

## 서비스 지향적 방법론 기반의 배전선로 회선별단선도 생성 기법

(Service Oriented Architecture based Single Line Diagram Auto-drawing Technique in Distribution Automation Systems)

임성일\*

(Seongil Lim)

### Abstract

A single line diagram is a graphic user interface to represent electrical connectivity between power equipments in distribution automation systems. This paper proposes a new single line auto-drawing technique based on the service oriented architecture. Web service, CIM(Common Information Model) and SVG(Scalable Vector Graphics) are adopted to implement SOA concept. A web service demo system was established which is configured with the service provider, consumer and broker to verify the feasibility of this study.

Key Words : Single Line Diagram, DAS, SOA, Web Service, CIM, SVG

### 1. 서 론

배전자동화 시스템에서 배전선로를 표시하기 위한 사용자 인터페이스로는 배전계통도와 회선별단선도가 사용된다. 배전계통도는 GIS도면위에 전력설비 심볼을 실제위치에 대응하여 표시하였고, 회선별 단선도는 축척이 없는 도면위에 전력설비들을 전기적 연결관계를 중심으로 도시하였다. 배전계통 운영에는 주로 회선별단선도가 사용되는데 정전복구, 보호협조 및 최적화 등의 어플리케이션과 밀접하게 연동된다. 배전선로의 상시개방점은 운전조건에 따라 수시로 변경

될 수 있으므로 회선별단선도는 표출 시점의 토폴로지를 파악하여 자동으로 생성되어야 한다.

여러 개의 어플리케이션이 밀접하고 복잡하게 연결되어있는 시스템(Tightly Coupled System)에서 하나의 어플리케이션만을 독립적으로 수정하는 것이 매우 어렵다는 것은 소프트웨어 공학의 오랜 문제점이다. 배전자동화시스템은 다양한 어플리케이션이 탑재되어 있고 서로 복잡하게 얽혀있는 시스템이다. 특히 회선별단선도는 다양한 어플리케이션들과 연동되어 운영되기 때문에 주변시스템에 영향을 주지 않고 독립적으로 기능개선 및 유지보수를 위한 수정이 거의 불가능하다.

회선별단선도 생성에 관한 연구는 활발히 진행되어 왔다. CAD 기술을 이용한 방법[1]과 MD-tree를 이용한 연구[2]가 선행되었다. 이 연구들은 수동으로 회선별단선도를 생성하는 방법으로서 계통의 토폴로지 변

\* 주저자 : 경남대학교 전기공학과 교수  
Tel : 055-249-2630, Fax : 0505-999-2161  
E-mail : slim@kyungnam.ac.kr  
접수일자 : 2012년 4월 3일  
1차심사 : 2012년 4월 7일  
심사완료 : 2012년 5월 25일

화를 고려할 수 없다는 문제가 있다. 이를 개선하기 위해서 spring embedder 기법[3], Intelligent routing algorithm[4], 유전 알고리즘[5]을 이용해 GIS 도면으로부터 회선별단선도를 자동으로 추출하는 연구들이 진행되었다. 또한 참고문헌 [6]에서는 변전소 스카다로부터 CIM/XML 기반의 회선별단선도를 추출하는 연구가 수행되었다.

본 논문에서는 서비스 지향적 방법론(SOA: Service Oriented Architecture)를 적용하여 회선별단선도 자동생성 소프트웨어의 유연성, 확장성 및 재사용성을 획기적으로 향상시키는 방안을 제시한다. SOA를 구현하기 위하여 웹서비스 기술을 활용하고, 상호운용성을 확보하기 위하여 CIM(Common Information Model)과 SVG(Scalable Vector Graphics) 표준을 적용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2.1장은 기존의 배전 자동화시스템 환경에서 회선별단선도를 생성하는 방법과 문제점을 기술한다. 2.2장에서는 서비스 지향적 방법론에 의한 회선별단선도 자동생성 방법을 제시한다. 2.3장에서는 사례연구를 통하여 제안된 방법의 유용성을 검증한다.

## 2. 본 론

### 2.1 회선별단선도 자동생성 어플리케이션

#### 2.1.1 회선별단선도 자동생성의 필요성

정전복구, 보호협조 및 최적화 등의 배전계통 운영에 필요한 주요 업무를 효율적으로 수행하기 위해서는 배전설비의 전기적 연결 관계를 정확히 인지하는 것이 중요하다. 초기 배전자동화시스템의 사용자인터페이스로 사용된 배전계통도는 그림 1에 나타난바와 같이 전력설비를 실제위치에 대응되도록 GIS도면 위에 도시하였기 때문에 매우 복잡하여 선로의 토폴로지 파악에 어려움이 있다.

이를 보완하기 위하여 최근의 배전자동화시스템에서는 기존의 배전계통도와 더불어 추가로 회선별단선도를 제공하고 있다. 회선별단선도는 그림 2에서 보는 바와 같이 축척이 없는 도면위에 전력설비를 전기적

연결 관계를 중심으로 도시한 것이다.

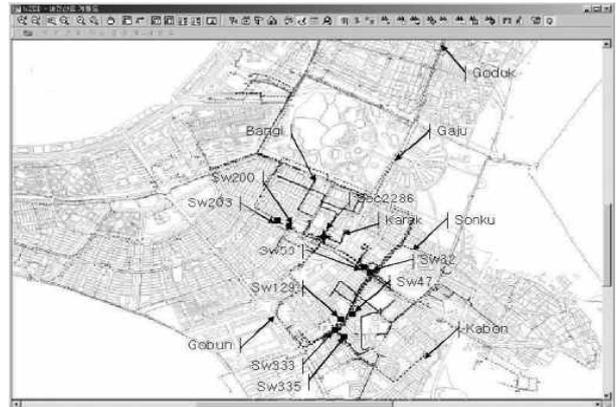


그림 1. GIS기반의 배전계통도  
Fig. 1. GIS based schematic diagram of distribution systems

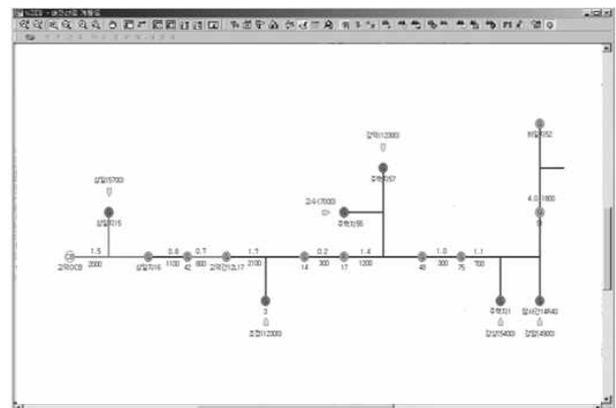


그림 2. 회선별단선도로 표시한 배전선로  
Fig. 2. Single line diagram of distribution line

과거의 회선별단선도는 그래픽 작성 툴을 이용하여 수동으로 모든 배전선로의 단선도를 미리 작성하여 저장해 두었다가 필요한 경우에 해당선로의 단선도를 화면에 표출하는 방식이었다. 그런데 배전선로는 운영상의 목적에 따라 상시개방점을 변경하는 경우가 빈번하므로 단선도를 미리 작성하여 사용할 경우 실제 선로구성과 일치하지 않는 경우가 있어 회선별 단선도에 오류가 있을 수 있다는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위하여 현재는 개폐기의 상태 정보와 설비들의 연결 관계를 기반으로 회선별 단선도를 자동으로 생성하는 소프트웨어를 개발하여 사용하고 있다.

### 2.1.2 회선별단선도 자동생성 알고리즘

그림 3은 회선별단선도에 사용되는 전력설비들의 데이터 구조와 회선별단선도 생성 방법을 나타내고 있다. 그림 3에서 보는바와 같이 개폐기의 상태정보와 선로구간 양단의 연결 관계 정보만을 이용하여 회선별단선도를 생성한다. 현재 한전 배전자동화시스템에 사용되고 있는 회선별단선도 자동생성 알고리즘은 참고문헌 [7]에 자세히 설명되어 있다. 대략적인 회선별단선도 생성절차는 다음과 같다. 먼저 데이터베이스로부터 토폴로지를 파악하여 선로구간과 개폐기로 이루어진 3진 트리를 구성한다. 다음으로 최장경로 탐색 등의 알고리즘을 이용하여 3진 트리를 화면표시에 적합한 형태로 정렬한다. 마지막으로 화면상에 전력설비가 겹치어 표시되면 충돌회피 알고리즘을 적용하여 적절히 표시되도록 조정한다.

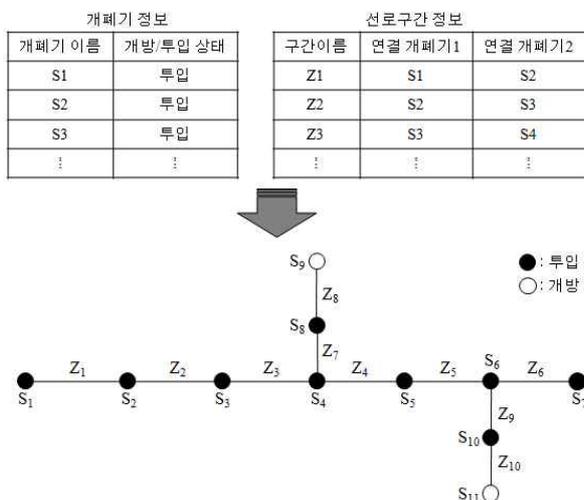


그림 3. 회선별단선도 자동생성  
Fig. 3. Single line diagram auto-drawing

### 2.1.3 회선별단선도 어플리케이션의 문제점

우리나라의 경우는 한전이 송배전사업을 독점하고 있기 때문에 한 가지 종류의 배전자동화시스템이 공통으로 사용되고 있다. 그러나 세계시장에서 보면 여러 제작사에서 개발된 다양한 종류의 배전자동화시스템이 각국에서 운영되고 있다. 엄밀히 말하면 국내에서도 민간구역사업자용이나 스마트배전운영시스템(SDMS) 등 몇 가지 종류의 배전자동화시스템이 존재

한다고 할 수 있다. 각각의 배전자동화시스템은 제작사의 사상이나 운영자의 요구에 따라 다양한 형태로 개발된다. 각 배전자동화시스템은 전력설비 모델링 체계, 데이터베이스 스키마, 그래픽디스플레이 방식, 미들웨어 구성 및 어플리케이션 인터페이스 등이 다르다. 회선별단선도 자동생성 어플리케이션 개발자의 입장에서 보면 같은 알고리즘을 사용하더라도 배전자동화시스템의 종류에 따라 각각 별도의 어플리케이션을 개발되어야 하며 소프트웨어 재사용은 이론처럼 용이하지 않다. 이와 같은 문제점은 어플리케이션의 기능개선이나 유지보수 과정에서 더욱 심각하게 나타난다. 즉 회선별단선도의 알고리즘을 개선 할 때마다 모든 종류의 배전자동화시스템을 위하여 각각 소프트웨어를 작성해야 한다. 그 반대의 경우도 배전자동화시스템을 새로 개발하거나 내부 구조를 변경할 경우 기존의 회선별단선도를 활용하기 어렵고 대부분 다시 만들어야 한다. 이러한 문제점은 비단 회선별단선도를 포함하는 배전자동화시스템 뿐만 아니라 구성요소들이 상호 밀접하게 연결된 시스템(Tightly Coupled System)에서 나타나는 공통적인 현상이다. 이를 일반적으로 표현하면 밀접하게 연결된 시스템 구성요소들의 복잡도가 증가하여 레츠네스트를 형성함으로써 발생한 IT의 경직성이 급격한 비즈니스의 변화를 수용하지 못하고 저해하는 것이라고 할 수 있다. 이를 해결하기 위하여 시스템 구성요소들을 좀 더 느슨하게 연결된 시스템(Loosely Coupled System)으로 하는 것이 바람직하다. 이러한 개념의 최신의 소프트웨어 체계를 SOA(Service Oriented Architecture)라 하고, SOA의 구현기술로는 현재 IT 산업 전반에서 폭넓은 동의를 얻고 있는 웹서비스 기술이 있다.

## 2.2 SOA기반의 회선별단선도 자동생성

본 단원에서는 먼저 서비스지향 방법론의 구현기술인 웹서비스를 소개하고, 이어서 전력설비 데이터 표준화를 위한 CIM과 그래픽 객체 표준화를 위한 SVG 기술을 설명한다. 마지막으로 웹서비스, CIM 및 SVG 기술을 기반으로 한 새로운 서비스 지향적 회선별단선도 생성 및 표출 체계를 제시한다.

2.2.1 웹서비스

어플리케이션들간의 상호운용성 확보를 위하여 기본이 되는 것은 운영체제나 구현기술에 영향을 받지 않고 원활하게 데이터를 교환하는 것이다. 웹서비스는 클라이언트의 운영체제나 구현기술에 상관없이 서버가 제공하는 서비스를 사용할 수 있도록 하는 기술이다. 정보 교환에 사용되는 메시지는 XML을 기반으로 작성되고 HTTP 프로토콜을 사용하여 전달되기 때문에 인터넷 상에서 원활한 데이터 교환이 가능하다. 웹서비스는 그림 4에서 보는 바와 같이 서비스 제공자, 서비스 중계자 및 서비스 소비자로 구성된다.

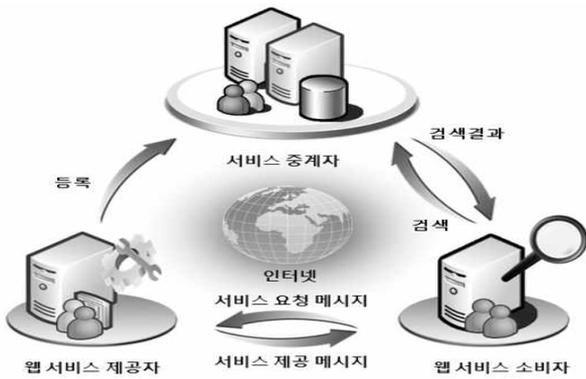


그림 4. 웹서비스 기반 시스템  
Fig. 4. Web service based system

웹서비스 시스템의 다음과 같은 순서로 동작된다. 먼저 서비스 제공자는 자신이 제공할 수 있는 서비스를 UDDI(Universal Description and Discover) 라고 불리는 서비스 중계자에게 등록한다. 서비스 소비자는 자신이 필요로 하는 서비스를 서비스 중계자에서 검색한다. 서비스 소비자는 필요한 서비스의 제공자 위치를 확인하여 서비스의 사용방법을 문의한다. 서비스 제공자는 WSDL(Web Service Description Language)이라는 언어로 기술된 서비스 사용법을 서비스 소비자에게 전송한다. 서비스 소비자는 서비스 사용법에 따라 서비스 제공자에게 서비스를 요청하고 그 결과를 제공받는다.

2.2.2 전력설비 모델 표준화 기술(CIM)

CIM이란 전력계통 구성요소들의 추상화 모델로써

독립적으로 개발된 시스템들 간의 상호운용성 확보를 위하여 IEC TC57에서 제안되었다. 전력설비의 모델을 객체 클래스, 속성 및 클래스들 간의 연관관계로 표현한다.

회선별단선도 생성에 사용되는 토폴로지 패키지에서는 전력설비의 연결 관계를 터미널과 커넥티비티 노드로 표현한다. 전력설비의 양단에 터미널을 설치하고, 터미널과 터미널을 커넥티비티 노드로 연결하는 구조이다. 그림 5는 실계통 전력설비를 CIM 모델로 표현하는 방법을 나타내고 있다. 실계통 전력설비를 살펴보면 개폐기  $S_1$ 은 선로구간  $Z_1$ 과 연결되어 있고 선로구간  $Z_1$ 은 개폐기  $S_2$ 와 연결되어 있다. 이 경우 CIM 모델에서는 개폐기  $S_1$ 에 연결되어 있는 터미널  $T_2$ 와 선로구간  $Z_1$ 에 연결되어 있는 터미널  $T_3$ 을 커넥티비티 노드  $CN_1$ 에 연결하여 개폐기  $S_1$ 과 구간  $Z_1$ 의 연결 관계를 표현한다.

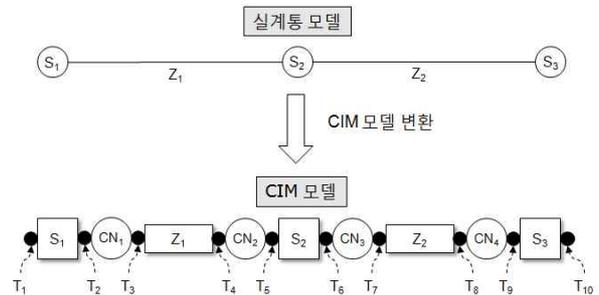


그림 5. CIM기반의 배전선로 모델  
Fig. 5. CIM model of distribution feeders

모든 배전자동화 시스템은 각자의 전력설비 모델을 기반으로 설계되고 구현된다. 독립적으로 개발된 시스템들이 서로 데이터를 교환하기 위해서는 표준화된 모델이 필요한데, 현재 가장 폭넓은 동의를 얻고 있는 것이 CIM이다. 따라서 상호운용성 확보를 위해서는 각각의 시스템들이 각자의 데이터 모델을 CIM 모델로 맵핑하여 Import/Export 할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 데이터의 표준모델로서 CIM을 사용한다.

2.2.3 그래픽 모델 표준화 기술(SVG)

각각 독립적으로 개발된 시스템들이 회선별단선도와 같은 그림을 주고받기 위해서는 그래픽 모델 표준

이 필요하다. 본 연구에서는 그림 파일을 주고받기 위한 표준으로서 W3C 주도하에 개발된 XML기반의 벡터 그래픽 표현기술인 SVG를 사용한다. SVG는 텍스트 기반 문서인 XML로 작성되어 있기 때문에 인터넷을 통해 쉽게 전송 할 수 있다. 또한 다양한 운영체제나 플랫폼에서 사용할 수 있고 크기 조정 시 좋은 그래픽 품질을 유지한다는 장점이 있다. 그림 6은 SVG를 이용하여 회선별단선도 작성할 때 필요한 기본적인 도형인 원, 사각형, 직선을 표현하는 방법을 나타내고 있다. 그림의 왼쪽에 나타난 XML 문서가 데이터로 전달되면 플랫폼에 관계없이 오른쪽과 같은 그래픽을 표출할 수 있다.

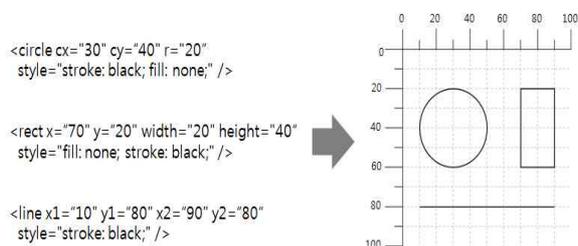


그림 6. SVG를 이용한 그래픽 표현  
Fig. 6. SVG based graphic display

SVG 표현방법을 그림 6에서 간단히 설명하면 다음과 같다. 원을 표출하기 위해서는 중심점 x, y 좌표와 반지름 데이터가 필요하며 각각 cx, cy, r로 나타내고 있다. 사각형은 왼쪽 상단의 x, y좌표와 사각형의 가로, 세로 길이를 이용해서 표현하는데, 각각 x, y, width, height로 나타내고 있다. 직선은 시작지점의 x, y좌표와 종료지점의 x, y좌표를 사용하고 있으며, 각각 x1, y1, x2, y2로 나타내고 있다.

#### 2.2.4 서비스 지향적 회선별단선도 생성 및 표출 체계

그림 7을 이용하여 웹서비스, CIM 및 SVG로 구성된 회선별 단선도 생성 및 표출 체계를 설명하면 다음과 같다. 먼저 배전자동화시스템은 표출하고자 하는 선로의 개폐기, 구간 및 연결 관계 등의 전

력설비정보를 표준화된 모델로 변경하여 회선별단선도 서버에 전송한다. 배전자동화시스템은 스마트배전운영시스템이나 구역사업자 등의 예에서 보는바와 같이 다양한 사상에서 개발될 수 있으므로 배전설비에 대한 모델 또한 서로 다르다. 다양한 설비모델을 가진 배전자동화시스템들이 회선별 단선도 서버와 데이터를 교환하기 위해서는 표준화가 필요한데 이때 사용되는 것이 CIM이다. CIM은 공통표준 모델로서 배전자동화시스템의 내부에 각자의 형태로 모델링된 전력설비를 CIM/XML으로 변환하여 전송함으로써 회선별 단선도 서버가 설비의 구성을 이해할 수 있게 한다. 회선별단선도 서버는 요청된 선로의 설비 구성을 파악하고 주어진 알고리즘에 따라 회선별 단선도를 생성한다. 생성된 회선별단선도를 벡터그래픽 표준인 SVG 포맷으로 작성하여 서비스 소비자인 배전자동화시스템으로 전송한다. 배전자동화 시스템은 SVG로 작성된 XML 문서를 파싱하여 화면에 회선별 단선도를 표출한다.

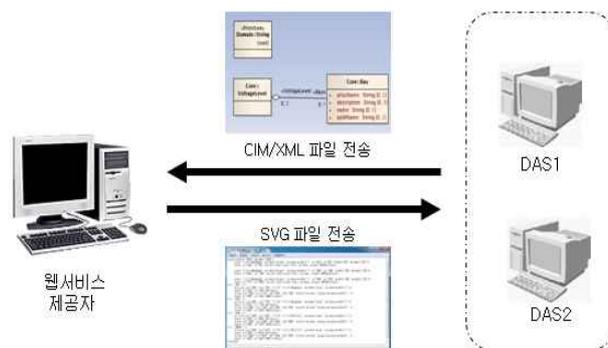


그림 7. 웹서비스 기반의 회선별단선도 생성  
Fig. 7. Web service based single line diagram auto-drawing

이와 같이 회선별단선도 생성체계를 웹서비스 기반으로 구현하게 되면, 회선별 단선도 자동생성 알고리즘이 변경되더라도 배전자동화시스템에는 영향이 없으므로 기능개선이나 유지보수가 용이하게 된다. 또한 복수의 회선별단선도 서비스제공자가 경쟁할 수 있으므로 기술발전을 유도할 수 있다. 물론 이러한 장점은 회선별 단선도 뿐만 아니라 정전복구, 보호협조

및 최적화 등의 모든 배전자동화용 어플리케이션에 대해서도 적용가능하다.

### 2.3 사례연구

본 논문에서 제시한 방법론의 유용성을 검증하기 위하여 회선별 단선도 자동생성 알고리즘을 탑재한 웹서비스 서버와 SVG 뷰어를 포함하는 웹서비스 클라이언트를 개발하였다. 웹서비스 기반 회선별단선도 자동생성 기능의 확인 절차는 다음과 같다. 먼저 클라이언트가 예제계통을 CIM 모델로 변환하고, CIM/XML 문서로 작성하여 서버로 전송한다. 서버는 회선별단선도 자동생성 알고리즘을 수행하고 도면을 SVG 파일로 작성하여 클라이언트로 전송한다. 클라이언트는 SVG 뷰어를 이용하여 회선별단선도를 도시한다. 표출된 회선별 단선도가 처음의 예제계통과 동일하다면 웹서비스 기반 시스템이 정확히 동작하였다고 판단할 수 있다.

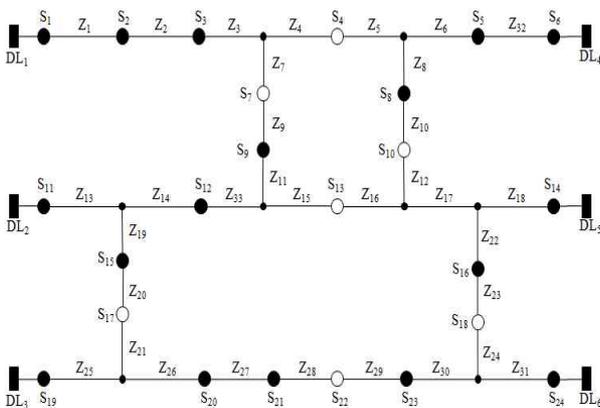


그림 8. 6선로 예제 배전계통  
Fig. 8. 6 feeder example distribution system

그림 8은 사례연구에 사용된 6선로 예제 배전계통으로서 24개의 개폐기, 33개의 구간 및 8개의 분기점으로 구성되어 있다.

그림 9는 그림 8의 예제계통에서 DL2를 CIM 모델로 변환한 모습을 도시하고 있다. 예제계통을 CIM 모델로 변환했을 경우 개폐기에 연결되는 44개의 터미널과 구간에 연결되는 66개의 터미널이 생성된다.

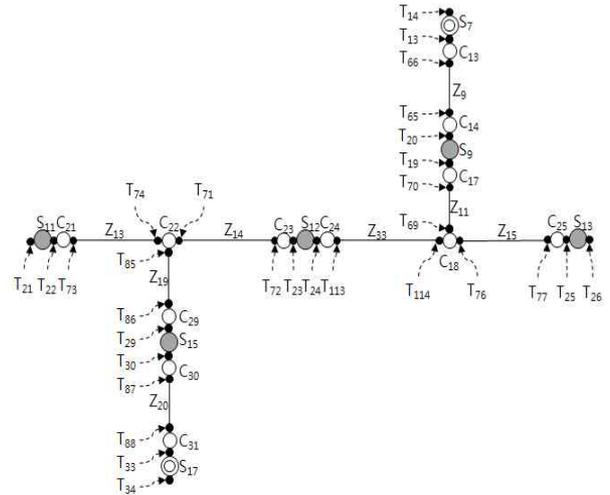


그림 9. DL2의 CIM 모델 표현  
Fig. 9. CIM based representation of DL<sub>2</sub>

그림 10은 클라이언트 측의 CIM 모델 변환 모듈이 생성한 CIM/XML 파일 나타내고 있다. 그림 10에서 보는바와 같이 터미널이 연결되어 있는 설비와 커넥터비티 노드 정보를 가지고 있는 터미널들이 생성되고 있다.



그림 10. CIM 기반의 토폴로지 데이터  
Fig. 10. CIM based topology data

그림 11은 서버 측의 회선별단선도 자동생성 모듈이 작성한 SVG 파일을 나타내고 있다.

그림 12는 서버가 작성한 SVG 파일을 클라이언트에서 뷰어를 이용하여 화면에 표출한 회선별단선도이다. 그림 8의 예제계통과 확인해 보면 회선별단선도가 정확히 생성되었음을 확인할 수 있다.

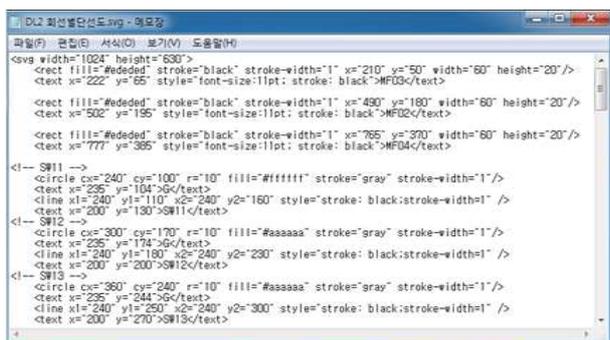


그림 11. 회선별단선도를 표현한 SVG 파일  
Fig. 11. SVG file for single line diagram

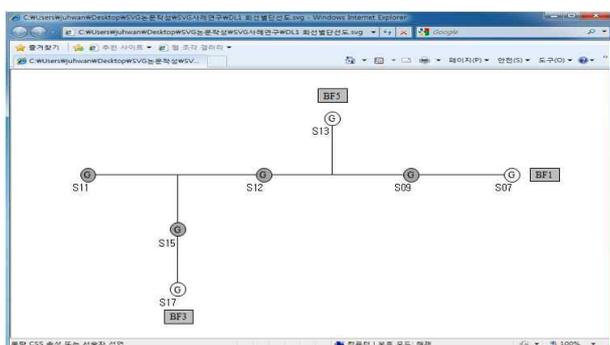


그림 12. SVG 뷰어를 이용한 회선별단선도 표출  
Fig. 12. Single line diagram using SVG viewer

### 3. 결론

밀접히 연결된 시스템(Tightly Coupled System)에서 IT의 경직성이 비즈니스의 변화를 저해하는 것은 소프트웨어 공학의 일반적인 문제점이다. 회선별단선도 자동생성 기능을 비롯하여 배전자동화시스템을 구성하는 어플리케이션 전반에서 이와 같은 현상이 나타난다. 본 논문에서는 CIM, SVG 및 웹 서비스 기술을 이용하여 느슨하게 연결된 시스템(Loosely Coupled System)인 서비스 지향적 구조의 배전자동화시스템 회선별단선도 자동생성 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 구조로 회선별단선도 자동생성 기능을 개발하면 주변 시스템에 주는 영향을 최소화하면서 어플리케이션의 기능개선이나 유지보수를 원활히 수행할 수 있다. 또한 이러한 소프트웨어 방법론을 정전복구, 보호협조 및 최적화 등 배전자동화시스템 전반으로 확대적용하면 어플리케이션간의 독립성

을 유지함으로써 소프트웨어 재사용성을 극대화할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

이 연구는 2010년도 경남대학교 학술진흥 연구비 지원에 의한 것임.

### References

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Y. S. Ong, H. B. Gooi, C. K. Chan, "Algorithm for automatic generation of one-line diagrams," IEE proc. Generation. Vol. 147, No. 5, pp. 292-298, Sep. 2000.
- [4] Xianqi Li, Xiaoliang Feng, Zhiyuan Zwng, Xuejun Xu, "Distribution Feeder One-Line Diagrams Automatic generation from Geographic Diagrams Based on GIS," DRFT 2008 third international conference. pp. 2228-2232, April. 2008.
- [5] I. Lendak, M. Poth, D. Capko, S. Vukmirovic, A. Erdeljan, "Electric power system one-line diagram generation with genetic algorithm," SISY 2010 8th international symposium, pp. 487-491, Sep. 2010.
- [6] C. W. Ten, E. Wuergler, H. J. Diehl, H. B. Gooi, "Extraction of Geospatial Topology and Graphics for Distribution Automation Framwork," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 23, No. 4, pp. 1776-1782, Nov. 2008.
- [7] J. H. Son, "Single Line Auto-drawing Algorithm for Distribution Line", Trans. KIEE. vol. 59, No. 5, pp. 854-859, May, 2010.

#### ◇ 저자소개 ◇



**임성일 (林星日)**

1967년 7월 10일생. 1994년 명지대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 석사과정 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 박사과정 졸업(박사). 현재 경남대학교 전기공학과 교수.  
Tel : 055-249-2630  
E-mail : slim@kyungnam.ac.kr