

## An Auto-drawing Algorithm for the Single Line Diagram of Distribution Systems

손 주 환\* · 임 성 일†  
(Ju-Hwan Son · Seong-II Lim)

**Abstract** - Distribution Automation System(DAS) is designed to improve operational efficiency by acquisition and control of remote data using its components such as central computation units, communication network and feeder remote terminal units. A conventional human machine interface of the DAS adopts a schematic diagram which is made by drawing power equipments on the geographic information system map. The single line diagram is more useful than the schematic diagram for the main tasks of distribution system operation such as protective relay coordination, service restoration and loss minimization. Since the configuration of the distribution line is changed according to the relocation of the open tie switches, the auto-drawing algorithm based on the connection between the sections and the switches is an essential technique. This paper proposes a new auto-drawing algorithm for a single line diagram of distribution systems based on tertiary tree and collision avoidance method. The feasibility of the proposed algorithm has been testified for various cases using practical distribution system with 12 feeders.

**Key Words** : Distribution System, Distribution Automation System, Single Line Diagram

### 1. 서 론

배전자동화시스템이란 컴퓨터와 통신기술을 활용하여 원 거리에 산재되어 있는 배전선로용 개폐장치를 현장에 가지 않고 배전자동화실에서 원격으로 조작하고 감시하는 시스템이다. 배전자동화시스템의 도입으로 전력설비의 운영정보를 쉽게 파악 하고, 고장구간을 신속히 찾아내는 등 보다 효율적인 배전계통 운영이 가능하게 되었다. 배전선로를 인지하기 위한 사용자 인터페이스로는 배전계통도와 회선별단선도가 이용되고 있다. 배전계통도는 국가기본 지형도에 전력설비 심볼을 설비의 실제 좌표에 대응되도록 표시한 것으로 선로의 경과, 설비의 위치파악에는 용이하나 계통 토폴로지를 인지하기에는 부적합하다. 반면에 회선별단선도는 축척 없는 도면위에 하나의 배전선로에 대한 전력설비 심볼 및 후비 연계선로를 표시한 것으로 계통의 토폴로지를 인지하는데 용의하다.

계통 운영자는 손실 및 전압강하를 감소하고 정전복구 및 보호협조 능력을 향상시키기 위하여 상시개방점의 위치를 적절히 이동하면서 최적의 상태로 계통을 운영한다. 상시개방점의 위치가 이동되면 계통 토폴로지가 변경되기 때문에 회선별단선도 화면도 변경되어야 한다. 기존의 시스템에서는 모든 배전선로의 회선별단선도를 미리 작성하여 저장해

두고, 회선별단선도 화면이 필요한 경우 저장된 회선별단선도를 불러와서 사용하였다. 따라서 계통 토폴로지가 변경되었을 경우 변경된 회선별단선도를 표시하기 어렵다는 문제점이 있다.

배전자동화시스템의 어플리케이션에 관한 연구는 다양하게 진행되어 왔다. 정전복구방안 수립에 관한 연구로는 퍼지로직을 이용한 방법[1][2], 전문가 시스템을 이용한 방법[3][4] 및 멀티에이전트를 이용한 방법[5] 등이 제안되었다. 상시개방점의 최적화에 관한 연구로는 G-nets를 이용한 방법[6], 유전 알고리즘을 이용한 방법[7] 등이 보고되었다. 사용자 인터페이스에 관한 연구로는 CAD기술을 이용한 방법[8], MD-tree를 이용한 방법[9] 등이 소개되었다. 전반적으로 살펴보면 정전복구나 최적화에 관해서는 수많은 연구가 진행되어 왔지만 사용자 인터페이스에 관한 연구는 드물고, 특히 운영자의 계통상황 인지를 돕기 위한 회선별단선도에 관한 연구는 찾아보기 어렵다.

본 논문에서는 계통의 토폴로지가 변경되었을 때 회선별단선도를 화면상에 적절히 표시하기 위하여, 실시간 데이터를 기반으로 회선별단선도를 자동생성 하는 알고리즘을 제시한다. 특히 회선별단선도를 자동으로 생성하는 경우 전력설비 심볼들이 화면 윈도우의 한곳에 편중되거나 겹쳐서 나타나는 현상을 해결하기 위한 방안을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2.1장에서는 회선별단선도를 다루기 위한 자료구조를 설명한다. 2.2장에서는 정렬 알고리즘, 2.3장에서는 충돌회피 알고리즘을 제시한다. 2.4장에서는 사례연구를 통하여 본 논문에서 제시된 알고리즘의 유용성을 검증한다.

\* 준 회원 : 경남대학 공대 첨단공학과 석사과정  
† 교신저자, 정회원 : 경남대학 공대 전기공학과 교수 · 공박  
E-mail : slim@kyungnam.ac.kr  
접수일자 : 2010년 1월 4일  
최종완료 : 2010년 4월 6일

## 2. 본 론

그림 1은 회선별단선도를 자동생성 하는 전반적인 절차를 나타내고 있다. 먼저 3진트리를 기반으로 기본구조를 생성하고, 정렬 알고리즘을 이용하여 전력설비 심볼들의 편중 현상을 제거한 후에 충돌회피 알고리즘을 적용하여 겹침 현상을 해소함으로써 회선별단선도를 완성한다.

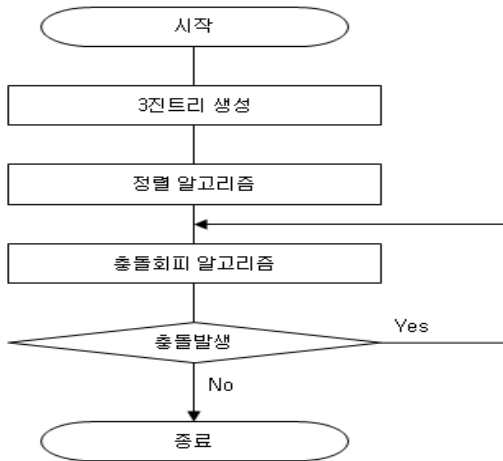


그림 1 회선별단선도 자동생성 절차  
Fig. 1 Single line diagram auto-drawing procedure

### 2.1 회선별단선도 자료구조

회선별단선도를 생성하기 위해서 그림 2에서 보는바와 같이 배전선로, 선로구간 및 개폐기 등으로 구성된 데이터베이스가 필요하다. 배전선로 레코드는 인출 차단기 정보를 가지고 있고, 선로구간 레코드는 양단에 연결되어 있는 개폐기의 정보를 가지고 있으며, 개폐기 레코드는 투입상태 및 연결된 선로구간 정보를 가지고 있다.

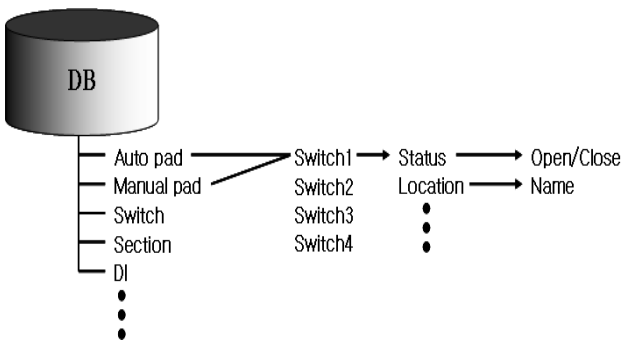


그림 2 회선별단선도 데이터베이스  
Fig. 2 Data structure of the single line diagram

배전선로에서 널리 사용되고 있는 4회로 패드개폐기의 경우 구성회로들 간의 연결정보가 드러나지 않기 때문에, 그림 3과 같이 하나의 가상 개폐기와 4개의 가상 선로구간을 추가하여 일반개폐기의 데이터 형태로 변형시켜 저장한다.

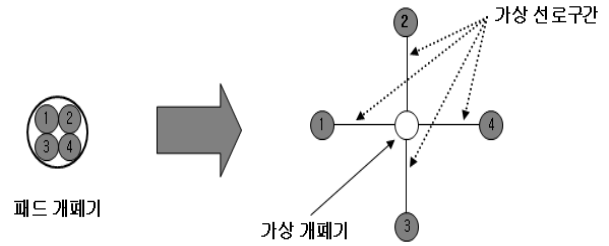


그림 3 패드개폐기 모델링  
Fig. 3 Pad switch modeling

일반적인 배전선로는 하나의 개폐기에서 최대 3개의 분기 선로를 가질 수 있기 때문에 회선별단선도의 자료구조로는 3진트리가 가장 적합하다. 트리는 노드와 아크로 구성되는데, 회선별단선도가 선로의 연결 관계를 중심으로 도시된다는 특성을 고려하여 개폐기와 분기점을 노드, 선로구간은 아크로 모델링 하였다. 배전선로 전력공급의 시작점에 있는 변전소 인출 차단기를 루트로 하고 전력설비의 연결 관계를 따라 3진트리를 구성한다. 인출 차단기로부터 선로구간 정보를 이용하여 연결된 개폐기를 탐색하는데, 개폐기가 투입된 경우에는 재귀적으로 반복하고 개방된 경우에는 말단으로 처리하고 연계선로를 탐색한다. 이렇게 함으로써 하나의 배전선로가 전력을 공급하고 있는 구간과 개폐기들의 연결 관계를 명확하게 인지할 수 있다. 또한 실시간 데이터를 기반으로 구성하기 때문에 계통토폴로지의 변경에 관계없이 현재의 회선별단선도를 제공한다. 그림 4는 3진트리가 선로구간과 개폐기 정보로부터 구성됨을 도시하고 있다.

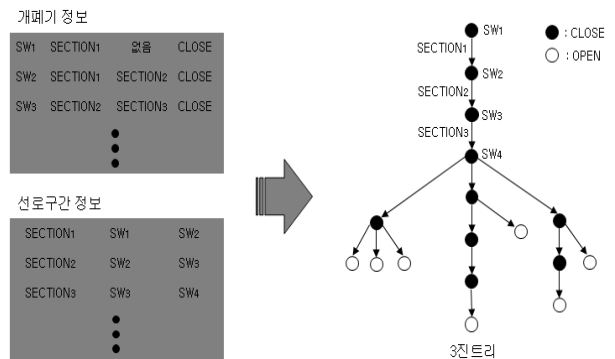


그림 4 3진 트리 생성  
Fig. 4 Construction of ternary tree

그림 5는 3진트리를 배전자동화 사용자 인터페이스 화면에 회선별단선도의 형태로 표시하는 방법을 나타내고 있다. 트리 중앙의 최장경로는 화면 가운데서 횡축으로 배치하고, 트리의 왼쪽에 있는 부트리는 화면의 하단, 오른쪽에 있는 부트리는 상단으로 표시한다. 회선별단선도는 축척이 없으므로 윈도우의 픽셀 수에 맞추어 선로구간 공장을 조정하여 화면에 가득 차게 표시한다.

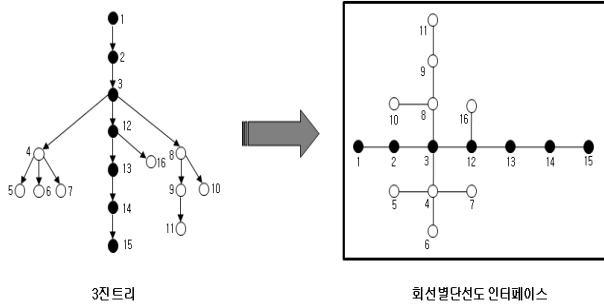


그림 5 3진트리 기반의 회선별단선도  
 Fig. 5 Single line diagram based on the ternary tree

2.2 정렬 알고리즘

전력설비 심볼들이 화면의 한곳에 편중되는 현상을 방지하기 위하여 3진트리를 조작하는 알고리즘으로서 중앙 정렬과 부트리 정렬의 순서로 진행된다.

2.2.1 중앙 정렬

하나의 노드를 중심으로 깊이가 가장 큰 말단노드까지의 경로에 있는 자식노드를 중앙 태그로 치환하는 알고리즘이다. 그림 6(a)에서 전체 트리의 최장경로는 노드 1에서 노드 9까지이므로 이 경로를 트리의 중앙으로 정렬한다. 그림 6(b)에서 노드 2를 기준으로 보면 왼쪽 부트리가 존재하며 부트리의 최장경로는 노드 2에서 노드 16까지이므로 이 경로를 분기까지의 중앙으로 정렬한다.

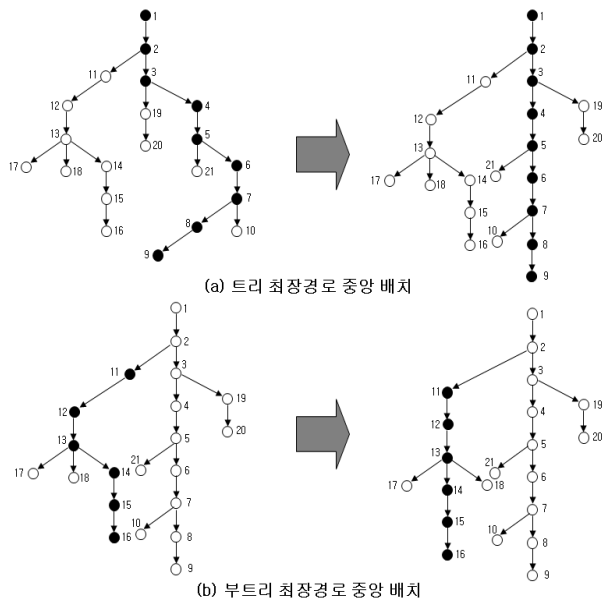


그림 6 중앙정렬 알고리즘  
 Fig. 6 Center tag aligning algorithm

2.2.2 부트리 정렬

회선별단선도가 화면에 적절히 표시되도록 부트리의 좌우 위치를 변경시키는 알고리즘이다. 설명을 용이하게 하기 위

하여 본 논문에서는 트리를 구성하는 중앙경로와 부트리에 그림 7과 같이 레벨 번호를 정의하여 사용한다. 중앙경로를 레벨1 선로로 하고, 여기서 분기된 선로를 레벨2 선로, 계속 선로가 분기될 때마다 레벨3, 레벨4 등 순차적으로 레벨번호를 부여한다. 레벨2 선로의 정렬 방법은 분기횟수에 따라서 달라지는데 홀수 번째 분기인 경우에는 레벨1 선로의 상단으로 정렬하고, 짝수 번째 분기인 경우에는 레벨1 선로의 하단으로 정렬한다. 그림 7에서 보는 것처럼 레벨1 선로의 개폐기 S<sub>3</sub>, S<sub>5</sub> 및 S<sub>8</sub>에는 분기가 연결되어 있다. 개폐기 S<sub>3</sub>과 S<sub>8</sub>에 연결된 분기는 홀수 번째이므로 레벨2 선로를 레벨1 선로의 상단에 배치한다. 개폐기 S<sub>5</sub>에 연결된 분기는 짝수 번째이므로 레벨2 선로를 레벨1 선로의 하단에 배치한다. 레벨2 선로에서 분기된 레벨3 선로는 분기된 노드로부터 좌측에서 우측으로 가로방향으로 배치한다. 그림 7에서 레벨2 선로상의 개폐기 S<sub>12</sub>와 S<sub>17</sub>에 연결된 분기는 레벨3 선로이므로 그림에서 레벨3 화살표로 표시된 바와 같이 배치된다. 레벨4 선로는 레벨2 선로의 정렬방법과 동일한 방법으로 구성된다. 그림 7에서 보는 것처럼 개폐기 S<sub>24</sub>에 연결되어 있는 레벨4 선로는 레벨1 선로의 상단에 위치하므로 레벨3 선로의 상단에 배치한다. 개폐기 S<sub>26</sub>에 연결되어 있는 레벨2 선로는 레벨1 선로의 하단에 위치하므로 레벨3 선로의 하단에 배치한다.

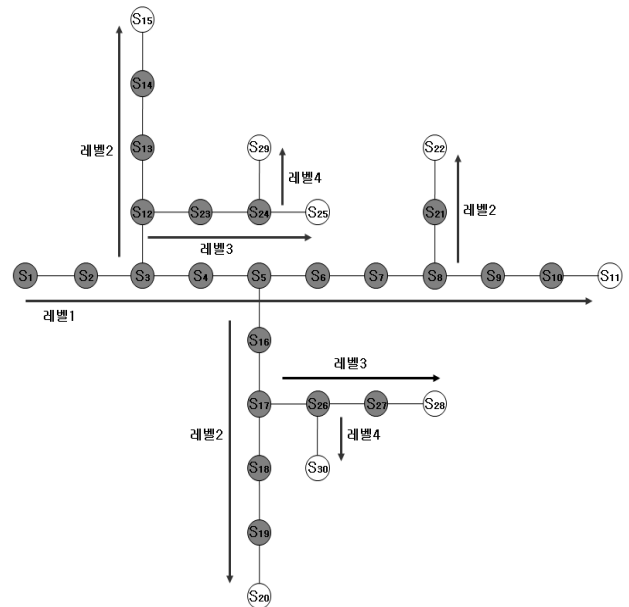


그림 7 회선별단선도에서 분기까지의 레벨  
 Fig. 7 Level of branches in the single line diagram

2.3 충돌회피 알고리즘

그림 8은 전력설비 심볼들이 같은 좌표에서 겹쳐지는 현상을 제거하는 알고리즘의 순서도를 나타내고 있다. 그림 8에서 보는바와 같이 충돌좌표 검색, 충돌회피 방법 수립, 충돌회피 실행 및 결과확인 단계로 진행된다.

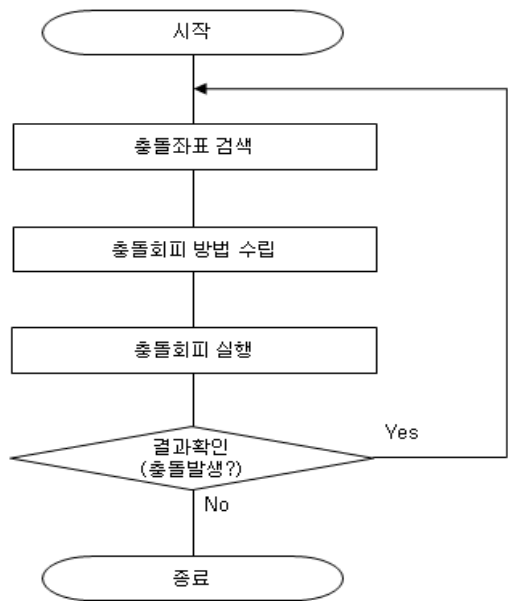


그림 8 충돌검출 및 회피 알고리즘 순서도  
 Fig. 8 Procedure of collision detection and avoidance

각각의 전력설비 심볼들은 하나의 직각좌표를 부여받아 화면에 표시되기 때문에 각 심볼들의 좌표를 비교하여 충돌을 인지하고, 그 좌표를 변경하여 충돌을 제거한다. 좌표를 변경하기 위하여 가상개폐기를 추가하는 방법을 쓰는데, 추가되는 개폐기의 위치, 개수 및 방향을 결정하는 일이 중요하다. 추가위치는 충돌지점에서부터 부모개폐기의 연결 관계를 이용하여 결정된다. 그림 9에서 레벨3 선로의 개폐기 S<sub>18</sub>은 레벨2 선로의 개폐기 S<sub>15</sub>에 가려져 화면에 나타나지 않는다. 충돌지점에 있는 개폐기 S<sub>18</sub>과 S<sub>15</sub>의 부모개폐기를 살펴보면 각각 S<sub>17</sub>, S<sub>10</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>1</sub>과 S<sub>5</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>1</sub>이다. 부모개폐기들 중에서 중복이 시작되는 개폐기 S<sub>3</sub>을 추가위치로 한다. 알고리즘의 효율성을 높이기 위해 추가할 가상개폐기의 개수는 부트리의 깊이가 낮은 것보다 하나 많게 한다. 그림 9에서 개폐기 S<sub>15</sub>의 자식개폐기는 S<sub>16</sub>이고, 개폐기 S<sub>18</sub>은 자식개폐기가 없기 때문에 추가개수는 1개이다. 충돌지점이 레벨1 선로의 상단에 위치하면 추가방향은 오른쪽과 위쪽 둘 중 하나이다. 충돌지점의 상단과 우측에 연결되어 있는 자식개폐기의 수를 비교하여 상단이 많은 경우에는 오른쪽, 우측이 많은 경우에는 위쪽을 추가방향으로 한다. 충돌지점이 레벨1 선로의 하단에 위치 할 때는 충돌지점의 우측에 연결된 자식개폐기가 많으면 아래쪽, 하단에 연결된 자식개폐기가 많으면 오른쪽을 추가방향으로 한다. 그림 9에서 충돌지점은 레벨1 선로의 상단에 있다. 충돌지점의 상단에는 하나의 자식개폐기가 연결되어 있고 우측에는 자식개폐기가 없기 때문에 추가방향은 오른쪽이 된다. 그림 10은 그림 9에서 나타난 겹침 현상을 제거한 것이다. 그림 10에서 보는 것처럼 개폐기 S<sub>3</sub>의 우측에 하나의 가상개폐기를 추가하여 회선별단선도의 좌표를 변경하였고, 추가된 개폐기를 화면에 표시하지 않기 때문에 토폴로지의 변경 없이 겹치는 부분이 제거된다.

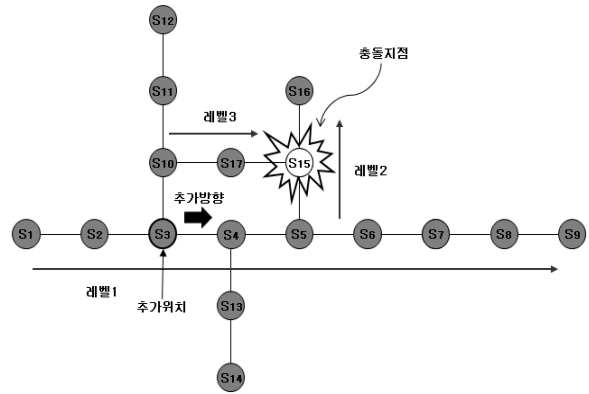


그림 9 충돌의 검출  
 Fig. 9 Detection of collision

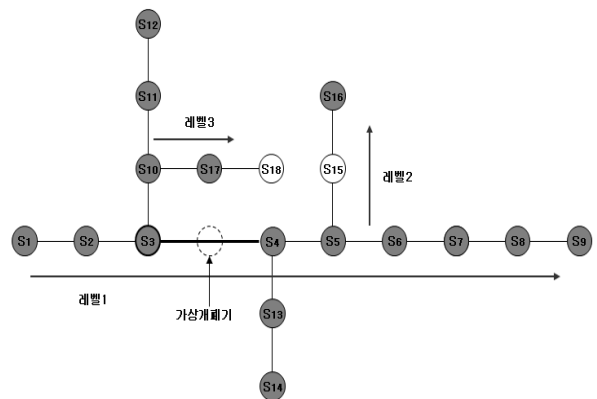


그림 10 충돌을 제거한 회선별단선도  
 Fig. 10 Elimination of collision

그림 11은 레벨1 선로상에 충돌지점이 있는 경우로서 개폐기 S<sub>4</sub>와 S<sub>17</sub>은 겹쳐있다. 추가방향 수립 방법은 앞서 살펴본 것과 동일하며, 추가되는 개폐기의 개수는 충돌지점을 기준으로 레벨4 선로상의 자식개폐기보다 하나 많게 한다. 레벨4 선로가 위에서 아래로 배치되어 있으면 상단, 밑에서 위로 배치되어 있으면 하단을 추가방향으로 한다. 그림 11에서는 개폐기 S<sub>3</sub>의 위쪽에 하나의 개폐기를 추가하여 충돌을 제거한다.

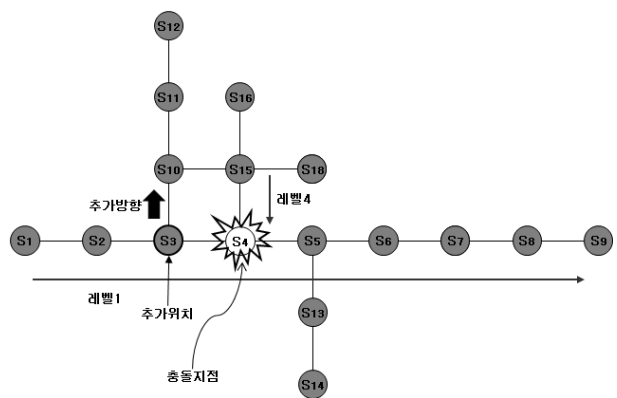


그림 11 레벨1 선로의 충돌  
 Fig. 11 Collision of level1

### 2.4. 사례연구

본 논문에서 제안한 방법의 유용성을 검증하기 위하여 부산정관지구 배전계통을 대상으로 회선별단선도 자동생성을 시뮬레이션 하였다. 테스트 계통은 12개의 배전선로, 204개의 자동 개폐기, 192개의 수동 개폐기 및 396개의 선로구간으로 구성되어 있다. 그림 12는 테스트 계통의 GIS기반 배전계통도를 나타내고 있다.

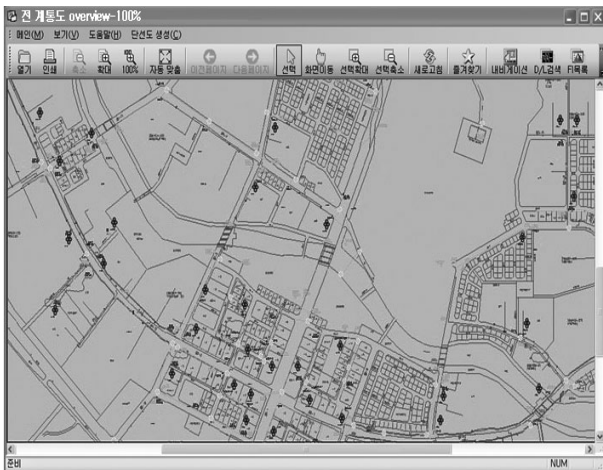


그림 12 GIS기반의 배전계통도  
Fig. 12 Distribution line diagram based on GIS map

그림 13은 정렬 및 충돌회피 기법을 적용하지 않고 작성된 선로 MF<sub>01</sub>의 회선별단선도를 도시하고 있다. 전력설비 심볼들이 화면의 한쪽으로 편중되고 서로 겹쳐서 선로 구성의 파악이 불가능함을 알 수 있다.

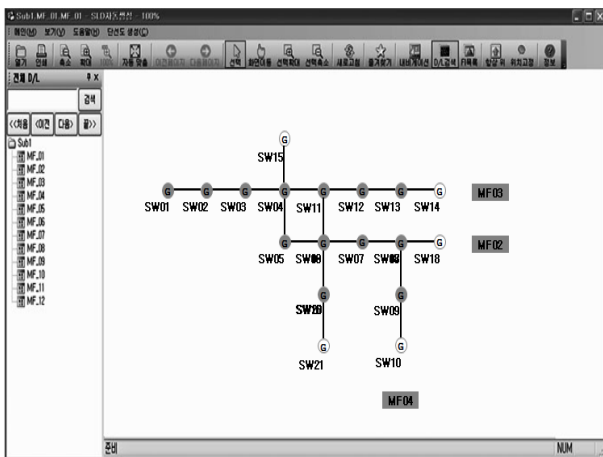


그림 13 조작되지 않은 회선별단선도  
Fig. 13 Primitive single line diagram

그림 14는 충돌회피 없이 정렬 알고리즘만을 사용하여 작성된 선로 MF<sub>01</sub>의 회선별단선도이다. 개폐기 심볼들이 분산되어 표시됨으로서 편중현상은 해소되었지만, 심볼들의 겹침 현상이 남아있어 선로구성을 인지하기 어렵다.

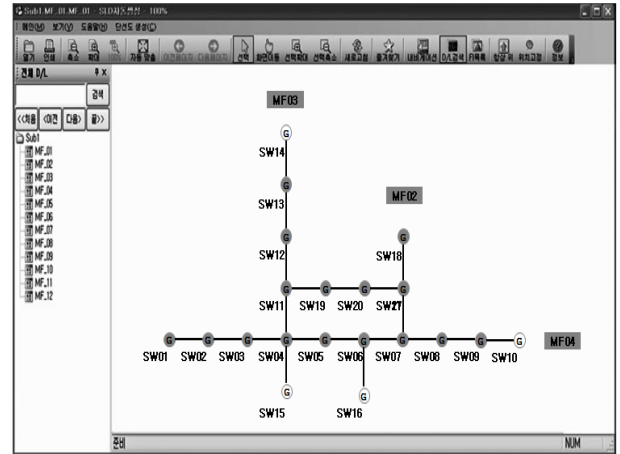


그림 14 정렬 알고리즘 적용된 회선별단선도  
Fig. 14 Single line diagram applying align algorithm

그림 15는 정렬 및 충돌회피 알고리즘을 모두 적용하여 작성된 회선별단선도이다. 그림 14와 비교하여 살펴보면 개폐기 SW<sub>04</sub>와 개폐기 SW<sub>05</sub>를 연결하는 구간의 길이가 길게 표시되어 겹치는 부분이 제거됨으로서 선로의 전기적 연결 관계를 쉽게 파악할 수 있음을 알 수 있다.

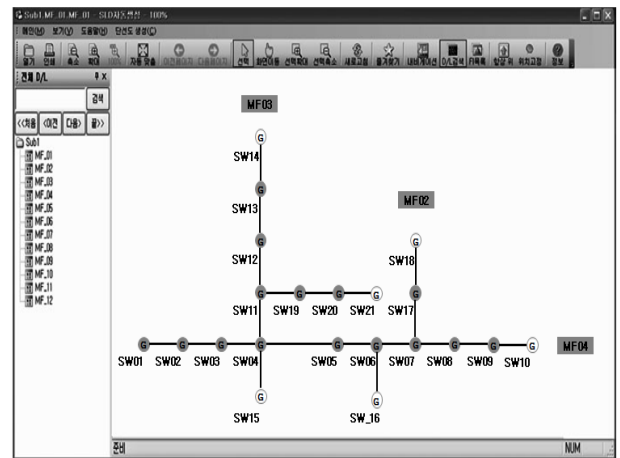


그림 15 충돌회피 알고리즘 적용된 회선별단선도  
Fig. 15 Single line diagram applying collision elimination

### 3. 결론

본 논문에서는 배전선로 토폴로지 변경에 즉각적으로 대응할 수 있도록 실시간 데이터 기반의 회선별단선도 자동생성 알고리즘을 제시하였다. 특히 전력설비 심볼의 편중 및 겹침 현상을 해소함으로써 선로구성의 인지능력을 개선하였다. 제안된 알고리즘은 실제계통 배전선로를 대상으로 한 사례연구를 통하여 유용성을 검증하였다. 향후 배전자동화시스템에 적용하면 선로구성 인지능력 향상을 위한 사용자 인터페이스 개선에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**감사의 글**

이 연구결과물은 2008학년도 경남대학교 신진교수 연구비 지원에 의한 것임.

**참 고 문 헌**

[1] S. Lee, S. Lim, and B. Ahn, "Service Restoration of Primary Distribution Systems Based on Fuzzy Evaluation of Multi-criteria," IEEE Trans. Power Syst., vol. 13, pp. 1156-1163, Aug 1998

[2] C. M. Huang, "Multi-objective Service Restoration of Distribution Systems Using Fuzzy Cause-effect Networks," IEEE Trans. on Power System, vol. 18, No. 2, pp. 867-874, May 2003.

[3] C. S. Chen, C. H. Lin, H. Y. Tsai, "A Rule-based Expert System with Colored Petri Net Models for Distribution System Service Restoration," IEEE Trans. Power Syst., vol. 17, No. 4, pp. 1073-1080, Nov. 2002.

[4] H. Fudo, et al., "An Expert System for Restoration of Distribution Network," 3rd Symposium on Expert System Application to Power System, April 1991.

[5] Kwang Ho Jung, Myeon-Song Choi, et, al, "A Service Restoration Algorithm for Power Distribution Networks Applying the Multi-agent System", KIEE International Trans. vol. 5-2, pp. 125-131, 2005

[6] Y. L. Ke, "Distribution Feeder Reconfiguration for Load Balancing and Service Restoration by using G-nets Inference Mechanism," IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 19, No. 3, pp. 1426-1433, 2004.

[7] A. Augugliaro, L. Dusonchet, and E. R. Sanseverino, "Genetic Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms : Three Heuristic Methods for Optimal Distributon Networks Reconfiguration and Compensation", Europe. Trans. Elect. Power Eng, vol. 9, No. 1, pp.35-41, Jan./Feb. 1999.

[8] D. Shirmohammadi, W. H. E. Liu, K. C. Lau, and H. W. Hong, "Distribution Automation System with Real-Time Analysis Tools," IEEE Computer Applications in Power, vol. 9, No. 2, pp.31-35, April. 1996.

[9] K. Kamei, Y. Nakamura, S. Abe, S. Takeda, J. Tsukamoto, and T. Kaga, "Highly Interactive Operator Workstation for Distribution Automation System using Spatial Data Management," IEEE Trans. on Power Systems, vol 9, No 1, pp.180-186, Feb. 1992.

**저 자 소 개**



**손 주 환 (孫周煥)**

2009년 경남대학교 전기공학과 졸업(공학사). 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : 055-275-3206

E-mail : juhwan.son@gmail.com



**임 성 일 (林星日)**

1994년 명지대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 경남대교 전기공학과 교수.

Tel : 055-249-2630

E-mail : slim@kyungnam.ac.kr