

## 계통운영시스템 계통해석 프로그램 검증 방안에 관한 연구

(A Study on the Validation Methodology of Network Analysis Applications  
in Energy Management Systems)

조윤성\*

(Yoon-Sung Cho)

### Abstract

Network analysis applications in energy management systems play a key role in the economic and reliable operation of power systems. In order to provide operators with useful network information, the accurate results of topology processing, state estimation, power flow, and contingency analysis must be simulated. This paper proposes a validation methodology of network analysis applications in energy management systems. The energy management systems was checked to ensure that it meets the originally specified functions based on the proposed methodology. In addition, the performance of state estimation is evaluated with the reference of the proposed methodology. The proposed methodology is being conducted by energy management systems and the Korean power systems have been utilized for the test systems.

Key Words : Energy Management Systems, Network Analysis Application, State Estimation,  
Contingency Analysis, Power Flow

### 1. 서 론

계통운영시스템은 전체 전력계통을 감시·제어·평가·훈련하는 시스템으로서 원방감시제어 및 자료취득, 자동발전제어 및 경제급전, 계통해석, 급전원 훈련

시뮬레이터 등으로 구성되어 있다[1-5]. 시시각각으로 변하는 전력계통의 운전 상태를 반영하여 계통의 건전성을 평가하고 취약 부분에 대한 대책을 수립하여 만일의 사태를 대비하는 것이 계통해석의 활용 목적이다. 특히 9.15 순환정전 이후 온라인 전력계통 운영 및 제어에 대한 중요성이 새로이 인식되었다. 특히 대규모 계통의 계획 및 운영 측면에서 상정을 반영한 계통해석 기능에 대한 중요성이 부각되었다. 계통 계획 측면에서 상정고장해석은 신규 설비가 투입되기 전에 투입에 따른 계통 변화 특성을 분석하여 대책을 수립할 수 있다. 또한 계통 운용측면에서 상정고장해석은 계통 운영자에게 안정적으로 계통을 운영할 수 있는

\* 주저자 : 대구가톨릭대학교 전기에너지공학과 조교수

\* Main author : Assistant Professor, Dep. of Electric and Energy Engineering, Catholic University of Daegu

Tel : 053-850-2782, Fax : 053-850-3397

E-mail : philos@cu.ac.kr

접수일자 : 2014년 5월 29일

1차심사 : 2014년 6월 3일, 2차심사 : 2014년 8월 20일

심사완료 : 2014년 9월 30일

다양한 정보를 제공한다[6].

계통해석 프로그램은 계통 모델링을 기반으로 상태추정(State Estimation, SE), 상정고장해석, 조류계산, 고장계산, 휴전계획, 전압계획, 안전도 제약 경제급전, 안전도향상, 최적조류계산 등으로 구성된다. 발전 응용 프로그램은 자동발전제어(Automatic Generation Control, AGC) 및 경제급전(Economic Dispatch, ED)이 있다. 상태추정은 측정되는 차단기 상태를 기반으로 물리적 전력설비를 전기적 모델로 변환 후 취득유류를 보정하여 계통 상태를 계산한 후 기본 해를 계산한다. 계산된 해를 바탕으로 다른 응용프로그램들을 활용하여 송전선로 및 변압기 과부하 검토, 상정고장 대비 유통전력 한계량 검토, 고장용량 저감을 위한 모선분리 및 병합개소 검토, 전압위반 해소를 위한 전압제어 권고치 검토 등의 다양한 해석을 수행할 수 있다. 그러나 실계통 운영에 필요한 해석을 위해서는 사전에 계통해석 응용프로그램의 정합성이 확보되어야 하며 이를 위해 검증 절차가 확립되어야 한다.

국내외 전력회사에서는 계통운영시스템에 탑재되는

응용 프로그램의 정합성을 유지하기 위해 신뢰성 있는 평가기준을 수립하고 있다[7]. 특히 북미 전력회사인 Pennsylvania-New Jersey-Maryland Interconnection (PJM), Electric Reliability Council of Texas (ERCOT), Southwest Power Pool (SPP), California Independent System Operator Corp. (CAISO), New York Independent System Operator Inc. (NYISO) 등은 기본 해를 생성하는 상태추정 결과에 대한 기준을 수립 후 지속적인 감시 및 검증을 수행한다. 또한 반복적인 수행을 통해 상태추정의 정합성을 향상 시킨다[7-8].

본 논문에서는 계통운영시스템에 탑재되는 계통해석 응용프로그램의 정합성 검증 방안에 대해 제안할 것이다. 이를 위해 우선 국내외 전력회사에서 운영하는 계통해석운영시스템 기반의 계통해석 정합성 기준을 소개한다. 다음으로 계통해석 응용프로그램의 정합성 평가 절차 절차에 대해 제안한다. 마지막으로 응용프로그램을 바탕으로 계통해석 수행절차(과부하해소, 고장전류 해소 등) 절차에 대해 제안한다.

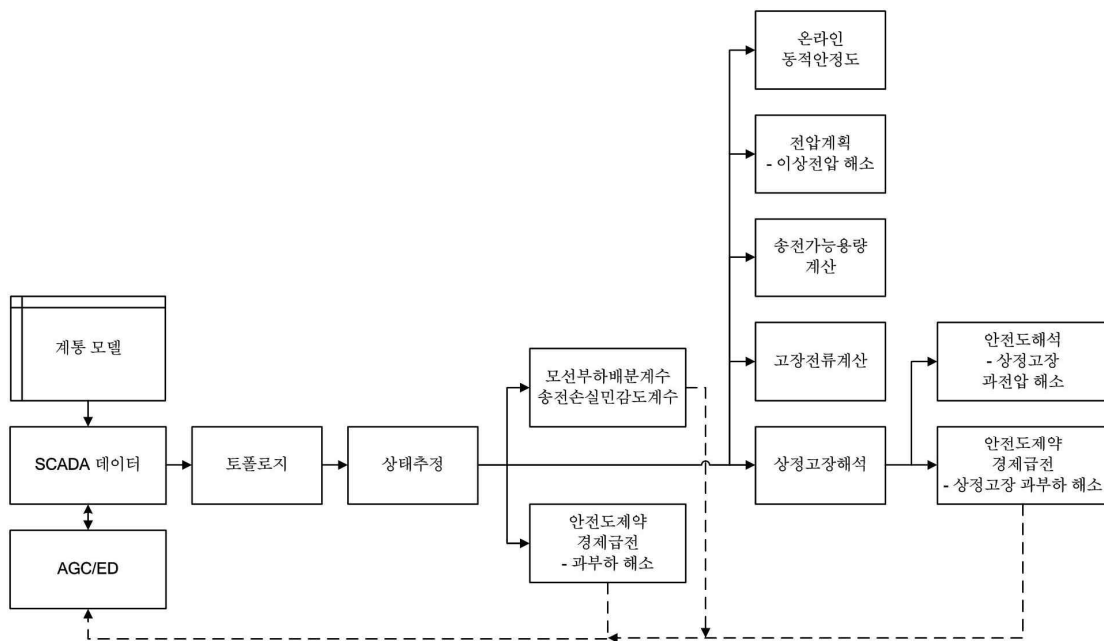


그림 1. 계통해석 수행 시퀀스  
Fig. 1. Sequence of Network analysis

## 2. 계통해석 정합성 기준

### 2.1 계통해석 응용 프로그램

계통운영시스템에 탑재되어 운영 중인 계통해석 응용프로그램은 상태추정 계열과 조류계산 계열으로 구

성되어 있다. 우선 상태추정 계열의 응용프로그램은 토폴로지 처리, 상태추정, 모선부하배분계수, 송전손실민감도계수 및 무효전력예비력계산 등이 있으며, Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)로부터 취득된 아날로그 및 디지털 데이터를 기반으로 해석된다. 미취득 데이터 및 취득된 불량 데이터

표 1. 북미 RTO 상태추정 품질 평가 지표  
Table 1. Evaluation index of state estimation in USA

	상태추정 품질(성능) 평가 지표
SPP	(1) 전체수행횟수가운데 평균 (97%)이상 수렴하면 Pass (2) 전체수행횟수가운데 연속발산횟수가 (3회)이하면 Pass (3) 전체수행횟수가운데 최대모선불일치량 (50MW)미만으로 수렴될경우가 90% 이상이면 Pass (4) 200kV 이상 전체S/S 가운데 90% 이상에 있어서 해당 S/S의 130kV 이상의 모든 선로의 취득값과 추정값의 편차가 (선로정격의 5% 이내) 혹은 (최대 50MW 미만)을 만족하면 Pass (5) 50기의 대용량발전기에 대하여 취득값과 추정값의 편차가 (설비정격의 5% 이내) 혹은 (최대 50 MW 미만)을 만족하면 Pass
PJM	(6) 월별 상태추정 수렴율 산출 (7) 1분 간격으로 상태추정 수행, 수렴율 99.7% (일일 평균 1440중 4-5회 발산) 발산 주요 원인 : ICCP 데이터 미취득 (8) 타 송전망운영자(TO)들과 상태추정 결과의 정기적인 공유 검증 (PSS/E 데이터 교환)
CAISO	(9) 1분 간격으로 수행되며, 5분 간격으로 시장(LMP) 및 전압안정도평가(VSA)에 SE 해 전송 (10) 5분 간격 수행을 기준으로 97% 이상의 수렴율 권고 (일일 평균 288회중 280회 이상) (11) 15분 간격 수행을 기준으로 99.866% 권고 (한달 평균 4회 이하 발산) (12) 정규잔차 : 측정값의 95%에 대해 3이하, 전체 측정값에 대해서는 4이하를 권고 (13) Negative Load : 부하개수 50개 이하 & 부하합산 ≤ {100MW 혹은 계통부하의 2%} (14) Negative Gen : 발전기수 50기 이하 & 발전합산 ≤ 50MW (15) 과부하감시오류 : SCADA 값은 초과하지 않는데 SE 값이 감시한계를 초과할 경우 - N=0% (115kV, 230kV, 500kV 선로) / N=1% (115kV 미만 선로) (16) 전압감시 오류 : SCADA 값은 초과하지 않는데 SE 값이 감시한계를 초과할 경우 - N=0% (230kV, 500kV 모선) / N=1% (115kV 모선) / N=2% (115kV 미만 선로)
NYISO	(17) 30초 간격으로 SE 수행 (18) 추정값과 취득값의 편차(Residual)를 화면을 통해 제공
ERCOT	(19) 상태추정 성능평가 수행 (1 Month), 평가기간중 상태추정 수렴율 97% 충족 (20) 혼잡비용의 80%를 야기하는 선로에 대해 - 상태추정값과 조류계산값의 편차가 해당선로의 Emergency 제한치의 3%미만일 것 - 상태추정값과 취득값의 편차가 해당선로의 Emergency 제한치의 3%미만일 것 (21) 100kV 이상의 전체선로에 대해 취득값과 상태추정값의 편차가 10MW 혹은 해당선로의 Emergency 제한치의 10% 미만일 것 (22) 20개의 전압취약모선(매년10월에 선정)에 대해 취득값과 상태추정값의 편차가 2% 이내일 것

등을 보장하여 품질이 우수한 기본 해를 생성한다. 다음으로 조류계산 계열의 응용프로그램은 상태추정의 기본 해를 입력으로 사용하며, 상정고장해석, 급전원 조류계산, 송전가능용량계산, 고장계산, 최적조류계산, 안전도 제약 경제급전, 안전도향상, 전압계획 등이 있다[9].

그림 1에서 보는 바와 같이 정밀한 계통해석을 위해서는 상태추정 해의 정합성 및 지속성이 유지되어야 한다[2-3]. 상태추정의 해는 발전량, 부하량, 전압 등을 포함하고 있다. 그러나 전압의 상한 및 하한이 불량(저전압, 과전압 포함)하거나 모선불일치량이 크게 된다면 상태추정 데이터를 기반으로 조류계산을 수행하게 되면 해가 변경된다. 또한 오프라인 해석용 프로그램인 Power System Simulator for Engineering (PSS/E)를 활용하여 조류계산을 수행하면 발산할 수 있다. 불일치량이 큰 경우 PSS/E는 불일치량을 슬랙 모선에 모두 할당하기 때문에 발산할 수 있다. 이와 같이 온라인 데이터를 기반으로 수행되는 모든 응용 프로그램은 상태추정 해를 기반으로 수행되기 때문에 정확한 상태추정 해가 유지되어야 한다.

## 2.2 국외 상태추정 품질 평가 지표

북미 전력회사인 PJM, ERCOT, SPP, CAISO, NYISO 등은 상태추정 품질 평가 지표를 바탕으로 상태추정 해를 관리한다. 표 1에서 보는 바와 같이 북미 전력회사들은 공통적으로 97% 이상의 수렴율 및 측정값과 추정값의 유효전력 차 50MW 미만 등을 평가 지표로 사용하고 있다. SPP는 모선불일치량을 사용하며, CAISO는 음의 부하상태를 상태를 사용하며, ERCOT은 취약모선에 대해 측정값과 추정값 차이를 사용하고 있다. 이와 같이 북미 전력회사들은 정기적으로 평가 기준표를 작성하여 상태추정의 가용성과 정합성 평가를 수행하고 있다[7-8].

## 2.3 국내 상태추정 품질 평가 지표

국내 전력계통을 운영하는 전력회사는 상태추정 품

질을 관리하고 있으나 공개된 평가 지표는 아직 없다. 그러므로 북미 전력회사들의 상태추정 품질지표를 바탕으로 국내 전력계통에 대한 상태추정 품질지표를 다음과 같이 수립할 수 있다.

### 단계 1) 모델링

- 계통 구성 정보 오류 無(차단기 등)
- 송전선로 임피던스, 변압기 탭정보 오류 無
- 발전기 유효/무효전력 범위 오류 無
- SCADA 측정 포인트 오류 無
- 현 단계에서 오류가 발생하지 않으면 다음 단계

### 단계 2) 상태추정 품질지표

- 측정데이터 기반의 토폴로지(디지털/아날로그) 오류 수정
- 표 1을 바탕으로 다음과 같은 항목을 국내 전력 계통의 기준으로 사용 가능
- 즉, 표 1의 (1), (4), (5), (14), (22)

### 단계 3) 조류해석기반 품질지표

- 상태추정 데이터를 기반으로 조류계산 정합성 검증
- 계통운영시스템에서 PSS/E 데이터 추출(선행조건 : 추출된 데이터 오류 無)
- PSS/E와 비교하여 검증(조류계산, 상정고장, 고장계산 등 비교)

## 3. 계통해석 정합성 평가절차

### 3.1 응용 프로그램 평가절차

온라인 데이터 기반의 계통해석은 정밀한 모델링(데이터베이스 구축), 측정데이터 상태(아날로그, 디지털) 및 상태추정의 정합성에 의해 결정된다. 상태추정의 정합성은 모델링에 의해 결정되며 측정데이터의 상태도 영향을 미친다.

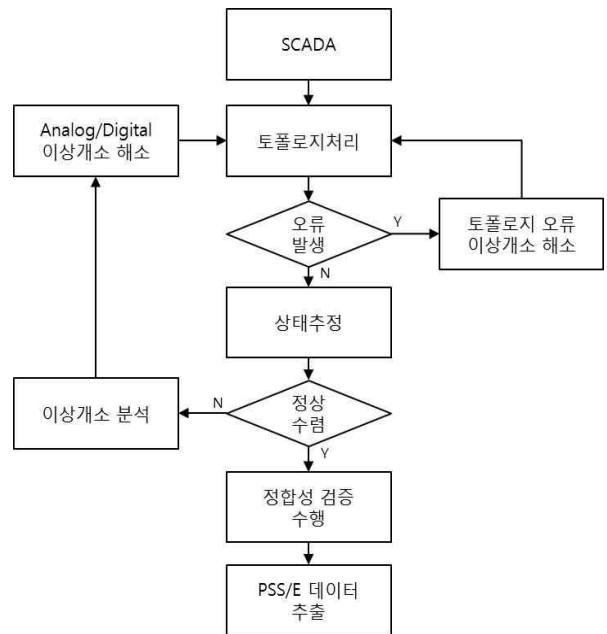
그림 2에서 보는 바와 같이 상태추정의 정합성을 평가하기 위해서는 우선 토폴로지의 정합성을 수행해야 한다. 그림 2 (a)는 스카다로부터 데이터를 취득받아 PSS/E 데이터 추출까지의 흐름을 나타내며 그림 2 (b)는 상태추정 수행 후 상태추정의 품질이 양호한 해를 얻는 과정을 타나내고 있다. 토폴로지 처리는 측정

데이터의 상태정보를 기반으로 물리적 모션을 전기적 모션으로 변경 후 설비의 가압상태, 계통의 가압상태를 판별한다. 토폴로지 처리 후 토폴로지 오류가 발생한 경우 이를 발변전소 단선도를 활용하여 수정한다.

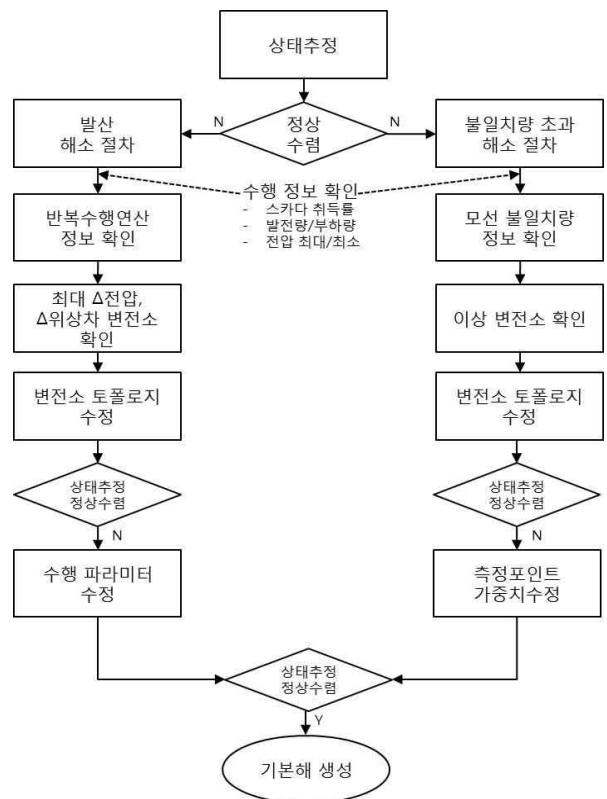
상태추정 수행 후 정상수렴, 불일치 수렴 및 발산에 따라 이상해소 절차를 수행한다. 우선 불일치 수렴은 운영자가 설정한 불일치량을 초과 시 발생하며 표 1에서 보는 바와 같이 일반적으로 50MW이하의 값을 사용한다. 불일치 수렴 발생 시 모션 불일치가 발생하는 발변전소의 토폴로지를 확인하며 오류가 존재할 경우 이를 수정한다. 그러나 토폴로지 오류가 없는 경우에도 지속적으로 불일치량이 발생하는 경우 해당 모션에 연결된 측정 포인트의 가중치를 조정한다. 다음으로 발산한 경우 반복 수행 연산 결과를 확인하며 최대 전압변동 및 위상차가 발생하는 발변전소의 토폴로지 정보를 확인하며 오류가 존재할 경우 이를 수정한다. 그러나 토폴로지 오류가 없는 경우에도 지속적으로 발산하는 경우 수렴 파라미터를 조정한다.

조류계산 기반의 급전원 조류계산, 상정고장해석, 고장전류계산 등의 정확성을 검증하기 위해서는 그림 2에서 보는 바와 같이 정상 수렴된 경우 PSS/E 데이터를 입력데이터로 사용하며, 계통운영시스템의 응용프로그램과 PSS/E의 결과를 비교·검증을 수행한다.

그림 3은 스터디 환경에서 계통해석 응용프로그램과 PSS/E간의 검증 절차를 수행하는 흐름을 나타내고 있다. 그림 3 (a)에서 보는 바와 같이 조류계산의 정확성은 상태추정의 해를 바탕으로 연산된 조류계산과 PSS/E 두 시스템의 전압, 발전력 및 조류 등을 비교한다. 두 시스템 간의 차이는 전체 수행횟수에 대해 2% 미만인 90% 이상일 경우 Pass 된다. 계통운영시스템과 PSS/E 해석의 큰 차이점은 유효전력의 불일치량을 배분하는 방법이다. 전자는 유효전력을 개별 발전기에 할당하지만 후자는 Slack 모션에 할당한다. 그림 3 (b)의 고장전류계산의 정확성 평가 절차도 조류계산과 유사하며 PSS/E의 고장계산 결과와 계통운영시스템의 고장전류를 비교한다. 일반적으로 154kV 이상의 모션에 대해 2% 미만인 90% 이상일 경우 Pass 된다. 마지막으로 그림 3 (b)의 상정고장해석 기능과 동일한 기능이 PSS/E에 없기 때문에 다음과 같



(a) 정합성 검증 절차



(b) 상태추정 이상해소 절차

그림 2. 상태추정 정확성 평가절차  
Fig. 2. Evaluation process of state estimation

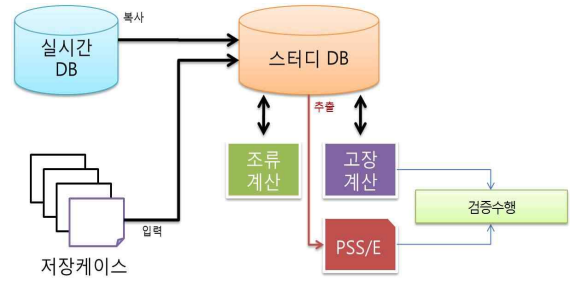
이 수행한다. 첫째, 계통운영시스템에서 과부하가 발생한 상태추정 데이터를 기반으로 하는 PSS/E 데이터를 추출한다. 둘째, 조류계산을 수행한다. 셋째, 송전선로 과부하를 유발하는 상정고장을 발생시킨다. 송전선로, 변압기 및 발전기 탈락등의 고장을 발생시킨다. 넷째, 조류계산을 수행한다. 다섯째, 상정고장 전후의 결과를 비교한다. 상정고장 전후의 비교를 통해 두 시스템이 과부하 및 과전압 발생 결과가 2% 미만으로 90% 이상일 경우 Pass된다.

표 2에서 보는 바와 같이 계통해석 응용프로그램의 정합성은 SCADA, EMS 및 PSS/E를 활용하여 모선의 개수, 전압, 유/무효 전력, 과부하율, 고장전류 등을 비교한다. 안전도계약 경제급전은 계통운영시스템의 결과(발전력 출력 변경)를 반영하여 과부하가 해소되는 정도를 비교할 수 있다. 계통운영시스템 기반의 계통해석은 정합성을 갖춘 상태추정, 조류계산, 상정고장해석 및 고장전류계산 등의 활용하여 과부하 해석, 차단기 고장용량 검토 및 송전가능용량 평가 등이 수행된다.

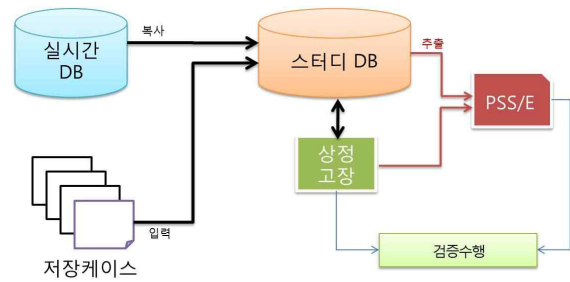
### 3.2 계통해석 수행절차

그림 4에서 보는 바와 같이 계통운영시스템 계통해석 응용프로그램은 실계통 안정성 분석과 급전원 휴전검토에 활용되고 있다. 그림 4는 계통해석 응용프로그램의 수행 흐름을 나타내고 있다. 실시간 모드는 SCADA 데이터를 사용하며 스터디 모드는 상태추정 데이터를 사용하여 해석한다. 스터디 모드에서는 현시점의 실시간 데이터 복사 또는 이전에 저장되어 있는 케이스를 입력으로 사용한다.

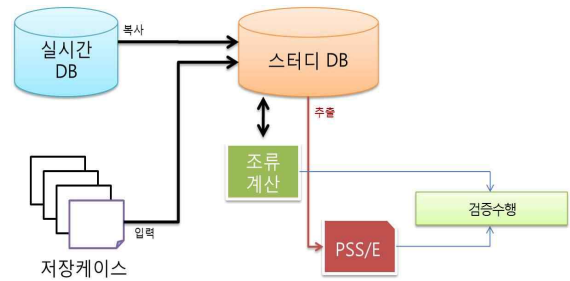
그림 5에서 보는 바와 같이 상정고장해석과 조류계산을 활용한 과부하 해석 및 해소 절차는 다음과 같다. 그림 5는 상태추정 데이터를 기반으로 상정고장해석 수행 후 발생하는 위반을 해소하는 절차를 나타내고 있다. 우선 상정고장해석은 사전 정의된 상정고장 리스트를 바탕으로 사고 발생 시 조류의 설비감시 한계값(Normal, Emergency, Loadshed)을 초과하는 개소에 대한 정보를 제공한다. 상정고장 수행 후 발생하는 위반을 해소하는 방법은 두 가지로 수행할 수 있다.



(a) 급전원조류계산 정합성 검증절차



(b) 고장전류계산 정합성 검증절차



(c) 상정고장해석 정합성 검증절차

그림 3. 조류계산 기반 응용프로그램 평가절차  
Fig. 3. Evaluation process of applications based on powerflow

표 2. 계통해석 응용프로그램 검증 항목  
Table 2. Validation items of applications

프로그램	비교항목	비교대상
토폴로지	모선 갯수	EMS
상태추정	V, P, Q	EMS, SCADA
조류계산		PSS/E
상정고장	과부하율	
고장계산	고장 전류	
안전도계약경제급전	과부하해소 정도	EMS, PSS/E

실시간 모드에서는 안전도제약 경제급전이 발전력 재배분을 통해 이를 해소할 수 있으며, 스터디 모드에서는 급전원조류계산 기능을 활용하여 동일한 상정고장을 발생시킨 후 한계치 초과개소에 대해 발전력 조정, 차단기 조작 및 부하 조정 등을 통해 이를 해소할 수 있다. 계통안정화장치(SPS) 사고 모의를 수행하기 위해서는 사전에 SPS 정보가 모델링되어 있어야 한다. 예를 들어 신가평-신태백 2회선 사고시 SPS를 적용하지 못하면 과부하 및 과전압의 위반이 많이 발생한다.

그림 6에서 보는 바와 같이 고장계산은 설비 고장 시 인접설비에 미치는 고장전류나 고장전압을 계산하는 것으로 고장에 대비한 차단기의 정확한 고장용량 산정과 보호계전기의 정정에 활용된다. 그림 6은 상태추정 및 조류계산 데이터를 기반으로 고장전류해석을 수행하는 절차를 나타내고 있다. 고장계산 결과는 설비의 예기치 못한 고장이 2차로 파급되는 것을 사전에 예방하는데 도움을 준다. 고장전류계산은 다음과 같은 특징을 갖고 있다. 첫째, 설비단락고장 발생시 모선과 송전선로에서 고장전압과 고장전류(kA)를 계산하는 기능으로 휴전 검토시 차단기 차단용량 검토에 활용한다. 둘째, 모선단위가 아닌 차단기별 차단용량을 상세히 검토할 수 있다. 셋째, 평형 고장계산 뿐만 아니라 1선 지락, 2선 지락 및 선간 단락을 수행할 수 있으며, 이를 위해서는 영상 임피던스 등의 임피던스 정보가 필요하다.

그림 7에서 보는 바와 같이 송전가능용량은 중요 송전 접속선로(북상전력계, 인천조류계, 북부조류계 등)에서의 전체송전용량을 온라인으로 산정하는 기능이며, 주로 전압안정도에 제한을 받는다. 송전가능용량은 다음과 같은 기능을 갖고 있다. 그림 7은 상태추정 및 조류계산 데이터를 기반으로 송전가능용량해석을 수행하는 절차를 나타내고 있다. 첫째, 선로, 발전기, 변압기 등의 사고로 구성된 상정고장 리스트에서 해석하고자 하는 유통선로를 선택하여 상정고장 리스트(set)을 구성한다. 이 셋을 바탕으로 계통의 붕괴를 가져오는 상정고장 순으로 순위를 매김으로써 심각한 상정고장을 판단한다. 둘째, 해당 상정고장에 대하여 경제급전에 근거한 발전비용을 적용하여 발전력 조정

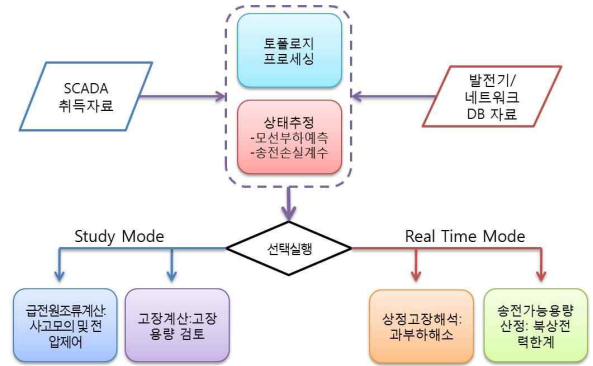


그림 4. 계통해석 수행절차  
Fig. 4. Procedure of network analysis applications

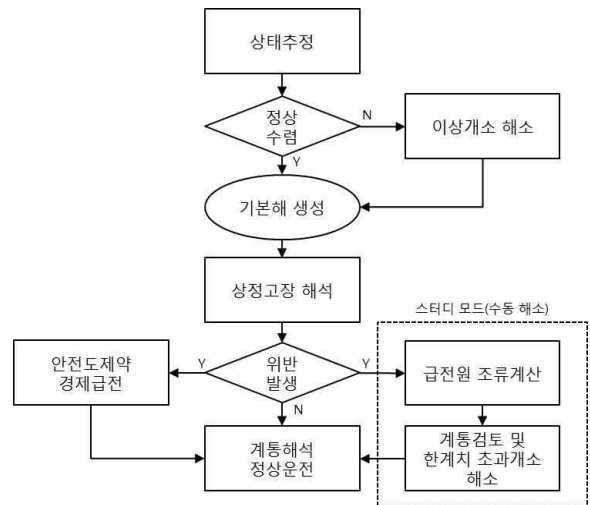


그림 5. 과부하 해소 절차  
Fig. 5. Flowchart for overload relief

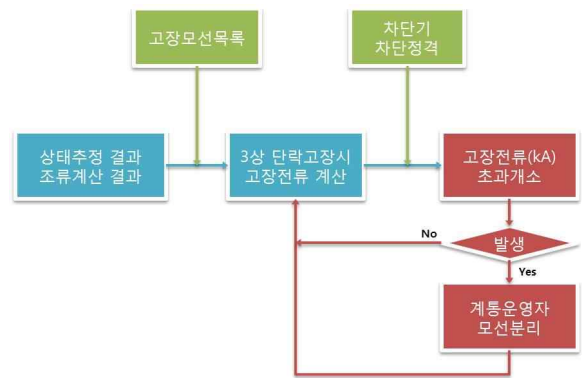


그림 6. 고장전류해석 절차  
Fig. 6. Flowchart for short-circuit analysis



및 조류계산 반복을 통하여 시스템의 붕괴지점을 찾아 시스템의 안정도 한계점을 계산한다. 셋째, 심각한 상정고장에 대해서는 SPS 모델이 설정되어 있어야 한다.

#### 4. 사례 연구

본 연구에서는 한국형 계통운영시스템의 계통해석 응용 프로그램을 활용하여 정합성 검증을 수행하였다. SCADA로부터 취득된 데이터를 입력데이터로 사용하여 토폴로지 처리, 상태추정, 상정고장해석, 고장전류계산 및 PSS/E 데이터 추출을 수행하였다. 스티디 모드에서는 수렴된 상태추정 데이터를 복사하여 급전원조류계산을 수행하였다.

우선 SCADA의 차단기 상태를 바탕으로 토폴로지 수행 후 5219개 모선이 생성되었다. 토폴로지 결과 및 아날로그 입력데이터를 바탕으로 상태추정이 수행되며 상태추정의 해는 그림 8에서 보는 바와 같이 SCADA 측정값과 비교되었다. 발전력의 경우 SCADA에서 정밀하게 관리되기 때문에 불량데이터의 확률이 적다. 본 연구에서 비교된 SCADA 발전력은 불량데이터가 없는 발전기에 대해서만 비교하였다. 그림에서 보듯이 정격용량 500 MW 미만에서는 차이가 5 MW 이하이며, 500 MW 이상에서는 10 MW 이하의 차이를 나타내고 있다. 보령CC 및 당진 TP 등의 발전력 오차를 줄일 수 있는 방법은 발전기의 가중치를 높게 설정하고 모선의 가중치를 낮게 설정한다. 발전력은 경제급전 응용프로그램에서 사용되기 때문에 실제 출력과 동일한 값이 출력될 수 있도록 상태추정에서 관리해야 한다. 상태추정 정합성을 향상시키기 위해서는 정밀한 설비 모델링(임피던스, 변압기 탭 등), 토폴로지 오류처리(차단기 데이터), 측정 데이터에 대한 가중치 조절(표준편차 등), 불량 SCADA 데이터에 대한 상태추정 대체 등이 수행되어야 한다.

다음으로 상정고장해석, 송전가능용량산정, 안전도 제약 경제급전, 전압계획 및 최적조류계산 등의 핵심 기능인 조류계산의 정합성을 수행하였다. 표 3에서 보는 바와 같이 조류계산 수행 후 전압의 크기 및 위상각, 발전력 및 선로/변압기의 조류를 비교하였다. 그림

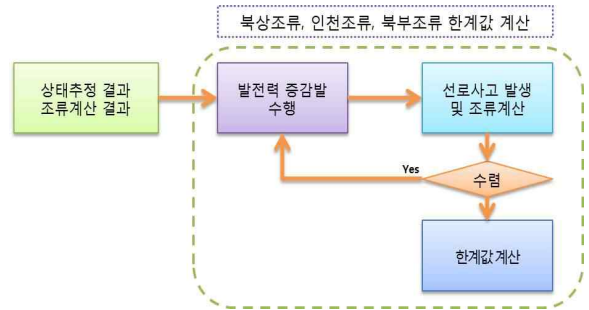


그림 7. 송전가능용량해석 절차  
Fig. 7. Flowchart for total transfer capability

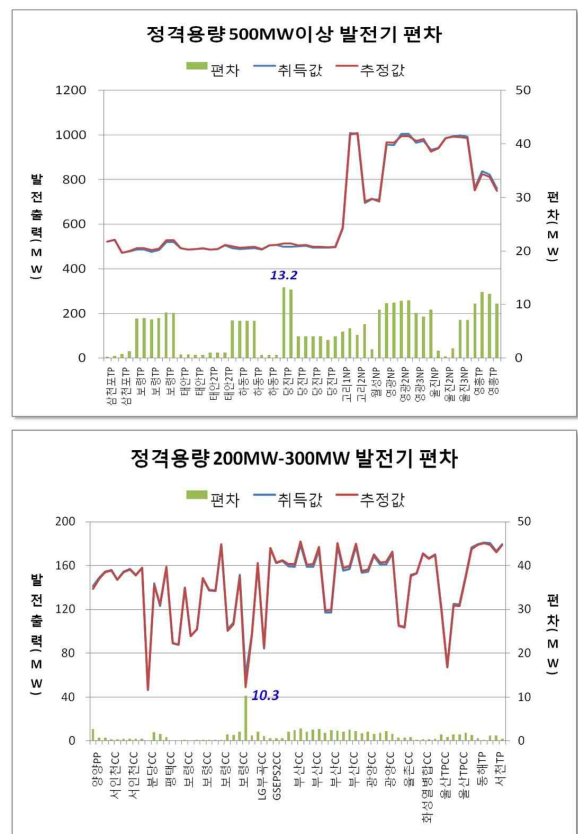


그림 8. 상태추정 정확도 검증  
Fig. 8. Validation of state estimation

에서 보듯이 편차는 모두 2% 이내이며 최대 편차도 1% 내외이다. 조류계산 정합성을 향상시키기 위해서는 상태추정 해 중 모선 불일치량을 최대한 작게 유지해야 하며 측정 데이터의 가중치 및 토폴로지 오류 해소 등을 통해 불일치량을 조절할 수 있다.



표 3. 조류계산 정확도 검증  
Table 3. Validation of power flow

변전소	선로명	조류(MW)/전압(kV)		
		EMS	PSS/E	편차
의정부	신가평	1089.2	1088.6	0.6
	상계	170	163.2	6.8
	MTR	205.4	204.4	1.0
	Volt	351.3	351.6	0.2
신체천	동해	1428.2	1429.2	1.0
	제천	65.0	65.0	0
	MTR	157.3	157.5	0
	Volt	350.7	351.1	0.4

표 4. 고장전류계산 정확도 검증  
Table 4. Validation of short-circuit analysis

모선명	고장전류(kA)		
	EMS	PSS/E	편차
765_당진	22.1	22.1	0.1
765_신태백	13.8	13.8	0.0
345_신체천	24.5	24.5	0.0
345_북부산	37.8	37.8	0.1
345_서인천	27.1	27.1	0.1
154_삼성	37.7	37.8	0.1
154_군산	38.5	38.5	0.0

다음으로 고장전류계산의 정합성을 평가하였다. 표 4에서 보듯이 모선별 고장전류는 EMS와 PSS/E의 차이가 0.1kA내로서 모두 2% 이내이며 최대 편차도 1% 내외이다. 고장전류의 정합성은 임피던스에 의해 결정되기 때문에 발전기 차과도 임피던스 및 변압기 임피던스를 정확하게 모델링해야 한다.

계통해석 응용프로그램의 정합성 비교에 사용되는 PSS/E 데이터 생성 프로그램의 정합성은 다음과 같이 평가되어야 한다.

- ① 계통운영시스템과 PSS/E의 모선개수가 동일해야 하며 모선타입(발전, 부하, 정지, 슬랙)도 동일해야 한다.
- ② 발전기, 부하, 선로, 변압기, 조상설비 개수가 동일하며 발전량, 부하량, 조상설비량이 동일해야

한다. 발전기 유/무효전력의 범위도 동일해야 한다. 발전기 목표전압은 발전기에 연결된 모선의 전압이 입력되어야 한다.

- ③ 송전선로 및 변압기 임피던스 정보가 동일해야 한다. 특히 변압기 1차측 및 2차측 권선비(turn ratio)가 동일해야 한다.
- ④ 발전기 차과도 임피던스가 동일해야 한다. 설비 기준(MBase)으로 임피던스가 동일해야 한다. 다이나믹 해석 수행을 위해서는 과도 리액턴스(임피던스)의 정보가 입력되어야 한다.
- ⑤ 추가적인 설비(HVDC, SVC 등)과 지역 및 관리 처 정보 등이 동일해야 한다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 계통운영시스템에 탑재되는 계통해석 응용프로그램인 토폴로지, 상태추정, 조류계산, 상정고장, 고장계산, 송전가능용량 산정 및 PSS/E 데이터 변환 등의 정합성 검증 방안에 대해 제안하였다. 국내외 전력회사에서 운영하는 계통해석운영시스템 기반의 계통해석 검증 기준을 분석 후 국내 전력계통에 적용 가능한 계통해석 응용프로그램의 검증 기준에 대해 제안 및 모의하였다. 정합성이 검증된 응용프로그램을 바탕으로 다양한 계통해석 수행절차에 대해 소개되었다.

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2014R1A1A1005554).

## References

- [1] F. F. Wu, K. Moslehi, and A. Bose, "Power system control center: Past, Present, and Future," Proc. IEEE, vol. 93, no. 11, pp. 1890-1908, Nov. 2005.
- [2] Monticelli, State Estimation in Electric Power Systems: A Generalized Approach. Boston: Kluwer, 1999.
- [3] A. Abur and A. G. Exposito, Power System State Estimation-Theory and Implementation. New York: Marcel Dekker, 2004.
- [4] F. Maghsoodlou, R. Masiello, and T. Ray, "Energy management systems," IEEE Power Energy, vol. 2, no. 5,

- pp. 49-57, Sep/Oct. 2004.
- [5] D. Becker, H. Falk, J. Gillerman, S. Mauser, R. Podmore, and L. Schneberger, "Standards-based approach integrates utility applications," IEEE Comput. App. Power, vol. 11, pp. 13-20, Oct. 2000.
  - [6] Yoon-Sung Cho, Sang-Yun Yun, "Development of the Contingency Analysis Program of Korean Energy Management System", The Trans. of the KIEE, Vol. 59, No. 2, 2010, 232-241.
  - [7] Yoon-Sung Cho, Sang-Yun Yun, Jin Lee, Seong-II Hur, Yeo-Jun Yoon, Hyo-Sang Lee, "Development of the Network Analysis Program of Korean Energy Management System and Result of Field Test", World of Electricity, Vol. 59, No. 12, 2010, 60-68.
  - [8] [http://www.spp.org/publications/MetricInterpretiveGuidance\\_\\_SPP\\_3.pdf](http://www.spp.org/publications/MetricInterpretiveGuidance__SPP_3.pdf)
  - [9] Gun-Soo Park, Young-In Kim, Yoon-Sung Cho, Jin Lee, Seong-II Hur, Yeo-Jun Yoon, Hyo-Sang Lee, "Development and Verification of the Advanced Network Analysis Program of Korean Energy Management System", Proceeding of the 41th KIEE Summer Conference, 2010, 146-147.

◇ 저자소개 ◇



**조윤성(趙尹晟)**

1977년 7월 5일생. 2008년 고려대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2012년 LS산전연구소 책임연구원. 현재 대구가톨릭대학교 전기에너지공학과 조교수.