ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 62, No. 4, pp. 467~473, 2013
http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2013.62.4.467

정전비용과 신뢰도 분석을 통한 분할 개폐기의 적정 자동화율 도출 알고리즘에 관한 연구

Study on the algorithm for the Reasonable Switch Automation Rate with Customer Interruption Cost and Reliability Evaluation

채 희 석* · 신 희 상* · 조 성 민* · 문 종 필** · 김 재 철†
(Hui-Seok Chai · Hee-Sang Shin · Sung-Min Cho · Jong-Fil Moon · Jae-Chul Kim)

Abstract - The addition of disconnect switches to a distribution feeder or the replacement of the manual switches with the automatic switches do, in general, increase reliability by decreasing the duration of the outage of many to the customers on the feeder and reducing the outage section. However, the improvement of reliability in power distribution system causes an increase of the investment cost, for example, replacement costs, labor costs, and so on. For this reason - the balance between investment and reliability improvement - many studies about the appropriate level of investment have been conducted. In this paper, we suggest the algorithm for determining the reasonable switch automation rate in the power distribution system. We evaluate the customer interruption cost and reliability for several cases - these cases relate with the switch automation rate - in the domestic metropolitan power distribution system, estimate the effectiveness of changing the manual switch to automatic switch quantitatively. These results can help the determining on the disconnect switch's automation rate.

Key Words : Distribution system, Reliability, Disconnect switch, Automation

1. 서 론

현재 국내 배전계통은 전력을 단방향으로 공급하는 방사상 구조로 운영되고 있다. 방사상 구조는 배전선로에 사고가 발생할 경우, 인접해 있는 연계선로를 통해 전력을 공급받을 수 있도록 되어있다. 이러한 배전계통은 보호협조, 계통유지 및 운영이 용이하다는 장점을 가지고 있으나, 배전계통에 직접적으로 닿아있지 않은 수용가 입장에서 단방향 구조에 의한 전력공급의 중단은 계통신뢰도에 악영향을 미치게 된다[1].

위와 같은 문제를 해결하기 위해 배전계통의 설비확충과 기기의 유지보수를 통하여 계통의 신뢰도를 향상시키는 것도 하나의 방법이지만, 유지보수 비용 및 설치 부지 확보의 어려움 등으로 현실적인 어려움을 격고 있다. 이에 따라 과거에는 기존의 배전계통에서 많은 변화를 요구하지 않고 방사상 구조에서 루프구조로 변경하여 단방향이 아닌 양방향으로 전력을 공급하는 등의 신뢰도를 향상시키는 방법에 관한 많은 연구가 진행되었다[2-4].

* Dept. of Electrical Engineering, Soongsil Univ., Korea
** Dept. of Electrical Engineering, Korea National University of Transportation, Korea
† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Soongsil University, Korea
E-mail : jckim@ssu.ac.kr
Received : February 15, 2013; Accepted : March 10, 2013

현재 전력회사는 공급신뢰도의 저하를 막기 위해 고품질 전력설비 등 많은 노력을 기울이고 있는 동시에 배전계통에 분할 개폐기를 추가 설치하여 사고 및 작업으로 인한 정전범위를 축소시키는 방법으로 배전계통의 신뢰도를 향상시켜왔다. 그러나 분할 개폐기의 추가로 고장구간을 축소시켜 신뢰도를 증진시키는 것도 일정 분할 수가 초과하면 그 효과가 미비하다는 연구결과가 발표되었다.

배전선로에서 자동 개폐기는 기능이 고장구간을 분할하여 정전 구간을 축소시킬 뿐만 아니라 개폐기에 내장된 전류계측 기능을 통하여 고장시 고장 전류를 인지하여 고장구간을 찾아내고, 구간별 부하를 계산하여 최적의 부하절체 방안을 제시하고, 운전원이 현장에 출동하지 않고도 개폐기를 원격조작할 수 있어, 보호협조, 배전설비 신뢰도 극대화 등의 장점이 있다. 따라서 최근에는 분할 개폐기에 사용한 수동 개폐기를 자동 개폐기로 교체하여 신뢰도를 개선하는 방향으로 그 정책이 변화하고 있다[5].

본 논문에서는 정전비용과 신뢰도를 고려한 분할 개폐기 자동화율의 적정수준을 결정할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 전문가 혹은 실무자의 경험에 의존적인 투자결정 방안을 대신하여, 비전문적인 실무자로 하여금 타당한 자동화율을 선정하는데 기여할 것이라 할 수 있다. 또한 대도시의 모의 배전계통을 구성하고, 수동 개폐기로 설치되어있는 분할 개폐기를 자동 개폐기로 교체하여 이로 인해 발생하는 신뢰도 비용과 신뢰도를 분석하여 본 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

2. 배전계통 신뢰도

신뢰도는 수용가가 요구하는 전력을 얼마나 안정적으로 공급할 수 있는지를 평가하여 그 목적에 따라 정량적으로 나타내는 것을 의미한다. 이러한 신뢰도 지수중에서 배전계통의 신뢰도 지수는 기본 신뢰도 지수와 시스템 신뢰도 지수가 있다. 본 논문에서는 기본 신뢰도 지수와 시스템 신뢰도 지수를 사용하여 모의 배전계통의 신뢰도를 분석하고 평가하였다.

2.1 신뢰도 지수 및 정전비용(Reliability Index and Expected Customer Interruption Cost)

기본 신뢰도 지수는 각 구성 설비들의 고장률(λ), 고장 지속시간(r), 연간 비가용률(U)의 정보를 이용하여 각 부하점에 대해 평가하게 된다. 그러나 기본 신뢰도 지수는 시스템의 중요한 특성은 반영하고 있지만, 시스템 동작 및 응답의 완전한 표현을 나타내는 데는 어려움이 있다. 기본 신뢰도 지수의 결과를 토대로 시스템 신뢰도 지수의 형태를 나타낼 수 있다.

본 논문에서는 여러 가지 시스템 신뢰도 지수중에 전력회사에서 중요하게 여기고 있는 신뢰도 지수중 하나인 SAIDI(System Average Interruption Duration Index)를 계산하여 분할 개폐기 자동화에 따른 신뢰도 변화를 평가할 것이다. 식 (1)은 SAIDI를 표현하고 있다.

$$SAIDI = \frac{\sum N_i U_i}{\sum N_i} \quad [hours/customer] \tag{1}$$

여기서, N_i, U_i는 i부하점을 구성하고 있는 수용가의 수, 연간 비가용률을 의미한다[6].

배전계통 신뢰도를 평가하는 방법 중에서 고객들이 받는 피해를 경제적인 금액으로 환산하여 평가하는 방법이 정전비용이다. 정전비용은 부하의 종류, 전력공급 지장의 지속시간, 부하량 등에 따라 발생하는 피해비용이 크게 달라진다.

본 논문에서의 정전비용은 연간 평균적으로 정전이 발생함으로 인해 발생되는 피해에 대한 기대금액으로 정의하고, 가치 평가법에 따라 이를 평가하며, 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$ECOST_{ij} = \sum_{i=1}^{N_e} L_i \sum_{j=1}^{N_e} c_{ij}\lambda_{ij} \tag{2}$$

여기서, c_{ij}는 i부하점에서 정전을 유발할 수 있는 요소 j에 의해 발생하는 전력사용량 당 정전비용, L_i는 부하량, λ_{ij}는 i부하점에 정전을 유발할 수 있는 요소 j의 고장률, N_e는 i부하점까지 정전을 유발할 수 있는 요소의 수이다[7].

2.2 신뢰도 비용(Reliability Cost)

신뢰도 비용은 전력계통의 신뢰도를 높이기 위해 사용되는 비용을 뜻하며, 크게 공급자비용과 정전비용으로 구성된다. 또한 공급자비용은 투자비용과 운영비용으로 나눌 수 있다. 이러한 공급자비용은 설비의 신설, 교체 등에 필요한 설비 비용, 공사비용 등과 같은 투자비용과 시스템을 운영하며 유지/보수, 운영자에 대한 인건비 등과 같은 운영비용이 포함된다. 본 논문에서는 설비 자동화에 대한 인원감축 등으로 인한 인건비 절감 등은 고려하지 않고, 투자비용은 한 번에 일괄적으로 발생되는 지출의 형태, 운영비용의 경우 유지/보수, 통신 등 연간 지속적으로 지출이 일정한 형태의 자금흐름으로 가정한다.

앞서 언급한 정전비용의 경우, 연간 발생하는 기대비용으로 정의했기 때문에, 공급자비용 또한 마찬가지로 연간 발생하는 비용으로 환산할 필요가 있다. 연간 동일 자금열로 환산하는 방법은 식 (3)과 같다.

$$FCOST_{AEC} = FCOST_P\left[\frac{int\ (1+int)^N}{(1+int)^N - 1}\right] \tag{3}$$

여기서, $FCOST_{AEC}$는 일괄적으로 발생하는 모든 투자비용의 연간 등가 비용, $FCOST_P$는 현재 발생한 모든 투자관련 일괄 비용, int는 이자율, N은 설비의 기대 수명이다.

따라서 연간 발생하는 공급자비용은 식 (4)과 같이 정리할 수 있다.

$$ICOST = FCOST_{AEC} + MCOST \tag{4}$$

여기서, $ICOST$는 연간 발생하는 총 공급자비용, $MCOST$는 연간 발생하는 총 운영비용을 동일자금열 형태로 표현한 것이다. 따라서 앞서 언급한 신뢰도 비용은 다음 식 (5)와 같이 정리 할 수 있다.

$$RCOST = ECOST + ICOST \tag{5}$$

2.3 개폐기 자동화율(Switch Automation Rate)

본 논문에서는 배전선로 내에 존재하는 수동 분할 개폐기를 자동 분할 개폐기로 단계적으로 교체하는 방안을 모의하여 신뢰도 분석과 신뢰도 비용을 평가한다. 배전선로 내에서 전체 분할 개폐기 수에 대한 자동 분할 개폐기의 비율을 개폐기 자동화율이라 정의하고 아래의 식 (6)로 나타내었다.

$$Automation\ Rate[\%] = \frac{N_{A.DS}}{N_{A.DS} + N_{M.DS}} \times 100 \tag{6}$$

여기서, $N_{A.DS}$는 자동 분할 개폐기의 수, $N_{M.DS}$는 수동 분할 개폐기의 수이다. 그림 2의 모델에서 단계적으로 자동 개폐기 교체를 모의하여 최종적으로 그림 3의 모델과 같이 분할 개폐기 전부가 자동 개폐기인 상태의 신뢰도 평가 및 신뢰도 비용 분석을 수행하였다.

3. 개폐기 자동화율 결정 알고리즘 및 사례연구

3.1 개폐기 자동화율 결정 알고리즘

배전자동화사업은 '98년 소규모 배전자동화시스템, '02년

종합배전자동화시스템을 보급하기 시작하였으며, '08년 종합배전자동화시스템으로 단일화를 완료하여 16개 사업본부 190개 사업소에 종합배전자동화시스템을 설치하였다. 또한 '07 ~ '10년까지 배전자동화시스템 광역화를 추진하여, 배전센터 41개소를 신설, 배전센터 인근사업소의 배전자동화시스템을 운전할 수 있도록 하였다[8].

한편 현행 자동화개폐기 설치목표는 '02년 5월 전력연구원에서 시행한 "배전계통 구성 및 운영기준의 제·개정에 관한 연구"를 근거로 책정된 것이다. 당시 대도시 분할 개폐기의 적정 자동화율은 약 20% 수준으로 제시되었다[9]. 그러나 설치목표 설정 후 10년이 경과함으로써 고품질 전력공급 요구 증가, 스마트그리드 추진 등 최근의 전력사업 환경변화를 미반영하고 있다는 점 등이 문제점으로 대두되고 있으며, 또한 배전자동화 사업 추진에 따른 정전시간 단축, 경제적 효과 등 정량적 성과분석이 미흡하다는 점이 지적되었다.

본 장에서는 합리적인 분할 개폐기의 자동화율을 결정할 수 있는 알고리즘을 제시하고, 대도시의 모의 배전계통에 제시된 알고리즘을 적용하였다. 이를 통해 배전 자동화 투자사업의 성과분석을 정량적으로 평가하고, 신뢰도를 반영한 배전자동화 적정 개폐기 자동화율을 제시하여 합리적 정책수립에 기여하고자 한다.

본 논문에서 제안하는 정전비용과 신뢰도 지수를 고려한 알고리즘은 아래의 그림 1과 같다.

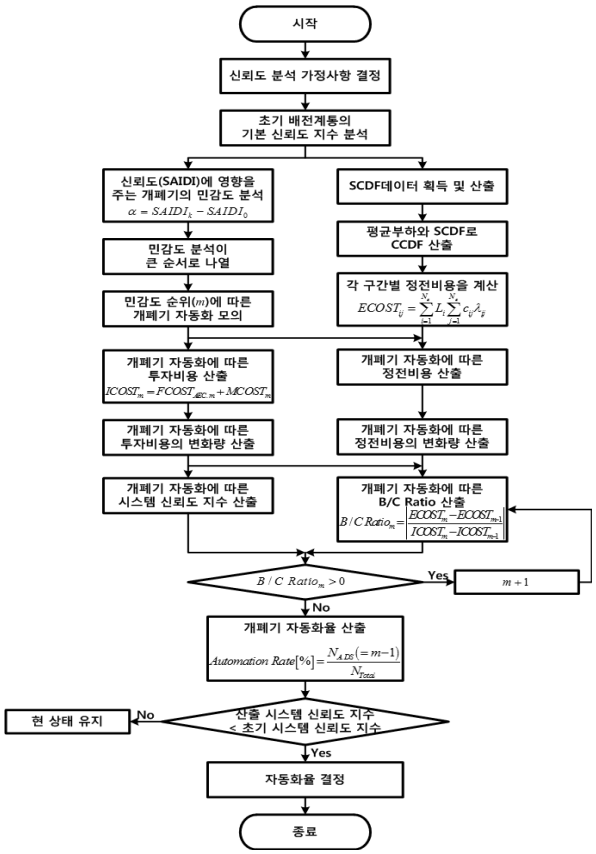


그림 1 개폐기 자동화율의 적정수준 결정 알고리즘

Fig. 1 Algorithm for the reasonable switch automation rate decision

3.2 사례 연구

3.2.1 모의 배전계통 구성

배전계통의 구성에 있어서 분할은 일반적으로 사고 발생시 해당 배전 선로의 정전범위를 축소시키기 위하여 분할 개폐기로 적당한 구간을 구분하는 것을 의미한다. 또한 연계는 그 분할 구간에 대하여 공급여력이 있는 인접 배전선로와 연계선을 통해 역송이 가능하도록 하는 것으로 말할 수 있다.

우리나라의 경우, 일반적으로 6분할 3연계 이상의 배전계통을 구성하고 있다[9,10]. 그림 2은 실제 배전계통을 바탕으로 구성한 대도시 모의 배전선로 모델이며 12분할 3연계의 형태를 가지고 있다. 배전계통 내에 존재하는 모든 분할 개폐기는 수동 개폐기를 이용하고 있는 상황이다.

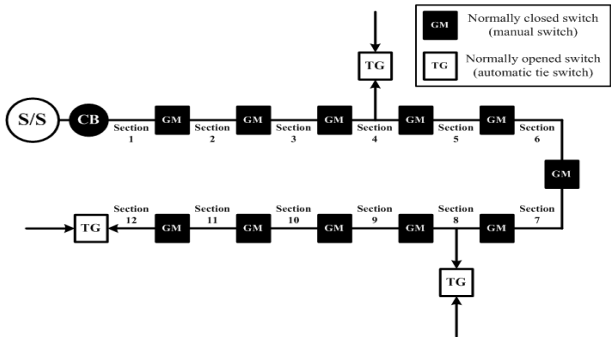


그림 2 개폐기 자동화가 진행되지 않은 도심 배전계통 모델

Fig. 2 Metropolitan distribution system model without switch automation

그림 2에서 나타낸 방사상 형태의 배전계통은 하나의 변전소에서 시작하여 공급여력이 존재하는 타 변전소 혹은 인접선로에 연계되는 형태로 구성하였다.

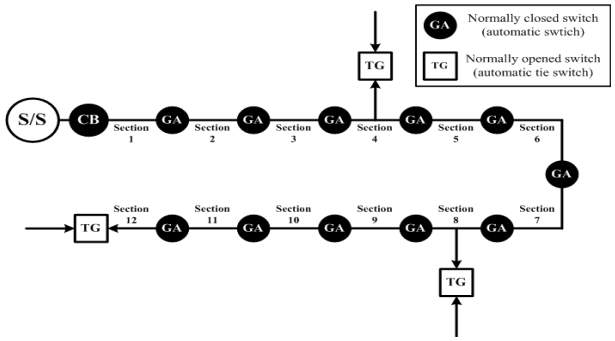


그림 3 개폐기 자동화가 진행된 도심 배전계통 단선도

Fig. 3 Metropolitan distribution system model with switch automation

그림 2에서 볼 수 있듯이 인접선로와 구분을 위한 연계 개폐기들은 상시 개방(Normally-opened)되어 있으며, 고장발생시, 인접 선로 및 변전소는 고장구간을 제외한 건전구간의 모든 부하를 감당할 여력이 있는 것으로 가정한다. 배전

계통 모델은 분할 구간 별로 동일 부하가 분할 구간 내에서 집중부하(lumped load)로 분포되어있고, 동일구간 내의 고장은 모든 부하가 동일하게 경험하는 것으로 가정하였다. 우리나라에 설치되어 있는 배전선로는 3연계 이상의 연계점을 가지고 있고, 고장 발생 시 절체 확률 및 연계 확률이 거의 100%에 근접한다. 따라서 본 논문에서는 고장발생시 재구성을 위한 연계 개폐기의 절체 확률 및 연계율을 100%로 가정하였다.

3.2.2 신뢰도 데이터

본 장에서는 앞서 언급된 대도시 배전선로 모델에서 부하의 종류, 부하량 및 선로 길이 등 신뢰도 평가에 필요한 데이터들을 나타내었다.

배전계통 모델의 총 선로는 10[km]를 기준으로 12분할하였으며, 계약전력 또한 10[MVA]를 분할별로 12등분하여 선로에 분포시켰다. 제안된 배전계통 모델의 부하 종류, 수용가수 및 부하량, 분할 구분별 부하량 및 분할 구간별 수용가수를 표 1에 나타내었다[11].

표 1 제안된 배전계통 모델의 부하특성
Table 1 Load characteristic for suggested model

부하종류	계약전력 [kW]	수용가수 [호]	분할 구간별 부하량 [kW]	분할 구간별 수용가수 [호]
주택용	2,777.016	612.937	231.42	51.08
일반용	3,318.689	128.573	276.56	10.71
교육용	340.476	1.600	28.37	0.13
산업용	1,605.813	13.533	133.82	1.13
농업용	527.823	87.238	43.99	7.27
가로등	56.749	21.368	4.73	1.78
심야	1,373.433	53.002	114.45	4.42
합계	10,000	918.251	833.34	76.52

표 2는 부하의 종류에 따라 전력사용량 당 정전비용을 나타내고 있다. 이 데이터는 2004년 전기연구원에서 발표한 자료에 2011년까지의 경제성장률을 적용하여 수정하였다[12-14]. 전기연구원 정전비용 자료에 포함되지 않는 심야용 부하와 가로등 부하의 정전비용은 각각 산업용과 일반용 정전비용과 동일하다고 가정하였다.

표 2 부하종별 전력사용량 당 정전비용
Table 2 Sector interruption cost

부하종류	고장 지속시간[won/kW]			
	1분	20분	1시간	4시간
주택용	165	3,290	10,241	38,763
일반용	4,916	9,841	27,240	117,095
교육용	50,612	145,503	230,569	401,467
산업용	49,363	97,207	159,139	301,703
농업용	918	101,126	495,302	1,265,177
가로등	4,916	9,841	27,240	117,095
심야	49,363	97,207	159,139	301,703

표 3은 제안된 배전계통 모델에서 자동 분할 개폐기로 교체하는데 필요한 투자비용 요소를 나타낸 것이다. 기존의 개폐기는 수동 개폐기이며, 단계적으로 자동 개폐기로 교체를 진행한다. 교체된 개폐기는 다음과 같은 기대 수명을 가지며, 일괄적으로 지출되는 비용의 경우, 기대 수명기간에 2011년도 한국전력공사 적정 투자 보수율 6.11%을 적용해서 연간 등가 비용으로 환산하였다. 또한 표 3에서 언급되고 있는 내용 중 자동 개폐기의 수명은 일반적으로 수동 개폐기의 수명을 30년으로 산정하나 자동 개폐기의 경우 수동 개폐기보다 구조가 복잡하여 10년 정도 단축한 20년으로 가정하였다. 여기서 $A.DSFCOST_P$는 현재가치로 환산한 자동 개폐기의 기기 및 교체 공사비용을 합산한 금액을 뜻하며, $M.DSFCOST_P$는 수동 개폐기의 단가를 뜻한다. 또한, 매년 자동 개폐기의 유지 보수에 사용되는 비용이 100만원씩 동일하게 사용되는 금액을 뜻하고, 이는 한국전력공사의 적정 투자 보수율을 적용하여 현가 환산 후 동일 자금열의 형태로 변환하는 과정이 필요하다.

표 3 제안된 배전계통 모델의 투자비용 요소
Table 3 Elements of investment for suggested model

$A.DSFCOST_P$ [won]	$M.DSFCOST_P$ [won]	$MCOST_A$ [won]	N [year]	int [%]	No. of SW
18,000,000	3,200,000	1,000,000	20	6.11	11

배전계통의 선로 고장률 및 수동/자동 개폐기에 따른 고장 복구시간은 표 4에 나타내었다. 여기서 $r_{s.manual}$은 수동 개폐기의 동작에 소요되는 시간, $r_{s.auto}$는 자동 개폐기 동작에 소요되는 시간을 뜻하며, 종래의 우리나라 일시고장 기준은 5분을 보다 심화하여 1분으로 적용하였다. 모든 보호기기의 동작에 대한 신뢰도는 100%로 반영하였다[15,16].

표 4 제안된 배전계통 모델의 고장률 및 고장복구 시간
Table 4 Failure rate and repair time for suggested model

	λ [f/yr*km]	r [hour]	$r_{s.manual}$ [hour]	$r_{s.auto}$ [hour]
Cable	0.01102	16	0.5	0.0833

4. 신뢰도 평가 결과 및 분석

국내 배전계통에서 신뢰도를 향상시키기 위해 분할 개폐기를 설치하여 고장 구간을 축소시키거나, 사고 발생시 연계선로를 통해 전력을 공급받는 등의 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 본 논문에서는 기존에 설치되어 있는 수동 분할 개폐기를 자동 분할 개폐기로 교체했을 경우 교체 비율에 따라 신뢰도에 어떠한 영향을 미치는지 평가하여 분석하였다.

제안된 알고리즘에 따라 선정된 개폐기 교체 우선순위 및 이에 따른 신뢰도 지수는 아래의 표 5와 같다.

표 5 제안된 알고리즘에 따른 개폐기 교체 우선순위
Table 5 Priority order to replacement the automation switches with suggested algorithm

개폐기 번호	SAIDI [min/호]	ECOST [won]	민감도 α	교체우선순위 m
G0	11.850	123,563,583	-	-
G1	11.429	118,095,750	0.421	11
G2	11.085	113,622,068	0.766	9
G3	10.817	110,142,538	1.033	7
G4	10.626	107,657,160	1.225	5
G5	10.511	106,165,933	1.340	3
G6	10.472	105,668,857	1.378	1
G7	10.511	106,165,933	1.340	2
G8	10.626	107,657,160	1.225	4
G9	10.817	110,142,538	1.033	6
G10	11.085	113,622,068	0.766	8
G11	11.429	118,095,750	0.421	10

또한 아래의 표 6은 개폐기를 표 5에서 부여된 우선순위에 따라 진행하였을 때 산출된 신뢰도 지수를 나타낸 것이다.

표 6 우선순위에 따른 개폐기 교체시 계통 신뢰도 지수
Table 6 Reliability index with replacement the automation switches followed the priority order

자동화율 [%]	SAIDI [min/호]	ECOST [won]	ICOST [won]	B/C Ratio
0.00	11.85	123,563,583	2,200,000	-
9.09	10.47	105,668,857	4,583,365	7.51
18.18	10.13	101,195,175	5,383,365	5.59
27.27	9.78	96,721,494	6,183,365	5.59
36.36	9.71	95,727,342	6,983,365	1.24
45.45	9.63	94,733,191	7,783,365	1.24
54.55	9.55	93,739,040	8,583,365	1.24
63.64	9.48	92,744,888	9,383,365	1.24
72.73	9.44	92,247,812	10,183,365	0.62
81.82	9.40	91,750,737	10,983,365	0.62
90.91	9.36	91,253,661	11,783,365	0.62
100.00	9.32	90,756,585	12,583,365	0.62

그림 4는 개폐기 교체순위에 따라 자동화가 진행됨에 따른 신뢰도 지수, SAIDI의 변화를 나타낸 것이다.

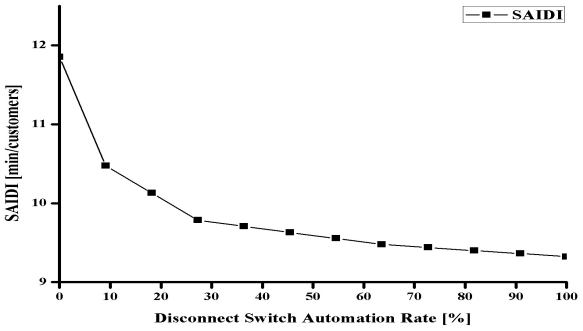


그림 4 개폐기 자동화에 따른 SAIDI의 분석 결과
Fig. 4 Result of the changes of SAIDI with switch automation

그림 4에서 볼 수 있듯이 개폐기를 수동에서 자동으로 교체함에 따라 배전계통의 신뢰도가 향상된다는 사실을 확인할 수 있다. 이는 수용가에서 1년 동안 경험하는 정전시간이 개폐기 자동화에 따라 점차 줄어든다는 것을 의미한다. 그러나 개폐기 자동화율이 증가함에 따라 신뢰도 지수의 개선효과는 지속적으로 감소하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 통해 개폐기 교체 시 가장 효과가 큰 순서에 따라 교체 순서를 부여하였고, 따라서 자동화율이 높아짐에 따라 그 효과가 미비한 개폐기들이 교체되어 결과적으로 자동화에 따른 신뢰도 개선효과는 감소하는 것으로 나타나게 된다. 이는 표 5에서 나타내고 있는 우선순위가 배전선로 말단으로 갈수록 효과가 미비하다는 것을 의미하고, 실제 배전선로 말단에 위치한 개폐기의 경우, 개폐기가 분할하는 구간 부하의 크기, 고객 수 등이 중앙에 위치한 것보다 작기 때문이라 사료된다.

제안된 알고리즘을 이용하여 분할 개폐기 자동화에 따른 경제적 가치를 B/C (Benefit/Cost) ratio로 정리하여 아래의 그림 5에 나타내었다. 여기서 이익(Benefit)은 분할 개폐기 자동화에 따른 정전비용 감소량으로 정의하였고, 비용은 이에 따른 투자비용의 증가분으로 정의하였다.

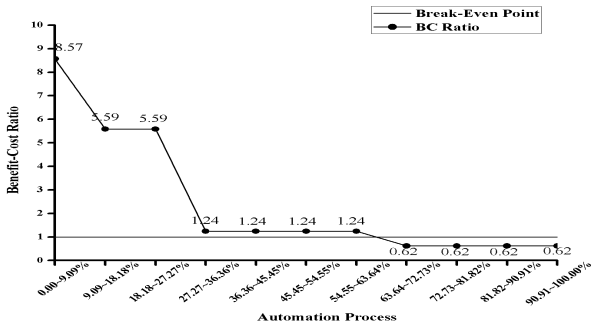


그림 5 개폐기 자동화에 따른 B/C ratio의 변화 추이
Fig. 5 Result of the changes of B/C ratio with switch automation

그림 5에서 볼 수 있듯이, 분할 개폐기의 자동화는 자동화율 0%부터 63.64%, 즉 11개의 분할 개폐기 중에서 7개의 개폐기를 자동 개폐기로 교체했을 때, 경제적 가치가 있는 것으로 분석되었고, 이는 63.64% 이상의 자동화율은 개폐기 교체에 따른 신뢰도 향상에서 발생하는 경제적 이익이 발생하지 않는 것을 의미한다. 따라서 본 알고리즘에서 제시하는 적정 수준의 분할 개폐기 자동화율은 63.64%로 결정할 수 있다.

제안된 알고리즘에 의해 결정된 분할 개폐기의 적정 수준 자동화율의 타당성을 검증하기 위해 분할 개폐기의 자동화에 따른 정전비용, 공급자비용 및 신뢰도 비용의 변화 추이를 분석하여 그림 6에 나타내었다.

그림 6에서는 SAIDI의 경우와 마찬가지로, 개폐기의 자동화가 진행됨에 따라 정전비용은 감소하고, 개폐기 자동화율이 일정 이상이 될 경우, 그 감소폭이 급격히 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

이와 대조적으로 투자비용은 자동 개폐기로 교체됨에 따라 선형적으로 증가하는 모습을 보여준다. 이는 모든 분할

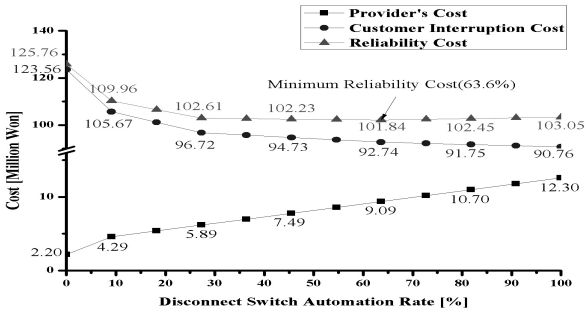


그림 6 개폐기 자동화에 따른 B/C ratio의 변화 추이

Fig. 6 Result of the changes of reliability cost with switch automation

개폐기를 자동으로 교체되면 교체되는 수에 따라 투자비용이 증가하기 때문이다.

또한 두 비용의 합인 신뢰도 비용은 자동화율이 점차 증가함에 따라 감소하다가 63.64%를 기점으로 다시 증가하는 것을 보여준다.

그림 4의 결과는 신뢰도 지수가 향상된다는 결과를 보여줄 뿐 자동화율 결정에는 구체적인 대안을 제시하기에 어려움이 있다. 따라서 그림 6와 같이 분할 개폐기의 자동화율을 신뢰도와 비용측면에서 비교하였을 때 경제적 이익의 영향에 의해 의존하므로 이를 고려하여 자동화율 선정이 가능해지며, 제안된 대도시 모델 안에서는 63.64%가 적정 자동화율로 분석되었다.

5. 결 론

현재 전력회사에서 진행되고 있는 자동 분할 개폐기의 교체는 전적으로 사업소에 위임하는 형태이며, 별도의 분석이나 절차 없이 사업소에서 근무하는 전문가의 경험에 의존하여 교체가 되고 있는 실정이다. 이러한 이유로 적정한 수준의 자동화율을 찾지 못하고 과투자 혹은 부족투자가 이루어지고 있어 한정된 재화를 효율적으로 운영하지 못하는 문제가 있다.

본 논문에서는 기존의 수동 분할 개폐기를 단계적으로 자동 개폐기로 교체함에 따라 발생하는 신뢰도 지수의 변화, 신뢰도 비용의 변화를 분석하였다. 이를 통해 배전계통의 신뢰도 수준을 정량적으로 표현하였고, 결과적으로 대도시 배전계통 모델에 대한 적정수준의 분할 개폐기 자동화율을 도출할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 이는 한정된 재화에 대한 투자 관리/운영 계획을 합리적으로 수립하고 적용하는데 효과가 있으리라 기대된다.

이에 따라 우리나라 계통 전체적인 적정 자동화율을 도출하고 자동 개폐기로 교체를 진행하여 계통 전반적인 최적 신뢰도 달성과 관련 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

[1] L. GOEL, “A Comparison of Distribution System Reliability Indices for Different Operating Configurations”, Electric Machines and Power Systems, Vol. 27, No. 9, pp. 1029-1039, Nov. 1999.

[2] T. H. Chen, W. T. Huang, J. C. Gu, G. C. Pu, Y. F. Hsu, and T. Y. Guo, “Feasibility Study of Upgrading Primary Feeders From Radial and Open-Loop to Normally Closed-Loop Arrangement”, IEEE Transactions on Power System, Vol. 19, No. 3, pp. 1308-1316, Aug. 2004.

[3] B. Pagel, “Energizing Internation Drive”, Transmiss. & Distrib. World, Apr. 2000.

[4] R. Fanna, “Closed Loop System Pilot Project”, CEPSI, 2008.

[5] N. H. Cho, J. H. Oh, B. N. Ha, and H. H. Lee, “The Switch Installation Criteria For Satisfying Future Reliability Goal”, KIEE Vol. 51A, No. 9, pp. 433-440, Sep. 2002.

[6] J. H. Park, S. M. Cho, B. H. Cho, H. S. Shin, and J. C. Kim, “A Study on the Reliability Estimation of Loop Distribution System Considering Directional Relay”, KIEE Trans., Vol. 59 No. 11, pp. 1942-1948 Nov. 2010.

[7] R. Billinton, and P. Wang, “Distribution System Reliability Cost/Worth Analysis Using Analytical and Sequential Simulation Techniques”, IEEE Trans. Vol. 13, No. 4, pp. 1245-1250, Nov. 1998.

[8] KIEE, “Distribution Engineering”, 2nd Edition, Bookshill, 2011.

[9] N. H. Cho, “A Study on the Optimal Number of Diving and Connection in Distribution System for Contingency Levels”, Chungnam National Univ. Feb. 2003.

[10] KEPRI, “A Development of Economic Program for Operation Capacity Increment and Configuration /Connection”, pp. 44-55, June 2001.

[11] KEPCO, “Statistics of Electric Power in Korea”, Vol 81. pp. 118-144, June 2012.

[12] ECOS, “Principal Economic Indicators”, pp. 11-12, Nov. 2012.

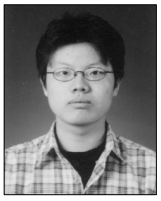
[13] KERI, “A Technology to Evaluate Reliability and Economy of Distribution Power System under Competition Structure”, pp. 79-212, Aug. 2004.

[14] C. M. Choo, “Reasonable Reliability Level in Power Distribution System Using Time-Varying Failure Rate and Customer Interruption Cost”, Soongsil Univ. June 2006.

[15] IEEE Std 493-2007, “IEEE Recommended Practive for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems”, 2007.

[16] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, “Electrical Power Systems Quality”, 2nd Edition, McGraw-Hill, 2002.

저 자 소 개



채 희 석 (蔡 熙 石)

1984년 10월 06일생. 2011년 숭실대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석박 통합과정

Tel : 02-824-2416
Fax : 02-817-0870
E-mail : selaff@ssu.ac.kr

신 희 상 (申 熙 尙)

1980년 09월 18일생. 2007년 숭실대 전기공학과 졸업. 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정 수료.

Tel : 02-824-2416
Fax : 08-817-0870
E-mail : shs8828@ssu.ac.kr

조 성 민 (趙 成 旻)

1980년 10월 03일생. 2003년 숭실대 전기공학과 졸업. 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사후 과정.

Tel : 02-824-2416
Fax : 02-817-0870
E-mail : dannyone@ssu.ac.kr

문 종 필 (文 鍾 必)

1977년 05월 27일생. 2000년 숭실대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국교통대 전기공학부 조교수.

Tel : 043-841-5146
Fax : 043-841-5140
E-mail : moon@ut.ac.kr

김 재 철 (金 載 哲)

1955년 07월 12일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1987년 서울대대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대 전기공학부 교수.

Tel : 02-820-0647
Fax : 02-817-0780
E-mail : jckim@ssu.ac.kr