

### EMS 최적화기능의 실제용 적용시험 소개

강형구, 황경식, 김광호, 이건웅  
전력거래소

#### The Introduction of EMS Network Optimization Field Test in KPX

Hyung-Koo Kang, Kyung-Sik Hwang, Kwang-Ho Kim, Kun-Woong Lee  
Korea Power Exchange

**Abstract** - EMS 계통해석 최적화기능은 전압계획 (VVD), 안전도개선(SENH), 최적조류계산(OPF) 기능을 지원하고 있다. 그러나 이들 기능은 부등호 제약처리, 이산 제어요소 처리, 제어DB 구축과 최적화 파라미터 튜닝의 어려움, 급전 가능한 제어대상 최소화, 수렴특성 난조 등 프로그램의 강인성의 문제로 전 세계적으로 실제 용에서 활발히 사용되지 못하고 있다. 본고에서는 전력 거래소(KPX) EMS 최적화 프로그램 기능소개와 실제용 활용을 위한 제어DB 재구축, 튜닝, 특성시험 결과와 향후계획을 소개하고자 한다.

### 1. 서 론

전력거래소(KPX)는 매 5분마다 주기적으로 실시간 EMS 계통해석(NA)기능을 자동 실행하여 계통운용에 활용하고 있다. 실시간 프로그램으로 상태추정(RTNET), 상정고장해석(RTCA), 안전도개선(STSENH), 전압계획(VVD)이 있고, 검토모드에서는 조류계산(PF), 고장계산(SCT), 상정고장해석(STCA), STNET(ED, PF, CA, OPF), 안전도개선(STSENH), 최적조류계산(OPF) 등이 있다. 상기 응용프로그램은 최적화기능을 제외하고 모두 급전업무에 활용하고 있으나 최적화기능은 제어 모델링과 수렴 안정성이 확보된 결과를 도출하기가 어려웠다. 최근 제어DB 재구축과 지속적인 튜닝결과 Newton OPF 알고리즘을 사용한 전압계획(VVD)은 비교적 양호한 수렴 특성을 얻었고 이의 적용시 계통손실 감소로 인한 경제적 효과도 상당한 것으로 나타났다. DTS(급전원훈련 시뮬레이터)를 활용하여 실제용 적용 시뮬레이션 결과 대부분 2회 정도 VVD 결과를 반영 설비 제어시 손실최소화가 가능한 것으로 나타났다. EMS 최적화기능은 전압계획, 안전도개선, 최적조류계산 프로그램으로 구성된다. 전압계획(VVD)은 현 계통 전압 위반사항을 제거하거나 감소시키고 유효전력의 흐름으로 인한 계통손실을 최소화하기 위하여 무효전력 제어기 변경을 제시하는 목적을 가진 실시간 최적조류계산 응용프로그램이다. 최적조류계산(OPF)은 전력계통의 상태를 향상시킬 수 있는 전력계통 제어설비를 권고하기 위한 검토모드 응용프로그램이다. 최적조류계산은 계통안정성을 향상시키고 유효전력손실 또는 연료비용을 최소화하거나 다른 비용합수를 최소화는 제어 동작을 권고할 수 있다. 안전도개선(SENH)은 안전도, 비용과 다른 운영 고려사항들 사이의 최적 균형을 달성하는 실시간과 검토모드 응용프로그램이다. 안전도개선(SENH)은 6가지의 해가 제공된다. 이 중 3가지는 현재상태의 안전도만 고려하고(Base Case Security Enhancement), 나머지 3가지는 기본 케이스뿐만 아니라 상정고장 상태의 안전도까지 고려하여(Base Case and Contingency Security Enhancement) 해를 제공한다.

### 2. EMS 최적화기능

#### 2.1 최적화 제어DB 및 비용곡선 모델

##### 2.1.1 목적 및 기본원칙

최적화기능의 사용자 편의를 고려한 유연한 제어그룹 정의와 안전도개선, 최적조류계산, 전압계획의 튜닝, 활용 기반구축을 위해 1개의 제어DB(CTLMOM) 구축에 의한 전체 최적화기능에 활용 가능하고 제어그룹의 연료비, 무효전력 각각 우선순위를 급전원이 선택토록 하였으며 계통모델(NETMOM) 변경시 제어DB(CTLMOM)의 일관성을 유지토록 하였다.

##### 2.1.2 제어DB 정의기준

제어요소로는 원자력, 무연탄, 집단에너지를 제외한 전 중앙급전 발전기 MW/MVAr/전압(소수력기는 전압조정 기여도가 경미하여 MVAr/전압 모델 제외), 345kV급 이상 발·변전소 조상설비 및 변압기 탭(ULTC), 154kV 변전소는 154kV 모선연결 조상설비를 대상으로 구축하였다. 제어그룹으로서 발전기 MW 출력은 연료비 우선순위로 그룹 세분화 제어가 가능토록 유연탄, 유전소, 복합/가스, 수력/양수, 제주지역 5개 그룹으로 구축하였다. 원자력은 출력고정운전, 무연탄은 연료계약운전, 집단에너지는 제약입찰로 모델에서 제외하였다. 발·변전소 발전기 단자전압/무효출력, 조상설비, 변압기 탭등 무효전력 제어원은 전압의 국부성을 반영하여 수도권(서울/남서울/인천/수원/제천), 중부권(대전/전주/광주), 영남권(대구/부산/창원), 제주권 4개 그룹으로 지역별 세분화하고 수력 발전소는 계통기여도가 경미하여 모델에서 제외하였다. 제어유형으로는 현계통 과부하 해소, 현계통 비용최소화, 상정고장계통 과부하 해소를 위한 발전기 MW를 각각 연료원별 5개 그룹으로 세분화하고, 상정고장계통 이상전압 해소를 위해 육지계통 3개, 제주지역으로 무효전력 제어원별 4개 그룹으로 모델하였다. 이렇게 함으로써 사용자에게 최적화 제어그룹과 제어대상 선택의 유연성을 제공하였으며 목적에 맞게 최적화기능을 활용토록 하였다.

##### 2.1.3 비용곡선 및 목적함수 정의

원자력, 무연탄, 집단에너지를 제외한 출력 20MW이상 중앙급발전기는 EMS AGC의 중분비용곡선(ICC)을 연계하여 모델값 변경시 실시간 환경에서 자동 반영되도록 정의 하였고 이들 전체 발전기의 비용곡선 집합을 다시 비용최소화 검토를 위하여 목적함수와 연계 구축하였다. 안전도개선(SENH)의 상정고장계획/예방조치(CK/PA)해의 대상으로 상정고장해석(CA)결과 유해한(harmful) 해의 목록을 전달하기 위하여 중요 상정고장인 154kV이상 송전선로 N-2 상정고장 목록에 대하여 전파 플래그를 지정하였고 전압, 조류, 인터페이스 제약은 제약인자그룹(enforcement group)과 개별인자요소(enforcement element) 화면에서 전압그룹별, 제약그룹/요소별로 해석 목적에 맞게 설정 운용하도록 하였다.



### 2.3.2 검토모드 안전도개선(STSENH).

실시간 시스템, 저장된 시스템 환경이나, 가상 운전 상태에서의 안전도 최적화 문제를 검사하기 위하여 검토모드에서도 사용가능하다. 실시간 모드와 기능은 동일하다. 이 환경에서는 안전도개선과 다른 응용프로그램 사이의 모든 데이터 전송은 수동으로 이루어진다. 데이터는 계통 데이터베이스 복사 유틸리티를 이용하여 전송되거나, 저장케이스 운영에 의해 전송된다. 여기에는 기본 데이터로 해를 구한 계통데이터(NETMOM), 상정고장데이터(CTGS), 제어데이터(CTLMOM)가 기본으로 필요하다.

### 2.4 최적조류계산(Optimal Power Flow)

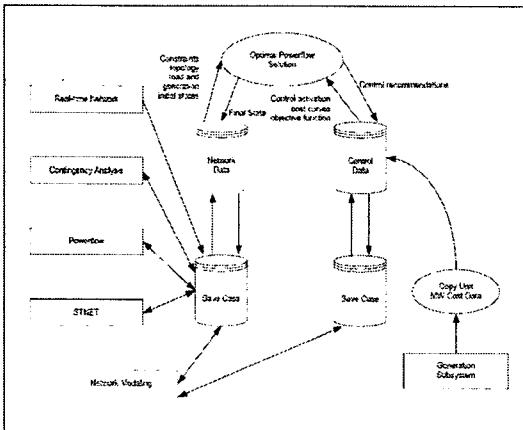
최적조류계산(OPF)의 목적은 전력계통의 상태를 향상시킬 수 있는 전력계통 제어요소를 위한 권고사항을 정하는 검토모드 프로그램이다. 최적조류계산은 계통안전성을 향상시키고 유효전력손실 또는 연료비용을 최소화하거나 다른 비용합수를 최소화하는 제어 동작을 권고할 수 있다. "계통안전성의 향상(Improve feasibility)"은 전력 시스템 한계 값 위반을 제거하거나 최소화하는 것을 의미한다.

#### 2.4.1 문제 정의

최적조류계산 문제 정의는 계통, 제어요소, 목적함수, 그리고 제약요소 네 가지로 분류되어 있다. 모든 계통 기능에 공통인 계통모델(NETMOM, 계통구성 정보인 토폴로지, 설비정수등 계통 파라미터와 부하모델등 정보포함), 제약요소를 충족시키고 목적함수를 최적화하기 위해 최적조류계산이 움직일 수 있는 전력계통 제어요소의 집합(CTLMOM), 제어요소의 비용합수인 목적함수(Objective Function), 원하는 영역 내에서 전력계통 운영을 유지하는 운영절차에 의해 결정되는 한계 값인 제약요소(Constraints)가 포함된다. 제어DB와 목적함수는 전압계획과 안전도개선과 마찬가지로 공통DB를 복사하여 사용하고 있다.

#### 2.4.2 풀이 과정

최적조류계산은 입력 파라미터에 따라 최상의 해를 얻기 위해 많은 제어요소들을 움직이는 경향이 있다. 목적함수로는 비용최소화, 손실최소화를 정의하고 이중 하나를 선택하여 해석목적에 맞는 제약을 인가하고 제어 대상을 활성화해서 해를 구할 수 있다. 대부분의 경우, 이러한 수학적으로 이상적인 해는 실행하거나 분석하기가 어렵다. 더 많은 유용한 해를 제공하기위해, 목적함수를 절충시켜서 제어권고 사항의 수를 제한하는 기능이 있다.



<최적조류계산 기능도>

Optimal Power Flow Control Summary

| Control Type | Station | Control ID | Present | Change | Response | Time Limited | Time Limited |
|--------------|---------|------------|---------|--------|----------|--------------|--------------|
| UNSWP        | NWA     | GGCENH43   | 40.1    | -0.2   | 41.2     | 31.0         | 93.0         |
| UNSWP        | YFA     | GGCENH29   | 40.9    | -0.2   | 41.2     | 33.0         | 93.0         |
| UNSWP        | YFA     | GGCENH18   | 40.9    | -0.2   | 41.2     | 33.0         | 93.0         |
| UNSWP        | YEC     | GGCCT1     | 94.4    | -0.2   | 95.0     | 84.0         | 182.0        |
| UNSWP        | YEC     | GGCCT2     | 94.8    | -0.2   | 95.0     | 87.0         | 184.0        |

<OPF 비용최소화 발전력 제어화면>

Optimal Power Flow Control Summary

| Station | Control ID | Area | Present | Change | Response | Time Limited | Time Limited |
|---------|------------|------|---------|--------|----------|--------------|--------------|
| AMY     | SWSC14-1   | GCC  | 50.0    | 50.0   | 0.0      | 0.0          | 50.0         |
| ASG     | SWSC14-1   | GCC  | 50.0    | 0.0    | 50.0     | 0.0          | 50.0         |

<OPF 손실최소화 조상설비 제어화면>

### 3. 결 론

전압계획(VVD)의 실제계통 운용을 위해서 무효전력, 전압 추정의 정확도 제고를 위한 계통해석(NA) 파라미터의 지속튜닝, 계통모델 단순화와 무효전력, 탭 등 취득값 정도 개선, 지중케이블등 대지충전용량(B)의 정확한 산정 등 사업자의 노력과 입력값 개선노력이 병행되어야 한다. 전 세계적으로 사용 실례가 없고 수렴특성이 SE처럼 강인하지(robustness) 못하나 무효전력 제어설비 제어가 30분에서 수시간에 걸쳐 이뤄진다는 점을 고려하면 EMS 전압계획(VVD)을 실 계통에 운영에 활용하여 계통운영의 효율성을 향상시키고 조상설비 제어에 의한 유효전력 손실을 최소화하여 경제성을 제고하는 것이 바람직하다고 판단된다. 향후 모든 해석의 근간이 되는 상태 추정, 특히 무효전력, 전압 추정의 정확도 제고를 위해 상태변수 모선(23kV 모선)을 2,000개 이상 줄여(154kV 모선에서 부하처리) 부하 모델을 획기적 개선하고 단순화하여 시스템 성능과 계산의 정확도를 개선하고자 한다. 선형계획법(Linear Programming) 알고리즘을 채택한 안전도개선(SENH)은 계통구성 물리적 제약으로 가혹한 상정고장시 해 도출이 되지 않는다. 이에 대한 해결책으로 사전 분석에 의한 별도의 감시 모선, 선로 조류를 지정하여 지정값 위반시 모선연결 타이 CB 개방등 스위칭 시나리오 개발이 필요하며 조상설비, 탭등 이산 제어요소의 안정적 해 도출을 위한 최적화관련 파라미터의 튜닝과 개선이 필요하다. 최종적으로 유해한 상정고장시 급전원이 안전도개선의 상정고장계획(Contingency Plan)과 예방조치(Preventive Action) 계획을 활용하여 비상시 신속 대처할 수 있는 수준이 되도록 성능을 보장 개선할 필요가 있다. Newton OPF 알고리즘을 사용한 최적조류계산(OPF)은 비용최소화와 손실최소화를 위한 시험 중이며 계통조건 변경에 따라 수렴을 위한 파라미터 튜닝의 어려움 등으로 정상 활용 되지 못하고 시험단계에 머무른 점은 향후 개선의 여지가 있다. OPF의 경우 무효전력 제어요소에 가상의 상대 비용곡선(Relative Cost Curve) 연계 등에 의한 제어대상 최소화(Effective Control)등의 시험을 수행하여 급전 가능한 최적화 해를 합리적으로 도출하도록 실제계통 적용 시험을 진행할 예정이다.

#### [참고 문헌]

- [1] AREVA, Optimal Power Flow, Security Enhancement Functional Design Documentation, Operator Guides EMP 2.1.0 May 1999
- [2] 강형구, KPX 내부 보고서 및 분석자료, 2007