM에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다[1~3]. 따라서 설비의 운영효율을 극대화하고 진단, 점검 등 예방활동을 최적화하기 위해서는 대규모 설비로 구성된 배전시스템에 대한 정량적인 신뢰도 평가가 무엇보다 필요하다. 즉, 유한한 자원인 인력과 장비를 효율적으로 활용하기 위해 위험도가 높은 배전선로를 선별할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 개별 설비의 신뢰도 또는 공급지장비용 산정보다 업무효율개선을 위해 우선 점검 선로를 판단하는 기준으로 활용할 수 있도록 시스템의 고장위험도 산정을 위한 전략적 평가모델을 제시하고자 한다.

먼저, 한전 배전시스템의 고장 데이터를 분석하였으며, 분석된 고장정보로부터 시스템의 위험도를 산정하는 과정을 단계별로 기술하였다. 그리고 시스템의 위험도를 정량적으로 평가하고 고장요인에 대한 위험도를 평가, 비교할 수 있

[†] Corresponding Author : Facility Diagnosis Center of Korea Electric Power Corporation, Korea

E-mail : jjmany@kepri.re.kr

^{*} Dept. of Management of Technology & Innovation, Korea University of Technology & Education, Korea

Received : May 16, 2013; Accepted : May 21, 2013

도록 베이스 규칙을 적용하는 방법을 제시하였다. 마지막으로 가공배전 모델선로에 평가모델을 적용하여 설비구성에 따른 위험도를 평가하고 그 결과를 논의하였다.

2. 본 론

2.1 고장정보 분석

원하는 확률을 계산하기 위해서는 가용한 데이터의 확보가 무엇보다 중요하다. 따라서 배전시스템의 신뢰도 관련 데이터를 분석하였다. 전력공급 신뢰도를 관리하는 지표에는 호당 정전회수(SAIFI, System Average Interruption Frequency Index) 또는 호당 정전시간(SAIDI, System Average Interruption Duration Index)이 가장 널리 사용되고 있다[4~6]. 이와 관련하여 한전은 순시정전(1분 미만), 순간정전(1~5분 미만), 일시정전(5분 이상)으로 구분하여 관리하고 있다. 따라서 선로정전은 1분 이상의 정전을 의미한다. 설비의 순간적인 고장으로 차단기 또는 리클로저가 동작하여 재폐로에 성공하기도 하고 선로정전으로 확대되기도 한다. 이는 설비고장이 발생하더라도 배전센터 및 현장 기술자의 대응에 따라 정전구간을 신속하게 차단하고 타 선로로부터 전원을 확보하여 선로정전을 예방할 수도 있기 때문이다. 따라서 '08년부터 '12년까지 순간, 일시정전을 유발한 고장설비 데이터 약 3만 건 그리고 설비고장이 발생하였지만 재폐로에 성공한 즉, 순간정전으로 진전되지 않은 데이터 약 2만7천 건을 분석하였다.

그림 1은 선로정전 건수에 대한 연도별 추이를 나타낸다. 그림을 살펴보면 지속적으로 정전 건수가 감소하고 특히, '11년 정전건수가 크게 줄어든 것을 알 수 있다. '10년 후반의 가장 큰 변화는 배전설비를 위한 진단장비의 도입과 전사적 운영으로 확대되어 진단활동의 효과가 반영된 것으로 볼 수 있다. 효율적인 진단활동을 지속적으로 수행하기 위한 노력이 필요하다.

그림 1 배전선로의 연도별 정전 건수

Fig. 1 Annual power interruption frequencies of the distribution system

그림 2는 설비고장 중 재폐로에 성공한 경우와 선로정전을 유발한 경우의 비율을 나타내고, 원 점은 해당 설비고장이 전체 설비고장에서 차지하는 비율을 표시한다. 그림에서 가공변압기의 경우를 살펴보면 전체 설비고장 중 11%를 차

지하고, 가공변압기 고장 중 재폐로에 성공한 경우가 72% 그리고 선로정전을 유발하는 경우가 28%인 것을 알 수 있다. 그리고 전체 고장설비에서 선로정전을 유발하는 비율은 52%정도인 것으로 나타났다.

그림 2 설비고장에 의한 재폐로 성공과 선로정전유발의 설비별 비율

Fig. 2 The proportion of restored power service and power outage aroused from facility failures classified by facility items

그림 3은 설비고장원인 중 재폐로 성공과 선로정전유발 고장의 비율을 나타내고, 원 점은 해당 고장원인이 전체 고장원인에서 차지하는 비율을 표시한다. 그림에서 열화고장의 경우를 살펴보면 전체 고장원인 중 20%를 차지하고, 열화 고장 중 재폐로에 성공한 경우가 41% 그리고 선로정전을 유발하는 경우가 59%인 것을 알 수 있다. 그리고 설비고장원인에서도 선로정전을 유발하는 비율은 앞서 기술한 설비고장과 같다.

그림 3 설비고장에 의한 재폐로 성공과 선로정전유발의 고장원인별 비율

Fig. 3 The proportion of restored power service and power outage aroused from facility failures classified by failure causes

설비고장원인은 크게 제품의 품질과 운전 시간과 관련 있는 경년열화(aging) 요인과 우연한(random) 요인으로 나눌 수 있다. 현장에서는 특별한 고장원인이 없거나 제작불량으로 의심되는 경우 열화고장으로 판단하고 있다. 그리고 대표적인 우연적 고장요인에는 자연현상으로 뇌해, 빙설해, 풍우해, 부식, 염진해 등으로 나누고 있다. 외부접촉은 일반인의 과실, 조류, 수목, 이물질 접촉의 세부항목이 있다. 운영

불량은 과부하나 시공불량, 작업자과실, 오동작 항목이 있다. 이와 같은 우연한 고장요인은 전체고장의 61%를 차지하며 열화고장 20% 보다 훨씬 높은 비중이다. 이는 외국의 사례와 유사하다[7~8]. 따라서 설비의 경년열화와 더불어 환경적 영향을 추가로 반영하여 시스템의 신뢰도를 분석하는 것이 무엇보다 중요하다는 것을 알 수 있다.

2.2 위험도 평가모델

2.2.1 배전 선로의 정전구간

배전선로는 방사 수직상으로 그림 4와 같이 개폐기 구간 S_i 가 직렬로 연결된 형태이지만 공급신뢰도를 높이기 위해 다른 선로와 연계하여 운영하고 있다. 일반적으로 3분할 3연계 공급방식으로 선로에 정전이 발생할 경우 개폐기로 정전 구간을 최소화하고 분리된 선로는 타 선로로부터 전원을 공급받도록 한다. 따라서 선로의 정전구간을 개폐기 구간별로 구분하여 위험도를 평가하고자 한다.

S : 개폐기 구간, S/S : 변전소, CB : 차단기, G : 연계용 개폐기

그림 4 배전선로 개념도

Fig. 4 A conceptual diagram of a distribution line

S : 개폐기 구간, X : 구성설비, 상태값 1 → 고장 or 정전

그림 5 배전 설비의 조합과 정전 사상

Fig. 5 Facility combination and power interruption cases

2.2.2 정전구간의 고장확률

개폐기 구간에 정전이 발생하는 경우는 구성설비의 조합 수만큼의 사상을 가지게 되어 구성설비 F_i 가 n 개라 가정하면 2^n 만큼의 사상이 생긴다. 하지만 그 중에서 하나의 설비라도 고장이 발생하면 최소한 선로의 순시정전이 발생하게 되고 설비 두 대 이상이 동시에 고장이 발생하는 경우는 희박하다. 따라서 그림 5와 같이 배타적 OR게이트의 결합으로 이루어진 사상의 구간고장 확률을 가지게 된다[9]. 배타적 OR게이트로 이루어진 사상의 확률은 식 1과 같이 표현된다. 식에서 구간고장 확률 $P(S)$ 는 설비고장 확률 $P(F)$ 의 결합 확률로 그림 5의 정전 확률분포 표에 해당하는 사상의 확률을 합하는 것이다. 설비의 고장확률 $P(F)$ 는 고장확률분포를 지수분포로 가정하여 고장률 λ 와 운영년수 정보로부터 계산하여 위험도 모델에서 활용하였다.

$$P(S) = P(F_1)P(F_2^c) \dots P(F_n^c) + P(F_1^c)P(F_2) \dots P(F_n^c) + \dots + P(F_1^c)P(F_2^c) \dots P(F_n) = \sum_{i=1}^n \left[P(F_i) \prod_{j=1}^n P(F_j^c) / P(F_i^c) \right] \quad (1)$$

여기서, $P(S)$: 구간 고장확률

$P(F)$: 설비 고장확률, $P(F^c)=1-P(F)$

2.2.3 고장원인별 정전확률

고장설비 모집합 F 는 고장원인 C 에 따라 구분할 수 있다. 설비 고장원인은 고장설비의 부분 집합이며 선로정전을 유발하는 일부의 설비 X 가 된다. 따라서 고장원인 C_i 로 분류했을 때 그림 6과 같이 나타낼 수 있으며, 설비고장은 선로고장의 원인으로 그림과 같은 베이즈 신뢰도 망으로 표현할 수 있다. 베이즈 신뢰도 망에서 원인으로 표현된 각 노드는 일정한 확률을 가지는 확률변수이고 호는 방향에 따라 인과관계를 나타낸다. 이와 같이 고장설비 F 를 고장원인 C_i 로 분류하게 되면 C_i 는 서로 배반이고 합사상이 모집합 F 와 같다. 이러한 경우 베이즈 규칙(Bayesian rule)을 적용해 조건부 확률을 용이하게 계산할 수 있다. 이때 어떤 설비가 고장 나서 정전을 유발할 확률은 해당설비에 해당하는 $P(F)$ 와 $P(X)$ 의 곱으로 계산된다.

A : 고장설비, X : 정전유발 설비, $C_i, i=1 \sim n$: 고장원인별 설비

그림 6 정전유발 고장설비에 대한 확률변수 및 베이즈 신뢰도 회로

Fig. 6 Probability variables for fault facility aroused power interruption and Bayes Relief Network

정전 X 가 발생했을 때 그 고장원인이 C_i 일 확률 $P(C_i|X)$ 는 식 2와 같고 고장 및 정전 데이터로부터 $P(C_i)$ 와 $P(X|C_i)$ 값을 확보하여 계산할 수 있다. 또한 모집합 F 를 고장설비 전체로 하고 C_i 를 대신하여 설비별 F_i 로 분류하여 그 비율을 확보할 경우 정전이 발생했을 때 특정 설비일 확률을 계산하고 그 값이 가장 높은 설비를 선별하여 중점관리 할 수도 있다.

$$P(C_i|X) = \frac{P(C_i \cap X)}{P(X)} = \frac{P(C_i)P(X|C_i)}{P(X)} \quad (2)$$

이때,

$$P(X) = P(C_1)P(X|C_1) + \dots + P(C_n)P(X|C_n) = \sum_{i=1}^n P(C_i)P(X|C_i)$$

그림 7은 고장정보로부터 설비별 및 고장원인별 선로정전

비율을 분석하고 가공배전선로의 주요 구성설비에 대하여 나타내었다. 이때 고장원인별 선로정전 비율은 $P(C_i)$ 이다.

그림 7 설비별 및 고장원인별 정전유발 고장설비의 비율

Fig. 7 The percentage of fault facility aroused power interruption classified by facility items and failure causes

2.2.4 부하량을 고려한 위험도

구간의 고장확률이 높더라도 부하가 적을 경우 정전의 영향이 작은 반면, 고장확률이 낮더라도 부하가 클 경우에는 정전 영향이 크게 된다. 따라서 부하량을 고려한 구간의 위험도 $RF(S)$ 계산하였다. $RF(S)$ 는 전 구간의 전력비용에 대한 해당구간 전력비용 비를 구간 고장확률 $P(S)$ 에 가중치로 곱했으며 정전시간은 고려하지 않았다. 그리고 전력비용은 부하를 고객 종류별로 구분을 하여 단가를 적용하였다. 위험도 $RF(S)$ 는 다음 식 3과 같다.

$$RF(S_i) = P(S_i) \times (L_i \times W_i) / \sum_{i=1}^n (L_i \times W_i) \quad (3)$$

여기서, RF : Risk Factor
 L : 구간 부하(kW)
 W : 전력단가(원/kW)

2.3 모델선로의 위험도 평가

가공배전 모델선로를 구성하여 고장확률 및 위험도를 산정하였다. 약 10MVA 용량의 선로로 3분할하였으며 부하 수용율을 50%로 하였다. 개폐기 구간별 설비 세부내역을 표 1에 정리하였다. 표에서 개폐기 구간 S_1 의 경우 전주, 변압기, 개폐기 등 주상설비 수가 S_2, S_3 에 비해 많게 구성하였고 평균 경과년수는 약 12년이 되게 하였다. 그리고 S_2 와 S_3 두 구간의 경우 설비 구성은 비슷하게 하였으나 S_2 의 경과년수는 약 12년, S_3 는 약 5년 정도가 되게 하였다.

표 1에서 설비별 고장률 λ 는 '12년도 해당 설비 전체에 대한 고장설비의 비로 산출하였다. 표에서 고압전선의 단위는 경간이며, 고압고객의 고장확률은 고장률에 호수를 곱해 단순 산정하였으며, 고압고객 이외에는 설비의 고장확률을 계산하였다. 구간 위험도 $RF(S)$ 를 계산하기 위한 부하 내역은 표 2와 같다.

표 1 모델선로 및 고장률

Table 1 Model line and failure rate

구 분	S_1	S_2	S_3	λ
변압기 (대)	33	3	4	0.00016
개폐기 (대)	11	4	6	0.00112
전선 (경간)	19	11	12	0.00028
애자 (개)	60	36	39	0.000011
피뢰기 (개)	33	18	18	0.00011
COS (개)	60	9	21	0.00012
전주 (기)	20	12	13	0.00003
고압고객 (호)	2	7	8	0.00886
부하 (kW)	5,575	6,270	7,270	-
경년 (년)	12	12	5	-

이상과 같이 제시한 평가모델의 계산과정을 순서도로 정리하면 그림 8과 같다. 순서도에서 구간 정전확률은 구간 고장확률의 곱으로 계산한다. 이는 $P(C_i)$ 가 전체 합이 1이 되는 고장원인별 비율 값이기 때문이다. 따라서 고장확률 $P(S)$ 와 $P(C_i)$ 의 곱으로 고장원인별로 분류할 수 있으며, $P(C_i)P(X|C_i)$ 의 총합과 곱하면 구간 정전확률 $P(I)$ 가 된다. 앞서 설명한 바와 같이 고장원인별 분류 C_i 를 대신하여 설비종류별, 지역별 분류 등을 통해 다양한 추론도 가능하다.

그림 8 제안된 평가모델의 순서도

Fig. 8 Flowchart for the proposed evaluation model

표 3은 모델선로의 구간별 고장확률 $P(S)$ 와 위험도 $RF(S)$ 를 평가한 결과이다. 식 1을 사용하여 구간 내 설비별로 구분하여 정리하였다. 그림 9는 모델선로 평가결과를 설비별 설비 수 N 와 고장률 λ 을 곱한 결과와 비교한 그림이다. 그림에서 $P(S)$ 를 살펴보면 구간 S_1 이 설비 수도 많고, 경년 열화도가 크므로 위험도가 높게 평가 되었고, 부하용량은 타 구간에 비해 작은 것이 반영되어 S_2 와의 차이가 감소하였다. $P(S_1)$ 의 고장확률은 238개의 설비로 구성된 선로로서 구간 고장으로 순간정전 이상을 연중 경험할 확률이라 할 수 있다.

표 2 모델선로의 부하 및 단가

Table 2 Power of model line load and unit prices

구분	S ₁ (kW)	S ₂ (kW)	S ₃ (kW)	단가 (원/kWh)
산업용(고)	1,600	2,800	4,000	5,890
일반용(고)	1,200	3,096	3,100	6,790
일반용(저)	1,150	150	95	5,830
교육용(저)	1,625	224	75	5,550
합계	5,575	6,056	7,270	-

표 3 평가모델의 계산결과

Table 3 Calculated indices with the proposed model

설비	S ₁		S ₂		S ₃	
	P(S ₁)	RF(S ₁)	P(S ₂)	RF(S ₂)	P(S ₃)	RF(S ₃)
변압기	0.0494	0.0140	0.0019	0.0006	0.0060	0.0023
개폐기	0.0325	0.0092	0.0251	0.0082	0.0230	0.0089
전선	0.0418	0.0119	0.0271	0.0089	0.0244	0.0095
애자	0.0093	0.0026	0.0055	0.0018	0.0037	0.0014
피뢰기	0.0295	0.0084	0.0147	0.0048	0.0114	0.0044
COS	0.0540	0.0153	0.0075	0.0025	0.0097	0.0038
전주	0.0049	0.0014	0.0026	0.0008	0.0028	0.0011
고압고객	0.0570	0.0162	0.0161	0.0053	0.0243	0.0094
합계	0.2784	0.079	0.1005	0.0329	0.1053	0.0408

그림 9 평가모델 계산지표의 비교

Fig. 9 Comparison of calculated indices with the proposed model

2.2 고장원인에 따른 설비별 정전확률

설비의 진단, 점검의 최적화를 위해서는 선로의 특성과 환경요인을 반영할 필요가 있다. 따라서 식 1에서 구해진 고장확률 $P(S)$ 를 $P(C)$ 에 반영하여 조건부 확률 $P(C|X)$ 구하게 되고 표 4에 정리하였다. 식 2에서와 같이 한 설비의 모든 고장원인에 대한 $P(C)$ 의 합은 1이 되고 그 값에 정전확률 $P(X|C)$ 를 다시 곱해 해당 설비의 고장원인별 정전확률을 구하였다. 표 4를 살펴보면 구간 S_1 의 경우 COS외부 접촉, 전선 외부접촉, 등의 순서로, 구간 S_2 의 경우 전선 외부접촉, 개폐기 열화, 등의 순서로 선로 정전확률이 높게 나타나므로 진단, 점검 시 활용하여 업무 효율을 높일 수 있을 것이다.

표 4 조건부 확률 계산 결과

Table 4 Calculated result of conditional probability

구분		P(S) (%)	P(C X) (%)				
			열 화	자연 현상	외부 접촉	운영 불량	기타
S1	변압기	4.94	2.731	2.291	0.529	0.071	0.001
	개폐기	3.25	2.553	0.220	0.492	0.370	0.001
	전선	4.18	0.026	1.082	6.156	0.028	0.000
	애자	0.93	0.359	0.213	0.417	0.012	0.000
	피뢰기	2.95	0.988	0.175	2.546	0.050	0.000
	COS	5.4	0.281	0.934	7.447	0.018	0.001
S3	변압기	0.6	0.877	0.736	0.170	0.023	0.000
	개폐기	2.3	4.776	0.412	0.920	0.692	0.002
	전선	2.44	0.040	1.670	9.500	0.044	0.001
	애자	0.37	0.378	0.224	0.438	0.013	0.000
	피뢰기	1.14	1.010	0.179	2.601	0.051	0.000
	COS	0.97	0.134	0.443	3.537	0.009	0.001

3. 결 론

배전선로의 정전고장 위험도를 계산하기 위해 고장 DB를 분석하고 전략적 평가모델을 제시하였다. '08년부터 '12년까지의 고장 데이터 약 6만 건을 분석한 결과 배전설비의 고장원인은 설비의 경년열화가 21% 정도이며 우연한 요인이 61% 정도로 나타났다. 따라서 설비의 경년열화뿐만 아니라 환경적 요인을 반영할 수 있는 평가모델을 제시하였으며, 국내 배전선로의 신뢰도를 분석할 수 있도록 고장요인별, 설비별 확률 데이터를 제시하였다.

배전선로의 신뢰도 평가를 위해 배타적 OR게이트의 결합으로 이루어진 사상의 고장확률 식을 적용하고 베이지 공식을 활용해 설비고장원인별 정전확률 계산을 할 수 있는 전략적 모델을 제시하였다. 먼저, 설비별 고장률을 반영하여 개폐기 구간별로 구성 설비들에 대한 결합확률로 고장확률을 계산하고, 고장데이터로부터 도출된 고장원인별 정전확률에 반영하였다. 그리고 정전발생 시 정전범위를 반영하기 위해 해당 구간의 부하량과 고객종류별 전력단가를 적용하여 위험도를 평가하였다. 제시된 평가모델은 모델 선로의 특성을 잘 반영하였으며, 정전에 취약한 고장요인 또는 취약설비를 검토할 수 있는 유연한 구조를 가지고 있어 현장 운영업무의 효율을 개선하는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] S.R. Giligan, "A method for estimating the reliability of distribution circuits", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, Issue: 2, pp. 694-284, Jan. 2000
- [2] Jung-Hwan Choi, Chang-Ho Park, Woo-Kyu Chae, Sung-Il Jang, Kwang-Ho Kim, Jae-Chul Kim, Jong-Keun Park, "An Improved Investment Priority Decision Method for the Electrical Facilities Considering the Reliability of Distribution Networks", Trans. KIEE, Vol. 54A, No. 4, pp. 177-183, Apr. 2005
- [3] Shahram Kazemi, Matti Lehtonen, Mahmud

- Fotuhi-Firuzabad, "Impacts of Fault Diagnosis Schemes on Distribution System Reliability", IEEE trans. on Smart Grid, Vol. 3, No. 2, pp. 720-727, June 2012
- [4] Byung-Sung Lee, Cheol-Min Chu, "Customer Interruption Cost Assessment of Domestic Residential Customer Using Customer Survey", Trans. KIEE, Vol. 59, No. 10, pp.1792-1796, Oct. 2010
- [5] Cheol-Min Chu, Byung-Sung Lee, "A Customer Interruption Cost Assessment Using Customer Survey", Trans. KIEE, Vol. 59, No. 10, pp. 1787-1791, Oct. 2010
- [6] IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, IEEE Std. 13661, 2012
- [7] Xiang Zhang, Volker Wasserberg and Hossein Borsi, "Estimation of the Lifetime of the Electrical Components in Distribution Networks", IEEE trans. on Power Delivery, Vol. 22, No. 1, pp. 515-522, Jan. 2007
- [8] Elena Fumagalli, Luca Lo Schiavo, Anna Maria Paganoni, and Piercesare Secchi, "Statistical Analysis of Exceptional Events: The Italian Regulatory Experience", IEEE trans. on Power Delivery, Vol. 24, No. 3, pp. 1319-1327, July 2009
- [9] Bon-Hui Ku, Jun-Min Cha, Hyungchul Kim, "Reliability Analysis of Distribution Systems by using FTA", Proceedings of KIEE Spring Conference on Power Technology 2008, pp. 247-249, Nov. 2009

저 자 소 개

정 종 만 (鄭 鍾 萬)

2004년 경상대 전기공학과 졸업(박사),
2004년 ~ 현재 한국전력공사 차장 제직
Tel : 042-869-8072
E-mail : jjmany@kepri.re.kr

박 용 우 (朴 龍 雨)

2010년 한국기술교육대학교 MOT-PSM
클러스터 박사과정(수료), 1982년 ~ 현재
한국전력공사 처장 제직
Tel : 042-869-8000
E-mail : ywpark@kepc.co.kr