

## A Study of Reconfiguration for Load Balancing in Distribution Power System

徐圭錫\* · 白榮植†  
(Gyu-Seok Seo · Young-Sik Baek)

**Abstract** - In this paper, the load balancing which is one of the distribution power system's operation purposes was studied. Reconfiguration of Distribution power system presents that the configuration is changed by changing the switch on/off status which exists in the system according to the mentioned purpose. Through this method, the load of distribution power system is shown to be balanced. As a characteristic of complicated distribution power system, system is designed by being applied by OOP(Object Oriented Programming) method which connected more flexibly than existing Procedural Programming method, and the process of calculating the distflow and the loss of configured system is shown. In addition, this paper suggests more efficient method compared by the results of reconfiguration on the purpose of the loss minimization and by the result of distribution power system reconfiguration on the purpose of load balancing. Moreover, it searches for the method to approach the global optimal solution more quickly.

**Key Words** : Optimal Reconfiguration, Branch Exchange, Load Balancing, Initial Operating Point, Loss Reduction

### 1. 서 론

배전계통의 정상상태 운용은 손실의 최소화, 변압기 부하 균등 배분이라는 목적하에 배전계통을 운전하는 것으로 최적 재구성 문제는 현재 배전계통의 구성 및 부하상태를 고려하여 개폐상태를 결정하는 최적화 문제이다. 이 문제는 배전계통의 방사상 운전조건, 전압강하와 선로의 열용량 등을 포함한 여러 가지 제약조건이 수반하는 것으로 선로 절체에 따라 달라지는 모든 가능한 계통구성들에 대해 선로손실, 전압조건을 계산하고 이들 중 최적인 구성을 찾아내는 것이다. 따라서 해를 찾기 위한 가장 정확한 방법은 모든 경우에 대해서 계산을 근거로 찾아내는 방법일 것이다. 그러나 주어진 시간 내에 모든 조합의 경우를 계산한다는 것은 경제적인 면에서 비합리적이다.

최적 재구성에 관한 연구는 초기에는 분지 한계법(Branch and Bound), 분기 교환법(Branch Exchange)등으로 문제를 풀었다. 그러나 이들 방법은 계산 속도는 상당히 빠르지만 연계 개폐기의 초기상태에 따라 지역해를 도출한다는 단점을 가지고 있다. 이것을 개선한 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘, 유전자 알고리즘 등은 전역적인 해를 제공해 줄 수 있는 반면 계산시간이 많이 걸린다는 단점을 가지고 있다[1][6][7][11].

본 논문에서는 계통의 부하 균등화를 목적으로 재구성을 실시하였다. 하지만 부하 균등화에 대한 목적식을 이용하여 계통을 재구성 하는데 있어 그 해를 구하는 시간이 상당히 소요된다. 따라서 이런 단점을 보완하기 위해 기존의 논문에서 제안하였던 손실 최소화를 위한 재구성 알고리즘을 적용하여 이에 대한 해가 부하 균등화와 밀접한 관계가 있음을 시뮬레이션 결과를 통해 보이도록 한다[1].

### 2. 본 론

#### 2.1 OOP를 사용한 배전계통 시스템의 모델링

배전계통의 구조는 루프 형태를 이루고 있고, 실 운전은 방사형으로 운용되어진다. 이것의 구조는 배전계통을 어떤 목적으로 운전할 것인가에 의해 변화된다. 앞서 설명된 바와 같이 배전계통에서 정상상태의 운용은 손실의 최소화 및 부하균등 배분을 목적으로 이루어지는데, 배전계통 내부의 부하 상태에 따라 위 목적식의 해가 달라지게 되고, 이로 인해 시스템의 구조가 변경이 된다.

CObj				
CObjSource	CObjNode	CObjDLine	CObjSwitch	CObjLoad

그림 1 배전계통에서 클래스의 표현

Fig. 1 Expression of Class in the distribution power system

이런 이유로 변화하는 시스템을 프로그램 상에 반영하여 시뮬레이션 하기란 쉽지 않다. 본 연구에서는 이러한 부분을 해결하기 위하여 프로그램의 확장성이 뛰어나고,

† 교신저자, 正 會 員 : 경북대학 전자전기컴퓨터학부, 정교수  
E-mail : ysbak@mail.knu.ac.kr

\* 正 會 員 : 경북대학교 공대 전기공학과 박사과정  
接受日字 : 2007年 4月 24日  
最終完了 : 2007年 6月 19日

유연성이 있는 객체지향 기법을 적용하여 계통 구조의 변경에 쉽게 대응할 수 있도록 하는 방법을 제시한다[1].

그림 1은 객체지향 기법을 적용하기 위한 배전계통 내에 존재하는 클래스들을 나타내고, 이들에 대한 내부 구조는 그림 2와 같다.

결국, 그림 2에서 정의된 클래스로부터 각각의 객체들이 파생되어지고, 이 객체 내부의 Topology에 존재하는 연결 포인터를 이용하여 배전계통을 구성하게 된다.

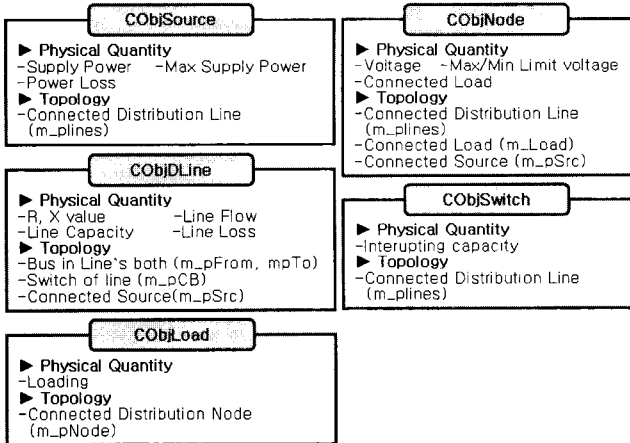


그림 2 배전계통 구성요소의 클래스 내부 구성  
 Fig. 2 Class structure Definition of Distribution power system's component

그리고 구성된 경로를 통하여 각각의 객체들이 멤버함수를 사용하여 메시지 전달을 하게 된다.

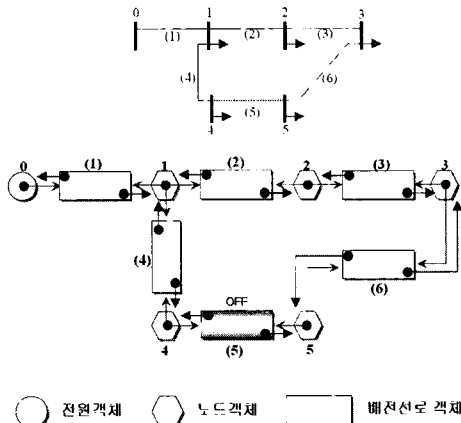


그림 3 배전계통의 객체도  
 Fig. 3 Diagram of Distribution Power System

그림 3에서는 앞서 정의한 객체를 이용하여 실 배전계통과 일대일 대응이 되도록 시스템이 구현됨을 보여준다.

2.2 계통 재구성을 위한 배전계통 조류계산

대부분의 전력계통 문제는 조류계산에서 시작되듯이, 재구성의 문제 역시 빠른 시간에 수행 가능한 조류계산이 필수적이다. 그림 4와 같은 방사형 배전계통의 조류계산은 아래 식을 이용하여 수행할 수 있다.

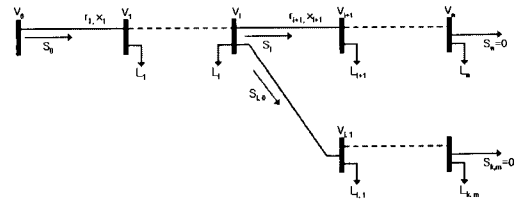


그림 4 방사형 배전계통  
 Fig. 4 Radial network for distribution power system

이 방법은 첫 번째 노드의  $P_0, Q_0, V_0$ 를 알고 있다면, 이하의 다른 노드에서 전압과 유출 전력을 순차적으로 구할 수 있다는 것을 의미한다. 즉, 변전소의 송출전압과 공급 전력을 알고 있다면 이하의 모든 노드의 전압과 선로에서의 조류를 계산할 수 있다.[7]

$$P_{i+1} = P_i - r_{i+1} \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - P_{L_{i+1}}$$

$$Q_{i+1} = Q_i - x_{i+1} \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - Q_{L_{i+1}}$$

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(r_{i+1}P_i + x_{i+1}Q_i) + (r_{i+1}^2 + x_{i+1}^2) \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2}$$

초기의 공급전력을 하위 노드에서 공급하는 부하의 합으로 두고 조류 계산식을 이용하여 하위 노드의 전압 및 선로의 조류를 구하면 종단 노드에서는 전력의 편차가 발생하는데 이것은 선로의 손실에서 기인하는 것이다. 이 편차만큼을 보상해서 다시 반복 수행하면 종단노드에서 전력의 편차는 줄어든다. 이 반복 과정에서 종단 노드에서 전력의 편차가 오차범위 내로 들어오면 수렴한 것으로 간주한다.

위의 과정으로 수행되는 조류계산은 본 논문에서 재구성이 이루어질 때마다 반복 수행되어야 하며, 대상 계통의 구조는 매번 변화한다. 객체지향기법 프로그래밍은 이런 변화에 민첩하게 대응할 수 있는 구조를 제공한다. 그림 2의 클래스로부터 파생되어진 객체들로 구성된 그림 3의 계통 모델에서는 각각의 객체들이 상호 연결된 포인터를 가지고 있다. 그 연결 구조는 그림 5와 같다.

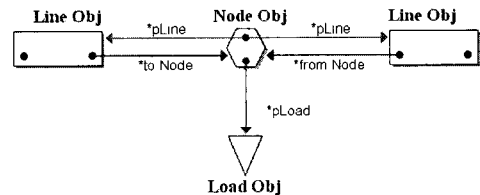


그림 5 객체 상호간의 연결 구조  
 Fig. 5 Connection structure between objects

앞서 설명된 조류계산 방정식을 풀기 위하여 전력계통 내 모든 부하의 합을 구해야 하는 것이 선행 되어야 한다. 이를 위하여 각각의 클래스에서 정의된 함수를 이용하여 방사상 끝점을 찾는다. 이것은 그림 5의 구조와 같이 모든 객체들이 전력계통 입력 데이터에 의한 포인터로 연결되어져 있기 때문에 쉽게 찾을 수 있다. 그리고 각각의 끝점으로부터 역방향(전원 방향)으로 각 노드에 연결되어 있는 부하들의

합을 구하게 된다. 이로서 대상 계통 내 모든 부하의 합을 구할 수 있고, 또한 지선이 존재할 경우 지선방향으로 공급 되어질 조류의 양이 결정되게 된다.

2.3 부하 균등화를 위한 분기 교환 알고리즘

2.3.1 문제의 정식화

대상 계통의 부하를 균등화시키기 위한 목적식들은 매우 많기 존재한다. 지금까지 연구되어진 대부분의 목적식들이 가지는 의미를 살펴보면,

- i) 배전계통을 이루고 있는 각각의 선로들의 최대용량에 실제 흐르는 조류의 양을 선로 절체를 통하여 평균화함으로써, 부하 평형을 이룬다.[14][15]
  - ii) 각 선로들의 열용량에 대한 실제 흐르는 과부하 전류를 선로 절체를 통하여 최소화함으로써 전체 시스템에 대한 과부하를 해소하게 되고, 이로서 부하 평형을 이룬다.[16][18]
- 등과 같다.

결국 임의의 피더에 편중되어진 부하들을 선로 절체를 통하여 여유용량이 많은 피더들로 옮기게 됨으로서 전체 시스템의 균형을 이루게 된다는 것이다.

이러한 관점에서 기존의 손실최소화를 목적으로 재구성을 실시한 계통의 시뮬레이션 결과를 살펴보면 손실이 줄어드는 것은 물론 부하평형의 목적식 또한 만족시키는 것을 확인할 수 있다. 이에 대한 결과는 표 1에서 볼 수 있다.[1]

표 1 32모선 배전계통 시뮬레이션 결과

Table 1 Simulation Result of 32 Bus Distribution Power System

32 Bus System		
	Original State	Optimal State
Tie Switch	33-34-35-36-37	9-7-14-31-37
Loss (KW)	212.817	124.036
Load Balancing Index (10MVA)	0.035034	0.030280

표 1에서 Load Balancing index(모든 선로 최대 허용용량: 10MVA) 값은 i)의 관점에서 계산된 값이다. 이런 결과로 부하 균등화를 위해 손실 최소화 목적식을 이용하여 접근해 볼 수 있다는 결론을 내리게 되었다.

손실의 최소화를 위한 목적함수는 식 1과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{Min}(P_{\text{loss}}^{\text{sys}}) = \text{Min}\left(\sum r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2}\right) \text{ [p.u]} \quad (1)$$

주어진 계통의 손실을 최소화하기 위해서 계통의 각 구성에 대해 목적함수를 계산하고 최소가 되는 구조를 채택하게 된다. 실제 계통운용은 경험상 최적점 근방에서 운전이 되고 있으므로 지역적 해의 탐색이 가장 우수한 분기 교환법을 사용하여 손실 최소화를 시키도록 한다.

2.3.2 절체시 손실감소 추정 및 분기 교환

그림 6과 같은 방사상으로 운전되는 배전계통이 있다.[7] 여기서 연계 개폐기 b를 닫으면 루프형 계통을 형성하는 배전계통의 방사상 운전조건이 위배되므로 위의 그림 3에서 L측 또는 R측 선로 중 어느 한 개폐기를 열어야만 한다. 이

때 선로의 절체에 따라 변화하는 선로 손실을 추정하고, 손실이 최소가 되는 연계선로에 대해서 절체를 수행하는 방식을 분기 교환법이라 한다.

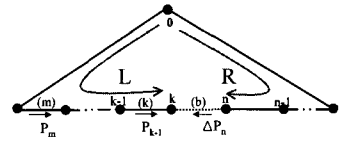


그림 6 브랜치 교환

Fig. 6 Branch Exchange

그림 3의 계통에서 L측과 R측에서의 계통의 손실은 식 (2)~(3)에서 보여주는 바와 같다.

$$LP_L = \sum_{i \in L} r_i (P_i^2 + Q_i^2) \quad (2)$$

$$LP_R = \sum_{i \in R} r_i (P_i^2 + Q_i^2) \quad (3)$$

선로 b를 OFF시키고 m을 ON시켰을 경우 손실의 변화는 식 4와 같다.

$$\begin{aligned} \Delta LP_{\text{bm}}^{\text{est}} = & 2P_m \left( \sum_{i \in L} r_i P_i - \sum_{i \in R} r_i P_i \right) \\ & + 2Q_m \left( \sum_{i \in L} r_i Q_i - \sum_{i \in R} r_i Q_i \right) \\ & - (P_m^2 + Q_m^2) \left[ \sum_{i \in R \cup L} r_i \right] \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)에서  $\Delta P_{\text{bm}}^{\text{est}} > 0$ 인 경우는 절체를 했을 경우 손실이 들어드는 것을 의미한다. 각 연계선로마다  $\Delta P_{\text{bm}}^{\text{est}}$  을 계산한 후 더 이상 손실이 감소하지 않을 때까지 선로를 절체하면 된다. 분기 교환법에 의한 최적화는 그림 7과 같은 순서로 수행한다.

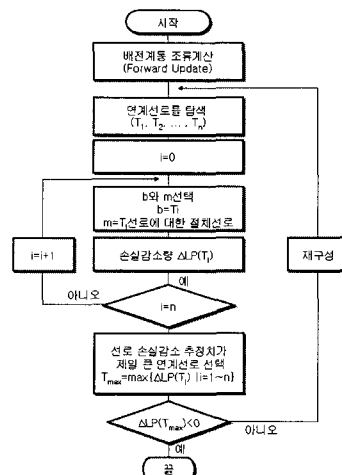


그림 7 브랜치 교환 알고리즘

Fig. 7 Algorithm of Branch Exchange

2.3.3 초기 운전점 선정 알고리즘

앞서 설명된 방법에 의하여 시뮬레이션 해본 결과 대상 계통의 초기 상태가 최적점 근처에서 운전이 되고 있을 경우에는 최적해를 찾아내지만, 최적점에서 많이 벗어난 상태로

운전될 경우에는 최적해를 찾아내지 못하는 단점이 있다. 이에 대한 시뮬레이션 결과는 표 2에서 보이고 있다.

표 2 초기 운전 상태에 따른 재구성 결과

Table 2 Reconfiguration result by initial operating state

32 Bus System				
Case	최적점 근처 초기상태		최적점 근처에서 벗어난 초기상태	
	Base Case	Solution	Base Case	Optimal State
Lines switched out	33-34-35-36-37	9-7-14-31-37	21-23-30-33-34	07-13-21-31-37
Total kW Loss	212.817	124.036	398.455	130.948
Worst voltage(p.u)	0.899638	0.939557	0.827932	0.930436

따라서 최초의 배전계통 운전 상태가 최적점 근처에서 운전되지 않을 경우를 대비하여 초기 상태를 최적점 근처로 이동시키는 알고리즘을 사용하도록 한다. 본 알고리즘을 위해 식 5를 정의하며, 이 식은 루프 내 최초 개방되어진 양단의 전압 및 이동되어지는 부하량에 따라 발생하는 손실 변화량의 의미를 가진다.[1][6]

$$\Delta P_{loss} = Re \left\{ 2 \left( \sum_{i \in D} I_i \right) (E_m - E_n)^* \right\} + R_{loop} \left| \sum_{i \in D} I_i \right|^2 \quad (5)$$

$$\Delta P_{loss} = 2I(x)(E_m - E_n) + R_{loop} [I(x)]^2 \quad (6)$$

$$I(x_{opt}) = \frac{(E_n - E_m)}{R_{loop}} \quad (7)$$

여기서, i : Node No.

- D : 선로 절체로 이동될 노드의 집합.
- m : 절체 전 개방 상태의 양단 전압 중 저전압 노드.
- n : 절체 전 개방 상태의 양단 전압 중 고전압 노드.
- E : 해당 노드 전압.
- R<sub>loop</sub> : 해당 루프에서의 선로 임피던스 성분.

$$\begin{bmatrix} R_1 & R_1 & \dots & R_1 & R_1 \\ R_1 & R_1 + R_2 & \dots & R_1 + R_2 & R_1 + R_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ R_1 & R_1 + R_2 & \dots & R_1 + R_2 + \dots + R_{i-1} & R_1 + R_2 + \dots + R_{i-1} \\ R_1 & R_1 + R_2 & \dots & R_1 + R_2 + \dots + R_{i-1} & R_1 + R_2 + \dots + R_i \end{bmatrix}$$

일반적으로 배전계통에서는 무효전력 보상이 잘 이루어지기 때문에 이상적인 배전계통이라 가정한다면, 무효전력 성분을 무시한 유효전력 성분만으로 정의할 수 있다. 따라서 식 5는 식 6과 같이 변환되어지며, I(x)에 대한 2차식으로 표현되어진 식 6은 식 7과 같이 해당 루프 내에서 브랜치 전류가 I(x<sub>opt</sub>)값을 가지는 지점에서 손실이 최소화 되는 값을 가지게 된다.

식 6은 계통의 임의의 운전 상태가 전역해 근방에 위치할 수 있도록 각 루프별 연계 개폐기 상태를 결정하기 위한 식이 된다. 또한 다수개의 루프를 가진 배전 계통에서 루프별 상호 영향에 대하여 독립적으로 손실계산을 수행할 수 있다.

그림 8에 제시된 초기 운전점 알고리즘을 수행한 후 그 결과를 그림 7의 분기 교환 알고리즘에 적용해보면 표 2에서 최적의 상태를 찾아내지 못하던 부분을 해소 할 수

있음을 알 수 있다.

표 3 초기 운전점 알고리즘 적용 시 결과

Table 3 Application result of initial operating point algorithm

32 Bus System				
Case	초기 운전점 알고리즘 적용		초기 운전점으로부터 최적해	
	Base Case	Solution	Base Case	Optimal State
Lines switched out	21-23-30-33-34	07-11-14-31-37	07-11-14-31-37	9-7-14-31-37
Total kW Loss	398.455	134.003	134.003	124.036
Worst voltage(p.u)	0.827932	0.919907	0.919907	0.939557

이에 대한 시뮬레이션 결과를 표 3에 나타내었다.

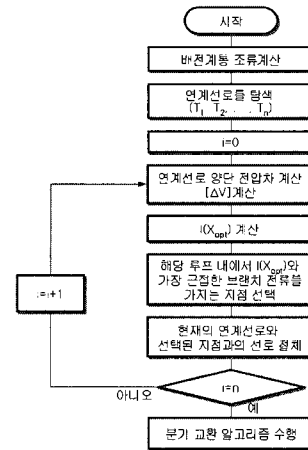


그림 8 초기 운전점 선정을 위한 알고리즘  
Fig. 8 Algorithm for initial operating point selection

이로서 배전계통의 최초 운전 상태가 어떤 조건에서 운전되더라도 최적점에 도달 할 수 있다는 것을 알 수 있다.

2.3.4 배전계통에서의 루프 판별

배전계통 내에는 수많은 루프 구조가 존재한다. 루프 구조를 정확히 인식하여야만 방사상 운전 조건을 만족시킬 수 있지만 프로그램 상에 이를 반영하기란 쉽지 않다.

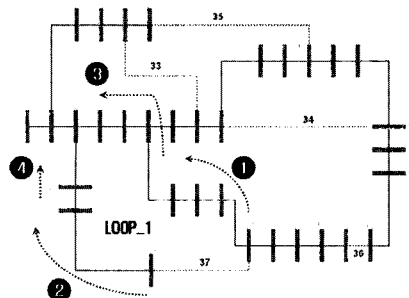


그림 9 배전계통 적용 모델(32 모선)  
Fig. 9 Model of Distribution power system(32 Bus)

따라서, 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 다음과 같은 순차적 방법을 제안한다. 예를 들어, 그림 9의 Loop\_1에서

- i. Node 24의 전압이 Node 28의 전압보다 크다면 Node 28로부터 Node 27의 방향으로 Node 24의 전압보다 작아지는 값을 가지는 최초의 Node를 탐색.
- ii. Node 24로부터 Node 23의 방향으로 i에서 탐색된 Node 전압보다 작아지는 값을 갖게 되는 최초의 Node를 탐색.
- iii. i 과 ii를 반복하여 Node name과 Node voltage 값이 일치하는 지점(Node 2)을 탐색하고 중지.

배전계통에서는 루프 구조를 해소하기 위하여 평시 개방되어 있는 연계선로가 존재하는데, 이 선로의 개수와 루프의 개수는 동일하다. 따라서 프로그램이 인식하고 있는 각각의 연계선로에서 i, ii, iii을 수행함으로써 배전 계통 내 모든 루프를 인식 가능하게 된다.

**2.4 Loss Reduction 과 Load Balancing**

Load Balancing이란 중부하의 부하를 경부하의 피더로 이동시켜 계통을 재구성함으로써 피더의 부하균형을 이루고, 과부하를 해소시키는데 그 목적이 있다. 결국 편중된 부하를 각 피더로 분산시킴으로써 전체 계통의 안정화를 도모하는데 이는 손실을 최소화하는 문제와 직결되어 있다. 따라서 본 절에서는 기존의 논문에서 Load Balancing에 대한 목적식을 이용하여 계통을 재구성한 결과와 제안한 알고리즘을 적용하여 재구성한 결과를 비교하도록 한다.

[14],[15] Objective Fn

$$[14] : \min LB_{sys} = \min \frac{1}{n_b} \sum_{i=1}^{n_b} \frac{S_i}{S_i^{\max}} \quad (8)$$

$n_b$  : total number of branches in the system

$$[15] : \min LB_{sys} = \min \sum_{i=1}^{N_b} \frac{S_i}{S_i^{\max}} = \min \sum_{i=1}^{N_b} \frac{\sqrt{P_i^2 + Q_i^2}}{S_i^{\max}} \quad (9)$$

$N_b$  : Total number branches in the system

$S_i$  :  $P_i + jQ_i$  = Magnitude of the complex power flow in line i

$S_i^{\max}$  : The KVA capacity of the system

여기서 식 8과 식 9의 의미는 2.3.1절 i)에서 설명하고 있다. 표 4에서는 Load Balancing 목적식으로 제시한 식 8 또는 9를 적용하여 얻은 결과를 보여주고 있다.

**표 4** 69모선 배전계통 모델에서의 결과 비교

**Table 4** Result Comparison in the 69bus distribution power system

Reference [14], [15] - 69 Bus Model		
State	Original configuration	
Tie Switches	70, 71, 72, 73, 74	
Loss (kW)	223.946	
State	After Reconfiguration	
	Load Balancing	Proposed Method
Tie Switches	15, 59, 62, 70, 71	15, 59, 64, 70, 71
Loss (kW)	99.4513	91.58

여기서는 식 8 또는 식 9를 적용해도 서로 같은 결과를 가진다. 한편 본 논문에서 제시한 알고리즘에 대한 결과도 확인 가능하다. 두 결과는 조금의 차이를 보이고 있으며 Load Balancing을 목적식으로 한 결과와 거의 흡사함을 볼 수 있다. 반면, 손실 측면에서는 제안한 알고리즘의 결과가 좀 더 우수하다는 것을 알 수 있다.

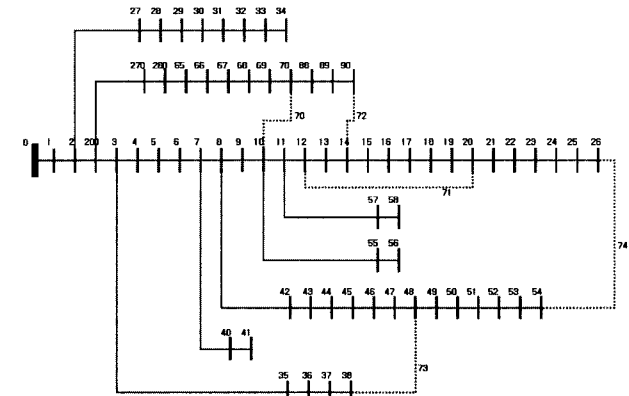
**표 5** 부하 균등화 지수의 결과 값

**Table 5** Result of Load Balancing Index value

Reference [14]	
System index value	0.02781
All Branch Capacity : 10MVA	
Reference[14]'s index value	Proposed Method's index value
0.078523	0.075952
All Branch Capacity : 28MVA	
Reference[14]'s index value	Proposed Method's index value
0.028044	0.027126

또한 표 5에서는 기존 논문에서 제안한 지표를 본 논문에서 제안한 손실 최소화 과정을 통해 얻어진 결과에 적용해 봄으로서 그 결과값을 비교해 보았다.

기존 논문에서 식 8을 적용하여 제시하고 있는 결과값은 0.02781이다.[14]



**그림 10** 배전계통 적용 모델(69 모선)  
**Fig. 10** Model of Distribution power system(69 Bus)

하지만 시스템 내의 선로 용량 데이터를 취득할 수 없어 본 논문에서는 모든 선로의 허용 용량을 국내 실정에 맞도록 10MVA로 설정한 후 시뮬레이션 해보았다. 또한 기존 논문과의 결과값에 근접시키기 위하여 허용용량을 28MVA로 늘려 시뮬레이션 하였다. 이로써 본 논문에서 제안한 손실최소화를 위한 재구성 알고리즘을 통해 손실 감소와 부하 균등화가 매우 잘 이루어짐을 알 수 있다.

표 4, 표 5의 시뮬레이션 결과는 그림 10의 69모선 배전계통 모델에 적용하여 얻어졌다.[17]

[16] Objective Fn

$$LBI = \min \sum_{i=1}^N L_i \left( \frac{|I_i|}{I_i^R} \right) \quad (10)$$

$N$  : Total number branches in the system

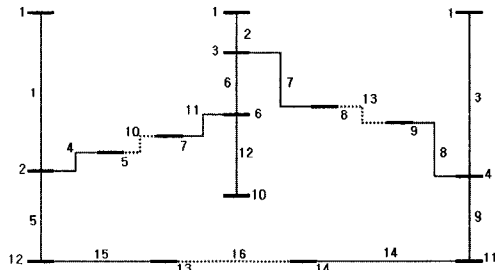
$L_i$  : Length of branch  $i$   
 $I_i$  : complex current flow in branch  $I$   
 $I_i^R$  : current rating of bus  $I$

식 10에 대한 의미는 2.3.1절 ii)에서 설명하고 있다.

**표 6** 14모선 배전계통 모델에서의 결과 비교  
**Table 6** Result Comparison in the 14bus distribution power system

Reference [16] - 14 Bus Model		
State	Original configuration	
Tie Switches	10, 13, 16	
Loss (kW)	399.208	
State	After Reconfiguration	
	Load Balancing	Proposed Method
Tie Switches	7, 11, 16	7, 11, 16
Loss (kW)	369.35	369.35

표 6에서는 또 다른 기존논문에서 Load Balancing 목적식으로 제시한 식 10을 적용하여 얻은 결과를 보여주고 있다. 여기에서는 기존 논문의 결과와 본 논문에서 제안한 알고리즘의 결과가 동일함을 알 수 있다.



**그림 11** 배전계통 적용 모델(14 모선)  
**Fig. 11** Model of Distribution power system(14 Bus)

표 6의 시뮬레이션 결과는 그림 11의 14모선 배전계통 모델에 적용하여 얻어졌다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 배전계통 운용 알고리즘 중 최적 재구성에 관한 문제를 다루었다. 재구성의 목적은 부하 균등화이며 이를 위해 이전 논문에서 제안하였던 손실 최소화 알고리즘을 사용하여, 부하균등화에 어떤 영향을 미치는지 시뮬레이션 하고 그 결과를 살펴보았다.

대부분의 기존 논문에서는 제안한 부하 균등화 목적식과 제약조건을 만족하는 해를 도출해 내기 위해서 다양한 알고리즘이 적용되는데, 해에 접근하는 시간이 상당히 소요되거나 혹은 이를 해결하기 위하여 다수개의 프로세서가 적용되는 것이 일반적이다. 하지만 본 논문의 알고리즘은 단일 프로세서를 사용한 환경에서 빠른 시간에 결과를 도출해 낼 수 있다는 장점이 있다.

표 4 ~ 표 6에서 제시한 결과 데이터들을 부하균등화를 목적식으로 둔 논문들의 결과와 비교해 보면, 본 논문에서

제시한 손실 최소화를 위한 목적식을 이용하여 재구성을 하는 것이 계통의 손실 및 부하 균등화 측면에서 좀 더 효율적이라는 것을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서 제안한 알고리즘이 배전계통 최적화에 매우 적합함을 확인할 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 대학전력 연구센터 육성·지원 사업(I-2007-0-261-01) 주관으로 수행된 과제임.

### 참 고 문 헌

- [1] Gyu-Seok. Seo, Jung-Nyun Kim, Young-Sik Baek, "A Study of Optimal Reconfiguration in Distribution Power System using Initial Operating Point", Trans. KIEE. Vol. 56, No. 3, Mar, 2007, pp. 451-456.
- [2] Do-il Kwak, Jae-Eon Kim, "A Study for Novel DistFlow Method in the Distribution System", Trans. KIEE, Vol. 49A, No. 7, July 2000, pp. 365-368.
- [3] A Merlyn and J. Back, "Search for a Minimum Loss Optertaing Spanning Tree Configuration for and Urban Power Distribution System", Proceeding of Fifth Power System" Proceeding of Fifth Power System Computation Conference(PCSC), Cambridge, 1975.
- [4] D. W. Ross, M. Carson, A. Cohen, "Development of Advanced Meyhods for Planning Electric Energy Distribution Systems", DEO final report no SCI5263, Feb, 1980.
- [5] D. Shirmohammadi, H. Wayne Hong, "A Compensation-Based Power Flow Method For Weakly Meshed Distribution And Transmission Networks", IEEE Tansaction on Power Systems, Vol 3, No. 2, May 1988, pp. 753-762.
- [6] S. Civanlar, J. J., Grainger, and S. H. Lee, "Distribution Feeder Reconfiguration for Loss Reduction", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, July 1988, pp. 1217-1223.
- [7] M. E. Baran, F. F. Wu, "Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, April 1989, pp. 1401-1407.
- [8] H. D. Chiang and R. M. Jean-Jumeau, "Optimal Network Reconfiguration Distribution System: Part 1: A New Formulation and A Solution methodology", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5. No. 3, July 1990.
- [9] K. Kara, "Implementation of Genetic Algorithm for Distribution System Loss Minimum Reconfiguration", IEEE Transactions on Power System, Vol. 7, No. 3, August 1992.
- [10] Vesna Borozan et al, "Improved Method For Loss Minimization In Distribution Networks", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No. 3, August

1995.

- [11] Young-Jae Heon, Seung-Kyo Choi, Jae-Chul Kim, "Implementation of Simulated Annealing for Distribution System Loss Minimum Reconfiguration", Trans. KIEE, Vol. 48A, No. 4, April 1999, pp. 371-378.
- [12] B. Venkatesh, H. B. Gooi, "Optimal Reconfiguration of Radial Distribution Systems to Maximize Loadability", IEEE Transactions on Power System, Vol. 19, No. 1, FEBRUARY 2004, pp. 260-266.
- [13] Ji-Pyng Chiou, Chung-Fu Chang, and Ching-Tzong Su, "Variable Scaling Hybrid Differential Evolution for Solving Network Reconfiguration of Distribution Systems", IEEE Transactions on Power System, Vol. 20, No. 2, May 2005, pp. 668-674.
- [14] Kashem, M.A., Ganapathy, V., Jasmon, G.B., "Network reconfiguration for load balancing in distribution networks", Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings, Vol. 146, Issue 6, Nov. 1999, pp. 563-567.
- [15] Kashem, M.A., Moghavvemi, M., "Maximizing radial voltage stability and load balancing via loss minimization in distribution networks", Energy Management and Power Delivery, 1998. Proceedings of EMPD '98. 1998 International Conference on, Vol. 1, 3-5 March 1998 pp. 91-96.
- [16] Xiaoling Jin, Jianguo Zhao, Ying Sun, Kejun Li, Boqin Zhang, "Distribution network reconfiguration for load balancing using binary particle swarm optimization", Power System Technology, 2004. PowerCon 2004. 2004 International Conference on, Vol. 1, 21-24 Nov. 2004 pp. 507-510.
- [17] M. E. Baran, F. F. Wu, "Optimal capacitor placement on radial distribution systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, January 1989, pp. 725-734.
- [18] Qin Zhou, Dariush Shirmohammadi, W.-H. Edwin Liu, "Distribution feeder reconfiguration for service restoration and load balancing", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, No. 2, May 1997, pp. 724-729.

## 저 자 소 개



### 서 규 석 (徐圭錫)

1975년 11월 4일생. 2003년 경북대학교 공대 전기공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : (053)940-8802

E-mail : kikidang@nate.com



### 백 영 식 (白榮植)

1950년 7월 8일생. 1974년 서울대 전기공학과 졸업. 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1977년 명지대 전기공학과 조교수. 현재 경북대 전자전기공학부 교수.

Tel : (053)950-5602

E-mail : ysbaek@mail.knu.ac.kr