

신뢰도 비용 최소화를 위한 개폐기의 최적 자동화율 도출에 관한 연구

Study of Drawing Optimum Switch Automation Rate to Minimize Reliability Cost

채 희 석* · 강 병 옥* · 김 진 석* · 문 종 필** · 김 재 철†

(Hui-seok Chai · Byoung-wook Kang · Jin-seok Kim · Jong-fil Moon · Jae-chul Kim)

Abstract – Replacing a manual switch installed in a feeder for a distribution system with an automatic one increases the reliability of the electric power system. This is because the automatic switch can shorten the duration of a fault the customer experiences by splitting the faulty section faster than the manual one does. However, improving the reliability of the distribution system may increase investment costs. Here, the investment costs include automatic switch cost, replacement work cost and labor cost. For this reason, importance should be attached to the proper balance between the increase of the investment costs and the improvement of the reliability of the distribution system. This article analyzed reliability index and economics when manual switches installed in a feeder (RBTS Bus2 model) was replaced by automatic ones. In addition, it attempted to draw the optimum rate of automation of manual switches by automatic ones using the GRG optimization method, considering the current economic requirements.

Key Words : Switch, Automation, Automation rate, Optimize, GRG method, Reliability, Reliability cost

1. 서 론

현재 대부분의 배전계통은 전력을 단방향으로 공급하는 방사상 구조로 운영되고 있다. 방사상 구조는 배전계통 급전선에 사고가 발생할 경우, 인접해 있는 정상상태의 인접선로를 통해 전력을 고객들에게 공급할 수 있도록 구성되어 있다. 방사상 배전계통은 보호협조, 계통 유지 및 운영이 쉽다는 장점을 가지고 있다[1]. 그러나 급격한 신재생 에너지원들의 개발과 함께 분산전원이 계통에 도입되면서 배전계통은 단방향 전력공급에서 양방향 전력공급 방식으로의 전환이 필요하게 되었다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 배전계통 급전선의 방사상 구조를 루프구조로 변경하여 단방향 전력공급이 아닌 양방향으로 전력을 공급하는 방안들이 개발되었다[2-4].

배전선로에서 자동 개폐기는 고장구간을 분할하여 정전구간을 축소시킬 수 있다. 또한 개폐기에 내장된 전류계측 기능을 통하여 고장발생시 고장전류를 인지하여 고장구간을 빠르게 탐색 할 수 있다. 이를 통해 구간별 부하량을 계산하여 최적의 부하 절체 방안을 제시하고, 요원이 현장에 직접 출동하지 않고도 원격으로 개폐기 조작을 가능하게 한

다. 따라서 최근에는 기존에 설치되어 있는 수동 개폐기를 자동 개폐기로 교체하여 신뢰도를 개선하는 방향으로 정책이 변화하고 있다[5].

한국에서는 한국전력공사가 스마트 전력 계통(Smart Power Grid)의 구현과 동시에 신재생 에너지 및 분산전원의 계통연계에 따른 전력수급 안정 및 신뢰도 개선을 위해 배전설비 즉 배전계통 개폐기 자동화의 중요성을 강조하였다. 한국전력공사는 한국의 배전선로에 설치되어 있는 개폐기의 자동화율을 2030년까지 90% 수준으로 향상시키겠다는 계획을 발표하였고, 연도별 자동 개폐기 교체 기본 계획을 수립하였다[6]. 그러나 자동 개폐기 교체 계획을 수립하는 데에는 개폐기 교체 우선 순위 결정이나 적정 자동화율 도출 등 여러가지 문제점이 있을 수 있다. 특히 한국에서는 개폐기 자동화 사업의 교체 우선순위 및 자동화율의 결정을 사업소의 운영자 의사에 위임하고 있다. 이러한 자동화율 결정 방법은 개폐기 자동화에 따른 신뢰도 개선 및 정전비용 감소 등 정량적인 성과 분석이 굉장히 미흡하다는 문제점을 갖고 있다.

따라서 본 논문에서는 배전계통 운영자가 보유하고 있는 배전선로에서 선로 별 적정 수준의 개폐기 자동화율을 도출하고자 한다. 이를 위해 정전비용과 투자비용 사이의 관계 및 신뢰도 지수를 고려하고, 자동화 달성시의 신뢰도 개선 효과를 정량적으로 확인한다.

2. 본 론

2.1 개폐기 자동화율

본 절에서는 배전선로에 존재하는 수동 개폐기를 자동 개폐기로 교체하는 데 있어 언급되는 자동화율을 정의한다. 본 논문에서 고려하는 개폐기는 급전선 내에 부하를 분할하

* 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

접수일자 : 2015년 11월 16일

수정일자 : 2015년 11월 27일

최종완료 : 2015년 11월 30일

기 위한 분할용 개폐기를 대상으로 한다. 고장발생시 인접 선로와 연결되는 지점에 설치되어있는 개폐기(연계용 개폐기)는 100% 자동이라고 가정하고 대상에서 제외한다. 따라서 개폐기 자동화율을 배전선로에 설치되어있는 전체 분할용 개폐기 수에 대한 자동 분할 개폐기의 비율이라고 정의하였다. 아래의 식 (1)은 위의 정의를 수학적으로 표현한 것이다[7].

$$AR(\%) = \frac{N_{auto.DS}}{N_{manual.DS} + N_{auto.DS}} \times 100\% \quad (1)$$

여기서, AR은 개폐기 자동화율, $N_{auto.DS}$ 는 배전선로에 설치되어 있는 자동 분할 개폐기의 수, $N_{manual.DS}$ 는 수동 분할 개폐기의 수이다.

2.2 신뢰도 비용

신뢰도 비용은 전력계통의 신뢰도를 높이기 위해 사용되는 비용을 뜻하며, 크게 공급자비용과 정전비용으로 구성된다. 공급자비용은 투자비용과 운영비용으로 나눌 수 있다. 여기서 투자비용은 설비의 신설, 교체 등에 필요한 설비비용, 공사비용 등을 포함한다. 운영비용은 시스템을 운영하며 유지/보수, 운영자에 대한 인건비 등과 같은 항목을 포함한다. 본 논문에서는 개폐기 자동화에 따른 운전 인원 감축 등으로 인한 인건비 절감 등은 고려하지 않았다. 또한 투자비용은 한번에 발생하는 지출의 형태, 운영비용의 경우 매년 지속적으로 지출이 일정하게 발생하는 현금흐름으로 가정한다. 공급자비용은 아래와 같이 정리할 수 있다.

$$ICost = FCost_{AEC} + MCost \quad (2)$$

여기서, ICost는 공급자비용, $FCost_{AEC}$ 는 연간 동일 자금 흐름으로 환산한 모든 설비 관련 투자비용, MCost는 연간 발생하는 총 운영비용을 의미한다.

정전비용은 연간 평균적으로 정전이 발생함으로 인해 발생하는 피해에 대한 경제적 기대 금액이다. 정전비용은 가치평가법에 따라 평가하며 아래의 식 (3)과 같이 정리할 수 있다[8].

$$ECost_i = L_i \sum_{j=1}^n c_{ij} \lambda_{ij} \quad (3)$$

여기서, $ECost_i$ 는 i 부하점에서의 정전비용, L_i 는 평균 부하량, c_{ij} 는 i 부하점에서 정전을 유발할 수 있는 component j 에 의해 발생하는 전력사용량 당 정전비용, λ_{ij} 는 i 부하점에서 정전을 유발할 수 있는 component j 의 고장률이다.

따라서 신뢰도비용은 아래와 같이 정리된다.

$$RCost = ECost + ICost \quad (4)$$

여기서, RCost는 신뢰도비용, ECost는 정전비용, ICost는 공급자비용을 의미한다.

2.3 GRG 최적화기법

일반화된 환산경사법(GRG 기법 : Generalized Reduced Gradient Method)을 간단히 설명하면 다음과 같다[9].

1. 설계변수 및 상태변수를 설정하고, 초기 벡터 X를 설정한다. 초기 벡터 X는 설계변수 Y와 상태변수 Z로 구성된다.
2. 일반화된 환산경사도를 계산한다.
3. 수렴여부를 검토한다. 모든 환산경사도가 수렴조건을 만족하면, 그때의 벡터 X를 최적해로 취한다. 만일 수렴조건을 만족하지 않으면 다음단계로 넘어간다.
4. 탐색방향 S를 결정한다. 탐색방향을 결정하는 방법은 steepest descent method 등이 있다.
5. 탐색방향을 따라 벡터X의 변화분을 찾는다.
6. 새로운 벡터 X_{new} 를 찾는다.
7. X_{new} 를 새로운 벡터 X로 하여 1단계로 되돌아간다.

일련의 과정을 진행하면 설계된 최적화 문제에 대한 최적해를 구할 수 있다.

3. 모의 배전계통의 구성

RBTS모델은 Bus2부터 Bus6까지 5개의 모선을 갖고 있다. 본 논문에서는 4개의 급전선을 갖는 배전계통 사업자 측면에서 급전선 별 최적 자동화율 도출을 위해 RBTS Bus2 계통을 모델로 선택하였다. 기본적인 계통데이터는 참고문헌 [10]를 참조하였다. 본 논문에서 사용된 배전계통은 RBTS Bus2에서 변압기의 신뢰도는 100%라고 가정하고 제외하였다. 수정된 모델은 아래의 그림 1과 같다.

그림 1에서 급전선(feeder)은 루프형태로 구성되어있지만, 운영할 때에는 방사상 방식으로 운영한다. 위의 그림에서

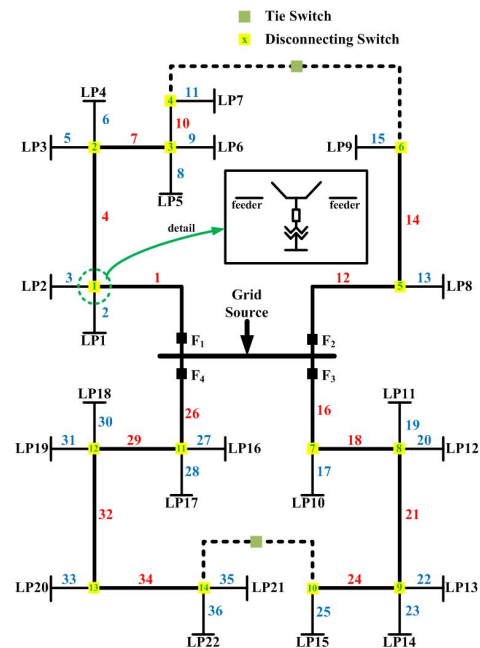


그림 1 수정된 RBTS Bus2 모델

Fig. 1 Modified RBTS Bus2

접선으로 표시된 부분에는 연계용 개폐기가 상시 개방 (normally open)상태로 설치되어 있다. 만일 선로에서 고장이 발생한다면 고장구간을 분리하고 연계용 개폐기가 close 상태로 전환되어 인접선로에서 고장구간 뒤쪽에 존재하는 선로 말단 부하에 전력을 공급할 수 있다. Bus2로 유입되는 전력공급 및 연결된 변전설비, 차단기 등은 이상적이라고 가정하였다.

검은 실선에서 구간을 분할하는 위치에 분할용 개폐기가 설치되어있다. 분할용 개폐기는 양방향에서 전력을 공급 받을 수 있도록 설계하였고, 기본 설치되어 있는 수동 개폐기로 설정하였다. 개폐기의 자동화가 진행되면 대상 개폐기의 동작 방식이 수동 조작에서 자동(원격조작이 가능해짐)으로 전환되는 것을 의미한다.

그림에서 붉은색으로 표기된 선로는 급전선(feeder)을 의미하며, 푸른색으로 표기된 선로는 분기선(lateral)을 의미한다. 선로에 대한 데이터는 아래의 표 1에 나타내었다[10].

표 1 피더의 유형 및 길이

Table 1 Feeder types and lengths

feeder type	length [km]	Feeder section number
1	0.60	2 6 10 14 17 21 25 28 30 34
2	0.75	1 4 7 9 12 16 19 22 24 27 29 32 35
3	0.80	3 5 8 11 13 15 18 20 23 26 31 33 36

본 논문에서 제안되는 배전계통의 고객 정보는 아래의 표 2와 같다. 기본적인 정보는 참고문헌 [10]과 동일하지만 본 논문에서는 small user를 industrial customer로 변경하였다.

표 2 수용가 데이터

Table 2 Customer data

No. of load points	Load points	Cust. type	Avg. load (MW)	No. of cust.
5	1-3, 10, 11	Residential	0.535	210
4	12, 17-19	Residential	0.450	200
1	8	Industrial	1.00	1
1	9	Industrial	1.15	1
6	4, 5, 13, 14, 20, 21	Govt/inst.	0.566	1
5	6, 7, 15, 16, 22	Commercial	0.454	10

배전계통 개폐기 자동화에 따른 신뢰도 분석에 사용된 데이터는 아래의 표 3과 같다.

여기서, λ 는 해당 component의 고장률을 의미하며 선로의 경우 (km/yr.km)이다. r 은 고장수리시간을 의미한다. s_{manual} 은 수동 개폐기가 고장구간을 분리하는데 소요되는 시간을 뜻하고, s_{auto} 는 자동 개폐기가 고장구간을 분리하는데 소요되는 시간을 뜻한다. 일반적으로 자동 개폐기에 의

표 3 신뢰도 및 시스템 데이터

Table 3 Reliability and system data

Component	λ [f/yr]	r [hr]	s_{manual} [hr]	s_{auto} [hr]
Busbar	0.001	2.0	-	-
Line	0.065	4	1	0

한 고장구간 분리는 고장점의 탐색과 동시에 진행되기 때문에 절체 하는데 필요한 소요시간이 약 1~3분 이내에 이루어진다. 본 논문에서는 자동 개폐기의 절체 효과를 극적으로 표현하기 위해 0분이라 가정하였다.

아래의 표 4는 고객 유형에 따른 고장지속시간에 따른 피해비용이다[11].

표 4 피더의 유형 및 길이

Table 4 Customer Damage Function [\$/kW]

Cust. type	Interruption duration				
	1 min	20 min	1 hr	4 hr	8 hr
Industrial	1.625	3.868	9.085	25.163	55.808
Commercial	0.381	2.969	8.552	31.317	83.008
Residential	0.001	0.093	0.482	4.914	15.690
Govt. & Inst.	0.044	0.369	1.492	6.558	26.040

마지막으로 개폐기의 가격, 기대수명 및 이자율을 아래의 표 5에 정리하였다. 수동 개폐기는 이미 설치되어 있다고 가정하였기 때문에 추가적인 설치비용은 발생하지 않고, 유지보수비용만 발생한다고 가정하였다. 자동 개폐기 가격에는 자동 개폐기의 설비 가격 및 교체 공사비용을 모두 포함한다. 자동 개폐기의 유지보수 비용에는 개폐기 점검 비용 및 개폐기와 운영시스템 사이의 통신관련 비용까지 포함한다.

표 5 투자비용 요소

Table 5 Elements of investment for suggested model

	Installation cost [\$]	Maintenance cost [\$/yr]	Expected life [yr]	Interest rate (%)
Auto DS	3,000	300	20	6.6
Manual DS	-	100	30	

신뢰도 비용 분석의 결과는 모두 연간 증가비용으로 환산하였다. 이는 대부분의 배전계통 신뢰도 지수의 평가기간이 1년을 대상으로 진행하기 때문이다.

4. 최적화 문제의 정의

배전계통 최적 자동화율 산출을 위해 다음과 같이 최적화 문제를 설계하였다.

목적함수 :

$$\min(RCost_{total}) \tag{5}$$

목적함수는 신뢰도비용의 최소화로 설정하였다. $RCost_{total}$ 는 다음의 식 (6)과 같이 정리된다.

$$RCost_{total} = \sum_{i=1}^n RCost_i \quad (6)$$

여기서, i 는 급전선의 번호, $RCost_i$ 는 i 급전선에서 발생하는 신뢰도비용을 뜻한다. 따라서 목적함수는 운영자가 소유하고 있는 배전계통 내에 각각의 급전선에서 발생하는 신뢰도비용을 모두 합쳤을 때 총 배전계통의 신뢰도비용을 최소화 하는 것이다.

제약조건 :

$$0 \leq AR_i \leq 100\% \quad (7)$$

$$AR_i \geq AR_{i,base} \quad (8)$$

$$SAIDI_{system} \leq SAIDI_{target} \quad (9)$$

식(7)에서 AR_i 는 급전선 i 의 자동화율이다. 따라서 각 급전선의 자동화율은 0%에서 100% 범위 안에 존재해야 하며 이를 초과할 수 없다. 식(8)에서 $AR_{i,base}$ 는 급전선 i 의 초기 자동화율을 의미한다. 최적해를 찾는 과정에서 급전선의 자동화율은 현재보다 낮아질 수 없다. 식(9)는 운영자가 달성하고자 하는 신뢰도 지수의 목표값이다. 본 논문에서는 SAIDI를 목표 지수로 선택하고 목표값을 15분 이내로 설정하였다.

5. 결과 및 분석

각 급전선에서 분할 개폐기의 자동화 순서는 아래의 표 6에 정리하였다. 개폐기의 자동화 순서는 각 급전선에 설치된 개폐기를 대상으로 개폐기 자동화에 따른 SAIDI 민감도를 분석하여 가장 개선효과가 큰 개폐기부터 우선적으로 진행하였다.

표 6 개폐기 자동화 순서

Table 6 Automated sequence of disconnecting switch

Feeder number	Automated sequence of DS
F1	2 ⇒ 3 ⇒ 1 ⇒ 4
F2	5 ⇒ 6
F3	8 ⇒ 7 ⇒ 10 ⇒ 9
F4	11 ⇒ 12 ⇒ 13 ⇒ 14

각 급전선마다 자동화에 따른 신뢰도 지수는 표 7에 정리하였다.

F1과 F4의 경우 자동화율 100% 달성시 SAIDI는 각각 11.58, 10.58분을 달성 할 수 있다. 신뢰도비용은 75%에서 최소값을 갖게 되는데 이는 공급자비용과 정전비용을 고려했을 경우 F1, F4에서의 최적 자동화율은 75%라는 의미를 갖는다. F2의 경우는 자동화율 100%에서 신뢰도비용이 최소가 되었다. 이는 F2는 100%까지 공급자비용의 증가보다

표 7 신뢰도 분석 결과

Table 7 Results of reliability analysis

Feeder No.	AR [%]	SAIDI [min/cust.yr]	SAIFI [f/cust.yr]	ENS [kWh/yr]	RCost [\$]
F1	0	22.69	0.23	1377.53	4462.27
	25	19.77	0.19	1199.84	4438.10
	50	16.84	0.14	1022.15	4413.94
	75	13.92	0.09	844.45	4389.77
	100	11.58	0.05	702.30	4465.32
F2	0	17.87	0.14	640.16	4758.28
	50	14.94	0.09	535.35	4280.49
	100	12.60	0.05	451.50	3993.15
F3	0	22.56	0.24	1172.00	2876.39
	25	19.44	0.18	1010.49	3023.01
	50	16.52	0.14	859.07	3190.12
	75	13.59	0.09	707.65	3357.22
	100	11.25	0.05	586.52	3585.80
F4	0	21.89	0.23	1290.86	4419.56
	25	18.77	0.18	1114.58	4368.54
	50	15.85	0.13	949.31	4350.37
	75	12.92	0.08	784.05	4332.19
	100	10.58	0.04	651.84	4412.54

정전발생으로 발생하는 정전비용의 감소효과가 훨씬 큰 것을 의미한다. 반면 F3의 경우 자동화율 0%에서 최소 신뢰도비용을 갖게 되는데, 이는 공급자비용의 증가보다 정전비용의 감소가 작다는 것을 의미한다. 따라서 F3는 개폐기를 자동화했을 때 얻는 경제적 이익이 없다고 할 수 있다.

급전선의 자동화율 조합을 통해 구성할 수 있는 배전계통 자동화 방법은 총 375가지가 존재한다. 또한 계통 전체의 SAIDI_{system}은 22.38 ~ 11.15분 사이에서 달성 가능하다.

주어진 최적해와 이때의 신뢰도 지수는 아래의 표 8에 정리하였다.

표 8 최적해 및 신뢰도 지수

Table 8 Optimum solution and reliability index

F1	F2	F3	F4	SAIDI _{system} [min/cust.yr]	RCost [\$]
100%	100%	0%	100%	14.89	15747.4

최적해의 검증을 위해 구성 가능한 모든 경우에 대하여 Microsoft Excel을 이용하여 계산하고 SAIDI_{system}이 15분 이하인 경우를 정리하였다. 그 결과 SAIDI_{system}이 15분 이하인 경우는 총 105가지 경우가 존재했다. 산출된 결과의 신뢰도비용이 적은 순서로 정렬하고 그 결과는 아래의 그림 2에 나타내었다.

그림 2에서 확인 할 수 있듯이 배전계통 목표 신뢰도를 달성함과 동시에 최소 신뢰도 비용을 얻을 수 있는 자동화율 구성 방법은 최적해로 도출된 결과와 같다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 도출된 최적해는 올바른 결과이다.

1	F1	F2	F3	F4	SAIDI _{sys}	ICOST	RCOST
26	100%	100%	0%	100%	14.89	6144.36	15747.40
51	100%	100%	25%	75%	14.62	6144.36	15813.67
76	75%	100%	25%	100%	14.66	6144.36	15818.46
96	100%	100%	25%	100%	13.86	6618.79	15894.02
100	75%	100%	50%	75%	14.45	6144.36	15905.22
101	100%	100%	50%	75%	13.65	6618.79	15980.78
121	75%	100%	50%	100%	13.69	6618.79	15985.57
125	100%	100%	50%	50%	14.61	6144.36	15998.95
126	50%	100%	50%	100%	14.69	6144.36	16009.74
146	100%	50%	0%	100%	14.90	5669.92	16034.74
150	100%	100%	50%	100%	12.89	7093.23	16061.12
151	75%	100%	75%	75%	13.48	6618.79	16072.33
166	75%	100%	75%	50%	14.44	6144.36	16090.51
170	50%	100%	75%	75%	14.48	6144.36	16096.50
171	100%	50%	25%	75%	14.62	5669.92	16101.01
174	75%	50%	25%	100%	14.66	5669.92	16105.81
175	100%	100%	75%	75%	12.68	7093.23	16147.88
176	75%	100%	75%	100%	12.72	7093.23	16152.68
191	100%	100%	75%	50%	13.64	6618.79	16166.06
195	50%	100%	75%	100%	13.72	6618.79	16176.85
196	100%	50%	25%	100%	13.86	6144.36	16181.36
199	100%	100%	75%	25%	14.59	6144.36	16184.24
200	75%	50%	50%	75%	14.46	5669.92	16192.57

그림 2 Microsoft Excel을 이용한 신뢰도 평가 결과
Fig. 2 Result of reliability evaluation using Microsoft Excel

6. 결 론

현재 한국전력공사에서 진행되고 있는 분할개폐기의 자동화 사업은 사업소에 위임하는 형태로 진행되고 있다. 이는 별도의 정량적 분석 없이 사업소에서 근무하는 전문가의 경험에 의존하여 교체 진행되고 있는 실정이다. 이는 적정 수준의 자동화율을 도출하기 어렵기 때문에 과투자 혹은 부족투자가 이루어진다는 문제를 발생시킨다.

본 논문에서는 변형된 RBTS Bus2 모델을 배전 사업자가 운영하는 하나의 계통이라고 가정하였다. 이 모델에서 급전선 별로 개폐기 자동화에 따른 신뢰도지수의 개선 및 신뢰도비용의 변화를 정량적으로 평가하였다. 또한 여러 개의 급전선의 자동화율 조합에서 제약조건을 만족하는 최적해를 도출하기 위해 최적화 문제를 설계하였다. 최적화 문제는 GRG 최적화 기법을 이용하여 최적해를 도출하였다. 전수검사를 통해 도출된 해의 타당성을 증명하였다.

본 논문에서 사용된 일련의 프로세스를 사용한다면 현재 한국 배전계통의 최적 자동화율 도출이 가능할 것으로 판단되며, 이는 한정된 재화에 대한 효율적인 사용이 가능해지리라 예상된다. 추후에는 연간 투입 가능한 자산에 제한이 생길 경우에 대하여 진행 연도에 따른 단계별 구성 시나리오 도출에 관하여 연구할 예정이다.

References

[1] L. Goel, "A Comparison of Distribution System Reliability Indices for Different Operating Configurations", Electric Machines and Power Systems, Vol. 27, No. 9, 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 Systems, Vol. 19, No. 3, Aug. 2004.
 [3] B. Pagel, "Energizing Internation Drive", Trasmmiss. & 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, Sep. 2002.
 [6] H. D. Yu, "KEPCO, To increase up to 90% about automation rate in power distribution system", Electimes, No. 2987, 2014.
 [7] H. S. Chai, H. S. Shin, S. M. Cho, J. F. Moon, and J. C. Kim, "Study on the Algorithm for the Reasonable Switch Automation Rate with Customer Interruption Cost and Reliability Evaluation", KIEE, Vol. 62, No. 4, Apr. 2013.
 [8] R. Billinton, and P. Wang, "Distribution System Reliability Cost/Worth Analysis Using Analytical and Sequential Simulation Techniques", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, No. 4, Nov. 1998.
 [9] S. S. Rao, "Engineering Optimization Theory and Practice", 3rded., JohnWiley&Sons, 1996.
 [10] R. N. Allan, R. Billinton, I. Sjarief, L. Goel, and 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, May, 1991.
 [11] R. Billinton, and R. N. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems", 2nded., Plenum Publishing Corporation, 1996.

저 자 소 개



채 희 석 (蔡熙石)

1984년 10월 06일생. 2011년 숭실대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석박 통합과정
E-mail : selaff@ssu.ac.kr



강 병 옥 (姜炳旭)

1985년 1월 21일생. 2010년 숭실대 전기공학과 졸업. 2012년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.
E-mail : kangbw@ssu.ac.kr



김진석 (金辰碩)

1983년 1월 26일생. 2007년 서울산업대 전기공학과 졸업. 2009년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2014년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대 전기공학부 조교수.

E-mail : redwolf832@ssu.ac.kr



문종필 (文鍾必)

1977년 5월 27일생. 2000년 숭실대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국교통대 전기공학부 부교수.

E-mail : moon@ut.ac.kr



김재철 (金載哲)

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

E-mail : jckim@ssu.ac.kr