

# 수지상 배전계통을 단일루프로 구조 변경시 신뢰도 비교

논문
58-8-3

## The Comparison of Reliability for Change Single Loop Configuration in Radial Power Distribution System

이 회 태\* · 김 재 철\* · 김 주 용\*\*  
(Hee-Tae Lee · Jae-Chul Kim · Ju-Yong Kim)

**Abstract** - The domestic power distribution system is operating in an open loop mode; however, it already has a loop structure. Power distribution systems must be changed for bi-directions power supply for smart networks due to a changing of paradigm in electric power industry. The simplest bi-directions distribution networks can make it closing of normally open switch. However, bi-directions power supply is very difficulty to be operated and there are many parts which it must study. This paper presented various models that are able to change a radial system for loop structures. Further, we compared the reliability index for each model by evaluating the amount of improvement reliability required in radial power distribution system. In addition, we calculated CIC(Customer Interruption Cost) for each model by comparing and analyzing.

**Key Words** : Open Loop, Closed Loop, Reliability, CIC

### 1. 서 론

저탄소 및 신재생에너지의 계통연계에 대한 이슈는 전력 계통의 새로운 패러다임을 불러일으키고 있다. 탄소를 줄이는 것도 중요하지만 발전된 에너지를 손실 없이 전력을 필요로 하는 곳까지 전달하는 것도 결국 에너지를 절감을 통해 저탄소배출에 효과가 있다고 볼 수 있다.

특히 배전계통은 수용가와 가장 밀접한 계통으로 구성설비의 고장은 직접적으로 수용가의 정전을 야기하는 특징을 가지고 있고, 정전으로 인한 에너지 손실은 신뢰도 측면에서 정전비용, ENS(Energy Not Supply)등의 수치로 평가 할 수 있다.

시간이 지남에 따라 민감부하는 증가하고 있으며, 이러한 부하의 특성을 감당하기위해서는 더욱 향상된 신뢰도를 요구하게 될 것이다.

배전계통의 신뢰도 평가는 이미 R. Billinton, R.E. Brown 등 많은 평가기법과 신뢰도 향상을 위한 연구가 진행되었고, 이러한 연구는 방사상의 계통에서 보호설비의 추가 또는 연계스위치의 백업소스등에 의해 신뢰도를 향상시키는 대책을 제시하고 있다[1-3].

특히 참고문헌[1]에 의한 연구사례별 보호설비의 추가와 연계전력공급의 유무 등의 변화에 따라 달라지는 신뢰도 향

상은 한계가 있는 것으로 볼 수 있다.

그래서 본 논문에서는 현재의 국내 배전계통의 구성을 루프(Loop)형식으로 변경할 경우 변경될 수 있는 모델을 분류하고 신뢰도측면에서 이득을 평가하였다.

이러한 루프 배전방식은 이미 홍콩전력회사, 플로리다 전력회사, 대만 전력회사등에서 송전계통과 유사한 루프 형태의 변경을 추진하거나 변경된 형태로 운전을 하고 있으며 [4-6], 특히 마카오 전력회사의 경우 루프 배전계통에 대한 시범사업을 2008년에 시작하였다[6].

방사상 구조와 같은 단방향의 전력공급방식을 루프 구조와 같은 양방향의 전력공급방식으로 변경될 경우 많은 문제점이 있고, 해결해야 할 연구 분야도 많이 있다. 참고문헌[5]에 보면 루프구성에 대해 해결해야할 점을 자세히 기술하고 있다.

가장 간단한 루프구성은 같은 변전소에 동일한 변압기를 통해 피더를 연계 하는 것이다. 이 구성은 수지상의 상시개방 스위치(Normally Open Switch)의 조작만으로 구성할 수 있다.

L. Goel은 이미 배전계통의 루프구성방법에 따른 신뢰도 결과만을 제시하고 있고, 선로의 용량제약과 정전비용은 비교하지 않았다[7].

그래서 본 논문에서는 배전계통의 단일루프 구성 중 동일한 변압기를 통한 루프를 구성하였을 경우에 대한 신뢰도 지수 및 정전비용을 분석하였고, 선로의 용량제약을 고려하였을 경우와 비교하였다.

루프 구성에 관한 신뢰도 해석은 이미 활용되고 있는 해석적 방법을 통해 분석하였으며, 여러 가지 사례모델을 통해 루프구성에 따른 신뢰도 변화도 제시 하였다.

단방향 전력공급이 배전계통이 루프 구성으로 인해 양방

† 교신저자, 펠로우회원 : 송실대 공대 전기공학부 교수 · 공박  
E-mail : jckim@ssu.ac.kr

\* 정 회 원 : 송실대 공대 전기공학부 박사수료

\*\* 정 회 원 : 전력연구원 송배전연구소 선임연구원

접수일자 : 2009년 4월 7일

최종완료 : 2009년 6월 3일

항 전력공급의 형태로 변경됨으로써, 단락용량의 변화, 양방향 보호협조 등이 문제점이 있지만 운전상의 기술적인 문제점은 없다는 가정을 전제로 해석하였다.

## 2. 수정된 RBTS Bus2 모델 및 단일 루프의 모델

### 2.1 각 모델의 단선도 비교

배전계통 신뢰도 해석에 모델중 하나인 RBTS Bus2 모델은 수지상 계통으로 상시개방스위치의 동작을 통해 루프 구성이 가능한 학습모델이다[1].

본 논문에서는 일반적인 수지상의 모델은 상기 모델에 리클로저를 추가하였고, 단일루프의 구성모델은 상시개방스위치를 닫아 폐로를 구성하게 하였다.

또 다른 모델은 부하점(Load Point)의 좌측에 선로개폐기가 추가된 모델을 이용하였다.

그림 1은 일반적인 리클로저(R)가 채용된 수지상의 RBTS Bus2의 모델의 단선도를 나타낸다[8]. 상시개방 스위치의 동작에 의해 상정사고 시 정전구간을 줄여주게 되는데 본 논문에서는 A 모델로 사용하였다.

그리고 A 모델의 상시개방 스위치가 상시 닫혀있는 상태를 B, C 모델로 사용하고 D, E 모델은 그림 2처럼 선로개폐기가 부하의 양단에 설치된 루프 모델을 의미한다.

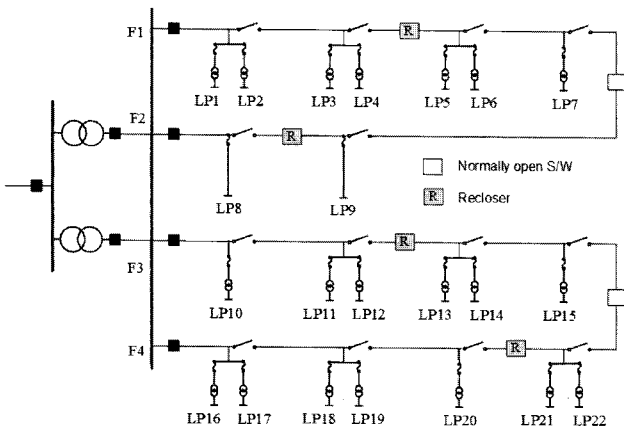


그림 1 일반적인 RBTS Bus2 모델  
Fig. 1 A general RBTS Bus2 model

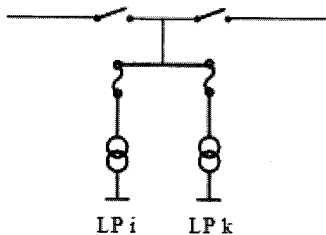


그림 2 선로 개폐기가 추가된 D, E 모델  
Fig. 2 D, E models of added line switch

표 1은 비교대상이 되는 각 모델에 대한 구성을 나타낸다.

표 1 각 모델의 루프구성

Table 1 Loop configuration of each model

Model	구성	선로 용량의 제약
A	일반 수지상 RBTS Bus2	-
B	A model + Normally close S/W	적용
C		미적용
D	B model + 부하점 좌측 선로 개폐기 추가	적용
E		미적용

국내 배전계통의 하나의 피더 용량은 최대 10MW까지의 부하를 감당할 수 있으며, 비상시 14MW까지 전력공급이 가능하다. 그래서 각 부하의 용량을 국내실정에 맞게 변경하여 신뢰도 평가를 하였다.

수정된 부하용량의 산정기준은 기존데이터[1]에 대해 비상시 전력인 14MW를 기준으로 최대용량을 비율적으로 증가시켜 하나의 피더의 최대 용량을 14MW로 하였다.

그리고 수용가의 수 또한 평균전력과 비슷하게 하기위해 표 2와 같은 평균전력과 수용가 수를 수정하였다.

표 2 수정된 각 부하의 용량과 수용가의 수

Table 2 Modified the number of customers and each load capacity

피더	Load Point	기존 데이터		수정된 데이터	
		평균전력	수용가수	평균전력	수용가수
1	1	0.535	210	1.263	498
	2	0.535	210	1.263	498
	3	0.535	210	1.263	498
	4	0.566	1	1.336	3
	5	0.566	1	1.336	3
	6	0.454	10	1.071	12
	7	0.454	10	1.071	12
2	8	1	1	4.000	1
	9	1.15	1	4.600	1
3	10	0.535	210	1.484	585
	11	0.535	210	1.484	585
	12	0.45	200	1.248	555
	13	0.566	1	1.570	3
	14	0.566	1	1.570	3
	15	0.454	10	1.260	12
4	16	0.454	10	1.151	12
	17	0.45	200	1.141	513
	18	0.45	200	1.141	513
	19	0.45	200	1.141	513
	20	0.566	1	1.435	3
	21	0.566	1	1.435	3
	22	0.454	10	1.151	12
변전소용량		12.29	1,908	34.42	4838

그리고 각 설비에 대한 신뢰도 데이터는 표 3을 사용하였으며, 선로개폐기의 동작시간과 연계점의 스위칭 동작시간등 스위칭 시간은 1시간으로 통일하였다.

표 3 각 설비의 신뢰도

Table 3 Reliability of each component

신뢰도 설비	고장률 [frequency/year]	복구시간 [hours]	비고
가공선로	*0.065	5	*km당 고장률
변압기	0.015	10	교체시간

### 3. 배전계통 신뢰도 평가

#### 3.1 신뢰도 지수

배전계통 신뢰도 평가의 기본은 계통의 상정사고를 통해 부하가 정전을 경험하게 될 경우에 대한 횡수와 지속시간을 기본으로 하고 있다. 각 구성설비들의 고장률( $\lambda$ ), 고장복구 시간( $r$ ), 연평균정전시간( $U$ )의 정보를 이용하여 각 부하점에 대해 평가하게 된다[1,3].

그리고 평가대상의 되는  $k$  부하점으로 구성된 피더에 대한 기본신뢰도 지수의 계산은 식(1)-(3)과 표현할 수 있다.

$$\lambda_{feeder f} = \sum_{i=1}^k \sum_{j \in F(i)} \lambda_j + \sum_{j \in F(i_c)} \lambda_j \quad \text{frequency/year} \quad (1)$$

$$U_{feeder f} = \sum_{i=1}^k \sum_{j \in F(i)} \lambda_j r_j + \sum_{j \in F(i_c)} \lambda_j r_i \quad \text{hour/year} \quad (2)$$

$$r_{feeder f} = \frac{U_{feeder f}}{\lambda_{feeder f}} \quad \text{hour/frequency} \quad (3)$$

여기서  $j \in F(i)$ 는 부하점  $i$ 에 정전을 야기시키는 모든  $j$  설비의 집합을 나타낸다. 그리고  $j \in F(i_c)$ 는 부하점  $i$ 에 용량 제약으로 인해 정전을 경험하는 설비들의 집합을 의미한다.

일반적인 수지상의 배전계통에서  $j$ 설비의 상정사고로 인해 용량제약에 의해 정전구간이 늘어나는 경우는 없기 때문에 고려하지 않아도 되지만 단일 루프구성의 배전계통 구성으로 변경될 경우  $j$ 설비의 상정사고 모의 시 선로의 용량제약에 의해 일부 부하점에 대해 정전구간이 늘어날 수 있다.

즉  $j$ 설비의 상정사고 시 모든 부하를 감당할 수 없는 구간이 존재하게 되고, 국내 계통에서 비상시 14MW까지 전력 공급이 가능하므로 루프 배전계통의 기본 신뢰도 지수를 동일하게 평가 할 수 있다. 단, 설비의 중복고장은 고려하지 않았다.

그리고 계산된 값과 추가적인 부하 및 수용가 정보를 이용하여 추가 신뢰도 지수를 평가할 수 있다.

본 논문에서는 대표적인 시스템 지수인 SAIFI(System Average Interruption Frequency Index), SAIDI(System Average Interruption Duration Index)와 에너지지수인 ENS만을 비교대상으로 하였으며 각 지수에 대한 식은 (4)-(7)과 같다[1-3].

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \quad \text{interruptions/customer} \quad (4)$$

$$SAIDI = \frac{\sum \lambda_i U_i}{\sum N_i} \quad \text{hours/customer} \quad (5)$$

$$ENS = \sum L_{a(i)} U_i \quad \text{MWh/year} \quad (6)$$

여기서  $N_i$ ,  $\lambda_i$ ,  $U_i$ 는  $i$  부하점을 구성하고 있는 수용가의 수, 고장률, 연간 정전시간을 의미하며,  $L_{a(i)}$ 는  $i$  부하점에 연결된 평균부하를 나타낸다.

#### 3.2 정전비용

정전비용을 조사하는 방법은 다양하며 아직까지 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 편리하게 정량화 할 수 있게 수용가의 형태에 따른 CDF(Customer Damage Function)에 의한 정전비용을 사용하였다.

이 값은 캐나다에서 조사한  $k$ W당 정전비용을 기준으로 평가하였다[9].

표 4는 각 구간별 부하와 정전지속시간에 따른 비용과 해당되는 부하점을 나타내며, 각 시간대별 비용을 선형화하여 구간 비용을 산출하였다.

표 4 수용가의 종류, 위치 및 시간대별 정전비용

Table 4 CIC for customer groups, location and time

수용가군	부하점	시간대별 정전비용[원]				
		0-1분	1-20분	20-60분	1-4시간	4-8시간
주거용 수용가	1-3,10-12, 17-19	21	93	482	4914	15,690
산업용 수용가	8,9	1,625	3,868	9,085	25,160	55,810
업무용 빌딩 수용가	4,5,13, 14,20,21	4,778	9,878	21,060	68,830	119,200
상업용 수용가	6,7,15, 16,22	381	2,969	8,552	31,320	83,010

#### 3.3 단일루프 구성 시 신뢰도 평가

배전계통의 단일루프로 변경함으로써 신뢰도에 대한 영향 비교를 목적으로 현재의 보호계전 시스템을 그대로 적용하였다.

사고 발생 시 보호기기의 고장복구방법을 토대로 상정사고를 모의하여 식(1)-(3)의 계산을 통해 각 부하점의 기본 신뢰도 지수를 산출하였다.

본 논문에서 신뢰도 평가 시 리클로저는 단방향의 고장전류만을 감지하고 피더 차단기와 혹은 리클로저와 리클로저의 협조를 그대로 적용하였다.

그림 3은 그림 1의  $F_1$ 과  $F_2$ 의 루프 배전계통의 리클로저의 위치에 따라 3부분의 지역으로 분류하였다.

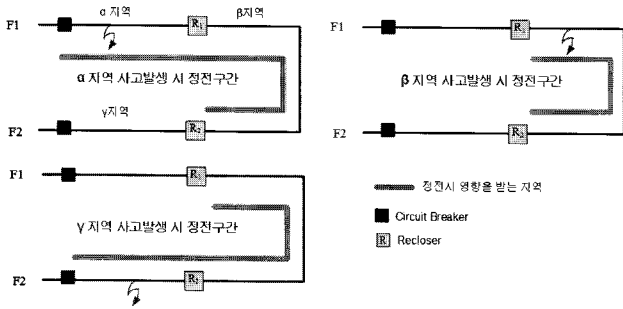


그림 3 단일 루프의 리클로저 의한 지역분류  
 Fig. 3 Location classification of singular loop by recloser

단일루프 신뢰도 평가시 다음과 같은 가정을 통해 고장 복구 시간을 산정하였다.

α지역에서의 상정사고시  $CB_{F1}$ 은 트립되고  $F_2$ 의 고장전류에 의해  $R_2$ 도 트립이 된다. 이후 α지역과 β지역은 정전을 경험한 후, 선로개폐기가 존재한다면 고장구간 절체 후 선로개폐기 조작으로 고장구간을 분리시킨다. 그리고 선로개폐기와  $CB_{F1}$ 조작으로 정전구간을 축소시킨다. 하지만 γ지역은  $F_2$ 피더를 통해 정전 없이 정상공급이 되기 때문에 정전을 경험하지 않는다.

β지역에서의 상정사고는  $F_1$ 의 고장전류를 감지하는  $R_1$ 과  $F_2$ 의 고장전류를 감지하는  $R_2$ 이 트립되어 β지역을 제외한 나머지 지역은 정전을 경험하지 않는다.

#### 4. 신뢰도 및 정전비용 비교

##### 4.1 신뢰도 지수 비교

기존 연구[1]를 보면 피더에 단로기를 설치하고 간선에 퓨즈와 연계점에 대체 공급할 수 있는 전력원이 존재하는 구조가 다른 연구사례와 비교 시 가장 좋은 신뢰도 지수를 나타내었다.

즉 설비를 추가하여 계통의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 것은 한계가 있다는 것을 의미한다. 그리고 상정사고 시 보호구간이 신뢰도에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 본 논문에서 배전계통의 구성변경에 목적으로 현재 수지상 구성을 루프형식으로 변경함으로써 신뢰도가 향상되는 정도를 분석하였다.

##### 4.1.1 피더용량제약을 고려하지 않은 경우의 비교분석

A 모델의 경우 대체공급 가능한 연계소스가 존재하고 상정사고 시 100% 대체공급이 가능한 전제로 신뢰도가 분석되었다. 하지만 보호계전방식과 피더의 용량이 충분하다면 양방향으로 상시공급 가능한 단일루프 계통으로(C 모델) 업그레이드 가능하다.

C 모델이 A 모델과 차이는 계통의 사고로 인한 일부 지역은  $F_2$ 피더로부터 전력을 공급받을 수 있다는 것이다.

D, E 모델의 경우 기존의 부하점의 양쪽에 설치된 개폐기는 사고구간을 자동으로 절체할 수 있는 능력을 지닌 모델로 가정하였다.

양방향 전력공급으로 인해 현재의 보호계전방식으로 보호협조가 불가능하다. 향후 양방향 보호계전방식은 실현가능할 것이며, 이미 전력IT기기의 개발과 [6][10]등의 연구논문, 송전계통의 보호협조방식등은 루프배전계통에서의 보호협조는 향후 가능하게 될 것이다. 하지만 본 논문에서는 현재의 보호협조 방식을 그대로 사용하고 각 보호기기간의 T-C곡선의 협조를 100%라 가정하였다.

양방향 전력공급이 가능한 단일루프 배전계통 변경 시 선로의 용량의 제약이 없는 사례 모델에 대한 신뢰도 지수의 변화는 표 5와 같다.

표 5 A, C, E모델의 신뢰도 지수 결과

Table 5 The result of reliability index of A, C, E model

신뢰도 지수	SAIFI			SAIDI			ENS		
	A	C	E	A	C	E	A	C	E
feeder 1	0.162	0.163	0.053	0.682	0.684	0.389	6.121	6.426	3.341
feeder 2	0.120	0.213	0.052	0.504	0.596	0.260	4.332	5.184	2.236
feeder 3	0.163	0.165	0.061	0.687	0.689	0.382	6.153	6.982	3.305
feeder 4	0.208	0.210	0.058	0.716	0.718	0.367	6.326	6.813	3.334
System	0.177	0.179	0.058	0.695	0.697	0.379	22.932	25.406	12.216

수지상의 A 모델에 비해 C 모델은 SAIFI의 경우 -1%, E 모델은 67%가 향상되었으며 SAIDI의 경우 각각 -0.3, 45%가 향상되었다. 그리고 ENS의 경우 각각 -11%, 37%가 향상된 것으로 분석되었다.

현재의 수지상 계통을 루프로 구성할 경우 C 모델에서 보듯이 시스템 평균 정전횟수는 루프구성에 따라 영향을 받은 수용가가 많아지게 되고, 그 영향에 대한 지속시간 역시 길어지게 되었다. 하지만 E 모델의 경우 수지상의 계통보다 신뢰도가 향상되었다.

위의 결과에서 보듯이 배전계통의 구성을 단일루프로 변경할 경우 사고에 대한 영향과 그 지속시간은 단순히 루프 구성만으로 해결할 수 없는 것을 알 수 있다. C모델로의 업그레이드 시 반드시 보호계전기의 동작은 양방향 전력에 대한 감지능력을 지닌 계전기로 바뀌어야 하며, 보호계전방식에 대한 연구도 함께 진행이 되어야 한다.

방향성 계전기의 사용은 정전구간을 줄일 수 있고, 신뢰도 평가 시 방사상의 계통보다 향상된 결과를 얻을 수 있다.

가장 좋은 신뢰도를 지닌 루프 계통은 E의 모델로 예를 들어 비용차동 계전기의 방식과 같이 사고구간을 자동으로 절체할 수 있는 능력을 지닌 보호계전방식이 된다면, 루프 배전계통에서 최상의 신뢰도를 얻을 수 있을 것이다.

##### 4.1.2 피더용량제약을 고려한 경우의 비교분석

수지상의 2개의 피더를 루프로 변경하였을 경우 기본적으로 상정사고 시 모의계통에서 피더가 감당할 수 있는 용량은 최대 14MW이다. 예를 들어 B 모델계통의 1, 4, 7번 선로의 상정사고 시  $F_2$ 에서 전력공급이 가능하지만 부하의 용량이 14MW를 초과하기 때문에 모든 부하에 대한 전력공급이 불가능하다. 그래서  $LP_1, LP_2$ 는 개폐기를 절체 후  $F_1$ 으

로부터 전력공급을 받을 수 있지만 LP<sub>3</sub>, LP<sub>4</sub>의 경우 전력공급은 해당 선로의 수리시간 후에 가능하다. 결국 C, E의 모델에 비해 정전구간이 늘어나게 되며, 표 6은 B, D모델에 대한 신뢰도 결과이다.

표 6 B, D 모델에 대한 신뢰도 지수 결과  
Table 6 The result of reliability index of B, D model

신뢰도 지수	SAIFI		SAIDI		ENS	
	B	D	B	D	B	D
feeder 1	0.163	0.127	0.748	0.708	6.933	5.224
feeder 2	0.213	0.076	0.596	0.382	5.184	3.211
feeder 3	0.165	0.177	0.817	0.958	7.515	5.734
feeder 4	0.210	0.142	0.854	0.784	7.288	5.080
System	0.179	0.150	0.807	0.823	26.921	19.249

D 모델의 경우 A 모델에 비해 시스템의 평균 정전횟수는 향상되지만 시스템의 평균 정전시간은 늘어난 것으로 볼 수 있다. 이는 계통사고가 미치는 과급효과가 크게 때문이며, 루프계통에서의 단점중에 하나 일 것이다. 그리고 ENS는 수치상 배전계통의 모델보다 27% 향상된 것으로 분석되었다.

전체적으로 상정사고 모의 시 피더의 용량이 충분하지 않아 정전구간이 확대뿐만 아니라 루프구성에 대해 다른 피더의 사고에 의해 영향을 받는 수용가가 늘어났기 때문에 향후 신뢰도 분석 시 분할연계를 고려하거나 선로의 용량을 증가시키면 신뢰도는 더욱 좋은 결과값을 나타낼 것이다.

그림 4는 모든 모델에 대한 수치상의 A모델 대비 시스템 신뢰도의 향상율을 나타낸다.

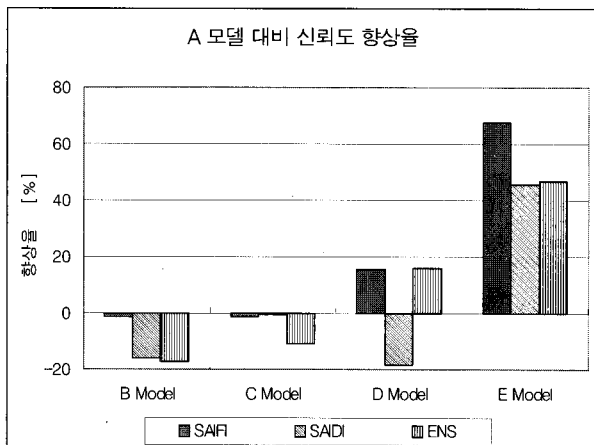


그림 4 루프구성모델의 신뢰도 향상율  
Fig. 4 Reliability improvement of loop structure models

4.2 정전비용 비교

표 7은 각 모델에 대한 부하점에 대한 정전비용을 나타낸다.

정전비용은 표 4에 나타난 시간에 해당하는 시간대별에 대한 수용가군의 분류에 의한 데이터를 이용하여 정전비용

을 산출하였다.

표 7 각 모델의 부하점에 대한 정전비용  
Table 7 CIC for load points of each model

Load Point	정전비용[만원]				
	A모델	B모델	C모델	D모델	E모델
1	34	34	34	31	13
2	39	39	39	35	17
3	39	53	39	53	17
4	2,001	2,438	2,001	2,438	1,346
5	2,343	2,540	2,540	1,491	1,491
6	714	792	792	372	372
7	693	772	772	387	387
8	2,081	2,081	2,081	2,081	1,339
9	2,393	3,060	3,060	1,540	1,540
10	40	40	40	36	15
11	46	63	46	106	19
12	40	54	40	89	17
13	2,618	3,114	3,114	1,710	1,710
14	2,660	3,157	3,157	1,753	1,753
15	791	990	990	386	386
16	745	745	745	651	400
17	35	35	35	29	11
18	34	48	34	45	11
19	39	53	39	49	16
20	2,432	2,432	2,432	1,602	1,602
21	2,393	2,846	2,846	1,563	1,563
22	748	930	930	416	416
System Total	22,956	26,315	25,805	16,864	14,444

같은 루프 방식에 따라 선로의 용량제약에 유무는 정전비용에 영향을 미치게 된다.

그림 5는 A 모델 대비 시스템 전체 정전비용의 향상율을 나타내며, 수치상의 A 모델에 비해 다른 모델에서 시스템 전체 정전비용이 -17%~47%의 비용을 줄일 수 있는 결과가 도출하였다.

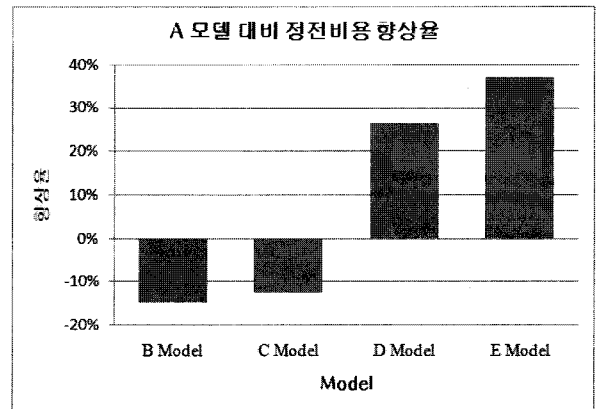


그림 5 시스템 정전비용의 향상율  
Fig. 5 Improvement rate of system CIC

현재의 보호계전방식 및 선로용량을 기준으로 평가하였지만 양방향 계전기의 사용과 분할연계를 고려한다면 좀 더 현실적인 결과를 도출할 수 있을 것이다.

선로의 용량제약이 모델에 미치는 영향은 정전구간의 확대와 정전지속시간의 증가로 원인이 된다. 하지만 B와 C모델의 경우 리클로저의 사용으로 정전횟수에는 영향이 없고, 용량제약으로 인해 정전구간의 증대로 SAIDI와 ENS 그리고 이에 따른 비용에 영향을 주었다.

양방향 고장전류를 감지하여 고장을 절제할 수 있는 방향성 리클로저의 사용은 A 모델에 비해 정전구간을 축소할 수 있을 뿐만 아니라 건전구간은 두 개의 피더를 통해 전력공급이 가능하므로 수지상의 모델에 비해 신뢰도가 향상될 것이다. 이를 위해서는 보호협조의 방법이 기존에 방법을 이용될 수 없으며, 새로운 협조방법에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

가장 이상적인 배전계통의 루프구성은 모선을 중심으로 2개의 차단기를 설치하는 D, E모델이며, B, C모델은 방향성 계전기의 사용으로 개선될 수 있을 것이다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 배전계통의 신뢰도 향상을 위해서 현재의 수지상 구성에서 루프구성으로 변경하였을 경우 신뢰도 지수와 정전비용의 관점에서 분석하였다.

이 모든 결과는 정전비용에 대한 CDF와 분할연계를 고려할 경우 달라질 수 있다.

현재의 수지상 구성에서 상시개방스위치를 연결함으로써 단일루프형태로 변경하였을 경우 선로의 허용용량의 제약유무를 분리하여 5가지 모델에 대해 시스템의 신뢰도 지수와 정전비용을 비교하였다.

B, C모델의 경우 현재의 보호협조방법을 그대로 적용하여 신뢰도와 정전비용은 방사상의 모델 보다 좋지 않은 결과를 나타내었다.

루프 구성에 의해 계통의 사고시 정전구간을 축소시킬 수 있는 보호협조 알고리즘이 필요하다는 것을 의미하며, 양방향 고장전류를 신속히 고장으로부터 분리될 수 있다면 방사상 계통에 비해 정전구간을 줄일 수 있다.

방향성 계전기가 도입된다면 B, C모델에 대한 신뢰도 및 정전비용은 재평가 되어야 할 것이다.

E모델의 경우 SAIFI의 경우 67%, SAIDI는 45%를 향상시킬 수 있었고, 에너지 손실을 나타내는 ENS의 경우 47%까지 손실을 줄일 수 있었다. 이로 인한 정전비용은 37%까지 비용을 줄일 수 있는 것으로 분석되었다.

향후 선로의 용량을 증대하거나 분할 연계된 배전계통 구성의 적절한 제어를 통해 이 보다 더 향상된 신뢰도로 전력공급이 가능할 것이다.

배전계통의 루프구성이 운전상의 어려움과 보호협조의 어려움이 있지만 신뢰도 측면에서 배전계통의 그리드를 위해서는 E모델이 가장 좋은 시스템이 될 것이며, 양방향 계전기의 사용으로 B, C모델도 수지상의 배전계통 구조보다 전력공급 신뢰도가 향상된 그리드 계통이 될 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 주관으로 수행된 과제임.

## 참 고 문 헌

- [1] R. Billinton, R. N. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press, New York, 1984
- [2] R. N. Allan, R. Billinton, L. Goel, "A reliability test system for educational purpose-basic distribution system data and results, IEEE Trans. Power Systems Vol. 6, No.2 1991
- [3] R. E. Brown, "Electric power distribution reliability", Marcel Dekker, 2002
- [4] B. Pagel, "Energizing international drive," T&D World, 2000.
- [5] Tsai-Hsiang Chen, Wei-Tzer Huang, Jyh-Cherng Gu, Guan-Chih Pu, Yen-Feng Hsu, Tzong-Yih Guo, "Feasibility study of upgrading primary feeders from radial and open-loop to normally closed-loop arrangement", IEEE Trans. Power systems, Vol. 19, No.3, 2004
- [6] Robert Fanna, "Closed loop system pilot project", CEPSI, 2008
- [7] L. Goel, "A comparison of distribution system reliability indices for different operating configurations", Electric Machines and Power Systems, 1999
- [8] S. Y. Yun, "Reliability evaluation of power distribution systems considering the short duration undervoltage", Ph.d. dissertation of Soongsil university, 2002
- [9] G. Tollefson, R. Billinton, G. Wacker, E. Chan, J. Aweya, "A canadian customer survey to assess power system reliability worth", IEEE Trans. Power Systems Vol.,9, No., 3, 1994
- [10] Kun-Yuan Shen, Jyh-Cherng Gu, "Protection coordination analysis of closed-loop distribution system", Power System Technology Proceedings. PowerCon, Vol.2, No.2, 2002.

## 저 자 소 개



### 이 희 태 (李 羲 泰)

1976년 4월 2일생. 2002년 숭실대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사수료.

Tel : 02-824-2416

Fax : 02-817-0780

E-mail : visir@ssu.ac.kr



### 김 재 철 (金 載 哲)

1955년 7월 12일 생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1987년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 숭실대 전기공학부 교수.

Tel : 02-820-0647

Fax : 02-817-0780

E-mail : jckim@ssu.ac.kr



### 김 주 용 (金 周 勇)

1969년 9월 27일생. 1992년 경북대 공대 전기공학과 졸. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸(박사) 1994년 한국전력공사 입사. 현재 전력연구원 송배전연구소 선임연구원

Tel : 042-865-5116

Fax : 042-865-5116

E-mail : kimjy@kepri.re.kr