

배전자동화기반 오프라인 기술계산 프로그램도입으로 계통운영 신뢰도 제고

김주성*, 이수목, 서동권
한국전력공사 배전계획처

Reliability improvement in distribution network operation by applying Off-line type DAS calculation Program

Ju-Seong Kim*,
KEPCO (Korea Electric Power Corporation)
Seu-Muk Yi*,
KEPCO (Korea Electric Power Corporation)
Dong-Kwen SCh*,
KEPCO (Korea Electric Power Corporation)

Abstract - 한국전력공사(이하 한전)에서는 배전계통의 최적운영을 위하여 계통운영에 필요한 기술을 발굴하여 축적하는데 많은 노력을 기울여 왔으며, 계통운영의 핵심 틀인 배전자동화시스템을 통하여 관련기술을 축적해오고 있다. 우리나라처럼 배전자동화시스템을 전력회사에서 자체적으로 개발하여 활용하는 사례는 전 세계적으로 유일하며, 이를 기반으로 해외 전력시장에 배전자동화시스템을 수출하기 위하여 활발한 활동을 지속적으로 추진되고 있다. 배전자동화시스템을 이용하면 원격으로 현장에 있는 배전자동화기기를 감시, 제어, 조작, 정정이 가능한 기본기능이 구현가능하고, 각종 계통운영에 필요한 기술계산, 즉 전압강하계산, 보호협조검토, 표준조작지시서(SOP)의 생성, 상시개방점 위치조정으로 손실최소화, 분산전원 연계계통 기술검토의 자동처리가 가능해진다. 기술계산프로그램은 최초 개발 당시인 2002년에는 배전자동화시스템 주장치가 설치된 장소인 온라인 상태에서만 사용이 가능하여 사용상 제약을 가지고 있었으나, 이를 개선하고자 2006년 10월 배전자동화기반 오프라인형 기술계산프로그램을 개발하였고 이를 지속적으로 업그레이드를 추진하여 활용해오고 있다. 배전자동화기반 오프라인형 기술계산프로그램은 배전자동화주장치에서 데이터를 추출하여 배전자동화주장치가 아닌 일반PC나 노트북에서도 배전자동화시스템에 내장된 배전계통 정보 즉, 선로길이 및 전력선 제원 등을 직접 이용하므로 각종 기술계산을 신속하고 정확하게 수행하는 것이 가능하게 되었다. 따라서 이를 지속적으로 활용하고 성능개선을 추진하여 배전계통 운영시 신뢰도 제고에 크게 기여할 것으로 기대되고 있다.

1. 서 론

한전은 현재 전국 189개 사업장에 배전자동화시스템을 설치하여 배전계통을 운영하고 있으며, 배전자동화 주장치는 전체 189개 사업장에 설치 완료하였으며, 기기 설치도 지속적으로 확대하여 2007년 말 기준으로 약 4만 여대의 배전자동화기기를 운영하고 있는데 이는 전체기기의 4대 중 1대 정도가 자동화 운전되고 있는 상태이다. 2006년부터는 전국 189개 사업장에 단독으로 운영하던 배전자동화시스템을 41개 권역으로 광역화하여 배전계통을 운영토록 추진하는 "배전센터 광역화사업"이 추진되고 있다. 배전센터 광역화는 2007년에는 14개 권역이 완료되었고, 2008년에는 18개 권역, 2009년 이후에는 9개 권역에 추진되어 사업이 완료될 예정이다. 현재 배전자동화시스템은 종합배전자동화시스템과 소규모배전자동화시스템이 운영되고 있는데 광역화의 추진과 더불어 종합배전자동화시스템으로 단일화가 이루어지고 있는 상황이다. 종합배전자동화시스템은 소규모배전자동화시스템에서 구현되는 자동화시스템의 기본기능인 원격감시, 원격제어, 원격계측, 원격정정 뿐만 아니라, 추가적으로 응용기능인 각종 기술계산이 가능한 배전자동화시스템이다.

기술계산프로그램은 전압강하계산, 보호협조검토, 표준조작지시서(SOP)의 생성, 상시개방점 위치조정으로 손실최소화, 분산전원 연계계통 기술검토가 가능하다. 종합배전자동화시스템의 기술계산은 현재의 설계통과 일치된 배전선로 기초정보 즉, 배전선로의 길이 및 배전선의 선종 등의 자료가 입력되어 있으므로 이를 활용하여 각종 기술계산을 수행할 수 있다. 특히 배전선로는 환상망으로 복잡하게 구성되어 있고 수시로 계통변경이 발생할 뿐더러, 기술계산을 위하여 변전소 정보, 배전선 정보, 고객정보를 모두 입력해야만 각종 기술검토가 가능해지므로, 현재 배전계통의 모든 정보를 내장하고 있는 데이터를 활용한 기술계산은 다른 기술계산보다 훨씬 정확도를 향상시킬 수 있다. 그러나 기술계산을 수행하는 환경이 배전자동화 주장치가 설치된 장소에서만 가능한 제약

이 있어 이를 개선하고자 2006년 10월 배전자동화기반 오프라인형 기술계산프로그램을 개발하였고 이를 지속적으로 업그레이드를 추진하여 활용해오고 있다. 배전자동화기반 오프라인형 기술계산프로그램은 배전자동화주장치에서 데이터를 추출하여 배전자동화주장치가 아닌 일반PC나 노트북에서도 배전자동화시스템에 내장된 배전계통 정보 즉, 선로길이 및 전력선 제원 등을 활용하여 각종 기술계산을 신속하고 정확하게 수행하도록 개발된 프로그램이다.

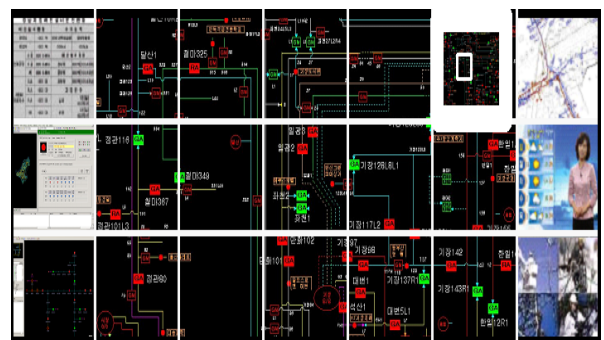
2. 본 론

2.1 배전선로 기술계산의 종류 및 방법

배전선로 기술계산의 종류에는 여러 가지가 있으나 현재 배전분야에서 주로 시행하는 기술계산은 전압강하계산, 보호기간의 보호협조계산, 회선 및 변압기의 운전용량 계산, 전주강도계산 등이 시행되고 있다. 특히 최근에는 정부정책에 의거 분산전원의 도입이 확대되고 있어 분산전원 연계계통 기술검토가 많이 수행되고 있다. 기술계산은 최초 수작업을 통하여 각종 기술계산을 수행하였으나 계산을 위한 입력 데이터가 방대하고 계산방법도 복잡해짐에 따라 수작업 계산에는 한계에 부딪히게 되었다. 따라서 배전선로보호협조 검토프로그램(KEDPro.2.0), 전압강하검토프로그램(Hdrop), 배전자동화 응용프로그램(전압강하, 손실최소화, 고장자동처리, 보호협조계산), NDIS 기술계산(전주강도계산, 주상변압기 이용률 계산, 보호협조계산), 배전 투자계획 검토시스템 등 각각의 용도에 맞게 기술계산프로그램이 개발되어 활용되어왔다.

2.2 배전자동화기반 오프라인 기술계산 프로그램의 개요

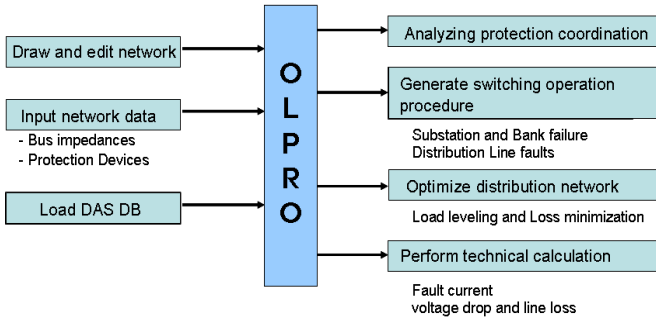
배전자동화기반 오프라인 기술계산 프로그램은 개발은 기술계산의 신속성과 편의성을 향상시키며 정확한 기술계산을 수행하기 위하여 개발되었다. 기존에는 배전기술계산을 배전자동화 주장치가 운전되고 있는 온라인상태에서만 기술계산이 가능하였으나 오프라인 상태에서도 활용이 가능하도록 보완되어 개발되었다. 특히 배전자동화시스템은 실시간으로 계통을 현장과 일치시키므로 정확한 기술계산 하는데 많은 장점을 가지고 있으며, 이 데이터를 추출하여 활용하므로 별도의 입력 없이 현재 운영되고 있는 배전선로 계통정보를 그대로 활용하므로 정확하고 신속하게 기술계산을 수행하는 것이 가능하게 되었다. 또한 기존 배전계통이 변경되어 배전계통을 신설 또는 변경하는 경우에는 추가되는 사항만 입력하여 기술검토를 가능하도록 사용자의 편의성도 향상시켰다.



<그림 1> 배전선로 디지털 계통도 현황

2.3 기술계산 프로그램의 시스템 구조

배전자동화기반 오프라인 기술계산 프로그램의 시스템구조는 <그림 2>로 표현할 수 있다. 프로그램의 시작은 사용자가 직접 입력하거나 기존의 TDAS DB 데이터 이용하는 2가지 방법을 사용할 수 있다. 사용자가 직접 배전계통을 그려서 검토를 하거나, 기존의 TDAS DB의 데이터를 이용하여 단선도를 자동으로 생성하고, 이를 이용하여 보호협조 검토 등의 기능을 수행할 수 있다. 이렇게 계통을 구성하고 나면 이를 이용하여 보호협조 검토, 고장에 대한 개폐기 조작절차 생성, 배전계통 최적화 및 전압강하 및 손실계산을 수행할 수 있는 구조로 되어 있다.



<그림 2> 기술계산 시스템의 구조

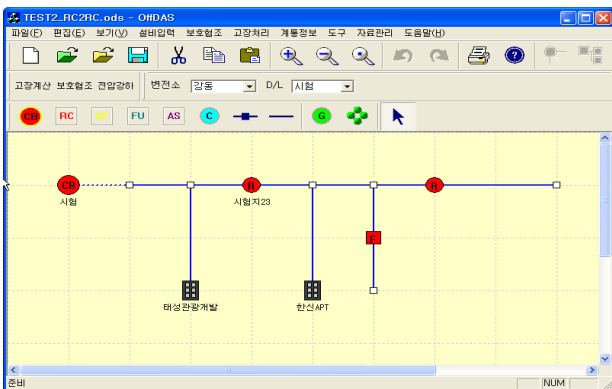
2.4 기술계산 프로그램의 주요기능

본 항목에서는 개발된 기술계산 프로그램의 각각의 기능에 대하여 상세하게 설명한다.

2.4.1 배전계통 추출 및 직접입력

앞에서 설명하였듯이 2가지의 계통을 입력하는 방식이 있다. 첫 번째는 사용자가 계통을 직접 입력하는 방식이고, 두 번째는 기존에 사용하던 TDAS DB로부터 추출하는 방식이다.

사용자가 직접입력을 원하면 도구상자의 CB, Recloser 등 각종기기 및 선로 아이콘을 이용하여 배전선로를 구성할 수 있다. <그림 3>는 사용자가 구성한 배전선로를 표현하였다. 계통을 구성한 다음, 보호기기에 대한 기기정보와 선로에 대한 공장 및 선종 데이터를 입력하면 사용자는 계통에 대한 구성을 완료한 것이다. TDAS DB를 이용한 계통입력 방법에서는 별도로 개발된 프로그램을 이용하여 TDAS에서 사용하는 MS-SQL 데이터를 MS-Access mdb파일로 전환한 후, 이를 프로그램에서 불러오면 해당 사업소에서 운용중인 모든 변전소 및 D/L에 대한 단선도를 화면에 표현할 수 있다. 이렇게 불러온 단선도에서 사용자가 원하는 대로 선로의 연장, 보호기기의 추가 및 이설 등을 통한 계통의 재구성이 가능하다.

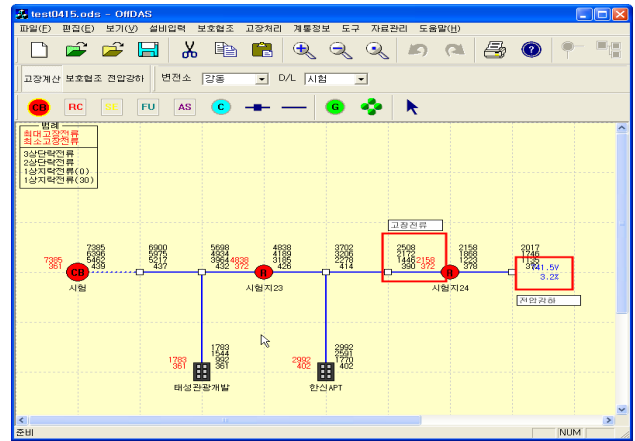


<그림 3> 사용자의 편집을 통한 배전계통구성

2.4.2 보호협조 검토

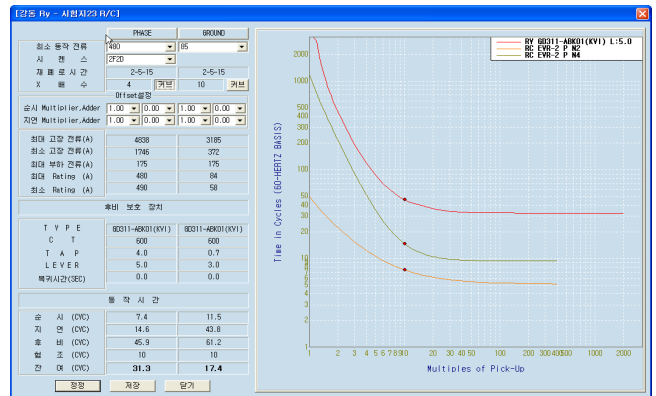
일단 배전계통이 구성되면 사용자는 도구상자의 고장계산 및 전압강하 아이콘을 이용하여 고장전류 계산 및 전압강하를 계산할 수 있다. <그림 4>는 고장전류 및 전압강하를 계산한 화면이다. 고장전류를 계산하면 3상단락전류, 2상단락전류, 1상단락전류를 계산하고, 이중 최대 및 최소고장전류를 별도로 표시하여 준다. 전압강하는 전압과 %전압강하를

표시한다. 이 기능을 통하여 사용자는 현재 계통의 고장전류 및 전압강하를 파악하여 보호협조 검토에서 이를 고려할 수 있다.



<그림 4> 고장전류 및 전압강하 보기

<그림5>는 변전소 OCR/OCGR과 선로 Recloser사이의 보호협조 검토 화면이다. Recloser의 최소동작전류의 변경에 따른 CB측 릴레이와의 협조여부를 검토할 수 있고 각각의 경우에 순시, 지연시간 및 잔여시간을 계산하여 사용자로하여금 보호협조 여부를 판정할 수 있고, 각각의 보호기기의 동작점을 확인할 수 있다. 이외의 고객측 릴레이, 퓨즈등의 보호협조 검토도 지원한다.



<그림 5> OCR relay -Reloser 보호협조 검토화면

보호협조 검토가 끝나면 검토사항에 대하여 보고서를 생성할 수 있다. 검토 보고서에는 보호협조 검토서, 단선도, 고장전류에 대한 보고서를 출력할 수 있다.

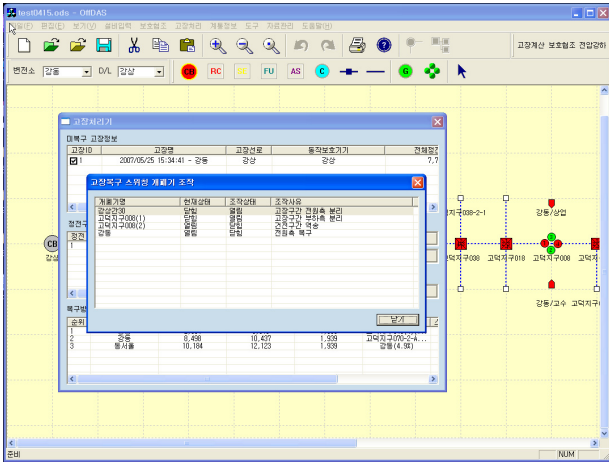
그리고, 별도의 메뉴로 신규 릴레이와 리클로저에 대한 등록기능이 있어서 사용자는 손쉽게 신규 보호기기에 대한 기기번호 및 TC 특성곡선을 입력할 수 있다.

2.4.3 고장처리

고장처리에서는 배전선로에서 발생하는 임의의 선로고장을 모의하고, 이에 대한 고장구간 분리 및 건전부하절체 방안을 도출하는 기능과, 배전사업소에서 작성하여 비상시의 선로절체에 사용하는 표준조작절차서(SOP¹⁾)를 생성하는 기능이 포함되어 있다.

먼저 고장처리기능에서는 임의의 선로에 고장전류를 입력함으로써 모의고장을 발생시키고, 이에 대한 복구 해를 제시하는 기능이다.

1) SOP (Standard Operation Procedure) : 표준조작절차서의 영문으로 비상시 부하전환계획으로 활용되고 있음



〈그림 6〉 선로고장에 대한 고장처리화면

본 기능을 수행하면 발생한 고장에 대하여 고장구간을 분리하고, 건전 부하를 절제하는 등의 조작자가 취해야 하는 일련의 개폐기 조작순서를 제시한다. 이 기능을 이용하여 조작자는 고장발생시를 대비한 복구절차의 모의시뮬이 가능하다. 또한 본 프로그램에서는 표준조작절차서의 생성이 가능하다. 표준조작절차서(SOP)는 사업소의 비상상태 발생시 조작하여야 할 절차를 미리 작성하여 이를 이용하여 실제 상황일 때 제때 대응을 위한 것이다. 본 프로그램에서는 변전소 고장시, 주변압기 고장시, 선로고장시 등 각 경우에 대하여 개폐기 조작절차를 MS사의 엑셀로 출력해준다.

2.4.4 상시개방점 최적화

본 프로그램에는 상시개방점 최적화 기능이 포함되어 있다. 부하평준화 및 손실최소화에 대한 목적함수에 대하여 상시개방점을 변경하여 계통을 최적화하는 개폐기 조작절차를 생성하고, 이에 대한 보고서를 작성하는 기능이다. 보고서를 통하여 최적화 수행전/후의 계통상태를 비교하여 부하평준화를 혹은 손실 감소율을 계산할 수 있고, 이렇게 계통을 최적화 하기위한 상시개방점 변경 목록을 제시하여준다.

2.4.5 전압강하 및 선로손실 계산

본 프로그램을 이용하여 전압강하 및 선로 손실을 계산할 수 있다. 보고서에는 각 선로에 대하여 전체 공장, 최대전압강하, 최대전압강하율 및 강하위치, 선로 손실 등이 표현된다.

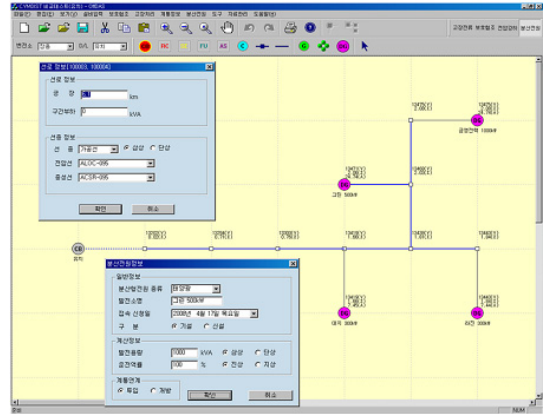
S/S	D/L	최대부하 전압강하	최대전압 강하위치	공장(km)	최대전압 강하율 [%]	선로 손실 [%]
가막	가막	179.3	4.4	68.4	0.3	9.1
가막	가막	313.78	5.6	312.8	1.4	58.6
가막	가막	195.2	1.6	78.8	0.3	11.4
가막	가막	197.4	4.6	59.3	0.3	4.2
가막	가막	262.9	7.9	497.6	2.2	93.1
가막	가막	259.2	4.9	161.9	0.7	31.5
가막	가막	232.3	5.6	240	1	41.4
가막	가막	64.8	0.5	4.3	0	0.2
가막	오름	157.6	2.9	65.5	0.3	8.5
강동	강동	159.6	7.3	172	0.8	21.2
강동	강동	97.53	4.4	21.5	0.4	6.5
강동	강동	196.4	5.4	162.7	0.7	24.6
강동	강동	217.1	3.6	164.6	0.7	24.6
강동	강동	6.5	4.4	3.7	0	0
강동	강동	94.3	6	31.5	0.4	5.5
강동	강동	112.89	9.8	180.4	0.8	14.6
강동	강동	256.7	3.6	204.3	0.9	37.5
강동	강동	172	4.6	144.9	0.6	16
강동	강동	157.08	10	233.2	1	26.5
강동	고덕	207.3	8.5	419.7	1.8	56.7
강동	고수	56.14	4.3	45.7	0.2	2.2
강동	관전	192.5	5.4	187.6	0.8	29
강동	구민	234.5	6.3	318.2	1.4	49
강동	기차	88.5	6.1	71.1	0.3	4.6
강동	강동	227.9	1.4	21.4	0.4	33.3
강동	회명	215.7	3.7	113.7	0.5	19.1

〈그림 7〉 전압강하 보고서

2.4.6 분산전원 연계 배전계통 기술검토

최근에 전력시장에 경쟁이 도입됨에 따라 구역전기사업자, 신재생 에너지 이용 소규모 발전사업자, 집단에너지 사업자 등 다양한 형태의 분산전원과 한전의 연계가 확대됨에 따라 배전계통에도 다양한 기술검토가 필요하게 되었다. 분산전원 연계 시 대표적인 기술검토 사항으로 전압변동, 단락용량 등이 있으며, 배전계통이 거미줄처럼 복잡함에 따라

선종, 선간거리 등 기초자료를 입력하는 것도 많은 어려움이 있다. 기술계산프로그램은 현재 계통운영에 필요한 기초자료를 배전자동화시스템 주장치에 입력된 자료를 추출하여 사용하므로 많은 시간과 노력을 줄일 수 있다.



〈그림 8〉 분산전원 연계 기술검토

2.5 계통운영 신뢰도 제고

위와 같이 배전자동화기반 오프라인 기술계산프로그램을 사용하면 수작업으로 수행하던 배전선로의 전압강하계산, 고장전류계산 등 계통해석, 기기의 단락용량계산 등 각종 복잡한 기술계산을 빠른 시간 내에 정확하게 계산하는 것이 가능하게 되었다. 특히 복잡한 배전선로 계통을 배전자동화주장치에서 추출하여 활용하므로 입력시간을 크게 줄일 수 있으며 정확히 입력된 계통을 활용하여 기술계산을 수행하는 것이 가능하게 된다. 이와 같이 배전자동화기반 기술계산프로그램으로 계산된 자료를 이용하여 배전선로 계통운영에 활용하므로 빠르고 정확한 예측이 가능하게 되어 계통운영의 신뢰도를 기존보다 한층 제고할 수 있는 기반을 확보하게 되었다.

3. 결론

본 논문은 오프라인에서 사용이 가능한 종합배전자동화 시스템(TDAS)용 기술계산 프로그램의 개발 및 활용법과 적용사례를 통한 계통운영 신뢰도 제고내역을 분석하여 보았다. 배전선로 기술계산이 분산전원 연계 등 다양한 환경으로 수작업을 통한 분석에는 한계가 있으며 특히 거미줄처럼 복잡한 배전계통을 일일이 입력해야만 계산이 가능하므로 본 프로그램의 활용의 필요성은 계통이 복잡해짐에 따라 더욱 증가될 것이다. 특히 배전자동화시스템이라는 배전계통운영의 핵심시스템인 배전자동화시스템을 근간으로 기술계산을 빠르고 정확하게 수행하므로 계통운영의 신뢰도 제고에도 크게 기여할 것으로 예상되어진다. 앞으로 배전자동화기반 배전기술계산프로그램이 한전 배전사업소 및 유관기관에 확대 보급되어 배전 계통운전 선진화에 많은 도움을 줄 수 있기를 기대해 본다.

[참 고 문 헌]

- [1] 배전선로 보호협조, 한전, 2001
- [2] 종합배전자동화시스템 사용자설명서, 전력연구원, 2006
- [3] 보호협조 교육교재, 한전 중앙교육원 2004