

# 저압계통 보호 엔지니어링을 위한 시각화 소프트웨어 개발

論 文  
55A-7-5

## A Development of Visualization Software for Protective Engineering in Low-Voltage Power Systems

尹 尙 潤\* · 李 南 鎬\*\* · 李 旭 和\*\*\* · 李 鎭§ · 金 載 哲†  
(Sang-Yun Yun · Nam-Ho Lee · Wook-Hwa Lee · Jin Lee · Jae-Chul Kim)

**Abstract** - This paper summarizes a development of visualization software for protective engineering in low-voltage power systems. The study is concentrated on the following aspects. First, a software engineering method is applied for designing the object-oriented program. The design and implementation of a Graphic User Interface(GUI) and its integration to a power system framework are developed using object-oriented programming(OOP) in Visual C++. Second, we develop the short circuit analysis module that oriented a low-voltage power system. It is possible to calculate a peak, symmetrical RMS, DC component and asymmetrical fault currents for each time. And it is the first software that can calculate the fault current for single branch of three-phase system. The calculation accuracy is compared with commercial software, and the libraries of low-voltage components are served for convenience use. Third, protective engineering functions are equipped. It is possible to automatically select the circuit breaker which based on the user input characteristics and the fault current calculation and examine the protective coordination. Through the case study, we verified that the developed software can be effectively used to examine the protective engineering in low-voltage power systems.

**Key Words** : 저압계통 해석 소프트웨어, 저압 차단기, 고장 계산, Software Engineering, 보호 엔지니어링

### 1. 서 론

전력계통의 가장 말단 부분인 저압계통은 그 규모가 작으며 외란에 의한 영향 범위 역시 매우 국부적인 수준에 한정되었으므로 전력 설비의 제조업체에서의 연구가 주로 이루어져 왔다. 최근 들어 저압계통의 복잡성 증대와 이로 인한 고장전류의 크기 증가는 저압 계통의 정밀한 고장해석 및 적정한 보호 시스템 구축에 대한 전반적인 필요성을 증대시키고 있다.

저압계통의 보호 엔지니어링을 위한 접근 방식은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 하나는 저압 계통의 구성 방식 및 설비의 특성을 개발하는 연구들이며 주로 규격 및 생산업체의 기술자료 형태로 제시되어 왔다. Roybal은 저압계통 차단기의 정격 및 적용에 대한 표준을 정리하였다 [1]. 대표적인 표준인 참고문헌 [2]의 IEC 60947 규격과 대표적인 저압 기기 생산업체인 LS산전과 Schneider 등에서 제공하는 기술 자료들[3-6]에는 저압기기의 특성, 실제 사이트에의 적용 및

보호협조 기준 등을 제시하고 있다. 다른 하나는 저압계통 해석을 위한 소프트웨어의 제작이다. 상용 소프트웨어로는 Micro사의 EDSA와 Operation Technology사의 ETAP 등이 있으며 다양한 해석 기능을 제공하고 있는 것은 사실이나 저압 보호기기 및 저압계통의 특성을 정확히 반영하고 있지는 못한 실정이다. 비상용 엔지니어링 툴로는 MG의 The low voltage selection guide, Mitsubishi의 Melshort2, Siemens의 TCC 및 SCR등이 있으며 저압 계통 해석 중에서도 특히 보호협조 부분에 초점이 맞추어져 있으나 기능 측면에서 매우 제한적인 것이 사실이며 고장계산에 있어서도 많은 제약이 존재한다. 따라서 국내 저압계통 및 기기의 특성을 정밀하게 반영하고 상용 소프트웨어 수준의 보호 엔지니어링 기능을 제공하는 저압 계통 엔지니어링 툴의 개발이 요구된다. 또한 복잡한 상용 엔지니어링 툴의 사용능력이 없는 중소규모 수용가의 전기 설비 담당자들도 쉽게 모의하고 모의 결과를 현장에 적용할 수 있도록 사용이 간편해야 할 것이다.

본 논문에서는 국내 최초로 저압계통 보호의 엔지니어링 해석을 위한 시각화 프로그램을 개발하였다. 이를 위해 다음과 같은 측면에 중점을 두고 개발을 진행하였다. 첫째, UML(Unified Modeling Language)를 이용한 소프트웨어 엔지니어링(software engineering, SE)을 적용하여 객체지향 구조로 설계하였다. UML을 이용하여 SE의 과정인 Use case diagram, Class diagram 및 Architecture 설계 등을 수행하였으며 구현은 객체지향 언어인 Visual C++을 사용하였다. 둘째, 저압계통에 적합한 고장해석 모듈을 개발하였다.

† 교신저자, 正會員 : 崇實大 電氣工學部 教授 · 工博  
E-mail : jckim@ssu.ac.kr

\* 正會員 : LS產電 電力研究所 先任研究員 · 工博

\*\* 正會員 : 韓國電力公社 電力研究院 研究員

\*\*\* 正會員 : LS產電 電力研究所 責任研究員 · 工博

§ 正會員 : LS產電 電力研究所 責任研究員

接受日字 : 2006年 3月 30日

最終完了 : 2006年 5月 19日

각 시간별 고장전류의 최대, 대칭분 실효치, DC성분 및 비대칭 실효치 등이 계산되며 엔지니어링 툴 최초로 3상계통 상에서 1상계통을 함께 구성하여 고장해석을 할 수 있도록 구현하였다. 또한 고장해석의 정밀도를 기존의 엔지니어링 툴의 수준까지 확보하였으며 저압 전력기기의 특성 값들을 라이브러리로 구축하여 사용자 편의성을 도모하였다. 셋째, 계통 보호 엔지니어링 기능을 탑재하였다. 고장계산 결과와 사용자의 입력 특성 값들을 기준하여 적합한 차단기를 자동 선택 해주는 기능과 선택된 차단기의 특성 곡선 및 보호협조를 검토할 수 있는 기능이 탑재되었다. 넷째, 사용자 편의 기능을 추가하였다. 계산 결과의 자세한 리포트 기능과 계통 콤포넌트의 특성값을 라이브러리로 제공함으로써 사용자 편의성을 추구하였다. 사례연구를 통해 개발된 소프트웨어의 계산 정확도를 입증하였다.

## 2. 저압계통의 보호엔지니어링

일반적으로 저압 계통은 1kV 이하의 전압을 수전받는 계통을 의미한다 [7]. 전형적인 산업체 수용가의 계통 예를 그림 1에 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 특고압 수전점 분기되어 변압기를 거쳐 저압을 공급하는 구조이며 저압 계통의 시작점에는 일반적으로 퓨즈나 ACB(air circuit breaker, 기중차단기)를 설치하고 그 이하에는 MCCB(molded case circuit breaker, 배선용차단기)를 설치하는 것이 일반적이다.

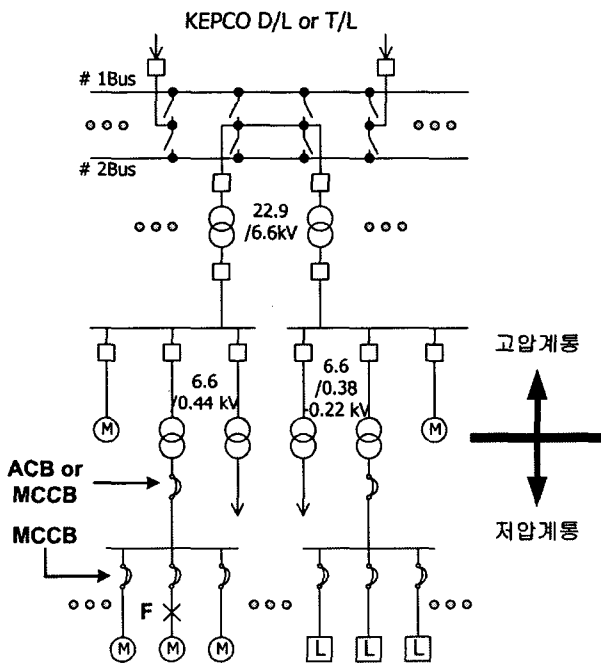


그림 1. 전형적인 산업체 수용가 계통구조  
Fig. 1. System configuration of typical industrial customer

그림 1의 예계통의 F점에서 고장이 발생했을 경우 상위의 차단기를 통과하는 고장전류는 등가전원을 통해 공급되는 일정한 크기의 전류와 시간에 따라 감소하는 전동기(M)의 고장 기여분이 합쳐져 그림 2와 같이 나타난다.

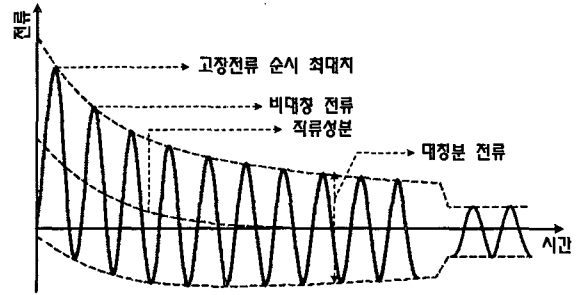


그림 2. 전형적인 고장전류 파형  
Fig. 2. Typical waveform of fault current

저압 차단기는 다음의 두 가지 특성에 의해 정격을 나타낸다.

1)단시간 견딤전류(Icw): 하위의 보호기기가 고장전류를 제거하는 동안 기계적 열적 손상 없이 견디는 능력이다. 기계적 한계의 경우 그림 2의 고장전류 최대치에 대해 손상이나 변형이 없는 제한치이며 열적 한계의 경우 일정 시간동안 열적인 손상이 없는 제한치를 의미한다. 저압 보호기기를 선정할 경우는 일반적으로 상관없으나 보호협조를 검토하기 위해서는 반드시 단시간 정격을 확인해야 하므로 고장해석을 통해 1/2주기의 실효치 최대값을 계산해야만 한다.

2)차단용량(Ib): 고장전류를 제거할 수 있는 능력이며 만일 차단용량이 50kA라면 고장전류 대칭분 실효치 50kA까지를 손상 없이 제거할 수 있다는 의미이다. 일반적으로 저압 차단기의 경우 적게는 1/2주기에서 많게는 5주기 이내에 고장을 제거하게 되므로 이 시간대역의 고장전류의 대칭분 실효치를 고장해석을 통해 계산해야만 한다.

이 밖에도 퓨즈 등의 보호기기 때문에 각 시간대별 비대칭 실효치도 계산해야 하며 이를 위해서는 대칭분 실효치 외에도 직류성분을 계산해야만 한다. 또한 단락뿐만 아니라 지락 고장전류도 계산되어야 지락 보호기기의 선정에도 활용할 수 있을 것이다.

일반적으로 차단기의 단시간 견딤전류는 차단용량에 비해 크거나 같아야만 한다. 이것은 중·고압(medium·high voltage) 차단기에 대해서는 만족하지만 저압차단기의 경우는 항상 만족하는 것은 아니며 차단용량에 비해 단시간 견딤전류가 작도록 설계된 경우도 있다. 이러한 이유는 단시간 견딤전류의 경우 기계적 강도에 해당하므로 이것이 높아진다는 것은 비용증가와 관련되기 때문이다. 차단용량에 비해 단시간 견딤전류가 작은 차단기의 경우 대부분 한류(current-limited) 타입[5]이며 이러한 저압차단기의 다양한 특성 역시 보호기기 선택시 고려해야만 한다.

저압계통의 보호협조 방식은 크게 다음과 같이 두 가지로 나눌 수 있으며 앞서 언급한 차단기의 두 가지 정격과 차단기 동작 형태(한류형, 비한류형)를 고려하여 결정되어야 하는 요소이므로 일반적으로 제조사에서 제공하는 데이터에 의해 보호협조 여부를 판단해야만 한다.

1) 선택 보호(selective coordination): 사고회로에 직접 관계되는 보호장치만 동작하고 다른 건전한 회로는 급전을 계속하도록 하는 보호협조방식으로서, 정전범위의 최소화로 전력공급의 신뢰성을 높일 수 있는 배전 방식이다.

2) 캐스케이딩(cascading) 방식: 부하측 차단기의 차단용

량 부족을 전원측 차단기가 직렬로 차단하여 부하측 차단기를 백업 보호하는 방식으로 경제적으로 계통을 구성할 수 있는 반면에 고장 파급의 범위가 넓다는 단점이 있다.

저압계통 보호 엔지니어링의 일반적인 절차를 표 1에 정리하였다.

표 1. 저압 계통 보호 엔지니어링의 절차

Table 1. Procedures of protective engineering in low-voltage power systems

순서	항목	내용
1	데이터 수집	계통구성도, 구성요소별 데이터 수집
2	고장해석	시간별 대칭 및 비대칭 고장전류 계산. 각 사고 종류별 고장전류 계산
3	보호기기 선정	보호기기 종류 및 모델 선정. 제조회사의 보호기기 특성데이터 참조
4	보호협조 검토	보호협조 종류 결정 및 보호기간 협조 검토. 제조회사의 보호협조 기준 근거
5	보호기기 특성 셋팅	보호기기 설정값 결정

### 3. 저압계통의 고장해석

2장에서 언급한 바와 같이 저압계통의 고장해석은 초기 최대치 및 대칭분 실효치를 비롯하여 시간별 대칭 및 비대칭 실효전류까지 다양한 고장전류를 계산해야 한다. 시간별 고장전류를 계산하기 위해서는 단락회로의 미분방정식 해석으로 가능[8]하지만 복잡한 지로별로 미분방정식을 구성한다는 것이 현실적으로 어려운 것이 사실이다. 따라서 실무적으로 활용 가능한 방법을 이용하는 것이 일반적이며 대표적으로 IEEE 141 규격(IEEE Red Book)[9]과 IEC 60909 규격[7]을 들 수 있다. IEEE 규격에 비해 IEC 60909 규격은 시간 단위를 세분화하여 고장전류를 계산할 수 있도록 되어 있으므로 본 논문에서는 IEC 규격을 사용하였다. IEC 60909에서 정의하는 고장전류는 시간 대역의 차이와 그 성분의 차이에 의해 표 2와 같이 구분할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \mu &= 0.84 + 0.26e^{-0.26k_c/L_c} (t_{\min} = 0.02\text{sec}) \\
 \mu &= 0.71 + 0.51e^{-0.30k_c/L_c} (t_{\min} = 0.05\text{sec}) \\
 \mu &= 0.62 + 0.72e^{-0.32k_c/L_c} (t_{\min} = 0.10\text{sec}) \\
 \mu &= 0.56 + 0.94e^{-0.38k_c/L_c} (t_{\min} \geq 0.25\text{sec})
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서  $k_c$ 와  $L_c$ 는 각각 발전기의 단락기여분과 정격전류를 의미한다.

$$\begin{aligned}
 q &= 1.03 + 0.12\ln(P_{rM}/p) (t_{\min} = 0.02\text{sec}) \\
 q &= 0.79 + 0.12\ln(P_{rM}/p) (t_{\min} = 0.05\text{sec}) \\
 q &= 0.57 + 0.12\ln(P_{rM}/p) (t_{\min} = 0.10\text{sec}) \\
 q &= 0.26 + 0.12\ln(P_{rM}/p) (t_{\min} \geq 0.25\text{sec})
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서  $P_{rM}$ 과  $p$ 는 각각 MW 단위의 유효전력과 극수의 쌍수(pair of poles)를 의미한다.

표 2. IEC 규격에서의 단락전류 구분

Table 2. Short circuit current classification of IEC Standard

번호	명칭	의미	수식표현
1	$I_k''$	초기(1/2주기) 대칭분 실효치: 고장발생 순간에 예상되는 단락전류의 교류 대칭분의 실효치를 의미	$I_k'' = (V_m)/(Z_m'')$ ( $V_m$ 은 고장점의 고장 직전의 전압이며 $Z_m''$ 는 고장점에서 바라본 테브낭 등가 임피던스 임)
2	$I_p$	최대 단락전류: 예상되는 단락전류의 최대 순시치를 의미	$I_p = k\sqrt{2}I_k''$ $k = 1.02 + 0.98e^{-3R/X}$
3	$I_{bsym}$	대칭 단락 차단전류: 차단기나 퓨즈 등이 동작하는 순간의 단락전류 실효치를 의미	-정지기: $I_{bsym} = I_k''$ -동기기: $I_{bsym} = \mu I_k''$ -비동기기: $I_{bsym} = \mu q I_k''$ ( $\mu$ 와 $q$ 는 전류의 감쇄계수로 식 (1)과 (2) 참조)
4	$I_{dc}$	직류성분 단락전류	$I_{dc} = \sqrt{2}I_k'' e^{-2\pi f t_{\min}/(X/R)}$
5	$I_{basym}$	비대칭 단락전류	$I_{basym} = \sqrt{I_{bsym}^2 + I_{dc}^2}$

IEC 규격의 고장해석 방식은 표 2에서 보는 바와 같이 초기 대칭분 실효치  $I_k''$ 를 기준으로 초기 최대전류, 각 시간별 대칭전류( $I_{bsym}$ ), 직류분 및 비대칭 전류를 계산하는 방식이며 이것은 각 지로에 의한 기여 전류성분을 합산하는 방식이다. 회전기에 의한 고장기여의 경우는  $\mu$ 와  $q$ 라는 계수를 이용한다. 그러나 실제로 많은 연결을 가지고 네트워크 형태로 구축된 계통에 대해 각 지로의 고장전류 기여분을 각각 계산한다는 것은 매우 복잡하므로 계통의 임피던스를 행렬로 표현하는 방식을 사용한다. 여기에 한가지 문제는 회전기의 시변성 고장 기여 부분이며 이 부분은 전류의 표현식 대신 임피던스의 표현식으로 변환하면 임피던스를  $\mu$ (내지  $\mu q$ ) 계수로 나뉜 것으로 표현할 수 있으며 이것은 식 (3) 및 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$Z_{Sym-t} = (1/\mu_t)Z_{Sym}'' \tag{3}$$

$$Z_{Asym-t} = (1/(\mu_t \times q_t))Z_{Asym}'' \tag{4}$$

여기서  $Z_{Sym}''$ 와  $Z_{Asym}''$ 은 각각 동기기 및 비동기기의 차과도 임피던스이며  $Z_{Sym-t}$  및  $Z_{Asym-t}$ 은 시간  $t$ 에서의 동기기 및 비동기기의 임피던스이다. 따라서 계통상의 나머지 임피던스 성분들은 시 불변이며 회전기의 경우 식 (3) 및 식 (4)와 같이 시변성으로 표현된다면 계통은 시변성의 임피던스 네트워크로 표현될 수 있다. 각 고장종류별 고장전류 계산방식은 참고문헌 [8] 및 [10]의 내용을 이용하였다.

저압계통의 경우 3상계통에서 분기한 1상계통이 많이 존재한다. 본 논문의 소프트웨어에서는 3상계통과 1상계통이 혼재한 계통을 구성하고 고장해석 및 보호 엔지니어링이 가능하도록 설계되었다. 3상계통에서 상(phase)-중성선(neutral)의 1상분기 시는 3상회로의 분기점에서 1선지락 고장이 발생했을 때 단상계통의 등가 임피던스를 고장점 임피던스( $Z_f$ )



UC 7)T-C 곡선 display: 차단기에 대한 T-C 곡선의 display 및 변경탭을 이용한 특성변경을 display한다.

UC 8)보호협조 판정: 보호협조 여부를 판정하고 협조가 가능한 차단기 리스트를 제공한다.

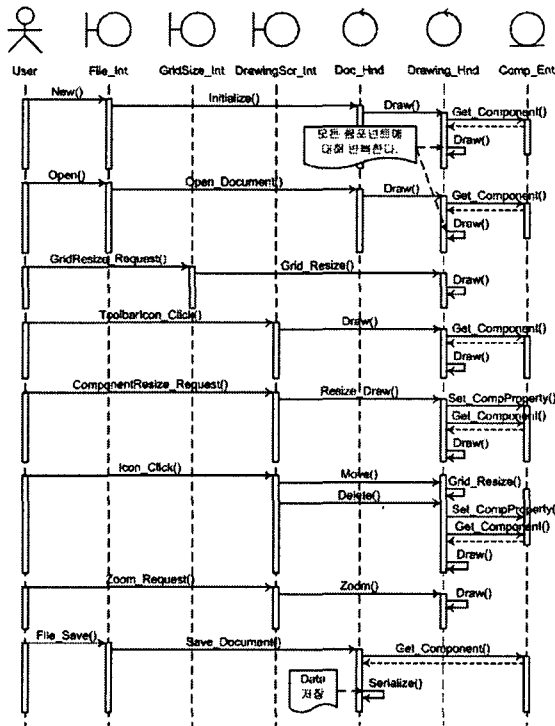
UC 9)모터 보호기기 선정: 모터에 대한 M/C 또는 M/S 를 자동선정한다.

UC 10)리포트 출력 및 저장: 입력 및 계산결과를 화면 및 인쇄물로 출력하고 파일로 저장한다.

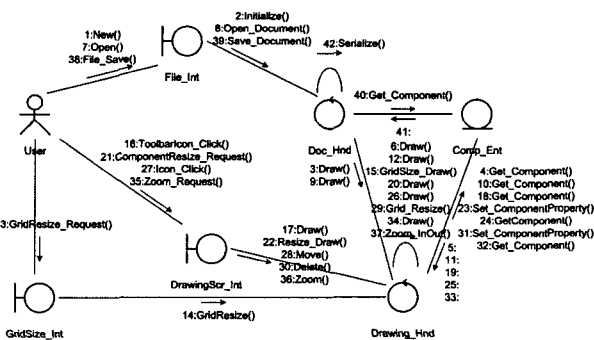
UC 11)Help 기능: 도움말 기능을 제공한다.

UC 12)DB관리: 사용자가 DBMS에 접속하여 데이터 추가 및 추가된 데이터의 변경/삭제를 하도록 한다.

Use case 중 하나인 계통 drawing에 대한 Use case 상세화 분석 결과인 시퀀스 다이어그램을 그림 6(a)에 도시하였다.



(a) 시퀀스 다이어그램

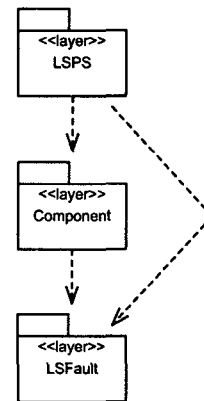


(b) Collaboration 다이어그램

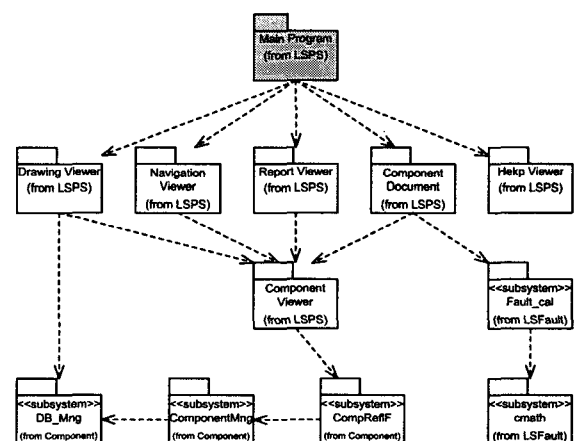
그림 6. Use case 상세화  
Fig. 6. Use case realization

시퀀스 다이어그램은 Actor의 명령 전달에 따른 시스템의 반응을 시간 순서대로 설계한 것이다. 그림 6에서 "Int"는 인터페이스 클래스이며 Actor와의 인터페이스 함수라고 볼 수 있다. 또한 "Hnd" 핸들리(handler)이며 컨트롤 클래스로 내부적인 연산을 수행하는 함수라고 볼 수 있다. 그림 6(a)의 시퀀스 다이어그램에 대한 Collaboration 다이어그램을 그림 6(b)에 나타내었다. 시간의 흐름 위주로 도시한 시퀀스 다이어그램을 각 인터페이스 및 컨트롤 클래스의 관계로 도시한 것이 collaboration 다이어그램이다. 본 소프트웨어의 설계를 위해 객체지향 설계 도구인 Rational Rose를 사용하였다.

레이어들간의 관계를 그림 7(a)의 레이어 아키텍처 다이어그램에 표시하였다. 본 소프트웨어는 LSPS, Component 및 LSFault의 세가지 레이어(layer)로 구성되어 있다. LSPS는 메인화면을 구성하는 패키지이며 Component는 객체를 구성하는 패키지이고 LGFault는 고장진류 계산을 구성하는 패키지이다. 레이어를 이루는 구성단위인 패키지(package)는 관련 class들의 묶음이며 본 소프트웨어의 패키지 구성을 그림 7(b)에 도시하였다.



(a) Layer architecture diagram



(b) Package diagram

그림 7. 소프트웨어 아키텍처 설계  
Fig. 7. Software architecture design

Use case 상세화 설계는 앞서 언급한 use case를 기준으로 실제 프로그램 코딩을 하기 바로 전 단계의 설계서를 도

출하는 것이다. 상세화 분석에 비해서는 실제 코드와 거의 동일하게 설계한다. 그림 8에 계통 Drawing에 대한 클래스 다이어그램을 도시하였다.

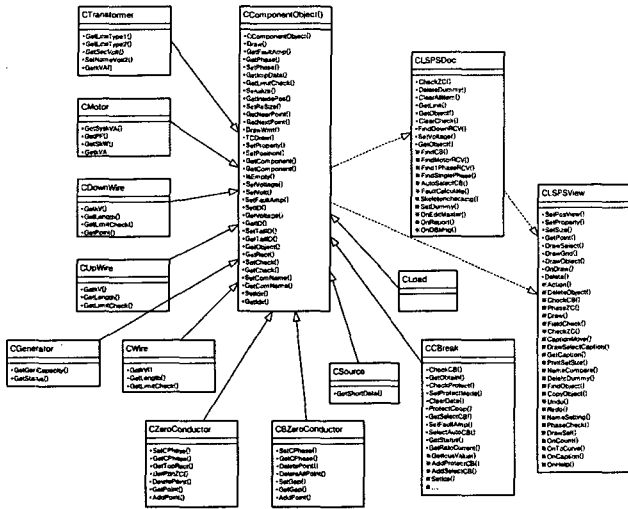


그림 8. Use case 상세화 설계(class diagram)  
 Fig. 8. Use case realization design(class diagram)

5. 소프트웨어 구현 및 테스트

본 소프트웨어는 앞서 설명한 바와 같이 MS Visual C++을 이용하여 코딩되었다. DB의 경우는 MS Access를 이용하여 구축되었다. 프로그램의 주요기능을 요약하면 다음과 같다.

1)입의 계통 입력기능: 수용가 입의 계통을 입력하는 기능이며 본 논문에서 제시하는 소프트웨어에서는 그림 9(a)와 같이 화면 상단의 계통 아이콘 툴바를 마우스로 선택하여 드로잉 화면상의 원하는 위치에 배치시키는 형식이다. 은 형식으로 계통도를 사용자가 drawing하여 입력하도록 되어 있다. 그림 9(b)는 그림 9(a)와 같은 방식으로 계통도를 입력하고 각 계통 구성요소(무한모선, 변압기, 선로, 전동기 등)의 특성값을 설정하는 화면을 보여주고 있다. 특성값의 설정은 사용자가 직접 데이터를 입력하거나 미리 라이브러리로 구축된 데이터를 선택할 수 있다.

2)고장 계산 수행기능: 본 논문의 3장에서 언급한 것처럼 본 논문에서 제시하는 소프트웨어는 시간별 고장계산, 상별 고장계산 및 1상분기회로 고장해석 등을 수행한다. 고장계산 직후에는 드로잉 화면상의 차단기에 고장계산 결과가 보여지며 완전한 계산결과는 보고서(report) 기능을 이용하여 출력해 볼 수 있다.

3)보호기기 자동선정: 고장계산을 수행한 다음 사용자의 입력 데이터와 고장계산 결과를 이용하여 미리 입력된 저압 보호기기 중 사용이 가능한 것을 제시해준다. 본 소프트웨어에서는 국내 대표적인 저압 기기 생산업체인 LS산전에서 생산되는 ACB 및 MCCB를 자동선정 대상으로 하고 있다 [3,12]. 선정의 기준은 정격이 작은 순서에 따라 우선순위를 매겨 가장 우선순위가 높은 것을 자동선정하며 사용자의 선택에 의한 수동변경이 가능하도록 구현되었다. 자동선정을

수행한 다음의 화면을 그림 9(d)에 나타내었다.

4)보호협조 판정: 보호기기 자동선정이 끝나고 나면 각 보호기기간 보호협조 방식(선택차단 및 캐스캐이딩 방식)에 따른 보호협조 가능 여부를 판정해준다. 앞서 언급한 것처럼 보호기기 특성과 보호협조 방식에 따라 협조가능 여부가 결정되므로 보호기기 생산업체의 자료를 이용하였다.

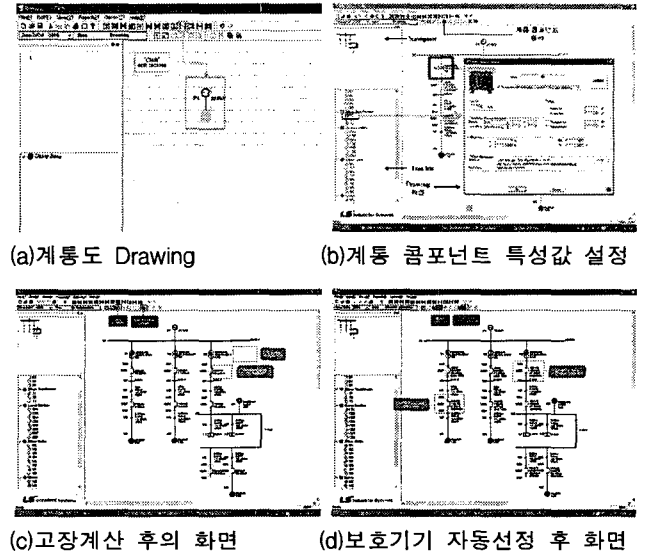


그림 9. 화면 구성  
 Fig. 9. Composition of program pictures

본 논문에서 제시하는 소프트웨어는 이상의 주요기능 이외에 표 3과 같은 부가기능을 제공하도록 제작되었다.

표 3. 부가기능  
 Table 3. Additional functions

번호	기능명	설명
1	전압자동설정	계통 구성에 따라 전압을 자동설정하는 기능
2	T-C 곡선 보기	차단기 T-C 곡선을 검토하는 기능을 제공
3	오류 자동검출 기능	컴포넌트 입력값의 오류 및 skeleton checking 기능
4	"ㄷ"자 부스바(busbar)	다수 모터의 모의 편의 기능
5	보고서 출력	별도의 Report 출력 제공
6	시나리오 모의 가능	차단기의 open/close 상태 모의 및 발전기 가동/정지 모의 가능
7	DBMS	DB 추가/삭제/변경 가능

표 3의 부가기능 중에서 전압 자동설정의 경우 재귀호출(recursive call) 함수를 이용하여 구현되었으며 흐름도를 그림 10에 나타내었다. 그림 10에서 보는 바와 같이 "FindDownRCV" 함수가 재귀호출 연산을 수행하며 "SetVoltage" 함수를 이용하여 최종적으로 전압을 할당한다. 전압의 할당은 전원(무한모선, 발전기)과 변압기 2차측 전압을 기준하며 계통상의 어떠한 drawing 상태 변화에도 전압 할당을 재수행하도록 되어있다.

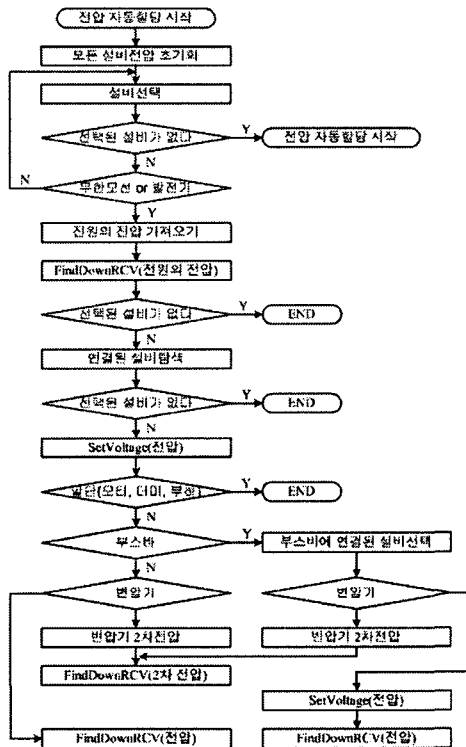
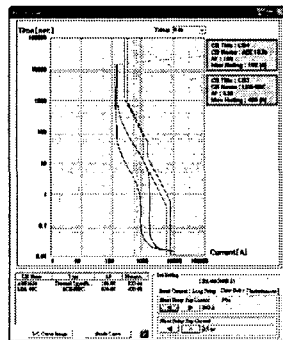
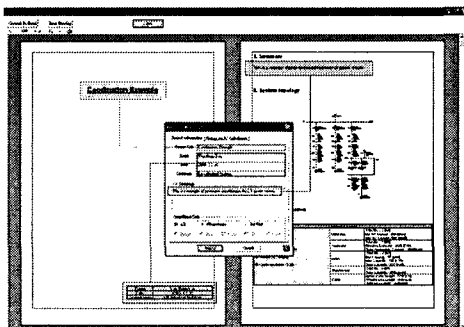


그림 10. 전압 자동할당 알고리즘 흐름도  
Fig. 10. Flowchart of automatic voltage assignment

표 3의 부가기능 중에서 T-C곡선 보기 기능과 보고서 출력 기능의 화면을 그림 11에 도시하였다.



(a)T-C 곡선 보기



(b)보고서 출력

그림 11. 부가기능 화면  
Fig. 11. Pictures of additional functions

본 소프트웨어의 기능 중 차단기 자동선정 및 보호협조 판정은 제조업체의 보호기기 특성 데이터를 이용하여 수행하는 것이므로 절대적인 성능 테스트를 수행하기에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 객관적인 비교가 가능한 고장계산 결과에 대한 간단한 예제 계통을 이용한 사례연구 결과를 가지고 소프트웨어의 연산 정확도를 테스트하였다. 고장계산 모듈에 대한 정밀도 검증은 그림 12의 예제 계통을 이용하여 수행되었다. 일반적인 단순 방사상 저압 계통의 고장계산을 가지고는 본 논문에서 제시한 고장 계산 모듈의 효용성을 검증하기에 부족하여 예제 계통은 모션 'Utilibus'에서 'F2'까지는 루프(loop)로 구성하였으며 발전기 및 전동기 등의 고장기여 성분이 있는 회전기들이 존재하는 것으로 구성되었다. 이것은 임의의 계통 구성에 대해서도 본 논문에서 제시하는 소프트웨어가 정확한 고장계산을 수행할 수 있음을 보이기 위함이다.

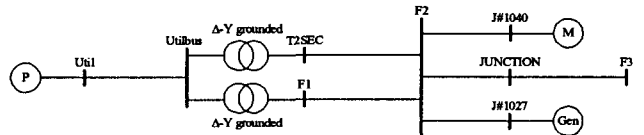


그림 12. 고장계산을 위한 예제 계통  
Fig. 12. Example system for short circuit current calculation

그림 12의 계통 컴포넌트들의 구성은 표 4에 요약하였다. 표 5에는 고장계산 알고리즘의 검증 결과를 나타내었다. 계산 결과의 비교를 위해 상용 엔지니어링 해석 툴인 EDSA Micro사의 EDSA(Electrical system Design, Simulation and Analysis)를 사용하여 비교하였다. 고장점은 F1에 발생한 것으로 하였으며 고장종류별 모션고장전류와 모션 고장발생시에 각 선로에 흐르는 전류를 비교하였다. F1-F2 및 T2SEC-F2간의 선로길이는 저압계통의 매우 짧은 선로 구간을 고려하여 설정하였다. 표 5에서 볼 수 있는 바와 같이 일반적인 상용 엔지니어링 툴과 비교하여 계산 결과의 차이가 거의 없음을 알 수 있으며 약간의 값의 차이는 소숫점 자릿수의 처리 문제와 고장계산의 역행렬 문제 등으로 인해 발생하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서 개발한 소프트웨어의 실제 저압 계통 엔지니어링에의 적용상에는 문제가 없는 것을 입증하였다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 저압계통 보호의 엔지니어링 해석을 위한 시각화 프로그램의 개발에 대해 다루었다. 프로그램의 설계를 위해 UML(unified model language) 기법을 활용하였으며 use case 명세를 비롯한 체계적인 설계를 수행하였다. 저압계통에 특화된 보호 엔지니어링 툴을 개발하기 위해 저압 보호기기의 특성에 적용할 수 있도록 시변성의 고장전류 계산, 1산 분기회로 고장계산, 보호기기 자동선정 및 보호협조 검토 등의 기능을 구현하였다. 또한 보고서 출력, 계통 컴포넌트의 특성값의 라이브러리 구축, 전압자동 설정, 시나리오 모의 기능 및 데이터베이스 관리 시스템 등을 탑재하여 사용자 편의성을 높이고자 하였다. 예제 계통을 이용한 사례연구를 통해 개발된 소프트웨어의 계산 정확도가 상용 툴 수준임을 입증하였다.

표 4. 예제 계통의 구성

Table 4. Composition of example system

From	To	전압(kV)	특성 데이터												
무한모선			단락용량(MVA)				X/R								
			3상단락	선간단락	1선지락	정상	역상	영상							
Util	-	15	250	200	100	10	10	10							
선로			길이(m)	임피던스(Ω(p.u)/km)											
				R1	X1	R0	X0								
Util	Utilbus	15	10	0.12	0.125	0.18	0.375								
F1	F2	0.4	10	0.0385	0.0395	0.05775	0.1185								
T2SEC	F2	0.4	4	0.104	0.034	0.156	0.102								
F2	Gen	0.4	10	0.1	0.2	0.15	0.6								
F2	Junction	0.4	20	0.271	0.087	0.4065	0.261								
F2	M	0.4	30	0.2	0.3	0.3	0.9								
Junction	F3	0.4	50	0.3704	0.297	0.5556	0.891								
변압기			용량(kVA)	결선방식	%임피던스(self base)										
					R1	X1	R0	X0							
Utilbus	F1	15/0.4	630	Δ-Y접지	1.03175	3.86445	1.03175	3.86445							
Utilbus	T2SEC	15/0.4	400	Δ-Y접지	1.15	3.8315	1.15	3.8315							
전동기			용량(kVA)	접지	역률	효율	극수	%임피던스(self base)							
								%X"1	%X"0	X"/R1	X"/R0				
M	-	0.4	200	접지	0.85	0.87	4	5	5	1000	1000				
발전기			용량(kVA)	%임피던스(selfbase)											
				X1"	X0'	X1	X2	X0	X/R						
Gen	-	0.4	1000	9	15	99.9995	27	9	100						

표 5. 고장계산 결과

Table 5. Calculation results of short circuit current for a example system

고장 종류	상	계산 S/W	Ip	1/2주기				3주기				5주기			
				X/R	Ik"	Idc	Iasym	X/R	Ib	Idc	Iasym	X/R	Ib	Idc	Iasym
3상단락	A	제안S/W	123743	4.39	50237	34714	61064	4.35	44568	936	44578	4.28	42665	46	42665
		EDSA	123744	4.39	50237	34715	61064	4.35	44568	937	44578	4.28	42666	46	42666
	B	제안S/W	123743	4.39	50237	34714	61064	4.35	44568	936	44578	4.28	42665	46	42665
		EDSA	123744	4.39	50237	34715	61064	4.35	44568	937	44578	4.28	42666	46	42666
	C	제안S/W	123743	4.39	50237	34714	61064	4.35	44568	936	44578	4.28	42665	46	42665
		EDSA	123744	4.39	50237	34715	61064	4.35	44568	937	44578	4.28	42666	46	42666
1선지락	A	제안S/W	112300	4.16	46144	30661	55402	4.13	42223	676	42229	4.07	40858	28	40858
		EDSA	112300	4.16	46144	30662	55403	4.13	42224	676	42229	4.07	40858	28	40858
	B	제안S/W	0	4.16	0	0	0	4.13	0	0	0	4.07	0	0	0
		EDSA	0	4.16	0	0	0	4.13	0	0	0	4.07	0	0	0
	C	제안S/W	0	4.16	0	0	0	4.13	0	0	0	4.07	0	0	0
		EDSA	0	4.16	0	0	0	4.13	0	0	0	4.07	0	0	0
F1 3상단락시 선로에 흐르는 전류															
선로명	상	계산 S/W	Ip	1/2주기				3주기				5주기			
				X/R	Ik"	Idc	Iasym	X/R	Ib	Idc	Iasym	X/R	Ib	Idc	Iasym
F2-M	A	제안S/W	-11205	6.1	-4401	-3718	-5762	12.45	-1732	-1369	-2208	18.8	-851	-1170	-1447
		EDSA	-11205	6.1	-4402	-3718	-5762	12.45	-1732	-1369	-2208	18.8	-852	-1170	-1447
	B	제안S/W	-11205	6.1	-4401	-3718	-5762	12.45	-1732	-1369	-2208	18.8	-851	-1170	-1447
		EDSA	-11205	6.1	-4402	-3718	-5762	12.45	-1732	-1369	-2208	18.8	-852	-1170	-1447
	C	제안S/W	-11205	6.1	-4401	-3718	-5762	12.45	-1732	-1369	-2208	18.8	-851	-1170	-1447
		EDSA	-11205	6.1	-4402	-3718	-5762	12.45	-1732	-1369	-2208	18.8	-852	-1170	-1447
F1 1선지락시 선로에 흐르는 전류															
Gen-F2	A	제안S/W	22950	8.2	9015	8690	12522	10.07	7282	1961	7541	11	6671	732	6711
		EDSA	22950	8.2	9016	8690	12522	10.07	7282	1962	7542	11	6671	733	6712
	B	제안S/W	5053	8.2	1985	1913	2757	10.07	1405	432	1470	11	1193	161	1204
		EDSA	5054	8.2	1985	1914	2757	10.07	1405	432	1470	11	1194	161	1205
	C	제안S/W	-4954	8.2	-1946	-1876	-2703	10.07	-1381	-423	-1445	11	-1174	-158	-1184
		EDSA	-4955	8.2	-1946	-1876	-2703	10.07	-1381	-423	-1445	11	-1174	-158	-1185



본 논문에서 개발된 소프트웨어는 계통 해석 능력이 낮은 국내의 중소기업 수요가의 전기 설비 담당자들도 쉽게 모의할 수 있도록 사용이 간편하게 구현되었으며 모의 결과를 즉시 현장에 적용할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 국외의 엔지니어링 소프트웨어의 사용에 많은 제약을 가지고 있던 현장 실무자들에게 저압 계통의 보호 엔지니어링 분석을 위한 효과적인 도구로 사용될 수 있을 것으로 생각한다.

**참 고 문 헌**

- [1] D.D. Roybal, "Standards and ratings for the application of molded-case, insulated-case, and power circuit breakers," IEEE Trans. on Ind. Appl. vol. 37, no. 2, Mar./Apr., 2001.
- [2] IEC Standards 60947-2, Low-voltage switchgear and controlgear-Part2: Circuit-breakers, 2003.
- [3] 배선용차단기 기술자료집, LS산전, 2002년.
- [4] Cahier technique No.172, Earthing systems in LV, Schneider, 2000.
- [5] Cahier, technique No.201, Discrimination with LV power circuit-breaker, Schneider, 2001.
- [6] Cahier, technique No.167, Energy-based discrimination for low-voltage protective devices, Schneider, 1998.
- [7] IEC Std 60909-0, Short circuit currents in three-phase a.c. systems-Part0: calculation of currents, 2001.
- [8] J. J. Grainger and W. D. Stevenson, Jr., Power system analysis, McGraw-Hill, 1994.
- [9] IEEE recommended practice for electric power distribution for industrial plants, ANSI/IEEE Std. 141., 1986.
- [10] 박영문, 김재철, 전력계통기술계산 응용, 도서출판 의제, 1998년.
- [11] G.Booch, J.Rumbaugh and I.Jacobson, The unified modeling language user guide, Addison-Wesley, 1999.
- [12] LS산전 홈페이지, <http://www.lsis.biz>

**저 자 소 개**



**윤 상 윤 (尹 尙 潤)**

1970년 8월 28일생. 2002년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 2002-2003년 한전 전력연구원 위촉연구원. 2003년~현재 LS산전(주) 전력연구소 선임연구원  
E-mail : syyun@lsis.biz



**이 남 호 (李 南 鎬)**

1973년 7월 26일생. 2001년 명지대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년~현재 전력연구원 차세대전력기술그룹 일반연구원  
E-mail : nam100@kepri.re.kr



**이 욱 화 (李 旭 和)**

1969년 3월 27일생. 1998년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1999년~현재 LS산전 전력연구소 책임연구원보  
E-mail : whleea@lsis.biz



**이 진 (李 鎭)**

1963년 1월 12일생. 2002년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 LS산전 전력연구소 책임연구원  
E-mail : jinlee@lsis.biz



**김 재 철 (金 載 哲)**

1955년 7월 12일 생. 1987년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 숭실대 전기공학부 교수  
E-mail : jckim@ssu.ac.kr