

배전계통 신뢰도를 고려한 전기설비투자 우선순위 결정 기법

論 文

54A-4-4

An Improved Investment Priority Decision Method for the Electrical Facilities Considering the Reliability of Distribution Networks

崔正煥[†] · 朴昌浩^{*} · 蔡又圭^{**} · 張成一^{***} · 金光鎬[§] · 金載哲^{§§} · 朴鍾根^{§§§}
(Jung-Hwan Choi · Chang-Ho Park · Woo-Kyu Chae · Sung-Il Jang · Kwang-Ho Kim ·
Jae-Chul Kim · Jong-Keun Park)

Abstract - This paper proposes a improved investment priority decision method of the facilities considering the reliability of distribution networks. The proposed method decides a investment order of the facilities combining, by fuzzy rules, the investment priority decision of KEPCO and the priority decision considering reliability evaluation indices. Where reliability evaluation indices are SAIFI(System Average Interruption Frequency Index) and SAIDI(System Average Interruption Duration Index), as referred to evaluation index for sustained interruption. The reliability analysis method of distribution networks applied in this paper utilizes analytic method, where the used reliability data is historical data of KEPCO. Particularly, we assumed that the failure rate increased as the equipment ages. To verify the performance of the proposed method, we applied it with the planned projects to reinforce the weak facility electrical facilities in KEPCO in 2004. The evaluation result showed that, under a limited budget, the reliability of the KEPCO in the Busan region using the proposed method can be enhanced than using the conventional KEPCO's method. Therefore, the results verify the proposed method can be efficiently used in the actual priorities method for investing the electrical facilities.

Key Words : Reliability of Distribution System, Analytic Method, Facility Investment Priority, SAIFI, SAIDI, Fuzzy Rule

1. 서 론

최근 과학기술의 발달로 인한 산업구조의 고도화와 정보화로 인해 전력 수요가 급증하고 있을 뿐만 아니라 무정전, 고품질, 고신뢰성의 전력공급이 절대적으로 요구되고 있는 실정이다. 전력회사는 이러한 요구를 충족시키기 위해 고객의 신뢰도(Reliability)와 전력 품질(Power quality)에 대한 목표를 세워 공사의 형태로 설비투자를 시행하고 있다. 그러나 과거 일률적인 기준으로 투자되어 왔던 배전분야의 투자방식을 다양하고 한정된 투자비용으로 최적의 공급신뢰도를 유지하는 방향으로 설치된 설비의 이용효율을 극대화하는 방안을 모색하고 있다 [1-4].

현행 한국전력공사에서의 설비투자는 호당정전시간의 감소와 전압품질유지, 전력손실을 최소화하기 위하여 투자계획을

수립하고 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해 배전선로의 관리등급, 오손등급, 연계력, 부하증가률, 고장건수 등을 이용하여 투자계획의 우선순위를 결정하고 있다. 그러나 설비투자 계획수립 목표는 전사적인 목표이고, 사용되고 있는 평가방법은 배전선로의 신뢰도, 즉 배전선로의 잠재적인 고장률, 정전 시간, 그리고 사고에 따른 공급신뢰도에 미치는 영향 등을 객관적으로 평가하는데 어려움이 있다 [5-7]. 따라서, 본 연구에서는 이러한 어려움을 해결하기 위하여 배전계통의 공급신뢰도를 객관적으로 평가할 수 있는 배전계통 신뢰도를 고려한 새로운 설비투자 우선순위 결정기법이 요구된다.

본 논문에서 제안된 기법은 공급신뢰도에 미치는 영향을 고려하지 않는 한전의 설비투자 우선순위 결정에 대한 문제점을 보완하기 위해 영구정전에 대한 신뢰도평가 지표인 SAIFI(System average interruption frequency index), SAIDI(System average interruption duration index)를 고려하여 개선된 배전계통 설비투자 우선순위 결정 기법을 제안하였다. 제안된 기법의 평가 과정은 먼저 공사 대상 배전선로의 실 계통 자료를 통해 영구정전에 대한 신뢰도 분석을 수행하였다 [9-13]. 신뢰도 분석을 통해 계산된 공사 대상 배전선로들의 신뢰도 지수 SAIFI와 SAIDI는 공급 고객의 수에 의해 전력회사의 공급신뢰도에 미치는 영향이 달라지므로 이를 반영하여 신뢰도 지수를 재 정의하고 이를 평가지수로 사용하였다. 평가지수들은 설비투자 우선순위 판단 퍼지 룰[8]에 의해 설비투자 우선순위를 결정한다. 제안된 기법의 성능을 검증하기 위해 한전 부산지사의 2004년도에 계획된 배전

[†] 교신저자, 正會員 : 韓國電力公社 電力研究員 委囑研究員 · 工博
E-mail : elecjhchoi@yahoo.co.kr

^{*} 正會員 : 韓國電力公社 電力研究員 責任研究員

^{**} 正會員 : 韓國電力公社 電力研究員 研究員

^{***} 正會員 : 서울大 BK21 情報技術事業團 研究員 · 工博

[§] 正會員 : 江原大 電氣電子情報通信工學部 副教授 · 工博

^{§§} 正會員 : 崇實大 電氣制御시스템工學部 教授 · 工博

^{§§§} 正會員 : 서울大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2004年 12月 7日

最終完了 : 2005年 2월 25일

선로 계통보강 공사 중에 취약설비 보강공사 목록을 이용하였다. 평가 결과, 제안된 방법은 배전설비의 투자비용이 제한된 조건하에서 기존의 방법보다 전력회사의 공급신뢰도를 향상시킬 수 있도록 평가되었다.

2. 한국전력공사의 배전계통 설비투자 우선순위 평가 기준

전술한 바와 같이 한전에서는 배전계통의 공급신뢰도를 향상시키기 위하여 각종 공사의 형태로 설비투자를 계획하고 있다. 이러한 설비투자를 결정할 경우 표 1과 같이 해당 사업소의 투자우선순위, 배전선로의 평균연장을 나타내는 설비규모, 배전선로의 중요도를 다룬 선로의 관리등급, 설비의 노후화를 가속하는 요인을 다룬 오손등급, 부하증가를, 연계선로의 개수를 나타내는 연계력, 최근 2년간의 일시고장과 순간고장 건수, 마지막으로 사업종류에 따른 평가항목을 이용하여 설비투자에 대한 우선순위를 결정하고 있다 [5-7]. 특히 한전에서 시행하는 공사의 종류는 과부하선로해소공사와 전압강하초과해소공사, 부하전달능력 보강공사, 취약설비 보강공사, 부하불평형해소공사가 있다. 여기서 과부하선로해소공사의 평가항목은 과부하계수이며, 전압강하초과해소공사의 평가항목은 전압강하률과 부하분포상태이며, 부하전달능력 보강공사의 평가항목은 배전선로의 부하전환률과 변전소의 주변압기의 부하전환률이며, 취약설비 보강공사의 평가항목은 선로경과지이며, 마지막으로 부하불평형해소공사의 평가항목은 부하불평형률이다. 예를 들어 취약설비 보강공사의 설비투자 우선순위를 평가한다고 할 때, 이 보강공사의 평가항목은 사업소투자우선순위, 설비규모, 관리등급, 오손등급, 연계력, 부하증가를, 고장실적, 선로경과지가 되며, 이에 대한 자료를 이용하여 설비투자 우선순위를 결정한다.

3. 신뢰도를 고려한 설비투자 우선순위 결정용 퍼지 추론 시스템

본 논문에서는 전문가의 경험을 토대로 다양한 입력을 이용하여 결과를 연역적으로 도출할 수 있는 특징을 갖는 퍼지 추론 시스템을 이용하여 배전계통 설비투자 우선순위 결정 기법에 대해 기술하였다. 여기서 설비투자 우선순위를 결정하기 위한 평가 파라미터와 퍼지 멤버십 함수, 설비투자 우선순위 판단 퍼지 룰에 대해 정의하였다. 특히 설비투자 우선순위 판단 퍼지 룰은 두 개의 판단 퍼지 룰을 가지며, 이 두 개의 퍼지 룰 중 하나는 신뢰도 평가 지수만으로 구성되며, 다른 하나는 신뢰도 평가 지수에 의한 평가 결과와 한전의 평가방법에 의한 결과를 파라미터로 구성된다.

3.1 제안된 모델의 평가 파라미터 정의

본 절에서는 제안된 평가 모델의 입력 파라미터에 대해 기술하였다. 제안한 평가 모델은 기존 한전에서 설비투자 우선순위 평가 결과와 배전계통 신뢰도 분석을 통해 얻어진 SAIFI, SAIDI를 평가 파라미터로 사용하였다. 먼저, 기존의 평가 파라미터는 표 1에 의한 평가 결과이며, 이를 식 (1)과 같이 정의하였다.

$$IPofKEPCO = \sum_j k_j W_j \tag{1}$$

여기서, IPofKEPCO(Investment Priority of KEPCO)는 한전의 설비투자 우선순위에 대한 평가 결과를 의미하며, j는 설비투자 우선순위 결정시 평가항목이며, k_j와 W_j는 평가항목 j에 대한 가중치와 적용률을 의미한다.

표 1 배전선로 계통보강을 위한 설비투자 우선순위 평가 항목

Table 1 Facility investment priority evaluation factor for reinforcement of distribution line

평가항목		가중치	적용률	
계통운영연건 (40)	사업소투자 우선순위	30	1순위=1.0, 2순위=0.8, 3순위이하=0.6	
	설비규모 [km]	10	50초과=1.0,50이하=0.8 40이하=0.6,30이하=0.4	
선로관리현황 (30)	관리등급	5	1등급=1.0, 2등급=0.9, 3등급=0.7, 4등급=0.6, 5등급=0.5	
	오손등급	5	D등급 = 1.0, C등급 = 0.9, B등급 = 0.7, A등급 = 0.5	
	연계력	5	미연계=1.0, 1연계=0.9 2연계=0.7, 3연계=0.5	
	부하증가율 [%]	5	8이상 = 1.0, 7이상 = 0.9 6이상 = 0.8, 5이상 = 0.7 4이상 = 0.6, 3이상 = 0.5	
	고장실적	일시	5	4건이상=1.0, 3건이상=0.8 2건이상=0.7, 1건이상=0.6
		순간	5	6건이상=1.0, 5건이상=0.8 4건이상=0.7, 3건이상=0.6
과부하선로 해소공사(30)	과부하계수	30	1.2이상=1.0, 1.1이상=0.9 1.0이상=0.8, 0.9이상=0.7	
	전압강하 초과선로 해소공사(30)	전압강하률	20	15%이상=1.0, 13%이상=0.9 11%이상=0.8, 9%이상=0.7
		부하분포	10	말단=1.0, 선로분산=0.7, 전원=0.5
사업특성 (30)	부하전환능력 보강공사(30)	D/L 부하전환률 [%]	20	0.8이상=1.0, 0.7이상=0.9 0.6이상=0.8, 0.5이상=0.7
		M.Tr 부하전환률 [%]	10	0.8이상=1.0, 0.7이상=0.9 0.6이상=0.8, 0.5이상=0.7
	취약설비 보강공사(30)	선로경과지	30	산악, 침수=1.0, 야산=0.8 도로변=0.6, 논, 밭=0.5
부하불평형 해소공사(30)	부하 불평형률	30	30%이상=1.0, 25%이상=0.9 20%이상=0.7, 15%이상=0.5	
계		100		

위에서 정의한 식 (1)은 배전선로의 공급신뢰도와 사고 발생이 고객에 미치는 영향을 평가하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 배전선로의 신뢰도 평가 지수인 SAIFI와 SAIDI을 식 (2), (3)과 같이 정의하였다. 그러나, 정의된 식 (2), (3)은 배전선로 i가 공급하는 고객에 대한 평균값이므로 공사 대상으로 선정된 배전선로들의 신뢰도 평가 결과가 전력회사의 공급신뢰도를 얼마나 악화시키는 지 알 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 공사 대상 선로들을 전력회사의 입장에서 비교할 수 있도록 전체 배전계통의 고객 수에 대한 공

사 대상 선로의 고객 수의 비로 식 (4), (5)와 같이 정의하였다.

$$SAIFI_{DL,i} = \frac{\sum_j^{N_{LP}} \lambda_j N_j}{\sum_j^{N_{LP}} N_j} \Bigg|_{DL,i} \quad (2)$$

$$SAIDI_{DL,i} = \frac{\sum_j^{N_{LP}} U_j N_j}{\sum_j^{N_{LP}} N_j} \Bigg|_{DL,i} \quad (3)$$

$$SAIFI_{Util,i} = SAIFI_{DL,i} \times \frac{N_{Total,DLi}}{N_{Total}} \quad (4)$$

$$SAIDI_{Util,i} = SAIDI_{DL,i} \times \frac{N_{Total,DLi}}{N_{Total}} \quad (5)$$

여기서, λ_j 와 U_j , N_j 는 각각 부하점 j 에서의 고장률과 비용률, 고객 수를 의미하며, N_{LP} , $N_{Total,DLi}$, N_{Total} 은 각각 부하점의 수와 배전선로 i 가 담당하는 총 고객 수, 전력회사의 총 고객 수를 의미한다. 특히 전력회사의 총 고객 수는 한전 부산지사의 총 고객 수인 1,609,220으로 하였다. 그리고 식 (4), (5)는 매년 사업대상의 배전선로와 공사내용이 달라지므로 식 (6), (7)과 같이 식 (4), (5)의 최대값으로 정규화하여 본문에서 제안한 평가 모델의 파라미터로 사용하였다.

$$SAIFI_{fis,i} = \frac{SAIFI_{Util,i}}{SAIFI_{Util,Max}} \quad (6)$$

$$SAIDI_{fis,i} = \frac{SAIDI_{Util,i}}{SAIDI_{Util,Max}} \quad (7)$$

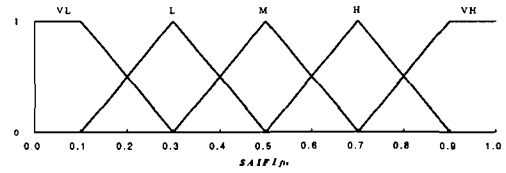
여기서 $SAIFI_{Util,Max}$, $SAIDI_{Util,Max}$ 는 식 (4), (5)의 최대값을 의미한다.

3.2 퍼지 멤버십 함수의 정의

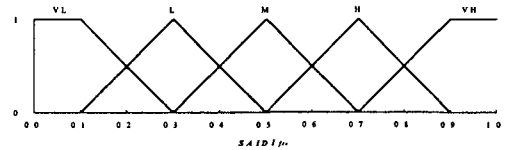
본 연구에서 제안된 평가 모델의 입력 파라미터와 퍼지 추론 결과에 대한 퍼지 멤버십 함수는 그림 1과 그림 2와 같이 정의하였다. 그림 1은 신뢰도 평가 지수에 의한 설비투자 우선순위 평가 모델의 입력과 출력변수에 대한 퍼지 멤버십 함수이며, 여기서 그림 1(a), (b)는 입력 파라미터 $SAIFI_{fis}$ 와 $SAIDI_{fis}$ 의 멤버십 함수이며, 그림 1(c)는 출력 변수에 대한 멤버십 함수이다. 그림 2는 설비투자 우선순위를 최종적으로 판단하기 위한 평가 모델의 입력과 출력 변수의 퍼지 멤버십 함수이며, 여기서 그림 2의 (a), (b)는 입력 파라미터 IPofKEPCO와 IPofRI(Investment priority of reliability indices)의 멤버십 함수이며, 그림 2(c)는 평가 모델의 출력 변수에 대한 멤버십 함수이다.

- SAIFI_{fis}의 설비투자 가능성 : {VL, L, M, H, VH}
- SAIDI_{fis}의 설비투자 가능성 : {VL, L, M, H, VH}
- SAIFI_{fis}와 SAIDI_{fis}를 고려한 설비투자 가능성 : {VL, L, M, H, VH}
- IPofKEPCO의 설비투자 가능성 : {VL, L, M, H, VH}
- IPofRI에 의한 설비투자 가능성 : {VL, L, M, H, VH}

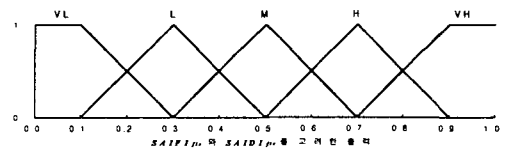
IPofKEPCO와 IPofRI를 고려한 설비투자 가능성 : {VL, L, M, H, VH}



(a) SAIFI_{fis}



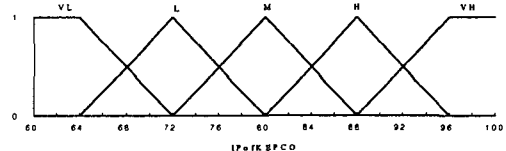
(b) SAIDI_{fis}



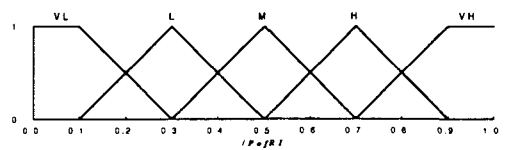
(c) SAIFI_{fis}와 SAIDI_{fis}를 고려한 출력

그림 1 신뢰도에 의한 설비투자 우선순위 평가모델의 입력 지수에 대한 멤버십 함수

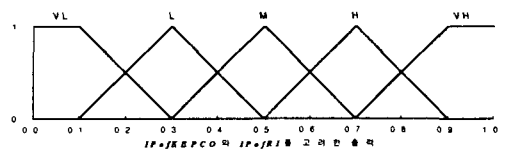
Fig. 1 Membership function for input variable of facility investment priority decision model by reliability



(a) IPofKEPCO



(b) IPofRI



(c) IPofKEPCO와 IPofRI를 고려한 출력

그림 2 최종 설비투자 우선순위 평가모델의 멤버십 함수

Fig. 2 Membership function of fuzzy system for final facility investment priority decision

3.3 설비투자 우선순위 판단 퍼지 룰

본 절에서는 배전계통의 설비투자 우선순위를 판단하기 위해 신뢰도에 의한 설비투자 우선순위 판단 퍼지 룰과 IPofRI와 IPofKEPCO를 고려한 설비투자 우선순위 판단 퍼지 룰에 대해 기술하였다.

일반적으로 전력회사는 공급신뢰도를 높이기 위해 신뢰도에 대한 목표치를 정하고 이를 달성하기 위해 설비투자를 한다. 또한 설비투자 우선순위는 사고의 빈도가 높고 공급신뢰도에 악영향을 주는 설비를 우선 교체하여 공급신뢰도를 개선시키는 방향으로 결정하고 있다. 참고문헌 [2]에 의하면 이러한 결정을 하기 위해 설비투자 우선순위는 평가 지수 중 SAIFI와 SAIDI가 둘 다 높은 배전선로, SAIFI만 높은 선로, 마지막으로 SAIDI만 높은 선로 순으로 설비 투자 우선순위를 정한다. 여기서, 설비투자의 중요성에 있어 SAIDI보다 SAIFI를 더 중요하게 비중을 둔 것은 사고 빈도에 해당하는 SAIFI가 감소한다면 자연히 SAIDI가 감소하는 효과를 얻을 수 있기 때문이다. 따라서, 본 연구에서는 신뢰도에 의한 설비투자 우선순위 판단 룰을 SAIFI, SAIDI를 전력회사의 공급신뢰도에 미치는 영향으로 정의한 식 (6), (7)을 이용하여 "if ~, then" 룰로 구성하였다. 신뢰도에 의한 설비투자 우선순위 판단 룰은 그림 3과 같다. IPofRI와 IPofKEPCO를 고려한 설비투자 우선순위 판단 퍼지 룰은 한전에서 평가하고 있는 배전선로에 대한 운영여건 및 관리 현황을 가중치를 두어 신뢰도에 의한 투자가능성이 최악("very high")인 경우에는 사고의 발생 가능성 및 사고에 따른 정전의 영향이 가장 큰 경우이므로 이에 대한 영향을 감소시키기 위해 우선순위를 한 단계 높이고 반면에 양호한 경우("very low")에는 계통의 공급신뢰도에 큰 영향을 주지 않으므로 우선순위를 한 단계 낮추도록 구성하였다. 또한 퍼지 룰은 "if ~, then ..." 으로 표현하였으며, 그림 4와 같다. 여기서 배전선로의 운영여건 및 관리현황을 신뢰도에 의한 설비투자 가능정보다 더 중요하게 가중한 이유는 신뢰도 평가 지수 SAIFI와 SAIDI로는 배전선로의 부하증가를, 오손등급, 최근 고장 발생회수, 배전선로의 관리등급 등에 대한 영향을 평가하기 힘들기 때문이다.

3.4 배전계통 설비투자 우선순위 판단 기법의 흐름

본 논문에서 제안한 신뢰도를 고려한 설비투자 우선순위 판단 흐름은 먼저 실 계통 데이터 및 설비별 신뢰도 자료를 이용하여 배전선로의 각 부하점 i 의 λ_i , r_i , U_i 와 배전선로의 $SAIFI_{DL,i}$, $SAIDI_{DL,i}$ 를 해석적인 방법으로 계산하고 공사투자자심의 자료를 이용하여 IPofKEPCO를 얻는다. 평가모델의 입력 파라미터는 $SAIFI_{DL,i}$, $SAIDI_{DL,i}$ 를 전력회사의 공급신뢰도에 미치는 영향으로 환산하고 다시 매년 계획되는 공사의 대상선로가 달라지므로 공사 대상선로들 중 $SAIFI_{U_{DL,i}}$, $SAIDI_{U_{DL,i}}$ 의 최대 값으로 정규화하여 사용하였다. 설비투자 우선순위는 두 단계의 퍼지 추론에 의해 결정된다. 첫 번째 단계에서는 입력 파라미터 중 $SAIFI_{U_{DL,i}}$, $SAIDI_{U_{DL,i}}$ 을 이용하여 신뢰도에 의한 설비투자 우선순위 판단 퍼지 룰에 의해 설비투자 우선순위를 부분 판정하고 두 번째 단계에서는 신뢰도 지수만을 이용한 판정 결과인 IPofRI와 IPofKEPCO를 이용하여 그림 4의 퍼지 룰에 의해 설비투자 우선순위를 최종적으로 결정한다. 여기서 위 두 단계의 퍼지 추론 방법은

min-max 방법을 이용하였으며, 추론된 결과의 디퍼지화는 무게중심법을 사용하였다. 본 논문에서 제안한 배전계통 설비투자 우선순위 판단 과정은 그림 5와 같다.

SAIDI _{DL} \ SAIFI _{DL}	VL	L	M	H	VH
VL	VL	VL	L	H	H
L	VL	L	L	H	H
M	L	L	M	H	H
H	M	M	M	VH	VH
VH	M	M	M	VH	VH

그림 3 SAIFI_{DL}와 SAIDI_{DL}를 고려한 설비투자 우선순위 판단 퍼지 룰

Fig. 3 Facility investment priority decision fuzzy rules considering SAIFI_{DL} and SAIDI_{DL}

IPofRI \ IPofKEPCO	VL	L	M	H	VH
VL	VL	VL	L	M	H
L	VL	L	M	H	VH
M	VL	L	M	H	VH
H	VL	L	M	H	VH
VH	L	M	H	VH	VH

그림 4 IPofKEPCO와 IPofRI를 고려한 설비투자 우선순위 판단 퍼지 룰

Fig. 4 Facility investment priority decision fuzzy rules considering IPofKEPCO and IPofRI

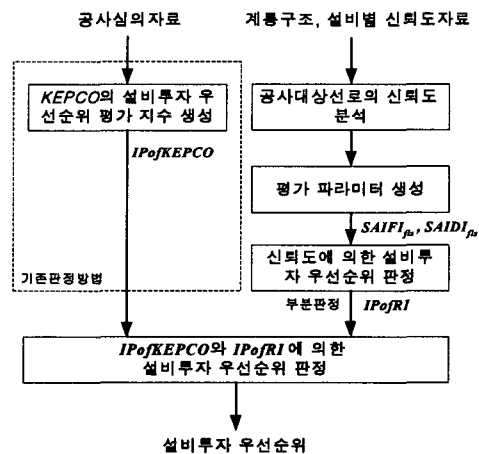


그림 5 제안된 기법의 설비투자 우선순위 판정 흐름도
Fig. 5 Facility investment priority decision flow of proposed method

4. 사례연구

4.1 계통자료 및 신뢰도 자료

본 절에서는 본 논문에서 제안한 평가모델의 성능을 평가하기 위해 이용된 2004년도에 한전 부산지사에서 계획된 배전선로 계통보강 중 취약설비 보강공사 목록의 실 계통 자료와 신뢰도 평가를 위해 적용된 신뢰도 자료에 대해 기술하였다. 표 2는 2004년도에 계통보강을 위해 계획된 취약설비보

강공사 목록의 공사대상 배전선로와 공사내용이며, 표 3은 공사대상 배전선로의 구간별 선로 길이, 개폐기, 보호기기, 고객 데이터 및 부하데이터를 나타낸다.

그림 6은 2004년도의 공사해당 배전선로들 중 선로 A에 대한 모델을 나타낸다. 여기서, "GS"는 가스절연 개폐기, "CS"는 선로용 COS, "R"은 리클로저, 실선으로 된 화살표는 고압고객, 점선으로 된 화살표는 저압고객, 박스안의 101은 구간번호를 의미한다. 그림 7은 한전에서 취득한 10년간의 설비고장자료 이용하여 분석한 수명에 따른 설비별 고장률 분석 결과이며, 표 4는 평균 고장률과 복구시간 및 고장구간 최소화 시간을 나타낸다 [5]. 또한 배전계통의 신뢰도 분석에 사용되는 연계률은 100%로 하였다.

표 2 취약설비 보강공사 목록

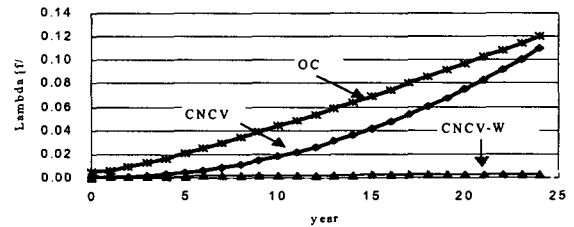
Table 2 List of weak equipment reinforcement projects

No.	D/L	공사 내용	투자 예산
1	A	전선교체(ABC240) 2.0km	176,166
2	B	전선교체 1.5km, 변압기교체 32대, 애자교체 43개소	163,833
3	C	전선교체 1.6km, 가공지선 신설 1.6km, 불량LP와 현수애자교체 202개	68,000
4	D	가공1회선신설 3.5km, 전주교체 15본, 전선교체 4.2km	418,641
5	E	케이블 신설 0.5km, 하상 압입시공 0.09km	262,897
6	F	가공 1회선 철거 0.17km, 케이블공사 0.57km	172,037
7	G	전선교체(ABC240) 7.4km, 전주교체 10본, 전주신설 15본	585,174
8	H	전선교체 2.3km, 전주교체 30개소	182,616
9	I	전주교체 25본, 전선교체 3km, 가공지선 3km, 애자교체 1,350개	419,200
10	J	노후전선교체 1.4km, 가공지선 신설 1.4km, 불량LP와 현수애자교체 198개	75,000
11	K	전선교체 3EH LOC160/ABC240 0.6km	54,098
12	L	전주신설 60본, 전주철거 28본, 전선교체 15.48km	258,488
13	M	전주교체 30본, 전선교체 1.45km	128,752
14	N	전선교체 1.6km, 개폐기교체 2대	184,489
15	O	전선교체 1.8km, 전주교체 20본	132,708
16	P	전주교체 20본, 전선교체 1.5km, 가공지선 1.5km, 애자교체 830개	247,750
17	Q	전주교체 20본, 전선교체 1.7km, 가공지선 1.7km, 애자교체 860개	269,950
18	R	전주신설 31본, 전주철거 18본, 전선교체 1.14km	98,671
19	S	전주, 전선교체 0.6km, 개폐기교체 2대	93,941

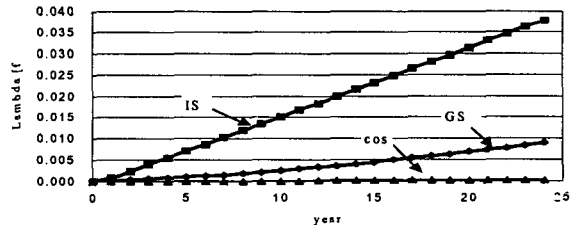
표 3 취약설비 보강공사 대상선로 자료

Table 3 Data of distribution lines for weak facility reinforcement projects

D/L	총구간수	공장 (m)	고압 고객			저압 고객		
			P _{max}	r _{rated}	Cust.	P _{max}	P _{rated}	Cust.
A	14	19434	7154	8623	6	1546	1864	542
B	13	8394	1394	3875	318	4900	9741	3645
C	12	6928	1035	2437	927	4465	10509	2741
D	27	49115	1,006	10055	21	225	8454	1514
E	15	19794	2050	5050	12	5150	12688	2274
F	7	6896	1767	6275	321	1133	4021	1055
G	12	21157	4701	4875	2417	3487	4459	760
H	13	8864	1257	3275	11	4943	12883	5245
I	10	9177	7776	22850	2519	1524	4478	451
J	10	11471	4019	12323	16	981	3007	472
K	6	12022	3401	2829	488	5299	4408	468
L	8	9258	8100	2000	7	0	0	0
M	3	5251	8793	14970	5	407	693	120
N	3	1899	6298	13068	26	802	1665	55
O	31	7975	3670	11358	27	3630	11236	1825
P	7	4056	2033	5875	256	1567	4527	531
Q	4	3035	2521	2839	1070	2179	2453	199
R	22	57030	4393	10940	24	2707	6742	1767
S	2	2690	4906	9523	9	394	764	31



(a) OC, CNCV, CNCV-W



(b) IS, GS, COS

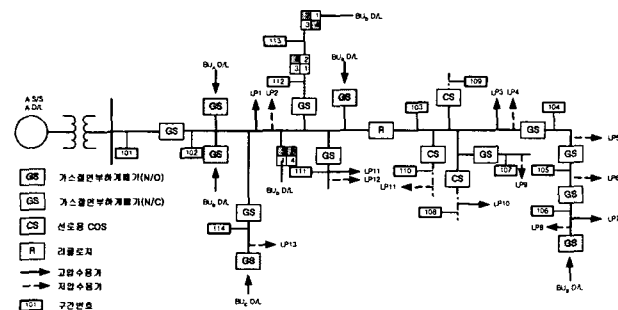


그림 6 선로 A의 모델 배전 선로

Fig. 6 Model distribution system of line A

그림 7 설비 수명에 의한 고장률

Fig. 7 failure rate by the aging of the facilities

표 4 설비 신뢰도 자료

Table 4 Historical reliability data for distribution facilities

설비종류	λ [f/yr]	r [hours]	sw [hours]
가공전선	5.79E-02	1	0.5
지중케이블	4.58E-02	2	0.5
IS	1.77E-02	3	
GS	3.20E-02	3	
COS	1.72E-03	3	
P.Tr	4.58E-04	2	

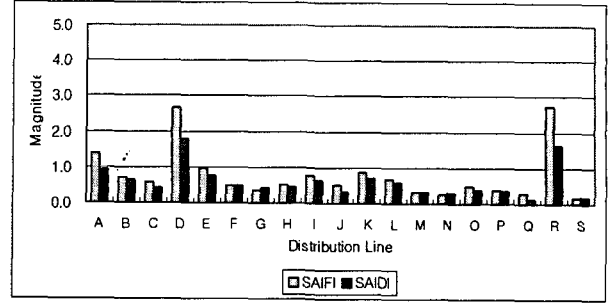
4-2 배전계통 설비투자 우선순위 평가 결과

본 절에서는 표 2의 공사목록을 이용하여 본 논문에서 제안한 배전계통 신뢰도를 고려한 설비투자 우선순위 판단 기법의 평가 결과를 나타내었다. 또한 제안된 기법의 성능 평가는 기존 방법과 제안된 방법의 신뢰도가 개선 정도를 이용하였다. 여기서 신뢰도 개선정도는 한전에서 계획한 공사 위치에 설비를 투자하기 전과 후의 배전계통 신뢰도 분석을 수행한 후 얻어진 $SAIFI_{U_{III}}$, $SAIDI_{U_{III}}$ 의 차이를 나타낸다.

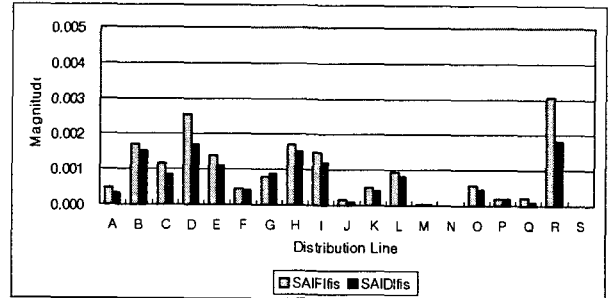
표 5는 한전에서 적용하고 있는 설비투자 우선순위 평가 결과이다. 그림 8은 공사대상 배전선로의 SAIFI, SAIDI의 결과와 각각의 배전선로가 부산지사에서 담당하는 배전계통의 공급신뢰도에 미치는 영향으로 환산한 결과를 나타낸다. 그림에서 보듯이 선로 B인 경우 배전선로의 SAIFI와 SAIDI는 각각 0.754, 0.644로 나타나지만 배전계통의 공급신뢰도에 미치는 영향인 $SAIFI_{U_{III}}$ 와 $SAIDI_{U_{III}}$ 은 0.0017, 0.0015로 다른 선로에 비해 사고에 따른 영향이 큰 것으로 나타났다. 그 이유는 고객의 수가 3953로 많아 낮은 SAIFI와 SAIDI일지라도 사고에 의한 부산지사에서 담당하는 배전계통의 공급신뢰도에 미치는 악영향이 다른 선로에 비해 더 크기 때문이다. 반면에 선로 A인 경우, 배전선로의 SAIFI와 SAIDI는 1.38, 0.91로 나타나지만 배전계통의 공급신뢰도에 미치는 영향인 $SAIFI_{U_{III}}$ 와 $SAIDI_{U_{III}}$ 은 0.000469, 0.000317로 다른 선로에 비해 사고에 따른 영향이 적은 것으로 나타났다. 그 이유는 고객의 수가 548로 적어 다른 선로에 비해 높은 SAIFI와 SAIDI를 나타내지만 사고에 의한 부산지사에서 담당하는 배전계통의 공급신뢰도에 미치는 악영향이 크지 않기 때문이다.

표 5 한전 설비 투자 방법에 의한 공사 우선순위
Table 5 Priority of project by facility investment decision of KEPCO

D/L	사업소 투자우 선순위	D/L 평균교 압연장	관리 등급	오손 등급	연계 력	부하 증가 율	일시 고장 전수	순간 고장 전수	선로 경과 지	총계	순위
A	30.0	10.0	5.0	4.5	3.5	4.5	4.0	4.0	30.0	95.5	1
B	24.0	10.0	5.0	5.0	3.5	4.0	4.0	4.0	30.0	89.5	2
C	18.0	10.0	5.0	5.0	3.5	5.0	4.0	4.0	30.0	84.5	3
D	18.0	10.0	5.0	4.5	3.5	5.0	4.0	4.0	30.0	84.0	4
E	18.0	10.0	4.5	4.5	3.5	4.5	4.0	4.0	30.0	83.0	5
F	18.0	10.0	5.0	5.0	3.5	4.0	3.5	4.0	30.0	83.0	6
G	18.0	8.0	5.0	5.0	3.5	5.0	3.5	4.0	30.0	82.0	7
H	18.0	10.0	5.0	4.5	4.5	3.0	3.0	4.0	30.0	82.0	8
I	18.0	10.0	4.5	3.5	4.5	3.5	3.5	3.0	30.0	80.5	9
J	18.0	8.0	4.5	5.0	3.5	3.5	4.0	4.0	30.0	80.5	10
K	18.0	8.0	5.0	3.5	2.5	5.0	3.5	4.0	30.0	79.5	11
L	18.0	8.0	5.0	4.5	2.5	4.0	3.5	4.0	30.0	79.5	12
M	18.0	10.0	5.0	4.5	3.5	5.0	3.0	3.0	24.0	76.0	13
N	18.0	8.0	5.0	4.5	3.5	4.5	3.0	3.0	24.0	73.5	14
O	18.0	8.0	5.0	5.0	2.5	2.5	3.0	3.0	24.0	71.0	15
P	18.0	6.0	4.5	3.5	4.5	3.5	3.5	3.0	24.0	70.5	16
Q	18.0	8.0	4.5	4.5	4.5	4.5	3.5	3.0	18.0	68.5	17
R	18.0	8.0	4.5	5.0	2.5	4.5	3.5	4.0	18.0	68.0	18
S	18.0	8.0	4.5	4.5	4.5	4.5	0.0	0.0	24.0	68.0	19



(a) SAIFI, SAIDI



(b) $SAIFI_{U_{III}}$, $SAIDI_{U_{III}}$

그림 8 배전선로의 신뢰도 평가 결과

Fig. 8 Reliability evaluation result of distribution lines

표 6은 2004년도에 부산지사에서 계획한 취약설비 보강공사의 목록을 기존 평가방법과 본 논문에서 제안한 평가방법에 의한 설비투자 우선순위 평가 결과의 비교를 나타내었다. 표 6을 살펴보면 선로 D와 F, R의 순위가 크게 변화된 것을 알 수 있다. 선로 D의 경우, 기존의 평가 방법에서는 평가결과와 설비투자 우선순위가 각각 84점과 4위를 나타냈지만 본 논문에서 제안한 평가 방법에서는 설비투자 판단 결과와 설비투자 우선순위가 각각 0.777과 1위로 조정되었다. 그 이유는 신뢰도에 의한 설비투자 우선순위 평가에서 입력지수로 사용된 $SAIFI_{U_{III}}$ 과 $SAIDI_{U_{III}}$ 이 각각 0.00254와 0.0017로 부산지사의 공급신뢰도에 미치는 영향이 다른 선로에 비해 커서 이에 따른 신뢰도에 의한 설비투자 우선순위 평가 결과가 0.883으로 높게 나타났기 때문이다. 따라서 공급신뢰도의 개선을 위한 설비투자가 시급히 요청되므로 제안한 평가 모델은 기존 방법의 설비투자 우선순위 4위를 1위로 조정하였다. 그러나, 선로 F인 경우, 기존의 평가 방법에서는 평가결과와 설비투자 우선순위가 각각 83점과 6위를 나타냈지만, 제안한 평가 방법에서는 설비투자 가능성과 설비투자 우선순위가 각각 0.478과 10위로 설비투자 우선순위가 낮아 졌다. 그 이유는 신뢰도 평가에서 $SAIFI_{U_{III}}$ 과 $SAIDI_{U_{III}}$ 가 0.000425, 0.000417로 부산지사의 공급신뢰도에 미치는 영향이 다른 선로에 비해 낮아 신뢰도에 의한 설비투자 가능성이 0.170으로 낮기 때문이다. 따라서 설비투자가 시급하지 않으므로 제안한 평가 모델에서는 기존 방법에서의 설비투자 우선순위가 6위에서 10위로 순위가 낮게 조정되었다. 마지막으로 선로 R의 경우, 기존 평가 방법의 평가결과와 투자순위는 각각 68점과 18위로 낮게 나타나지만, 본 논문에서 제안한 평가 방법의 설비투자 가능성과 설비투자 우선순위가 각각 0.401과 12위

로 설비투자 우선순위가 높아 졌다. 그 이유는 SAIFI_{Uai}과 SAIDI_{Uai}은 0.00305, 0.00181로 부산지사의 공급신뢰도에 미치는 영향이 다른 선로에 비해 가장 나쁜 영향을 나타내고 있어 신뢰도에 의한 설비투자 가능성이 0.894로 가장 높게 나타나기 때문이다. 그러나 기존의 평가 방법에서 설비투자에 대한 중요성이 다른 선로에 비해 낮기 때문에 순위 조정이 크게 변경되지 않았다.

표 6 설비투자 우선순위 평가 결과
Table 6 Facility investment priority decision result

D/L	SAIFI	SAIDI	SAIFI _{Uai}	SAIDI _{Uai}	IPofRI	IPofK EPCO	Result	우선순위	
								기존 방법	제안된 방법
A	1.3777	0.9313	4.69E-4	3.17E-4	0.186	95.5	0.764	1	2
B	0.7153	0.6442	1.69E-3	1.52E-3	0.607	89.5	0.726	2	3
C	0.5795	0.4259	1.16E-3	8.52E-4	0.384	84.5	0.610	3	4
D	2.6603	1.7792	2.54E-3	1.70E-3	0.883	84.0	0.777	4	1
E	0.9687	0.7779	1.38E-3	1.11E-3	0.435	83.0	0.580	5	5
F	0.4943	0.4847	4.25E-4	4.17E-4	0.170	83.0	0.478	6	10
G	0.3577	0.4136	7.73E-4	8.93E-4	0.294	82.0	0.558	7	7
H	0.5156	0.4566	1.70E-3	1.51E-3	0.616	82.0	0.558	8	6
I	0.7744	0.6305	1.47E-3	1.20E-3	0.475	80.5	0.518	9	8
J	0.5221	0.3342	1.58E-4	1.01E-4	0.106	80.5	0.350	10	13
K	0.8670	0.7006	5.15E-4	4.16E-4	0.194	79.5	0.406	11	11
L	0.6715	0.5667	9.54E-4	8.05E-4	0.319	79.5	0.485	12	9
M	0.3250	0.3322	0.25E-4	0.26E-4	0.106	76.0	0.253	13	14
N	0.2450	0.3006	0.12E-4	0.15E-4	0.106	73.5	0.193	14	16
O	0.4791	0.3734	5.51E-4	4.30E-4	0.206	71.0	0.249	15	15
P	0.3965	0.3578	1.94E-4	1.75E-4	0.106	70.5	0.137	16	19
Q	0.2843	0.1382	2.24E-4	1.09E-4	0.121	68.5	0.173	17	17
R	2.7387	1.6312	3.05E-3	1.82E-3	0.894	68.0	0.401	18	12
S	0.1487	0.1764	0.04E-4	0.04E-4	0.106	68.0	0.157	19	18

표 7 제한된 비용 하에서 투자에 대한 신뢰도 개선 정도
Table 7 Reliability enhanced level for investment under the limited cost

	선택된 D/L	신뢰도 개선정도	
		SAIFI _{Uai}	SAIDI _{Uai}
기존 방법	A, B, C, D, E, F, G	0.000129	0.000122
제안된 방법	D, A, B, C, F, H, G	0.000295	0.000220

표 7은 설비에 대한 투자 예산을 20억원으로 제한하였을 경우, 기존 방법과 제안한 방법의 신뢰도 개선정도를 비교하였다. 여기서 개선정도는 한전에서 공사를 계획한 위치에 설비를 투자하기 전·후의 배전계통 신뢰도 분석을 수행한 후 얻어진 SAIFI_{Uai}, SAIDI_{Uai}의 차이를 나타낸다. 표 7에서 보듯이 기존방법과 제안한 방법 모두 설비투자 우선순위가 7번 짜인 공사항목까지 공사를 시행할 수 있음을 보였다. 여기서 제안된 방법에서는 기존 방법과 달리 선로 F가 제외되고 선로 H가 채택되었다. 표 7에서 보는 바와 같이 기존 방법과 제안된 방법으로 공사를 시행했을 경우 기존방법에서는 SAIFI_{Uai}과 SAIDI_{Uai}의 개선정도를 누적하면 각각 0.000129, 0.000122가 개선되고 제안된 방법에서는 각각 0.000295, 0.000220가 개선되었다. 따라서 기존 방법보다 SAIFI_{Uai}는

0.000166, SAIDI_{Uai}는 0.000098을 더 개선함을 보여 제안된 방법이 고객에게 더 나은 공급 신뢰도를 제공할 것으로 기대된다.

5. 결 론

본 논문에서는 신뢰도를 고려한 설비투자 우선순위 평가 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 현행 한전의 설비투자 우선순위 평가 기법에 배전계통의 잠재적인 고장률, 정전시간, 사고에 의한 정전 고객을 평가할 수 있는 배전계통 신뢰도 평가 지수를 함께 고려하였다. 특히 배전계통 신뢰도 평가 지수 SAIFI, SAIDI를 기존 평가 결과에 고려하기 위해 퍼지 판단 룰을 이용하였다. 그리고 배전계통 신뢰도 평가 방법은 해석적인 방법을 이용하였다. 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 본 논문에서는 한전의 2004년도 계획공사 목록 중 배전선로 계통보강의 취약설비 보강공사 자료를 이용하여 평가하였다. 평가 결과, 제안된 방법은 설비에 대한 투자비용이 한정된 조건하에서 현행 한전의 평가 방법보다 전력회사의 공급신뢰도를 향상시킬 수 있도록 평가되었고 고객에게 보다 나은 공급신뢰도를 부여할 수 있음을 보였다.

따라서 본 논문에서 제안한 방법은 제한된 투자예산 하에서 공급신뢰도 목표가 만족될 수 있는 방법을 제공할 수 있으므로 한국전력공사에서 향후 배전설비 투자계획 수립 시 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기술개발사업을 통해 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] G.W. Ault, C.E.T. Foote, J.R. McDonald, "Distribution system planning in focus," IEEE Power Engineering Review, Vol. 22, Issue: 1, pp. 60-62, January 2002.
- [2] Richard E. Brown, Electric Power Distribution Reliability, New York: Marcel Dekker, 2002
- [3] H. Lee Willis, Aging Power Delivery Infrastructures, New York: Marcel Dekker, 2001
- [4] R. Billinton and R. N. Allan, Reliability Evaluation of Power Systems(Second Edition), New York : Plenum Press, pp. 220-326, 1996.
- [5] 산업자원부, 배전계통 자산관리시스템 개발-1차년도 중간보고서, pp. 5-101, 2003년 11월.
- [6] 한국전력공사 경영정보처, 경영통계, pp. 133, 2003년 5월.
- [7] 한국전력공사 배전처, '04~'06 배전설비 투자계획 수립 지침, pp. 1-35, 2003년 6월.
- [8] Timothy J. Ross, Fuzzy Logic With Engineering Applications, McGraw-Hill, pp. 46-369, 1995.
- [9] IEEE Standard 1366-1998, IEEE trial-use guide for

electric power distribution reliability indices, April 1999.

- [10] Brian P. Lang, Anil Pahwa, "Power Distribution System Reliability Planning Using a Fuzzy Knowledge-Based Approach," IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 15, No. 1, pp. 279-284, January 2000.
- [11] S.R. Gilligan, "A method for estimating the reliability of distribution circuits", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, Issue: 2, pp. 694-698, April 1992.
- [12] Billinton, R. P. Wang, "Reliability-network-equivalent approach to distribution-system-reliability evaluation", IEE Proceedings, Vol. 145, Issue 2, pp149-153, Mar 1998.
- [13] R. N. Allan, R. Billinton, I. Sjarief, L. Goel, 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, pp.813-820, May 1991.



장성일(張成一)

1971년 8월 30일생. 1996년 강원대학교 전기공학과 졸업, 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학), 2003년~현재 서울대학교 BK21 정보기술사업단 연구원
Tel : 02-880-7258, Fax : 02-878-1452,
E-mail : sijang@snu.ac.kr



김광호(金光鎬)

1966년 1월 17일생. 1988년 서울대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1995년~현재 강원대 전기전자 정보통신공학부 부교수 2001~현재 차세대 전력기술 연구센터
Tel : 033-250-6298, Fax : 033-241-3775
E-mail : khokim@cc.kangwon.ac.kr

저 자 소 개



최정환(崔正煥)

1972년 12월 20일생. 1997년 강원대학교 전기공학과 졸업, 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학), 2003년~현재 전력연구원 배전연구센터 위촉연구원
Tel : 042-865-5946, Fax : 042-865-5804,
E-mail : elecjhchoi@yahoo.co.kr



김재철(金載哲)

1955년 7월 12일 생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1987년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 숭실대 전기제어시스템 공학부 교수.
Tel : 02-820-0647, Fax : 02-817-0780
E-mail : jckim@ee.ssu.ac.kr



박창호(朴昌浩)

1956년 10월 24일생. 1979년 중앙대학교 전기공학과 졸업, 1981년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1976~현재 한국전력공사 전력연구원 배전연구센터 책임연구원
Tel : 042-865-5911, Fax : 042-865-5804,
E-mail : chpark@kepri.re.kr



박종근(朴鍾根)

1952년 10월 21일생. 1973년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1979년 동경대학교 전기공학과 석사 졸업. 1982년 동경대학교 전기공학과 박사 졸업. 1982. 4- 1982. 9 : 일본 도시바 중전 기술 연구소 1982.10 - 1983.3: 일본 국립 에너지 물리학 연구소 1983.4-1987.9: 서울대 공대 전기공학과 조교수 1987.10 - 1993.9: 서울대 공대 전기공학과 부교수 1993.10-현재: 서울대 공대 전기공학부 교수 1999.8 - 2002.10 : 기초전력공학공동연구소 소장 2002.8 - 현재 : 서울대학교 연구처장



채우규(蔡又圭)

1977년 4월 22일생. 2004년 성균관대학교 정보통신공학부 졸업, 2004~현재 전력연구원 배전연구센터 일반연구원
Tel : 042-865-5913, Fax : 042-865-5804
E-mail : wkchae@kepco.co.kr