

## A Loop Configuration Algorithm Considering Constraints in Distribution System

조 보 현\* · 조 성 민<sup>†</sup> · 박 진 현\* · 신 희 상\*\* · 김 재 철\*\*\*  
 (Bo-Hyeon Cho · Sung-Min Cho · Jin-Hyun Park · Hee-Sang Sin · Jae-Chul Kim)

**Abstract** - In this paper, we focused on the loop distribution system to solve the international issues of energy depletion and global warming. The conventional method of reconfiguration of distribution system was moving open points of switches from an actual switch position to another, while an appropriate switch must be opened to preserve the radial structure and this procedure is continued til there is no further loss reduction. However, the loop distribution system is the best optimization method to minimize loss than the other methods which is preserving radial structure. So we analyzed 3 types of loop distribution system upgraded from radial distribution system by changing normally open switch to normally closed switch. The simple 3 types of model system for simulation were composed, and each types of loop system were simulated in accordance with varying parameters. As a result of simulations, the loss reduction was different for each types of loop distribution system and each loop types have constraints for composing loop distribution system. The algorithms propose the method how to construct loop distribution system regarding constraints. Type I that needs least requirements get least loss reduction and Type III that needs most requirements get maximum loss reduction. On the other hand, Type I was most feasible distribution system to be realized.

**Key Words** : Loss, Loop, Distribution, Optimization, Algorithm

### 1. 서 론

최근 전 세계적으로 에너지의 사용량이 급등함에 따라서 현재 가장 크게 사용되는 화석 에너지의 고갈 및 화석 연료의 사용에 따른 지구 온난화 문제가 높게 떠오르고 있다. 이로 인해 우리나라에서도 풍력, 태양광, 연료전지 등의 신재생 에너지의 개발 및 보급이 국가적으로 추진될 뿐 아니라 현재 계통에서의 에너지 효율 향상이 요구된다. 특히 우리나라는 자원적인 면과 공간적인 면으로 볼 때, 전력수요의 특성이 매우 밀집되어있고 전력수요가 급증하는데 반해 계통의 설비 증설은 미흡한 실정이다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 기존의 설비용량을 더 큰 대용량 기기로 교체할 수 있으나, 이는 경제적인 부담이 매우 크다. 그러므로 이에 대한 대안으로 배전 계통의 최적화에 대한 문제가 오래전부터 현재까지 계속 되어 왔다. 이러한 최적화 문제는 상시 개방점을 이동할 수 있는 가능한 모든 스위치에 대해 옮김으로써 부하를 하나의 선로에서 다른 선로로 이동시켜 손실 최소화를 구하는 방식[1], 연계 선로

의 양단의 전압을 비교하여 전압이 낮은 쪽으로 상시 개방점을 이동하며 가장 손실 감소가 큰 지점을 찾는 방식[2,3], Genetic Algorithm을 이용하여 손실이 최소화 되는 상시 개방점을 찾는 방식[4] 등으로 접근되어져 왔다. 하지만 결국 모든 최적화 문제는 개방된 스위치 점을 방사상 형태를 유지하면서 스위치 점이 선로를 이동하는 방식으로써 손실을 줄이고 선로들 간의 부하를 평형하게 하여 효율을 높이는 것을 목적으로 한다.

하지만, 본 논문에서는 앞서 소개한 계통의 재구성이 아닌 보다 큰 전력 손실 감소를 얻을 수 있는 배전 계통 루프 구성에 대해 연구하였다. 이 루프 구성은 기존의 계통에서 전력이 계획된 바에 의해 단방향으로 흐르는 것과 달리, 옴의 법칙과 KVL, KCL 등의 물리적인 법칙에 의해 양방향으로의 전력이 공급되어진다. 이러한 형태는 Loop flow 또는 Unsheduled flow라고 한다[5,6]. 이러한 배전 계통에서의 루프 구성은 오래전부터 진행되었으며, 현재는 대만에서 실제로 루프 계통이 구성되어 운전되고 있으며[7,8], 플로리다[9], 마카오[10]에서도 활발히 연구, 개발되고 있다.

본 논문에서는 루프 배전 계통을 3가지 Type으로 나누어 각 루프 구성에 따른 가능성을 판단하는 알고리즘을 제시하기 위해 모의 모델 계통을 구성하였고[7], PSCAD/EMTDC를 사용하여 각각의 Type에 대한 루프 계통을 손실에 대해 분석하였다.

\* 준 회원 : 숭실대 공대 전기공학과 석사과정  
 \*\* 정 회원 : 숭실대 공대 전기공학과 박사과정  
 \*\*\* 펠로우회원 : 숭실대 공대 전기공학과 교수 · 공박  
 † 교신저자, 정회원 : 숭실대 전기공학과 박사수료

E-mail : dannyyone@ssu.ac.kr

접수일자 : 2010년 9월 8일

최종완료 : 2010년 12월 15일

## 2. 본 문

### 2.1 루프 유형 및 모델 계통

배전 계통의 루프 구성에 있어서 손실에 대한 최대의 감소는 루프 구성이 이루어지는 피더 사이의 부하량에 차이가 클수록 손실에 대한 감소가 증가하므로, 본 논문에서는 루프 구성이 이루어지는 피더 사이의 부하량에 6 MVA 만큼의 차이를 두었고 이를 토대로 그림 1과 같은 모델 계통을 모의하였다.

모델 계통은 크게 두 개의 변전소 A, B로 구성되고, 변전소 내부에는 45/60 MVA 용량의 주변압기 Tr #1, #2, #3이 있으며 주변압기에서 나오는 피더의 길이는 모두 10km로 동일하다. 각 피더 전압은 22.9 kV이고 선로는 ACSR 160 mm<sup>2</sup>를 모의하였다. 피더에 위치한 부하는 각각 2 MVA, 1 MVA와 0.5 MVA에 모든 부하의 역률은 0.9이다. 피더에 설치된 부하 용량은 F#1과 F#3은 각각 2 MVA로 경부하 피더이고, F#2와 F#4는 8 MVA로 중부하 피더이다.

루프 배전 계통은 두 개의 방사상 피더를 개방되어있는 연계 스위치를 닫음으로써 이루어지는데, 루프의 구성은 표 1에서와 같이 3가지 Type으로 정의된다[7].

표 1 유형에 따른 루프 구성

Table 1 Loop Arrangements for each types

유형	
Type I	동일 변압기의 두 피더를 루프 구성한 것
Type II	동일 변전소의 다른 두 개의 변압기로부터 두 개의 피더를 하나의 루프로 구성한 것
Type II.1	Tie-breaker의 normally open
Type II.2	Tie-breaker의 normally closed(변압기 병렬 운전)
Type III	서로 다른 두 개의 변전소에 있는 서로 다른 변압기에서 두 개의 피더를 루프 구성한 것

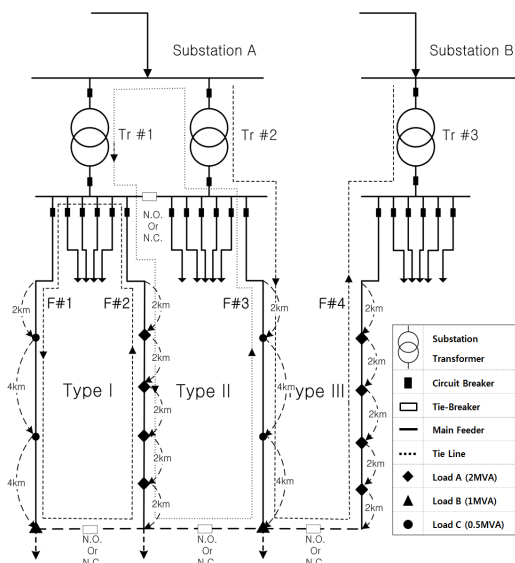


그림 1 모의 배전 계통

Fig. 1 Sample Distribution System

표 2는 배전 선로에 사용된 ACSR 160 mm<sup>2</sup>에 대한 특성을 나타내었다. 표 2에서 나타난 연속 허용 전류는 460 A로서 이는 우리나라의 배전 전압인 22.9 kV를 고려할 시, 각 배전 선로의 허용 용량은 약 10 MVA 임을 알 수 있다.

표 2 ACSR 160 mm<sup>2</sup> 도체 특성[11]

Table 2 Conductor characteristic of ACSR 160 mm<sup>2</sup>

종류	공칭단면적 (mm <sup>2</sup> )	R (20℃, Ω/km)	X (20℃, Ω/km)	연속허용전류 (A)	순시허용전류 (A)
경심 알루미늄연선 (ACSR)	160	0.182	0.391	460	18300

### 2.2. 기본 고려 사항

배전 계통에서 방사상 계통을 재구성 하거나 루프 계통으로 구성하는 것과 같이 어느 한 쪽의 피더에 있는 부하가 다른 피더로 이동할 시 다음과 같은 몇 가지 요소를 고려한다[8].

- 변전소의 단락 전류, 용량 및 전압 Level
- 변압기의 정격, 임피던스, 부하 용량, 및 부하 특성
- 피더의 길이, 피더 용량, 부하의 크기, 부하 배치, 부하 특성

위의 요소들은 일반적으로 방사상 계통 운전 조건에도 포함되는 변수들이며 루프 계통 구성을 하기 위해서는 좀 더 많은 제약조건이 되는 변수들이 존재하게 된다. 그러므로 다음의 시뮬레이션에서는 위에서 나타난 기본 고려사항이 부하 이동시 그 정격 또는 제약 조건을 만족한다는 조건 하에, 루프 구성에 제약이 되는 변수들을 각 Type에 따라 살펴해보았다.

## 3. 시뮬레이션

본 논문에서는 피더 간 루프 구성 가능성에 관한 알고리즘을 제시하기 위해 PSCAD/EMTDC를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 2와 같은 모의 계통을 3가지 Type에 맞게 설계하였고, 각각의 유형에 맞는 주변압기의 탭, 변압기 병렬운전, 변전소의 위상 그리고 전압 level 등의 고려사항을 변수로 두고 루프 구성을 이루는 두 개의 피더에 대한 손실을 분석하였다.

### 3.1 Type I

Type I은 그림 2에서 변전소 A의 Tr #1에 있는 중부하 피더 F#1과 경부하 피더 F#2가 스위치를 닫음으로써 루프 구성하였다.

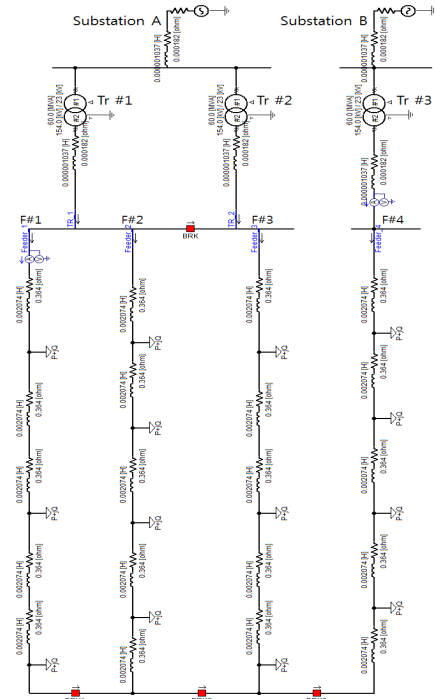


그림 2 유형별 모의 계통  
Fig. 2 Sample system for each types

그림 3은 위의 그림 2의 Type I과 같이 구성된 피더 F#1과 F#2를 초기에는 방사상으로 운전을 하고 1초 후에 두 피더를 묶는 연계 스위치 BRK1을 닫아 루프 구성한 것을, 각각의 피더에 흐르는 전류 크기를 나타내었다. 방사상 계통 구성 시 중부하 피더에 흐르던 전류는 루프 구성 후 전류의 크기가 감소하였으며 경부하 피더에 흐르던 전류는 루프 구성 후 그 크기가 증가하였음을 나타낸다.

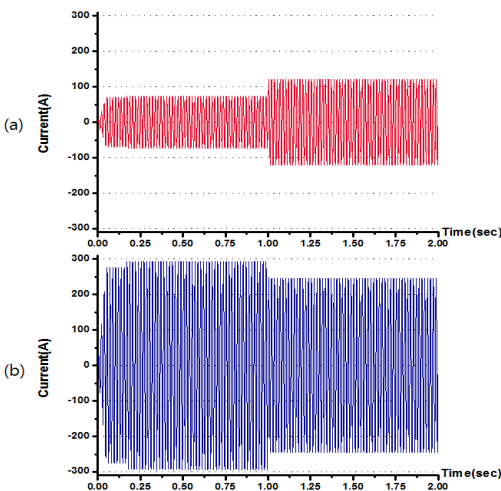


그림 3 Type I의 피더별 전류분석  
(a) F#1에 흐르는 전류 파형  
(b) F#2에 흐르는 전류 파형  
Fig. 3 Result of feeder current for Type I  
(a) Current waveform of F#1  
(b) Current waveform of F#2

표 3은 Type I의 방사상과 루프 구성의 손실 비교를 나타낸 것이다. 그림 3과 같이 F#2의 전류는 루프 구성 후 감소하였으나, F#1의 전류는 증가하였다. 그 결과, 표 3에서 피더 F#1과 F#2에서 발생한 손실이 101.61 kW에서 88.8 kW로 감소한 것을 알 수 있으며, 이는 식 (1)과 같이 손실은 전류의 제곱 형태이므로 대전류의 감소를 통해 손실을 크게 감소시킬 수 있다.

$$P_{loss} = \sum_{i \in N_B} \{r_i (|S_i|^2 / V_i^2)\} \quad (1)$$

표 3 방사상과 루프 구성의 손실 비교(Type I)  
Table 3 Loss comparison of radial and loop arrangements (Type I)

	Radial	Loop (Tr #1 %15)
F#1의 전력 (MW)	7.29	6.09
F#2의 전력 (MW)	1.81	3
F#1의 전류 (A)	207.89	173.48
F#2의 전류 (A)	51.62	85.35
손실 (kW)	101.61	88.8

### 3.2 Type II

Type II는 그림 2의 동일 변전소 A에서 서로 다른 두 개의 변압기 Tr #1, #2의 피더 F#2, F#3에 의해 루프 구성이 된다. 계통 구성상 두 개의 변압기를 사용하기 때문에 두 변압기의 병렬 운전 조건으로 인한 고려사항이 발생한다. 그러므로 Type II 시뮬레이션에서는, 변압기 병렬 운전 조건인 권수비, %임피던스, 극성, X/R비 가운데 %임피던스와 주변압기 Tap을 조정할 권수비를 변수로 두었고, 이를 제외한 나머지 조건은 동일하게 두어서 %임피던스와 주변압기 Tap이 다를 시 각각 루프 구성에 미치는 영향을 손실에 대하여 분석하였다. 이 때, 손실은 루프 구성되는 피더 F#2와 F#3에 대한 손실을 나타낸다.

표 4는 앞서 언급된 바와 같이 Type II 계통에 대해 %임피던스를 다르게 입력하고 방사상과 루프 계통을 비교하였다. 루프 구성에서 두 개의 주변압기에 따라 3가지 형태로 나뉘는데, 두 개의 주변압기가 동일한 %임피던스를 가지는 Case 1, 4%의 %임피던스 차가 있는 Case 2, 10% 차이의 Case 3로 구성하였고, 이를 스위치 BRK2를 열고 운전을 하는 Type II.1, 스위치를 닫고 변압기 병렬 운전을 하는 Type II.2로 시뮬레이션 하였다. 실제로 변전소 내의 주변압기 %임피던스 차는 위의 시뮬레이션 조건처럼 크지 않지만, %임피던스가 루프 구성에 어느 정도의 영향을 주는지 보기 위해 큰 차이를 두었다. 그 결과 배전 계통에서 루프를 구성하게 되면 주변압기의 임피던스 차이가 크더라도 그로 인한 2차측 전압의 차가 크지 않기 때문에 그에 따른 손실 차이는 크게 없었고, 방사상에서의 손실인 101.61 kW 보다는 모두 적은 손실이 발생하였다. 또한, Type II.1 보다는 Type II.2가 더 적은 손실을 갖는 것을 보이는데, 이는 Type II.2에서 변압기 병렬 운전을 하기 때문에 변압기 내부 임피던스가 작아지기 때문이다.

**표 4** 주변압기 임피던스 차에 대한 손실 비교(Type II)  
**Table 4** Loss comparison of differential impedance of Mtrs (Type II)

	Case 1 (Radial)	Case 2 (Loop)	Case 3 (Loop)	Case 4 (Loop)
Tr #1의 %Z	15	15	13	10
Tr #2의 %Z	15	15	17	20
F#2 전력 Type II.1(MW)	7.2929	5.6801	5.5153	5.2699
F#3 전력 Type II.1(MW)	1.8088	3.4099	3.5749	3.8236
F#2 전력 Type II.2(MW)	7.2929	6.0874	6.0874	6.0875
F#3 전력 Type II.2(MW)	1.8088	2.9999	2.9998	2.9998
손실 Type II.1(kW)	101.61	90	90.2	93.49
손실 Type II.2(kW)	101.61	87.3	87.25	87.28

표 5에서는 Type II 계통에서 두 개의 주변압기의 Tap을 변화시켜 그에 대한 손실 변화를 나타냈다. 이 때 사용된 Tap 값은 현재 주류가 되는 17 Tap의 0.125 p.u가 표준으로 사용되었다. Tr #1의 2차측 Tap은 1 p.u로 고정시키고, Tr #2의 2차측 Tap을 1, 1.0125, 1.025 p.u로 변화시켜 그에 대한 손실을 본 결과, 2차측 전압에 차이로 인해 Loop 구성으로 인한 손실 감소가 적어지는 것을 볼 수 있었다. 또한, Type II.1과 II.2 사이에도 역시 차이가 발생하는데 위의 표 4에서 나타난 시뮬레이션 결과와 같이 Type II.2에서 변압기 병렬운전을 하기 때문에, 손실이 더 적게 발생하게 된다.

**표 5** 주변압기 Tap 차에 대한 손실 비교(Type II)  
**Table 5** Loss comparison of differential Tap of Mtrs (Type II)

	Case 5 (Radial)	Case 6 (Loop)	Case 7 (Loop)	Case 8 (Loop)
Tr #2 2차측 전압(p.u)	1	1	1	1
Tr #3 2차측 전압(p.u)	1	1	1.0125	1.025
F#2 전력 Type II.1(MW)	7.2929	5.6801	5.47	5.26
F#3 전력 Type II.1(MW)	1.8088	3.4099	3.63	3.84
F#2 전력 Type II.2(MW)	7.2929	6.0874	6.11	6.14
F#3 전력 Type II.2(MW)	1.8088	2.9999	2.98	2.95
손실 Type II.1(kW)	101.61	90	94	100
손실 Type II.2(kW)	101.61	87.3	88.4	90

앞선 시뮬레이션을 통해 Type II.2에서 변압기 병렬운전을 통해 Type II.1보다 더 큰 전력 손실 감소를 얻을 수 있었고 주변압기의 임피던스 차 또는 변압기 탭 차이가 있더라도 방사상 형태보다 손실 감소에 대한 이득이 있는 것으로 보였다. 하지만 변압기 병렬 운전 시 2차측 전압에 차이가

있게 되면 부하 측 단자에서는 보이지 않는 큰 순환전류가 주변압기에 흐르게 되고, 변압기 탭에 정격까지 부하를 인가할 시에는 변압기가 심한 과부하 상태에 이르게 된다. 이를 방지하기 위해서 항상 변압기들 사이의 2차측 전압을 가능한 동일하게 하는 것이 대단히 중요하다. 이러한 순환 전류를 측정하기 위해서 단상 변압기 병렬운전 시의 순환전류식 (2)와 같은 방법 또는 삼상 변압기의 델타 권선 측 루프에 전압 방정식을 적용하여 순환전류와 비순환전류를 구하는 방법 등이 있다[12].

$$I_{cir} = \frac{E_{Tr1} - E_{Tr2}}{Z_1 + Z_2} \quad (2)$$

### 3.3 Type III

마지막으로 Type III는 그림 2에서 변전소 A와 B의 주변압기 Tr #2, #3의 피더를 연계 스위치로 묶어 루프 구성하였다. Type III 구성에 있어서 변전소 간의 위상차를 변수로 두고 그에 대한 손실 변화를 보기 위해서 각 변전소에 위치한 변압기 Tr #2, #3의 조건은 동일하게 두었다.

표 6에서는 Type III에 대한 시뮬레이션 결과로, 변전소 A와 B사이에 전압 위상차를 0°, 1°, 2°로 주어 변전소 간의 전압 위상차이가 루프 구성으로 인한 손실 변화에 어떠한 영향을 미치는지를 나타낸다. 방사상 구성에서의 손실이 101.61 kW 발생하던 것이, Type I에서 88.8 kW, Type II에서 87.2 kW로 감소하던 것보다, 다른 변전소 간의 루프 구성인 Type III에서는 81.72 kW로 가장 크게 감소되는 것을 표 6에서 볼 수 있다. 반면 루프 구성 시, 변전소간의 위상차가 2° 정도만 발생하더라도 그에 대한 손실은 방사상 구성보다도 더 큰 110.3 kW가 발생함을 볼 수 있었다. 이는 각 변전소간의 전압의 크기가 같더라도 위상이 다르므로써 위상 차이에 따른 전압의 크기에 차이가 발생하기 때문이며, 전력 조류는 식 (3)으로 표현된다. 이러한 선로 간 위상차가 더 크게 나면 계통에 역조류가 흐르거나 선로 용량 이상의 전류가 흐르는 등의 심각한 문제를 일으키게 된다.

**표 6** 변전소 위상차에 대한 손실 비교(Type III)  
**Table 6** Loss comparison of differential degree of Substations (Type III)

	Case 9 (Radial)	Case 10 (Loop)	Case 11 (Loop)	Case 12 (Loop)
Sub A 위상 (degree)	0	0	0	0
Sub B 위상 (degree)	0	0	1	2
F#3 전력 (MW)	7.2929	6.0874	6.3068	7.0766
F#4 전력 (MW)	1.8088	2.9999	2.7755	2.0162
손실 (kW)	101.61	81.72	91	110.3

$$S_{AB} = V_A \cdot I_A^* = V_A \left( \frac{V_A - V_B}{Z} \right)^* \quad (3)$$

$$= \frac{|V_A|^2}{|Z|} e^{j\angle Z} - \frac{|V_A||V_B|}{|Z|} e^{j\angle Z} e^{-j\theta_{AB}}$$

### 3.4 루프 구성별 제약 알고리즘 및 영향

본 논문에서는 각 Type에 따라 발생하는 제약 조건을 고려하여 루프 구성 가능성에 관한 알고리즘을 제안하였다. 제약 조건은 선행으로 실시된 Type I, II, III 구성의 시뮬레이션을 통해 얻을 수 있었고 각 제약에 따라 알고리즘이 구성된다.

#### 3.4.1 Type I

Type I은 루프 구성에 있어서 가장 실현 가능성이 높은 구성으로 동일 변압기를 가진 피더 간의 루프 구성이므로 앞서 기술된 기본 고려사항 이외의 별도의 제약 조건 없이 대상 피더를 루프 구성하는 것으로 이루어질 수 있다. 단, 루프 구성 시 최대의 손실 절감 효과를 얻기 위해서는 루프 구성되는 피더 말단의 전압 차가 클수록 손실이 크게 줄어들며 피더 사이의 부하 평준화가 이루어진다.

#### 3.4.2 Type II

그림 4는 Type II를 구성하기 위한 알고리즘으로 우선 루프 구성이 될 대상에 대해 기본 고려사항을 점검한다. 기본 고려사항의 조건들을 만족할 경우 Type II 루프 구성을 하고 Type II.1과 Type II.2를 구분한다. Type II.1의 경우 기본 고려 사항을 만족할 시에는 루프 구성하는 데에 다른 제약 없이 구성 가능하지만, Type II.2는 변압기 병렬 운전을 하기 때문에, 반드시 변압기 2차측 전압차로 인한 순환전류를 고려해야한다. 변압기 병렬운전 조건은 다음과 같다. 순환전류는 병렬 운전이 되는 변압기의 결선 방식에 맞게 측정하고 비순환 전류와 더했을 경우 변압기 용량을 넘지 않아야 한다. 만약 순환전류와 비순환 전류의 합이 변압기 정격 용량을 초과 할 경우, Type II 루프 구성이 되어서는 안 된다.

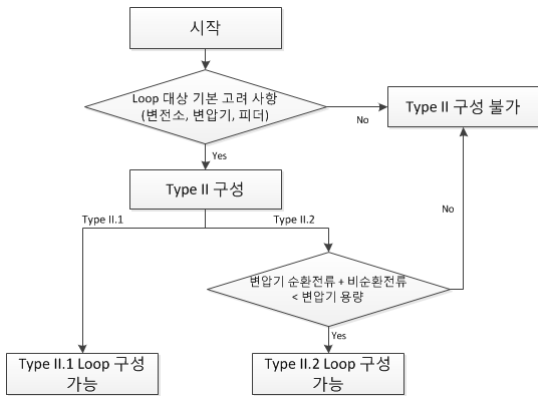


그림 4 Type II 루프 구성 알고리즘  
Fig. 4 Algorithm of Type II Loop System

#### 3.4.3 Type III

앞서 기술된 바와 같이 Type III는 루프 구성 시 모든 면에서 가장 큰 이득을 얻는 구성이지만 동시에 가장 많은 제약 조건을 가지며 그림 5에서는 Type III 구성에 관한 알고리즘을 나타내었다. Type III 루프 구성도 I, II와 마찬가지로 루프 구성 대상이 기본 고려 사항의 제약을 만족해야 한다. 루프 구성 시 변전소 사이의 위상차가 크게 되면 식 (3)에 의해 전력 조류가 한 변전소에서 대상 피더의 부하 용량

을 초과하게 되면 역 조류가 흐르므로 루프 구성을 해서는 안 된다. 또한 역 조류가 흐르지 않더라도 한 피더에서 다른 피더로 선로 용량 이상의 전류가 흐르지 않아야 한다.

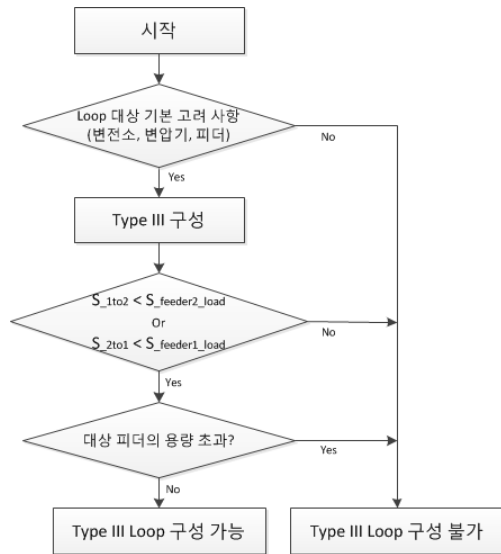


그림 5 Type III 루프 구성 알고리즘  
Fig. 5 Algorithm of Type III Loop System

## 4. 결 론

본 논문에서는 방사상에서 루프로 구성될 시 고려해야 할 기본 요구사항과 루프 구성을 세 가지 Type I, II, III에 따라 분석하고 각 Type의 제약에 따라서 루프 알고리즘을 제시하여 그 구성 여부 가능성을 판단하였다.

Type I은 피더의 허용 용량과 피더 내의 유지 전압을 고려하고 양방향 조류 흐름에 대한 보호협조 등을 해결 한다면, 가장 단순하고 실현 가능성 높은 루프 구성으로 실제로 대만의 Taiwan Power Company에서는 Type I의 형태로 운전하고 있다[3]. 하지만 Type I은 요구되는 적은 제약 조건 만큼 그에 대한 영향 또한 적다. 위의 시뮬레이션에서와 같이 Type I은 다른 Type II, III에 비해 손실에 대한 감소가 상대적으로 적다. Type II, III의 경우 Type I의 고려사항을 포함한 주변압기의 병렬 운전조건 및 변전소의 위상 등 고려해야 할 요소들이 많아져 루프 구성을 하는데 제약이 많지만, 그에 대한 손실 개선, 전압 유지 및 신뢰도 측면에서 크게 증가하는 등의 큰 효과를 얻을 수 있다.

루프 구성의 가능성은 그 구성에 따른 전기적인 알고리즘 뿐 아니라 그에 대한 보호협조 및 사고에 대한 문제도 더욱 연구되어야 하므로 추후 연구를 통해 분석하여 나갈 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2009T100200067)

참 고 문 헌

- [1] Baran ME, Wu FF. "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing" IEEE Trans Power Delivery 1989
- [2] Kashem MA, Moghavvemi M, Mohamed A, Jasmon GB. "Loss reduction in distribution networks using new network reconfiguration algorithm" Electric Machines and Power Syst 1998
- [3] Kashem MA, G.B.Jasmon, V.Ganapathy "A new approach of distribution system reconfiguration for loss minimization" Electrical Power and Energy Systems 22 (2000) 269 - 276
- [4] P.Ravibabu, K.Venkatesh, C.Sudheer Kumar "Implementation of Genetic Algorithm for Optimal Network Reconfiguration in Distribution Systems for Load Balancing" IEEE REGION 8 SIBIRCON 2008
- [5] S. Chakka, S. Suryanarayanan, and G. T. Heydt, "Analysis and estimation of loop(parallel) flow in wide-area interconnected power system," Proceedings of 34th North American Power Symposium, Tempe, AZ, pp. 176-180. 2002.
- [6] C. A. Falcone, "Electric utility industry structure in the United States," IEEE Power Engineering Review, vol. 12, no. 4, pp. 13-17, April 1992.
- [7] 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
- [8] Chien-Hsing Lee, Chi-Ming Huang, "Analysis of load transfer on radial distribution systems with tie lines", European Transactions on electrical Power Euro, Trans. Electr. Power 2007; 17:268 - 284
- [9] B. Pagel, "Energizing international drive," T&D World, 2000.
- [10] Robert Fanna, "Closed loop system pilot project", CEPSI, 2008
- [11] 대한전기학회, "최신 배전시스템 공학", 2006년 9월 10일 발행
- [12] 강용철, 이미선, 이병은, 장성일, 김용균, "Y- $\Delta$  변압기의 순환전류 추정방법", 2006년도 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, 2006.11

저 자 소 개



**조 보 현 (曹 補 鉉)**

1984년 07월 19일생. 2010년 숭실대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.  
 Tel : 02-817-7966  
 Fax : 02-817-0870  
 E-mail : jer-mano@hotmail.com



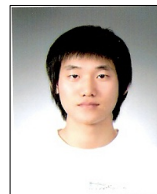
**조 성 민 (趙 成 旻)**

1980년 10월 03일생. 2003년 숭실대 전기공학과 졸업. 2008년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정 수료.  
 Tel : 02-817-7966  
 Fax : 02-817-0870  
 E-mail : dannyone@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.  
 Tel : 02-817-7966  
 Fax : 02-817-0870  
 E-mail : shs8828@ssu.ac.kr



**박 진 현 (朴 眞 鉉)**

1986년 04월 14일생. 2010년 숭실대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.  
 Tel : 02-817-7966  
 Fax : 02-817-0870  
 E-mail : pjh@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