

전력계통 고장복구 지원시스템 개발에 관한 연구

오 화 진, 배 주 천
한국전력거래소

A Study on the Development of Power System Restoration Support System

Oh Hwa-Jin, Bae Joo-Chun
Korea Power Exchange

Abstract - 우리나라의 전력계통은 수도권 전력수요 집중과 대단위 발전단지의 증가, 고장용량의 증대에 따라 고장 발생 시 정확하고 신속하게 조치하지 않을 경우 광역고장으로 파급될 우려가 있다.

전력거래소에서는 전력계통에 고장이 발생할 경우 사전에 검토된 사례를 DB화하고 이를 기반으로 EMS 상태 추정결과에 따라 현재의 계통상황에 유사한 복구절차를 자동으로 제시하여 급전원의 정확하고 신속한 고장복구를 지원하는 시스템을 개발하고자 연구를 수행하였다.

사례기반의 고장복구절차 자동제시를 위하여 계통운영 방안 및 휴전검토 시의 검토결과를 자동으로 DB화 하는 프로그램을 개발하였으며 고장발생 시 계통상황을 인식하여 적합한 복구절차를 제시하여 주는 계통감시 프로그램을 개발하였다.

1. 서 론

전력계통에 고장이 발생하면 1차적으로는 보호시스템이나 고장파급방지시스템이 대처를 하지만 그 이후의 복구절차는 급전원의 경험적 판단에 의존하여 대처를 하고 있다. 따라서 실시간 급전운영 경험을 보유한 전문인력 확보는 현재에도 전력계통 안정운영을 위한 핵심 과제이지만, 급전원의 세대교체에 따라 향후에 더욱 어려운 당면과제로 대두되고 있다.

이를 위하여 보다 체계화된 계통검토 사례 자료관리를 통하여 이를 실시간 고장복구에 활용할 수 있는 연구를 시행하였으며 저장된 계통검토 Case를 기반으로 EMS와 연계하여 실시간 계통 고장상황에 적합한 복구절차를 자동으로 제시하여주는 전력계통 고장복구 지원시스템을 개발하였다.

전력거래소에서는 매년 하절기 최대수요 데이터를 기준으로 상정사고에 대한 복구방안을 수립하여 운영지침서를 발간하여 운영하고 있으며, 전력설비 신·증설, 변경 시 새로운 복구방안을 수립하여 실 계통 운영에 적용하고 있다. 또한 전력설비 휴전 시 휴전에 따른 계통검토를 하여 휴전 중 상정고장 시 조치사항이 기록된 휴전 승인서를 발행한다. 이러한 계통검토 자료는 급전원 교육훈련 및 실제 고장발생시 고장복구에 활용하고 있다.

그러나 모든 계통검토 자료는 문서형태를 기반으로 하고 있기 때문에 해당 상정고장 케이스를 빠르게 검색하기가 쉽지 않으며, 검토 프로그램으로 수동으로 모의하기에는 많은 시간이 소요되기 때문에 이러한 검토 Case를 DB화하여 자동으로 복구방안을 제시하고자 하였다.

본 연구에서는 계통검토 케이스를 별도로 고장복구지원시스템 DB에 입력하지 않고 PSS/E 계통해석프로그램과 연계하여 해석결과를 DB화 하도록 하였고, 기 개발하여 사용하고 있는 실시간 계통해석데이터 변환프로그램과 연계하여 실시간 계통상황을 감시할 수 있도록 하였다.

2. 본 론

2.1 고장복구 지원시스템 개요

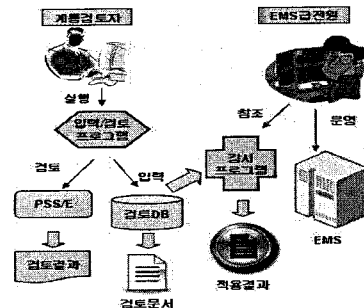
실 계통 운영 조건을 실시간으로 완벽하게 반영하고 고장에 따른 복구절차를 최적으로 탐색하여 제시하기 위해서는 실시간 계통DB와 연계한 조류계산 및 고장계산이 필요하고, AI를 적용한 최적화 알고리즘이 필요하다.

본 연구에서 개발하고자하는 전력계통 고장복구 지원시스템에서는 기 개발하여 운영하고 있는 PSAAuto 프로그램의 EMS SE 결과를 실시간 계통 정보로 활용하고 Off line에서 시행한 계통검토 Case를 기반으로 고장상황에 근접한 복구절차를 제시하고자 하였으며, 시스템의 주요 역할은 다음과 같다.

- (1) Off line에서 시행한 운영방안 및 휴전 검토결과와 Data Base 화
- (2) 전력계통에 고장이 발생할 경우 저장된 계통검토 결과에서 추출된 고장복구절차의 자동 제시

급전원의 경험적 지식에 의존하던 고장복구 절차의 체계화 및 자동화를 구현한 전력계통 고장복구 지원시스템이 적용된 후의 업무 프로세스는 다음과 같다.

- (1) 계통검토자는 입력/검토 프로그램을 이용하여 계통검토를 수행한 후, 검토DB에 입력한다.(계통검토자)
- (2) 필요한 경우 검토DB로부터 검토서를 자동 생성한다.(계통검토자)
- (3) 실제 고장발생시 감시프로그램은 고장선로를 파악하여 해당 사고에 대한 복구방안을 검토DB에서 조회한다.(감시프로그램)
- (4) 감시프로그램은 복구방안을 적용하여 예상결과를 제시한다.(감시프로그램)
- (5) 조치방안 적용 후의 예상결과를 확인 후, 실제 계통에 적용한다.(급전원)



[그림 1] 고장복구지원시스템 적용 시 업무절차

전력계통 고장복구 지원시스템의 개발환경 및 운영시스템은 다음과 같다.

[표 1] 시스템 개발환경 및 운영시스템 사양

환경	구분	사양
개발환경	개발언어	C#
	Framework	.NET 3.5
	Database	MS SQL Server
	문서생성기	HWP 2005 OCX control
운영 시스템	O/S	Windows 2003 Server
	운영 Server	HP xw8600

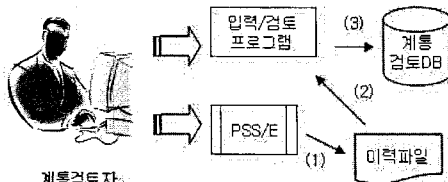
2.2 입력/검토 프로그램 개발

서론에서 언급한바와 같이 본 연구에서 개발하고자 하는 고장복구지원시스템은 계통검토와 결과입력이 한 프로그램 내에서 이루어져 별도의 고장복구 DB 입력을 위한 업무 절차를 없애고자 하였다. 계통검토는 주로 PSS/E 프로그램을 이용하여 수행하므로 입력/검토 프로그램이 PSS/E 프로그램과 얼마나 유기적으로 연동되는지가 관건이 된다.

2.2.1 검토내용 자동입력 기능 개발

전력계통 운영방안 등 계통 검토 시 주로 사용하는 프로그램은 Siemens에서 개발한 PSS/E 프로그램이다. PSS/E에서는 사용자의 입력 동작을 기록으로 남길 수 있는 기능을 부여하였다. 그 과정은 다음과 같다.

- (1) 계통검토자는 평상시와 같이 PSS/E를 이용하여 계통검토를 수행하면 이 내역은 이력파일에 기록된다.
- (2) 입력/검토 프로그램에서 (1)에서 작성된 이력파일을 분석하여 복구방안 정보로 변환한다.
- (3) 변환된 복구방안 정보는 입력/검토 프로그램을 이용하여 계통검토 DB에 저장된다.



[그림 2] PSS/E 검토내용 자동입력

2.2.2 계통검토 자동화기능 개발

계통 검토 시에 체크되는 사항은 선로 과부하와 고장 전류의 차단기 정격초과여부, 추가 상정고장 발생시 계통의 문제점, 과도안정도 안정여부 등이 있다. 이러한 것을 매 상정사고마다 일일이 수동으로 수행하는 것은 상당히 번거롭다.

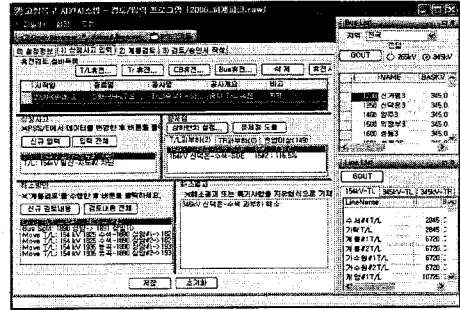
입력/검토 프로그램에서는 조류계산시 154kV 이상의 모선에 대해 전압과 위상각을 그래프로 표시하여 전압분포를 한눈에 확인할 수 있으며, 과부하가 발생하는 전력설비 목록을 표시한다.

고장계산 기능에서는 고장계산 결과와 차단기 정격을 비교하여 고장용량이 차단기 정격을 초과하는 모선을 자동으로 표시한다.

상정사고 해석기능에서는 N-1, N-2 상정고장을 자동으로 실행하여 상정고장 시 전압이상과 과부하목록을 확인할 수 있다.

또한, 발전소 인근 선로 고장에 대한 조치방안 적용후의 과도안정도 영향을 파악할 수 있도록 과도안정도 검

토 기능도 포함하였다.

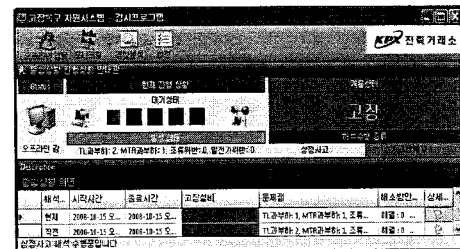


[그림 3] 입력/검토 프로그램 실행화면

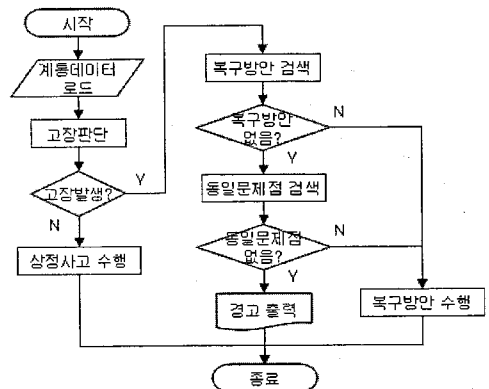
2.3 계통고장 감시 프로그램 개발

계통고장 감시 프로그램은 EMS에서 일정주기로 넘어오는 실시간 계통데이터를 PSS/E Raw Data로 변환하여 고장을 자동으로 판단한다. 고장판단 방식은 이전 데이터에서는 정상상태이던 설비가 현재 데이터에서 투입되어있지 않으면 고장으로 간주하고 2회의 주기 동안 연속으로 그 상태가 지속되면 휴전중인 설비로 간주한다.

계통고장 감시 프로그램은 고장상태와 정상상태에 각각 다르게 동작한다. 고장감시시스템의 동작 순서도는 다음 [그림 5]과 같다. 주기적으로 EMS 계통데이터를 로드하여 계통고장 발생여부를 판단하며 고장발생 시 복구방안 제시를 수행하고, 정상상태 시에는 상정사고 검토를 수행한다. 만약 복구방안이 없으면 동일문제점을 검색하여 동일한 문제점을 해소하는 복구방안을 선택하여 보여준다.



[그림 4] 계통고장 감시 프로그램 실행화면



[그림 5] 계통고장 감시 프로그램 동작 순서도

복구방안이 없는 경우 동일문제점을 유발하는 상정사고를 검색하여 그에 따른 조치방안을 적용한다. 이 때 각 상정사고는 해당 문제점 외에 다른 문제점도 야기하는 경우가 있으므로 단순히 동일 문제점만을 가지고 데이터를 검색하면 조치방안의 적정성이 떨어질 수 있다. 따라서 본 시스템에서는 다음과 같은 문제점 유사도 (PSI: Problem Similarity Index)라는 지표를 도입하였다.

$$PSI = \frac{P_C}{P_T}$$

단, P_C : 동일문제점 개수,
 P_T : 총 문제점 개수

예를 들어 사전에 검토되지 않은 사고에서 P2의 사고가 발생하였을 때 각 상정사고에 대한 문제점 유사도는 다음 표와 같다. 따라서 감시프로그램에서는 상정고장 C2에 대한 복구방안인 S2를 선택해서 적용하게 된다.

[표 2] 상정고장 시나리오 리스트

상정고장 케이스	발생문제점	해소방안	PSI
C1	P1	S1	0.0
C2	P2	S2	0.1
C3	P1 P2	S3	0.5
C4	P1 P2 P3	S4	0.3

계통고장 감시 프로그램은 사전에 검토된 고장복구 조치방안 시나리오의 조작 단계별로 계통의 문제점을 표시한다.

즉, 전력계통에 고장이 발생하면 실 계통 근무자는 제시된 복구절차 단계에 따라 계통상황에 필요한 조작만 시행하고 불필요하다고 판단되는 경우는 조작을 보류할 수 있는 판단자료로 참고할 수 있다.

아래 [표 3]의 경우는 154kV 일곡#1,2 T/L 2회선 고장 시에 고장복구 조치방안 2단계까지 수행되었을 때 과부하가 해소되는 경우를 각 단계별로 보여주고 있다.

[1]단계 : 154kV 북광주-일곡#1 차단 ◆ T/L과부하 발생 0 154.00kV 일곡-북광주T/L #2 :180.9% 0 154.00kV 계림-북광주T/L #1 :115.6% 0 154.00kV 계림-북광주T/L #2 :115.6%
[2]단계 : 154kV 북광주-일곡#2 차단 ◆ T/L과부하 발생 없음
[3]단계 : 154kV 담양-담양#1 투입 ◆ T/L과부하 발생 없음
[4]단계 : 154kV 담양-일곡#1 차단 ◆ T/L과부하 발생 없음
[5]단계 : 154kV 담양-일곡#2 차단 ◆ T/L과부하 발생 없음

[그림 6] 시나리오 단계별 조치결과 화면

2.4 사례연구

개발된 입력/검토 프로그램을 이용하여 2008년 하계 최대부하 예측데이터를 기반으로 작성된 운영방안 검토결과와 비교하기 위하여 2008년 7월 17일 하계부하시의 계통데이터를 이용하여 고장복구지원시스템을 동작시켜본 결과 다음 [표 3], [표 4]와 같은 결과를 확인할 수 있었다.

[표 3] 하계철두부하 운영방안

No	상정사고	발생 문제점
1	345kV 신성동T/L 1회선	345kV 신성동#4 T/L : 137%
2	345kV 신중부T/L 1회선	345kV 신중부 잔여T/L : 104%
3	345kV 신양재T/L 2회선	신성남1-과천#2 T/L : 130%

[표 4] 운전실적 데이터 적용결과

No	발생현상	조치방안 적용결과
1	345kV 신성동T/L:102.3%	과부하 해소됨(84%)
2	문제점 없음	-
3	신성남 과천T/L : 100%	과부하 해소됨(91%)

2008년 하계 최대부하 예측데이터가 운전실적 데이터에 비해 부하량이 많기 때문에 전반적으로 예측된 하계 최대부하 데이터에서의 과부하율이 높게 나왔음을 확인할 수 있다. 동일한 상정고장에 대해서 대부분 동일한 과부하 발생 문제점을 유발하고 있었으며, 사전에 입력한 운영방안이 효과적으로 동작하고 있음을 확인할 수 있다.

3. 결 론

전력계통이 대규모화되고 복잡해짐에 따라 고장이 계통에 미치는 영향이 점점 커지고 있으므로 고장복구는 정확하고 신속하게 이루어져야 한다. 지금까지의 실시간 계통 운영에서는 급전원의 경험적 지식에 의존하거나 기존의 문서화된 형태의 지침서를 이용해서 고장복구 절차를 결정하고 수행하여 왔으나, 본 논문에서 제안한 바와 같이 체계화된 계통검토 Case 기반의 고장복구 지원시스템 개발을 통해서 보다 신속하고 정확한 고장복구를 위한 체계를 개선하는데 기여할 수 있을 것이다.

고장복구 방안 DB를 구축하기 위해서는 기존의 계통검토 시 보다 추가적인 작업이 필요하지만, 보다 효율적인 사용자 인터페이스를 통해 불편함을 최소화 하였으며 입력된 복구방안은 계통고장 감시 프로그램에서 효과적으로 사용할 수 있음을 확인할 수 있었다.

또한, 실 계통 연계 시 복구절차 자동제시의 최적 구현을 위해서 사전 모의 테스트를 완벽하게 시행하여 최종적으로 급전운영 현장에서 유용하게 활용할 수 있도록 함으로써 향후 지능화된 전력계통 고장복구시스템 개발의 기반이 될 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력거래소, "08년 하계 전력계통 운영 지침서", 한국전력거래소, 2008.6
- [2] S. Islam and Nurul Chowdhury "A Case-Based Windows Graphic Package for the Education and Training of Power System Restoration", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 16, No. 2, May 2001
- [3] Matsumoto, K.; Sakaguchi, T.; Kafka, R.J.; Adibi, M.M., "Knowledge-Based Systems as Operational Aids in Power System Restoration", Proceedings of the IEEE, Vol. 80, Issue 5, May 1992
- [4] Gomes, P., de Lima, A.C.S., de Padua Guarini, A., Guidelines for power system restoration in the Brazilian system, Power Systems, IEEE Transactions on, Volume 19, Issue 2, May 2004 Page(s):1159 - 1164