

신뢰도를 고려한 배전계통 설비투자 우선순위 결정에 관한 연구

최정환<sup>\*</sup>, 박창호<sup>\*</sup>, 김광호<sup>\*\*</sup>, 장성일<sup>\*\*\*</sup>, 조성현<sup>§</sup>  
 전력연구원<sup>\*</sup>, 강원대학교<sup>\*\*</sup>, 서울대<sup>\*\*\*</sup>, 한국전력공사<sup>§</sup>

A Novel investment Priority Decision Method for Facilities of Distribution Systems  
 Considering Reliability of Distribution System

Jung-Hwan Choi<sup>\*</sup>, Chang-ho Park<sup>\*</sup>, Kwang-ho Kim<sup>\*\*</sup>, Sung-il Jang<sup>\*\*\*</sup>, Sung-Hyeon Cho<sup>§</sup>  
<sup>\*</sup>KEPRI, <sup>\*\*</sup>Kangwon National University, <sup>\*\*\*</sup>Seoul National University, <sup>§</sup>KEPCO

**Abstract** - This paper proposes the novel investment priority decision method for distribution facilities considering the potential failure rate and the influence of customer caused by faults in distribution networks. The proposed method decides the investment priority of the facilities combining, by the fuzzy rules, the KEPCO's priority decision for investment and the priority decision considering SAIFI(System Average Interruption Frequency Index) and SAIDI(System Average Interruption Duration Index). To verify the performance of the proposed method, these works utilized the projects for weak facility reinforcement planned in KEPCO in the Busan region in 2003 and 2004. The evaluation results showed that the reliability of the KEPCO in the Busan region using the proposed method can be enhanced more than using the conventional KEPCO's method.

신뢰도 분석을 통해 계산된 평가지수 SAIFI와 SAIDI는 공사 해당 선로들에 대한 공급 수용가의 수에 의해 전력회사에 미치는 영향이 달라지므로 전력회사의 전체 수용가로 환산하여 신뢰도 지수를 재 정의하였다. 재 정의된 신뢰도 지수를 퍼지 추론 시스템의 입력으로 사용하여 신뢰도에 의한 설비투자 우선순위를 결정하였고, 이 결과와 기존의 한국전력공사의 설비투자 우선순위 평가 결과를 이용하여 최종적으로 배전설비투자 우선순위가 평가되도록 하였다. 평가 결과, 설비의 투자비용이 한정될 경우 제안된 방법은 기존의 한국전력공사의 기법보다 전력회사의 공급신뢰도를 더욱 개선시켜 제안된 기법의 우수성을 검증하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법은 공급신뢰도를 만족하는 지표로서 사용될 수 있으므로 배전설비 투자계획 수립시 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 배전계통 설비투자 우선순위 결정 기법

1. 서 론

최근 과학기술의 발달로 인한 사회생활의 고도화와 정보화로 인해 전력 수요가 급증하고 있을 뿐만 아니라 무정전, 고품질, 고신뢰성 등이 절대적으로 요구되고 있다. 이러한 요구는 일반적으로 설비투자를 통해 이루어지고 있다.

배전계통의 설비투자는 공급신뢰도와 전력품질 향상을 목적으로 가공전선로, 지중케이블, 개폐기, 애자와 같은 설비를 신설하거나 교체를 통해 시행되고 있다. 그러나 이러한 설비는 한정된 비용으로 투자되고 있기 때문에 사고 위험도와 공급신뢰도의 취약 여부를 판단하여 설비를 투자해야 한다 [1-3].

현행 한국전력공사의 배전계통의 설비투자는 회선신설과 계통보강으로 나누고 다양한 평가항목을 통해 설비투자 우선순위를 결정하고 있다[2-3]. 그러나 이러한 설비투자 우선순위 결정은 실무자의 지식이나 경험에 따라 좌우되고 있으며, 현재 계통 상황의 정확한 평가나 선로의 잠재적인 정전 횟수와 정전지속시간, 사고에 의한 수용가에 미치는 영향 등을 고려하지 않고 결정하고 있다. 따라서, 배전계통의 공급신뢰도를 고려할 수 있는 설비투자 우선순위를 결정하는 기법의 개발이 요구된다.

본 논문에서는 현행 한국전력공사의 배전계통의 설비투자 우선순위 결정 기법에 계통의 현재 상황을 정확히 평가하고 이에 따른 설비투자 및 보수에 대한 필요 여부를 판단할 수 있는 배전계통의 신뢰도 평가 지수[4-5] SAIFI, SAIDI를 고려하여 향상된 설비투자 우선순위 결정 기법을 제안하였다. 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 한국전력공사의 2003년도와 2004년도 계획된 배전선로 보강공사 중 하나인 취약설비 보강공사 자료를 이용하였다. 평가 과정은 먼저 한국전력공사의 신뢰도 자료 및 공사 대상 실 계통 자료를 취득하고 취득된 자료를 통해 연구정전에 대한 신뢰도 분석을 실시하였다.

현행 한국전력공사에서는 배전계통의 공급신뢰도 향상을 위해 배전설비를 신설 및 교체 공사를 계획하고 있다. 또한 설비투자는 사업소의 투자우선순위, 배전선로의 평균연장인 설비규모, 선로의 관리등급, 오손등급, 부하증가를, 연계선로의 개수를 나타내는 연계력, 최근 2년간의 일시고장 건수와 순간고장 건수, 사업특성별 평가항목 등의 다양한 평가항목을 이용하여 설비투자 우선순위를 결정하고 있다[4]. 그러나 이러한 평가방법은 공급신뢰도의 개선정도와 사고에 의한 수용가에 미치는 영향, 사고에 대한 취약여부 등을 평가하기 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 사고에 의한 수용가에 미치는 영향이나 설비투자 및 보수의 필요 여부를 평가할 수 있는 배전계통의 신뢰도 평가지수인 SAIFI, SAIDI를 검토하였다.

배전계통의 설비투자의 우선순위를 결정하기 위해 한국전력공사의 결정 방법을 식 (1)과 같이 정의하였다.

$$I_{PofKEPCO} = \sum_i k_i W_i \quad (1)$$

여기서,  $i$ 는 평가항목이며  $k_i$ ,  $W_i$ 는 평가항목  $i$ 의 가중치 및 적용률을 의미한다. 평가 항목은 사업소의 투자우선순위, 배전선로의 평균연장인 설비규모, 선로의 관리등급, 오손등급, 부하증가를, 연계선로의 개수를 나타내는 연계력, 최근 2년간의 일시고장과 순간고장 건수, 사업특성별 평가항목이다.

각 공사 대상선로의 공급신뢰도는 배전계통 신뢰도 평가 방법인 해석적인 기법을 통해 기본적인 파라미터  $s_i$ ,  $r_i$ ,  $U_i$ 를 계산하였고 이를 수용가 영향을 고려하기 위해 식 (2), (3)과 같이 얻어진다. 또한 전력회사는 다수의 배전선로에 의해 공급신뢰도가 평가되므로 하나의 배전선로가 전력회사의 공급신뢰도에 미치는 영향을 식 (4), (5)와 같이 정의하였다.

$$SAIFI_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_{fp}} \lambda_j N_j}{N_{DL,i}} \quad (2)$$

$$SAIDI_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_{fp}} U_j N_j}{N_{DL,i}} \quad (3)$$

$$SAIFI_{fs,i}^* = SAIFI_i \times \frac{N_{DL,i}}{N_{Total}} \quad (4)$$

$$SAIDI_{fs,i}^* = SAIDI_i \times \frac{N_{DL,i}}{N_{Total}} \quad (5)$$

여기서,  $SAIFI_i$ ,  $SAIDI_i$ 는 배전선로  $i$ 의  $SAIFI$ 와  $SAIDI$ 를 의미하며,  $j$ 는 부하점이며,  $N_j$ 와  $N_{DL,i}$ ,  $N_{Total}$ 은 각각 부하점  $j$ 의 수용가 수와 배전선로의 전체 수용가 수, 전력회사의 전체 수용가 수를 의미한다. 또한 전력회사의 공급신뢰도에 미치는 영향으로 정의한 식 (4), (5)를 식 (6), (7)과 같이 정규화하여 본 논문에서 제안한 모델의 입력 지수로 사용하였다.

$$SAIFI_{fs,i} = \frac{SAIFI_{fs,i}^*}{SAIFI_{fs,i}^{*Max}} \quad (6)$$

$$SAIDI_{fs,i} = \frac{SAIDI_{fs,i}^*}{SAIDI_{fs,i}^{*Max}} \quad (7)$$

여기서,  $SAIFI_{fs,i}^{*Max}$ ,  $SAIDI_{fs,i}^{*Max}$ 는  $SAIFI^*$ 와  $SAIDI^*$ 의 최대 값을 의미한다.

### 3 설비투자 우선순위 결정용 퍼지 추론 시스템

본 절에서는 제안된 기법의 배전계통 설비투자 우선순위 판정을 위한 흐름은 그림 1과 같이 나타내었다. 그림 1에서 보는 바와 같이 계통 구조와 설비별 신뢰도 자료를 통해 신뢰도 분석을 수행하고 얻어진 신뢰도 지수를 이용하여 설비투자 우선순위를 판정한다. 그리고 이 결과를 기존의 평가 결과와 함께 고려하여 설비투자 우선순위를 결정하도록 구성하였다.

#### 3.1 제안된 모델의 파라미터에 대한 퍼지 멤버십 함수의 정의

본 논문에서 제안한 모델의 입력지수  $SAIFI_{fs,i}$ ,  $SAIDI_{fs,i}$ ,  $IPofKEPCO$ 의 퍼지화 멤버십 함수는  $SAIFI_{fs,i}$ ,  $SAIDI_{fs,i}$ 에 대해서는 출력을 그대로 사용하였으며,  $IPofKEPCO$ 에 대해서는 그림 2와 같이 정의하였다. 또한 입력 지수 및 출력의 설비투자 가능성은 아래와 같이 정의하였고, 최종적으로 배전계통의 설비투자 우선순위 판단을 위한 멤버십 함수는 그림 3과 같다. 여기서 'VL'은 '매우 낮다', 'L'은 '낮다', 'M'은 '보통', 'H'는 '높다', 'VH'는 '매우 높다'에 대한 언어적 변수이다.

$SAIFI_{fs,i}$ 의 설비투자 가능성 : {VL,L,M,H,VH}

$SAIDI_{fs,i}$ 의 설비투자 가능성 : {VL,L,M,H,VH}

$IPofKEPCO$ 의 설비투자 가능성 : {VL,L,M,H,VH}

$IPofRI$ 에 의한 설비투자 가능성 : {VL,L,M,H,VH}

$IPofKEPCO$ 와  $IPofRI$ 를 고려한 설비투자 가능성 : {VL,L,M,H,VH}

#### 3.2 배전계통 설비투자 우선순위 판단 룰

본 논문에서 제안된 모델은 우선  $SAIFI_{fs,i}$ ,  $SAIDI_{fs,i}$ 에 의한 설비투자 우선순위 판단 룰[9]과 이 룰에 의한 판단 결과인  $IPofRI$ 와 기존 방법의 평가지수인  $IPofKEPCO$ 에 의한 설비투자 우선순위 판단 룰로 구성되어 있다. 그림 4와 그림 5는 신뢰도에 의한 설비투자 우선순위 판단 룰과  $IPofRI$ 와  $IPofKEPCO$ 에 의한 설비투자 우선순위 판단 룰이다.

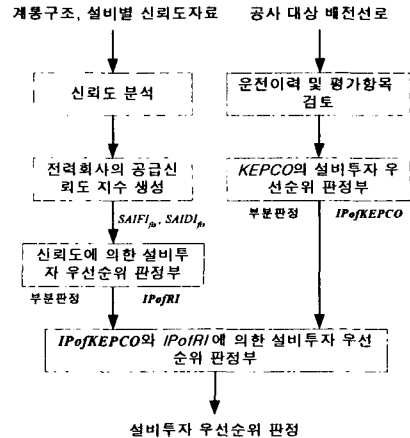


그림 1 제안된 기법의 설비투자 우선순위 판정 흐름도

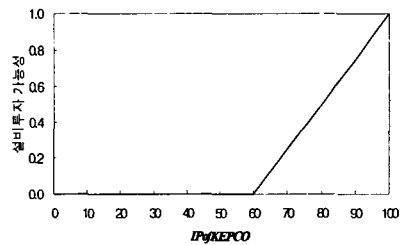


그림 2  $IPofKEPCO$ 에 대한 퍼지화 멤버십 함수

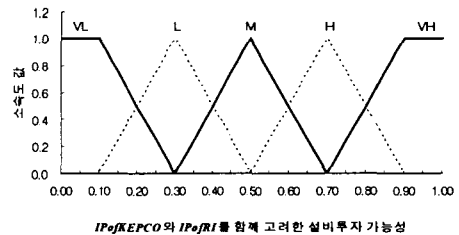


그림 3  $IPofKEPCO$ 와  $IPofRI$ 를 고려한 설비투자 가능성에 대한 퍼지 멤버십 함수

SAIFI <sub>fs,i</sub> / SAIDI <sub>fs,i</sub>	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 4 신뢰도에 의한 설비투자 우선순위 판정 룰

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

그림 5 IPofRI와 IPofKEPCO에 의한 설비투자 우선순위 판정 틀

### 3. 사례연구

#### 3.1 배전계통 모델링 및 신뢰도 자료

본 절에서는 본 논문에서 제안한 배전계통 설비투자 우선순위 결정 기법을 평가하기 위해 2003년도, 2004년도 한국전력공사 부산지사에서 계획된 취약설비 보강공사를 이용하였다. 또한 공사해당선로에 대한 배전계통 신뢰도 평가를 하기 위해 배전선로를 RBTS(Roy Billinton Test System) 모델로 변환하였고 RBTS 모델 변환을 위한 조건은 개폐기 단위로 변환하였으며, 수용기는 고압 수용기와 저압수용가로 나누고 같은 구간내에서는 각각을 1개의 부하점으로 모델링 하였다. 또한 각 구성소자는 NDIS에서 추출한 설비데이터를 이용하였고, 각 구성소자의 고장률 및 설비별 복구시간은 한국전력공사의 10년간의 고장자료를 분석한 결과를 이용하였다.

#### 3.2 분석결과

한국전력공사의 부산지사에서 계획한 공사목록에 대한 제안한 기법과 기존 기법의 평가 결과는 표 1과 같으며, 그림 6은 설비투자 우선순위 판정 결과에 따른 투자비용을 20억원으로 제한하였을 경우 기존의 방법과 제안된 방법의 공급신뢰도 개선정도를 비교한 결과를 나타낸다. 비교한 결과 제안된 방법이 기존의 방법에 비해 제한된 투자비용하에서 더 나은 개선정도를 보였다.

표 1 기존 방법과 제안된 기법의 설비투자 우선순위 판정 결과

사업대상 선로	IPofKEPCO (100)	전력회사의 신뢰도 지수		설비투자 판정결과		설비투자 우선순위	
		SAIFI*	SAIDI*	IPofRI	IPofKEPCO 포함	기존 방법	제안 방법
선로 A	95.5	4.69E-4	3.17E-4	0.1860	0.7640	1	2
선로 B	89.5	1.69E-3	1.522E-3	0.6070	0.7260	2	3
선로 C	84.5	1.159E-3	8.52E-3	0.3840	0.6100	3	4
선로 D	84.0	2.538E-3	1.697E-3	0.8830	0.7770	4	1
선로 E	83.0	1.376E-3	1.105E-3	0.4350	0.5800	5	5
선로 F	83.0	4.25E-4	4.17E-4	0.1700	0.4780	6	10
선로 G	82.0	7.73E-4	8.93E-4	0.2940	0.5580	7	7
선로 H	82.0	1.704E-3	1.509E-3	0.6160	0.5580	8	6
선로 I	80.5	1.471E-3	1.197E-3	0.4750	0.5180	9	8
선로 J	80.5	1.58E-4	1.01E-4	0.1060	0.3500	10	13
선로 K	79.5	5.15E-4	4.16E-4	0.1940	0.4060	11	11
선로 L	79.5	9.54E-4	8.05E-4	0.3190	0.4850	12	9
선로 M	76.0	2.5E-5	0.26E-4	0.1060	0.2530	13	14
선로 N	73.5	1.2E-5	0.15E-4	0.1060	0.1930	14	16
선로 O	71.0	5.51E-4	4.30E-4	0.2060	0.2490	15	15
선로 P	70.5	1.94E-4	1.75E-4	0.1060	0.1370	16	19
선로 Q	68.5	2.24E-4	1.09E-4	0.1210	0.1730	17	17
선로 R	68.0	3.048E-3	1.815E-3	0.8940	0.4010	18	12
선로 S	68.0	0.04E-4	0.04E-4	0.1060	0.1570	19	18

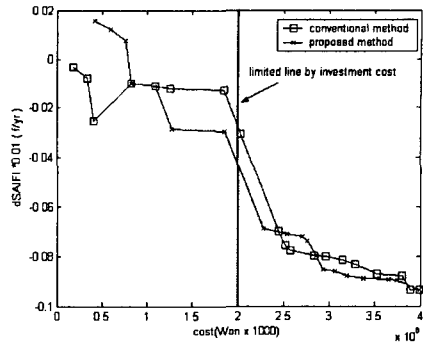


그림 6 제한된 투자 비용하에서 기존 방법과 제안한 기법의 공급신뢰도 개선 결과 비교

### 3. 결론

본 논문에서는 신뢰도를 고려한 배전설비 투자우선순위 결정을 위한 퍼지 추론 시스템을 제안하였다. 제안된 기법은 실무자의 지식과 경험에 의존하는 기존 평가방법에 배전계통에서의 신뢰도를 고려하였다. 또한 제안된 기법의 구성은 신뢰도에 의한 설비투자 우선순위 판정을 위한 퍼지 추론 시스템과 신뢰도에 의한 퍼지 추론 결과와 기존 평가 결과를 함께 고려한 설비투자 우선순위 판정 퍼지 추론 시스템으로 구성된다. 또한 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 한국전력공사 부산지사에서 계획된 2003년도와 2004년도 취약설비보강공사를 이용하여 평가하였다. 평가 결과, 제안된 방법은 설비에 대한 투자비용이 한정된 조건하에서 기존 방법보다 전력회사의 공급신뢰도를 향상되어 수용가에게 보다 나은 공급신뢰도를 부여할 수 있음을 보였다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법은 제한된 비용으로 설비를 투자할 경우 공급신뢰도 기준이 만족될 수 있는 지표로서 한국전력공사에서 배전설비 투자계획 수립시 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기술개발사업을 통해 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

#### [참고 문헌]

- [1] 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.
- [2] 산업자원부, "배전계통 자산관리시스템 개발-1차년도 중간보고서", pp. 5-101, 2003년 11월.
- [3] 한국전력공사 배전처, "'04'06 배전설비 투자계획 수립 지침", pp. 1-35, 2003년 6월.
- [4] Richard E. Brown, "Electric Power Distribution Reliability", New York: Marcel Dekker, 2002
- [5] H. Lee Willis, "Power Distribution Planning Reference Book", New York: Marcel Dekker, pp. 129-228, 1997.