

## 단락시험 회로정수 계산용 어플리케이션 개발

오승렬\*, 나철봉\*, 박지훈\*, 박중화\*  
LG산전(주) 전력시험기술센터\*

### The Development of Assistant Application for Short-circuit Tests.

Seung-Ryle Oh\*, Chil-Bong Na\*, Ji-Hun Park\*, Jong-Wha Park\*  
PT&T, LG Industrial Systems, Co., Ltd.\*

**Abstract** - A improving method of the time efficiency to be necessary during the short-circuit tests that use high-priced equipment. Minimizing a human error through the database of relevant standards prospects a reliable tests. This paper describes the design concept and overall process of the development of the application that is developed in order to realize these functions.

## 1. 서 론

### 1. 개발 배경

차단기, 개폐기 제품군에 있어 단락시험은 차단기의 성능을 평가하는 중요한 요소이다. 이에 LG산전(주)은 제품 성능의 효과적인 분석과 신뢰성 있는 제품생산을 위해 지난 2000년 3월 민간기업 최초로 1600 MVA 단락시험 설비를 갖춘 전력시험기술센터(Power Testing & Technology Institute : PT&T)를 설립하여 현재 운영 중이다. 단락시험을 위해서는 단락 발전기, 단락 변압기, 투입 개폐기, 제어 및 측정 장비 등 고가의 설비가 운용되므로 시험을 진행함에 있어 시간적 효율성을 증대시키는 것은 대단히 중요하다. 또한 시험관련 데이터들의 효율적인 관리가 이루어진다면 향후 유사 시험에 대한 효과적인 대응을 할 수 있으리라 기대된다. 이에 구체적인 하나의 방법으로, 오프라인 상에서 여러 가지 경우의 회로 정수, 발전기 및 변압기 운전 조건 하에서의 사전 시뮬레이션은 온라인상에서의 시간 효율성 제고에 중요한 역할을 할 수 있을 것이며, 또한 시험 측정값들에 대하여 데이터베이스를 구축함으로써 관련 데이터의 효율적이고 집약적인 관리가 이루어 질 것이라 기대된다. 물론 전력 시험은 특수한 업무분야로서 시험자의 숙련도에 따라 시간 효율성에 차이를 보이게 되지만, 시간 효율성 외적인 측면에서도 이러한 어플리케이션 개발의 필요성은 충분하다고 할 수 있겠다. 이 논문에서는 위에서 언급한 사전 시뮬레이션과 데이터베이스 구축에 관한 어플리케이션(이하 PTES) 개발의 전반적인 과정을 소개하며, 또한 실제 시험 결과와의 비교를 통해 그 유용성을 입증 하고자 한다.

## 2. 본 론

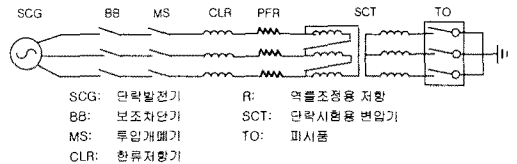
### 2.1 객체 지향 설계

먼저 시험소 내의 전력 계통을 정확하게 프로그램 상에

구현하고 인식 시키는 것은 어플리케이션 개발에 있어 선행 되어야 할 중요한 부분이다. 최근 전력 계통 분야에 대한 적용이 활발히 연구되고 있는 객체 지향 기법은 프로그램의 유연성과 기능 면에서 하나의 해법이라 할 수 있다. 전력 계통과 같이 복잡한 시스템의 해석에 있어서는 소프트웨어의 개발뿐만 아니라 실제로는 이에 따른 유지 보수에 많은 비용이 소모되는 어려움이 발생한다. 따라서 소프트웨어의 개발과 구현에 있어 보다 유연한 방법을 찾는 것이 주요 관심사이며 객체 지향 프로그래밍(Object-oriented Programming: OOP) 방식은 이러한 문제점을 해소 시켜 줄 수 있고, 전력 계통 뿐 아니라 컴퓨터 소프트웨어 개발의 주된 경향이 되었다. 객체 지향 기법이 전력 계통의 해석에 적용된 것은 1980년대 후반부터이며, 현재에도 전력 계통의 해석과 그래픽 인터페이스를 위한 객체 지향 기법의 적용 예를 쉽게 접할 수 있다.

### 2.2 시스템의 객체화

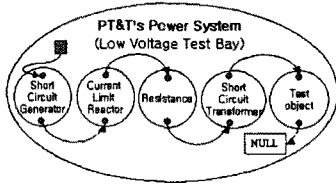
이 논문에서는 지금까지 소개한 객체 지향 기법을 이용하여 시험소 내의 전력계통을 프로그램상에 표현한다. 이를 위해서 먼저 대상 시스템의 물리적인 최소 단위를 객체로 모델링하여 이를 연결하는 방법을 제시한다. 또한 이들을 객체로 표현함에 있어 각각의 특성과 기능을 객체의 멤버 변수와 멤버 함수로 나타내어 효과적으로 실제 시스템을 프로그램 상으로 모델링 할 수 있었다. 아래의 그림은 시험소내의 저압단락시험을 위한 회로도 를 나타낸 것이다.



<그림 1. PT&T 저압 단락시험 회로도>

먼저 소프트웨어의 설계를 위해 선행되어야 할 것은 실제 회로정수 계산을 위해 프로그램상에서 인식되어야 할 물리적인 요소를 결정하는 것이다. 회로정수 계산 과정을 간략하게 살펴보면, 먼저 시료의 정격에 의해 단락발전기의 운전조건과 단락변압기 2차측 결선이 결정되어진다. 이렇게 결정되어진 발전기의 운전 조건과 변압기 결선을 바탕으로 하여 시료의 단락전류정격과 이에 대한

역률, 시료연결 도체 굵기, 허용범위 등을 SQL서버에 있는 데이터베이스로부터 검색한 다음, 한류 저항기와 역률 조정용 저항설비의 값을 계산하게 된다. 아래의 그림 2는 위의 기능을 구현하기 위해 필요한 요소를 객체화하여 심벌로 나타낸 그림이다.

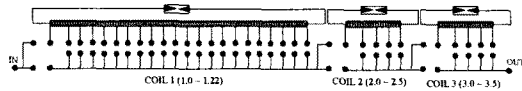


<그림 2. PT&T 저압 시험 회로 구성 요소>

위의 요소들은 실제 시험소내의 계통 연결 구조와 일치하게끔 프로그램 상에서 인식되어야 하며, 또한 객체 서로간의 필요한 메시지 전달이 가능하도록 구성되어져야 한다. 따라서 이를 위해서 이 프로그램에서는 포인터를 이용하여, 객체 서로간을 단 방향 Linked List 형태의 연결 구조로 시스템을 구성하였다. 그림2에 나타난 각 화살표들은 각 개체간의 연결 상태와 메시지 경로를 나타내는 것이며, 각각의 개체들은 이들 경로를 통하여 다른 개체들과의 메시지를 주고받을 수 있다. 또한 시스템에서 객체를 추가 또는 삭제할 경우 연결 포인터 구조를 변경함으로써 쉽게 상태를 바꿀 수 있도록 설계하였다.

**2.3 회로정수 설정을 위한 설비**

다소 복잡한 고압단락시험과는 달리 저압 단락시험에서의 회로 임피던스(Impedance)를 결정하는 요소는 크게 리액턴스(Reactance)와 레지스턴스(Resistance) 성분으로 나눌 수 있다. 현재 PT&T에서는 정적으로 회로정수에 영향을 미치는 단락변압기의 자체리액턴스, 선로 임피던스를 제외한다면, 전류 제한을 위한 설비인 한류 저항기(CLR)와 역률 조정용 저항조합 설비(PFR)에 의해 회로정수가 결정된다. 이들의 구조를 살펴보면 먼저 한류 저항기는 한 상당 3개의 코일로 나뉘지며, 3개의 코일은 또다시 수개의 탭으로 구성되며 최종적으로 이들의 조합에 의해 리액턴스(Reactance)의 값이 결정지어진다.



<그림 3. 한류 저항기 탭 구성도>

역률 조정용 저항조합 설비 역시 한 상당 여러 개의 저항이 있으며 이들 저항의 직, 병렬 조합으로 한류 저항기와 더불어 규격에 부합하는 역률을 결정짓게 된다.



<그림 4. 역률 조정용 저항조합설비 구성도>

또한 계산된 회로정수를 설정하기 위해 한류저항기의 탭과 역률 조정용저항설비의 저항 조합은 구축된 데이터베

이스의 검색을 통해 이루어진다.

**2.4 데이터 베이스설계**

SQL 서버에 구축된 데이터베이스의 테이블들은 크게 두 가지 부류로 특징지어 진다. 하나는 회로정수 계산을 위해 필요한 시험소내 설비와 시험결과저장을 위해 생성된 테이블이며, 나머지 하나는 관련 규격에 나타나 있는 여러 가지 수치들을 표현하기 위한 테이블이다. 전자는 앞에서 언급한 데이터관리의 집약성에 관련하며, 후자는 회로정수 계산에 직접적으로 참조되는 테이블로서 관련 규격에 대한 수치적인 정보를 제공하게 된다. 아래의 표 2, 3은 위에 언급한 두 부류의 대표적인 테이블을 나타낸 것이다.

<표 1. IEC 60947-2의 Table 11의 저장 테이블>

Field Name	Data Type	Description
Above	INT	단락 전류 제한 값 (초과)
Below	INT	단락 전류 제한 값 (이하)
Power Factor	FLOAT	역률
Time Constant	INT	시정수
nfactor	FLOAT	Ipeak / Irmstfl

<표 3. 회로 교정 결과 데이터 저장 테이블>

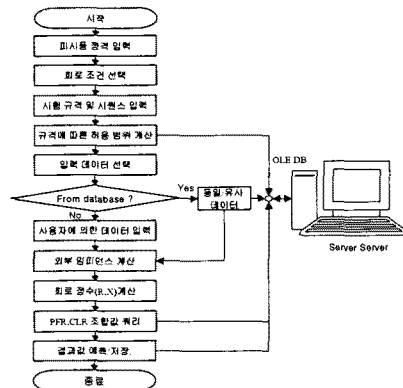
Field Name	Data Type	Description
ID	INT	일련번호
DATE	DATETIME	시험 날짜
PHASE	INT	시험 회로 상수
STANDARD	TEXT	시험규격
FREQUENCY	FLOAT	시험 주파수
TESTOBJECT	FLOAT	시험 대상
TESTVOLTAGE	FLOAT	시험 전압
TESTCURRENT	FLOAT	시험 전류
VG	FLOAT	발전기 전압 측정값
SE	FLOAT	공 명전압 측정값
TAP	FLOAT	변압기 2차측 전압
CLRmv	R FLOAT	R상 한류 리액턴스 (mv)
	S FLOAT	S상 한류 리액턴스 (mv)
	T FLOAT	T상 한류 리액턴스 (mv)

Field Name	Data Type	Description	
Continued			
CLRw	R	FLOAT	R상 한류 리액턴스 (w)
	S	FLOAT	S상 한류 리액턴스 (w)
	T	FLOAT	T상 한류 리액턴스 (w)
		FLOAT	역률 역률 조정용 저항값
R	S	FLOAT	역률 역률 조정용 저항값
	T	FLOAT	T상 역률 조정용 저항값
		FLOAT	Ipeak
Ipeak	R	FLOAT	측정된 전류 최대값
	R	FLOAT	R상 전류 측정값
	S	FLOAT	S상 전류 측정값
	T	FLOAT	T상 전류 측정값
I rms	R	FLOAT	R상 역률
	S	FLOAT	S상 역률
	T	FLOAT	T상 역률
		FLOAT	T상 역률

**2.5 회로정수 계산을 위한 순서도**

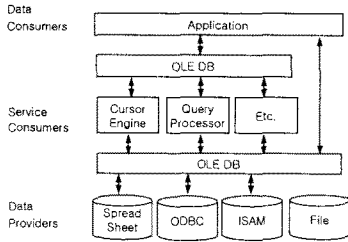
회로정수 계산을 위해서 PTES는 시험에 필요한 피시험품의 정격과 단락시험 종류를 사용자로부터 입력 받게 된다. 이후 사용자 및 데이터베이스와의 질의를 통해 회로정수를 계산하게 되며, 설정되는 회로정수, 발전기 및 변압기 운전조건을 이용하여 결과값을 예측 하게 된다. 회로정수 계산에 사용되는 데이터는 이미 구축된 데이터베이스로부터 가장 유효한 데이터를 질의하여 이용하게 된다. 또한 PTES는 사용자의 수동 입력을 통해서도 회로정수를 계산할 수 있도록 설계되어 있다.



<그림 5. 회로정수 계산을 위한 순서도>

## 2.6 OLE DB 구조

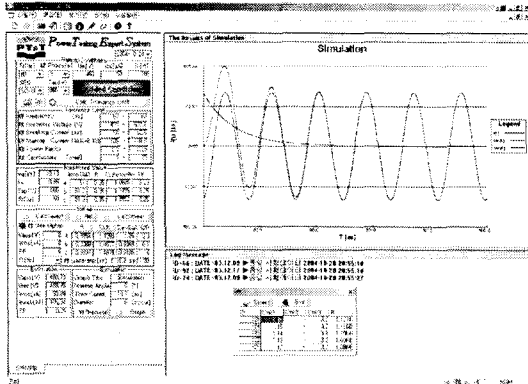
클라이언트/서버 환경의 전산 시스템에서 무엇보다 중요한 것은 데이터가 집중되어 있는 서버를 효율적으로 운영하는 것이다. 이러한 관점에서 볼 때 PTES에서 서버 접근을 위해 사용되는 OLE DB는 비록 다른 방법과 비교해 볼 때 코딩량은 좀 많아지지만 서버의 부하를 덜어 주기 위한 하나의 효과적인 방법이라 할 수 있다. 이미 컴파일된 컴포넌트를 사용하는 COM 객체(Component Object Model)에 기반을 두고 있는 OLE DB는 COM이 제공하는 모든 이점을 그대로 활용할 수 있으며, 데이터베이스 기능을 소비자(Consumers)와 공급자(Providers)의 역할로 분리함으로써 기존에 사용되는 데이터베이스 관리 시스템보다 더 높은 효율을 제공한다. 또한 OLE DB는 웹에 기반을 두는 어플리케이션에서 활용할 수 있도록 디자인되어 있어, 인터넷에 접속하고 데이터 소스에 접근하는데 많은 부하가 걸리지 않도록 설계되어 있다. 앞서 언급 했듯이 OLE DB의 이러한 구조는 리소스량을 최소화하는 것이 바람직한 클라이언트-서버 구조에서의 시스템 부하를 최소화하여 안정적인 서버 운영을 위한 측면에서도 효과적인 방법이라 할 수 있다.



<그림 6. OLE DB 구조>

## 2.7 PTES 화면 구성

아래의 그림은 PTES의 시뮬레이션 결과 화면을 나타낸 것이다. 좌측 분할 뷰(View)는 MMI(Man Machine Interface)를 위한 부분으로 입력된 피시험물의 정격과 시험 조건을 통해 회로정수, 시험 결과 예측값 등을 계산해 내고 있으며, 시각적인 도움을 위해 우측 상단 분할 뷰를 통해 그래프를 그려낸다. 또한 좌측 하단 뷰에는 프로그램 실행 경과 기록을 나타냄으로써 사용자로 하여금 프로그램 진행 상태를 파악할 수 있도록 하고 있다.



<그림 7. PTES 실행 화면>

## 2.8 측정값과의 비교

아래의 표 4는 PTES 의해 계산된 값과 실제 시험 중 측정된 값을 비교 한 것으로서 4개의 시험 정격에 대해 단락 전류의 최대값과 실효값, 회복 전압, 그리고 역률을 나타내고 있다. 현재 PT&T설비의 측정 불확도(Uncertainty)를 감안한다면 PTES에 의해 계산된 값은 신뢰할 만한 수준이라 하겠다.

<표 4. 계산값과 측정값 비교>

Ratings	Ph.	Current [kA]						Recovery Voltage [kV]						Power Factor						Number of Calibration
		peak			rms															
		Sim.	Mea.	Dif[%]	Sim.	Mea.	Dif[%]	Sim.	Mea.	Dif[%]	Sim.	Mea.	Dif[%]	Sim.	Mea.	Dif[%]				
220 V 10 kA	R	17.7	17.5	-1.1	10.1	10.0	-1.0	227.1	226.4	-0.3	0.44	0.44	0.0	1						
	S	14.6	14.4	-1.4	10.0	10.0	0.0	227.1	226.7	-0.2	0.44	0.44	0.0	1						
	T	16.2	16.6	2.3	10.1	10.0	-1.0	227.1	226.7	-0.2	0.44	0.44	0.0	1						
380 V 5 kA	R	8.0	7.9	-1.3	5.2	5.2	0.0	389.0	388.0	-0.3	0.69	0.69	0.0	1						
	S	7.4	7.4	0.0	5.2	5.2	0.0	389.0	388.0	-0.3	0.69	0.69	0.0	1						
	T	7.7	7.7	0.0	5.2	5.2	0.0	389.0	387.7	-0.3	0.69	0.69	0.0	1						
480 V 65 kA	R	143.1	147.2	2.9	65.1	65.8	1.1	489.0	488.9	-0.0	0.19	0.19	0.0	1						
	S	111.1	104.1	-6.3	65.4	64.7	-1.1	489.0	488.7	-0.1	0.19	0.19	0.0	1						
	T	116.4	127.2	9.3	64.4	65.3	1.4	489.0	487.5	-0.3	0.19	0.19	0.0	1						
690 V 100 kA	R	227.0	225.0	-0.9	106.0	104.5	-1.4	737.0	733.4	-0.5	0.25	0.24	-4.0	1						
	S	174.8	164.7	-5.8	105.8	104.5	-1.2	737.0	734.2	-0.4	0.25	0.24	-4.0	1						
	T	185.2	198.0	6.9	104.1	103.4	-1.2	737.0	735.2	-0.2	0.25	0.24	-4.0	1						

## 3. 결 론

표 4에 나타난 바와 같이 오프라인에서 PTES를 통해 사전 시뮬레이션을 해 봄으로써 실제 시험에서 한 번의 회로교정시험을 통하여 규격에 부합하는 값을 얻을 수 있었다. 이는 실제 온라인에서 회로교정시험에 필요한 시간을 단축시켜 시간적인 효율성을 증대 할 수 있었다. 또한 PTES는 시험 결과값을 데이터베이스에 저장할 수 있는 기능을 가짐으로써 데이터 관리적인 측면도 고려되었다. 그러나 현재 PTES는 저압 단락시험에 대해서 그 기능이 한정되어있다는 것이 단점이다. 향후 여러 가지 시험에 대한 사전 시뮬레이션 기능을 추가함으로써 그 활용도를 높일 계획이며, 또한 이를 위해서 보다 많은 규격에 대한 데이터베이스구축이 요구된다.

## [참 고 문 헌]

- [1] "Low-voltage switchgear and controlgear-Part 1: General rules" IEC 60947-1 Fourth edition.
- [2] "Low-voltage switchgear and controlgear-Part 2: Circuit-breakers" IEC 60947-2 Third edition.
- [3] Wendy Sarrett, "Visual C++ 6 Database Programming." 정보문화사, 1999.
- [4] 오승렬, 백영식, 김경년, 한무호 "전력 계통 이상상태 가이던스 시스템 개발", 대한전기학회 논문집, pp.219-225, 2003.
- [5] 김경년, 백영식 "객체지향기법을 이용한 전력조류계산 및 스파시터 연구", 대한전기학회 논문집, pp.519-523, 1995.
- [6] B. Hakavik and A.T. Høien, "Power System Modelling and Sparse Matrix Operations Using Object-Oriented Programming", IEEE Trans. on Power System, vol. 9, No. 2, May 1994.
- [7] Z. L. Gaing and C. N. Lu, "An Object-Oriented Approach for Implementing Power System Restoration Package", IEEE Trans. on Power System, Vol. 11, No.1 Feb.1996.
- [8] S. Liu, S. M. Shahidchpout, "An Object-Oriented Power System Graphical Package for Personal Computer Environment", IEEE Summer Power System meeting, Seattle, WA, July, 1992.