

상용 전압안정도 해석 프로그램 설계

신만철, 오성균, 김건중*, 황인준*, 박현신*
(주)파워이십일, 충남대학교*

Design Of practical Voltage Stability Analysis Program

Shin, Man Cheol Oh, Sung Kyun Kim, Kern Joong* Hwang, In Joon* Park, Hyun Shin*
Power21 Corp. *Chungnam Nat'l univ.

Abstract - Voltage control and stability problems are very important in the electric utility industry. But there is no voltage stability analysis program which has reliability as commercial program in domestic. We are developing a practical voltage stability analysis program. In this paper, we will study the existing commercial program and then discuss design of practical analysis tool.

1. 서 론

전압 제어와 안정도 문제는 전력산업에서 새로운 것은 아니지만, 많은 분야에서 관심을 받고 있다. 우리나라에서의 전력수요의 증가와 전원의 편재로 인한 지역간 유통전력의 증가는 전력계통의 불균형을 초래할 수 있다. 뿐만 아니라 이러한 중부하 송전선로에서 사고라도 발생할 경우에는 계통전압이 이상적으로 저하하여 급기야 계통 대정전으로 진행되는 전압붕괴(voltage collapse) 현상을 발생시킬 수 있다. 전압 불안정(voltage instability)과 전압붕괴에 이르게 하는 주요 요인은 전력 시스템이 무효전력에 대한 요구를 충족시키지 못하기 때문이다. 2003년 8월 14일 미국 북동부에서 발생한 대정전 사례는 전압붕괴의 대표적 사례이다. 우리나라에서도 이러한 사고에서 예외일 수는 없는 것이다.

신뢰성 있는 전력계통의 계획 및 운전은 전 세계 모든 국가의 전력계통 운영에 있어서 최대의 목표이다. 이러한 목표를 달성하기 위해 여러 가지 전력계통 해석 도구를 사용하게 된다. 그러한 해석 도구들은 이미 개발되었고 상용으로 사용되고 있다. 그러나 모두 외국에서 개발된 프로그램으로서 우리나라의 실정에 안 맞는 측면이 있고 편리성과 효율성 면에서 부족한 점이 있다. 이러한 간극을 매우고 사용자가 편리하게 원하는 기능을 처리할 수 있도록 하기 위해, 상용 전압안정도 해석 프로그램의 필요성이 꾸준히 대두되었다. 본 연구진은 그러한 필요성을 충족시키는 상용 전압안정도 해석 프로그램을 개발하고자 지금까지 연구 개발을 진행하여왔고 상당한 진척 결과를 얻을 수 있었다. 본 논문을 통해 그 간의 개발 내용인 '상용 전압안정도 해석 프로그램의 설계'에 대해 소개하도록 하며, 향후에는 유력 논문지를 통해 '전압안정도 해석 프로그램의 개발 및 검증'을 주제로 연구 진행 사항을 알리고자 한다.

2. 본 론

2.1 기존 상용 프로그램 분석

전력계통 해석용 프로그램으로 우리나라에서 주로 사용되고 있는 것은 미국 PTI社의 PSS/E이다. 이것은 계통 해석을 위한 범용 프로그램으로서 그 기능이 다양하지만, 전압안정도 해석과 같은 반복적인 과정을 모의할 경우 적절한 자동화 방안이 없다. 대신에 PSS/E에서는 사용자가 프로그래밍 언어로 코드(code)를 직접 작성하여 반복

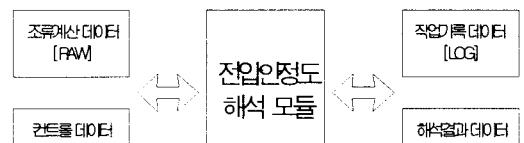
과정을 모의할 수 있도록 하고 있다. 그러나 이는 코드 작성의 부담을 프로그램 개발자가 아닌 사용자에게 지우는 것이고, 사용의 편리성과 효율성에 대한 측면이 배제되었다고 할 수 있다.

그밖에 전압안정도 해석 도구로서, 캐나다 Powertech社의 VSAT 프로그램이 있다. 특별히 전압안정도 해석을 위해 개발된 프로그램이기 때문에 반복과정의 자동화는 달성되었다고 할 수 있다. 그러나 입출력 데이터 파일의 종류가 30개가 넘을 정도로 많이 번잡스러운 면이 있다. 해석 수행을 위해서는 최소 4~5개 정도의 입력 데이터를 일일이 작성해야만 하는 수고를 해야 한다.

실용적인 전압안정도 해석 프로그램을 개발하려면 이러한 측면이 고려되어야 한다. 우선은 반복과정의 모의에 대한 자동화 기능이 달성되어야 하고, 데이터 조작의 편리성이 수반되어야 하며, 강력한 성능이 뒷받침 되어야 한다. 다음 절에 설계에 반영해야 할 내용들을 자세히 전개한다.

2.2 전압안정도 해석 프로그램 설계의 주안점

기존의 상용 프로그램에서의 입출력 파일의 과다와 같은 불편을 줄이기 위해 [그림 1]처럼 입출력 데이터 구조를 단순화 하였다. 입력 데이터 파일에 있어, 조류계산을 위한 계통 데이터[RAW]와 각종 파라미터를 포함한 컨트롤 데이터[CON]로 간소화하였다. 출력 데이터 파일은 사용자가 작성한 시나리오와 해석 수행 중간 결과를 기록하는 작업기록 데이터[LOG]와 해석결과 데이터[OUT]로 구분하였다.

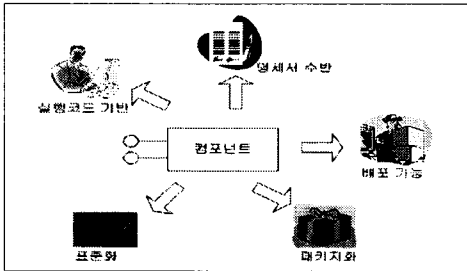


[그림 1] 프로그램 입출력 구조

프로그래밍 언어의 선택은 개발 프로그램의 성능과 확장성으로 직결되는 부분이다. 전통적으로 과학기술용으로 Fortran이 널리 사용되어 왔다. 그러나 10년 전부터 객체지향 프로그래밍(Object Oriented Programming) 개념으로 무장한 C++가 그 자리를 서서히 대신하게 되었고 영역을 확대해 나가고 있다. 현재, 알고리즘 모듈은 Fortran을 이용하고 사용자 화면 모듈은 C++를 이용하는 추세이다. 또는 그 두 가지 모듈을 모두 C++를 이용하여 만들고 있다. 최근의 소프트웨어 개발의 경향은 RAD(Rapid Application Development)¹⁾에 입각한 도구와 방법론을 지향하고 있으며, COM(Component Object Model)²⁾ 프로그래밍 요소를 취하고 있다. 종래

- 1) 빠른 속도로 응용 프로그램을 개발하는 도구 또는 그런 개발 방법을 말한다.
- 2) 서로 다른 플랫폼에서 구동되는 클라이언트/서버 애플리케이션

의 개발 언어로는 이러한 경향을 반영하기 힘들게 되었다. 또한 웹을 기반으로 하는 인터넷 시대의 프로그래밍 언어의 요구사항들을 충족시키는 데에도 한계를 드러내게 되었다. 결국 새로운 언어의 출현을 기대하게 되었고, 이러한 기대에 부응하는 언어가 C#(C Sharp)언어이다. C#언어는 앞서 말한 객체지향 개념과 COM 아키텍처, 웹 기반 확장이 가능한 최신의 프로그래밍 언어이다. 특히 CBD(Component Based Development)³⁾ 패러다임을 완벽히 지원하여 블록을 조립하듯이 프로그래밍을 할 수 있는 것이 최대의 장점이다.



[그림 2] 컴포넌트의 특징

연구 개발 프로그램의 알고리즘 모듈과 사용자 화면 모듈은 모두 C#언어를 이용하여 개발되도록 하였다. 그리하여 로컬 머신에서 기동이 온전히 되는 것은 물론이고, 향후 온라인에서도 분산 처리가 가능할 수 있도록 하였다.

2.3 설계 상세 내용

설계에 대한 내용으로 입력 데이터와 출력 데이터의 내용을 밝히고, 해석 모듈의 설계를 진행하고자 한다.

2.3.1 입력 데이터 설계

컨트롤 데이터[CON]는 텍스트 정보로 이루어져 있고, 공간과 쉼표, 개행으로 구분된다. [그림 3]은 CON 파일의 내용을 테이블로서 정리한 것이다.

0. Description	
1. LFParameter	
2. VSParameter	
3. SVMMode	
4. SVMonitor	
5. FVMode	
6. FVMonitor	
7. IncLoad	
8. IncGen	
9. DecGen	
10. ContinBus	
11. ContinLine	
12. ContinGen	
13. GCC	

[그림 3] 컨트롤 데이터의 구조

이선들이 투명하게 서로 통신할 수 있도록 해주는 객체지향의 개방형 아키텍처 규약 혹은 그 구현.

3) 컴포넌트 기반 개발. CBD 방법론은 요구사항 분석, 아키텍처, 설계, 구축, 테스트, 배포 기술 기반 지원, 프로젝트 관리 등 소프트웨어 전반의 개발 라이프 사이클에 대한 모든 측면과 절차를 컴포넌트 기반으로 접근하는 소프트웨어 개발 방법론이다.

컨트롤 데이터를 이용하여 유효전력/무효전력 여유분 계산(SV)과 용통전력 여유분 계산(FV)⁴⁾을 수행할 수 있다. 아래는 각 데이터 테이블에 대한 설명이다.

- Description : 컨트롤 데이터에 대한 설명이다.
- LFParameter : 조류계산에 대한 옵션을 설정한다.
- VSParameter : 전압안정도 해석의 전반적인 내용을 옵션으로 설정한다.
- SVMMode : 유효전력, 무효전력 여유분을 계산할 때 적용하는 옵션을 설정한다.
- SVMonitor : 유효전력, 무효전력 여유분을 계산할 때 모니터링 하고자 하는 정보를 나타낸다.
- FVMode : 용통전력 여유분을 계산할 때 적용되는 옵션을 설정한다.
- FVMonitor : 용통전력 여유분을 계산할 때 모니터링 하고자 하는 정보를 나타낸다.
- IncLoad : 유효전력, 무효전력 여유분 계산시 부하가 증가되는 모선을 지정한다.
- IncGen : 유효전력, 무효전력 여유분 계산시 또는 용통전력 여유분 계산시 발전량이 증가되는 모선을 지정한다.
- DecGen : 유효전력, 무효전력 여유분 계산시 또는 용통전력 여유분 계산시 발전량이 감소되는 모선을 지정한다.
- ContinBus : 상정사고 지정시 탈락되는 모선을 지정한다.
- ContinLine : 상정사고 지정시 차단되는 선로 또는 변압기를 지정한다.
- ContinGen : 상정사고 지정시 탈락되는 발전기를 지정한다.
- GCC : 발전기 성능 곡선 데이터를 설정한다.

전압안정도 해석에서 컨트롤 데이터 모두를 사용하는 것이 아니기 때문에, SV해석과 FV해석 각각을 수행하기 위해 필요한 컨트롤 데이터를 구분할 필요가 있다. 이는 [표 1]처럼 '필수' 항목과 '선택' 항목으로 구분된다.

[표 1] SV해석과 FV해석에 필요한 컨트롤 데이터

SV 해석	구분	FV 해석
LFParameter VSParameter SVMMode SVMonitor IncLoad	필수	LFParameter VSParameter FVMode FVMonitor IncGen DecGen
ContinBus ContinLine ContinGen GCC IncGen DecGen	선택	ContinBus ContinLine ContinGen GCC IncLoad

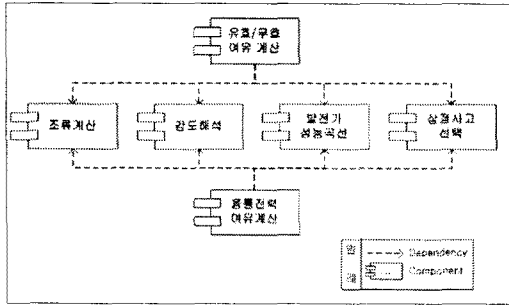
VSParameter를 통해 SV해석과 FV해석 중에서 원하는 해석기능을 선택할 수 있다. '필수' 항목과 '선택' 항목을 지정하는 데이터는 SVMMode와 FVMode에서 각각 지정하도록 하여 체계적으로 처리될 수 있도록 하였다.

2.3.2 해석 모듈 설계

해석 모듈의 내용은 크게 유효/무효전력 여유계산 기능과 선로의 용통전력 여유계산 기능으로 요약된다. 이러한 기능 각각은 조류계산, 감도해석, 발전기 Capability 고려, 상정사고 선택과 결합될 수 있다. [그림 4]는 CBD에

4) 본 논문에서는 유효전력과 무효전력 여유분 계산(각각 PV 곡선과 VQ곡선을 도출)을 SV해석이라 하였고, 선로의 용통전력 여유분 계산(FV곡선 도출)을 FV해석이라 하였다.

기본한 해석 컴포넌트의 설계이다.



[그림 4] 해석 컴포넌트 다이어그램

위의 그림에서 알 수 있듯이 조류계산, 감도해석, 발전기 성능 곡선, 상정사고 선택 컴포넌트는 유효/무효전력 여유계산과 유통전력 여유계산을 위한 애플리케이션의 기본 부품으로 기여하게 된다. 종래의 순차적인 소프트웨어 개발 방법론에 의해 개발하였다면, 각각의 애플리케이션을 위한 모듈을 따로 따로 만들어야 했을 것이고 확장 및 효율성에 많은 문제점을 나타냈을 것이다.

2.3.3 출력 데이터 설계

2.3.3.1 작업기록 데이터 설계

사용자는 프로그램에 대해 명령을 입력하고 그에 대한 응답을 얻는다. 명령처리 절차가 아주 짧은 시간에 끝날 경우에는 최종 결과를 사용자에게 보여준다. 그러나 수 초 이상 걸릴 경우에 중간에 사용자에게 정보를 계속 제공하여야 한다. 그리고 여러 가지 명령을 함께 수행할 경우 그러한 명령에 수반되는 중간 결과들이 기록되어야 한다. 작업기록 데이터는 이러한 정보를 기록하기 위한 데이터이다. 전압안정도 해석에 필요한 작업기록 데이터 목록을 정리하는 것이 필요하다. 그러한 목록은 [표 2]와 같다.

[표 2] 작업기록 데이터 목록

데이터 목록	의미
• 계통 정보	해석하고자 하는 계통의 요약 정보
• 계산 파라미터	설정된 해석 옵션으로서 조류계산 옵션과 전압안정도 해석 옵션을 포함한다
• 트랜스퍼	전압안정도 해석 중의 시스템 변경 정보로서 유통전력의 양 등을 기록한다
• 상정사고	상정사고로 선택된 모선, 발전기, 선로의 정보를 기록한다
• 모니터	사용자가 모니터링하고자 선택한 내용들을 기록한다
• 계산 과정	조류계산의 반복 수행 과정 등을 기록한다
• 계산 결과	해석 수행후의 요약 정보를 기록한다

2.3.3.2 해석결과 데이터 설계

해석결과 데이터는 사용자가 해석 결과물로서 보고자 하는 것으로서 테이블이나 그래프, 리포트 형식으로 출력될 수 있다. 작업기록 데이터 목록을 정리한 것과 마찬가지로 해석결과 데이터의 목록도 분류되어야 한다. 해석결과 데이터는 [표 3]과 같이 분류될 수 있다.

[표 3] 해석결과 데이터 목록

데이터 목록	의미
• PV 결과	유효전력 여유계산 결과로서 지정한 모선의 전압과 유효전력이 주요한 내용이다.
• VQ 결과	무효전력 여유계산 결과로서 지정한 모선의 전압과 무효전력이 주요한 내용이다.
• FV 결과	유통전력 여유계산 결과로서 지정한 모선의 전압과 선로의 전력이 주요한 내용이다.
• 감도 정보	모선, 선로, 발전기의 감도 정보를 출력한다

3. 결 론

편리하고 효과적인 소프트웨어를 만들기 위해서는 사용자의 환경과 업무 분석이 선행되어야 한다. 이러한 분석 과정이 철저하게 이루어지지 않는다면, 아무리 좋은 기술과 현란한 사용자 화면을 제공하더라도 외면받게 될 것이다.

본 연구의 목표는 실용적인 전압안정도 해석 프로그램의 개발이다. 이를 위해 기존 상용 프로그램의 장단점을 분석하였고, 실제 사용자와의 면담을 병행하였다. 그러한 분석 결과를 토대로 해석 프로그램의 설계를 진행하였다. 프로그램의 성능에 있어 개발언어와 개발 방법론의 선택도 중요한 요소이기에, 최신의 인터넷 프로그래밍 언어인 C#과 CBD 방법론을 채택하였다. 입력 데이터의 설계로부터 해석 모듈과 출력 데이터로의 설계를 충실하게 진행하였다.

이제, 이러한 단단한 설계를 기본으로 하여 해석 프로그램의 개발 과정이 진행될 것이다. 개발된 프로그램은 사용자의 평가 과정을 거치게 될 것이며, 평가 후 나타난 문제점과 새로운 요구사항들은 개발 프로그램에 반영 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김건중, "전력계통 전압안정도 해석기술", 전기학회지, 제 50권 7호, pp.30-36, 2001-07
- [2] P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, Inc. 1994
- [3] M.A.PAI, "Computer Techniques in Power System Analysis", 1979
- [4] PSS/E-28 Program Operation Manual, Power Technologies, Inc. 2001
- [5] VSAT v2.0 Auto Feature Manual, Powertech Inc. 2001
- [6] Martin Fowler, "UML Distilled", Addison Wesley Longman, 2000
- [7] Erich Gamma, John Vlissides, Ralph Johnson, Richard Helm, "Design Patterns : Elements of Reusable Object-Oriented Software", McGraw-Hill, 1995
- [8] John Brant, Kent Beck, Martin Fowler, William Opdyke, "Refactoring : Improving the Design of Existing Code", Addison-Wesley, 1999
- [9] John Brant, Kent Beck, Martin Fowler, William Opdyke, "Refactoring : Improving the Design of Existing Code", Addison-Wesley, 1999
- [10] 컴포넌트비전(주), "실전 CBD Project", 영진닷컴, 2004