

한국형 EMS용 경제급전 프로그램 개발

이상호, 오태규, 이정호, 민상원, 김태현, 송성환*, 이진수, 이효상, 서은성**
 한국전기연구원*, 한국전력거래소**

Economic Dispatch Program for Korean-EMS

S.H. Lee, T.K. Oh, J.H. Lee, S.W. Min, T.H. Kim, S.H. Song*, J.S. Lee, H.S. Lee, E.S.Seo**
 KERI*, KPX**

Abstract - 본 논문에서는 전력계통운영과 전력시장운영시스템과의 연계 기능을 포함한 한국형 통합 에너지관리시스템(K-EMS)용 발전계획 응용프로그램 중에서 경제급전(Economic Dispatch) 프로그램 개발에 대해 소개한다. K-EMS 개발은 기술적 난이도에 따라 3단계로 구분되며 경제급전은 그 중 1단계에 포함되는 내용으로 이 후 안전도제약 경제급전(SCED: Security Constrained Economic Dispatch)로 발전될 예정이다.

1. 서 론

K-EMS 개발 과제에서 발전계획 응용프로그램은 모듈별로 경제급전(ED; Economic Dispatch), 자동발전제어(AGC; Automatic Generation Control), 수요예측(LF; Load Forecasting), 안전도제약 경제급전(SCED; Security Constrained Economic Dispatch), 최적조류계산(OPF; Optimal Power Flow), 안전도향상(SEN; Security Enhancement), 발전기 기동정지계획(UC; Unit Commitment), 최적화 발전계획(DOS; Dispatch Optimal Scheduling), 전력시장연계시스템(MIS; Market Interface System) 등으로 구성된다. 이 중에서 1단계로 개발되는 모듈은 자동발전제어, 경제급전, 수요예측 등이며 본 논문에서는 경제급전 개발에 관한 내용을 소개한다. 경제급전은 발전비용 최소화를 목적 함수로 하여 발전기별 증분비용 및 송전손실을 고려한 계통의 경제적 배분값을 계산하기 위해 주어진 주기별로 수행된다. 경제급전 모드에는 1분주기로 Baseline point를 계산하는 Control ED / 수동급전 목표값을 계산하기 위한 Expected ED / SOx, NOx, COx 배출 감소를 위한 환경계약 경제급전 / 5분내지 60분 미래계통의 배분을 예상하기 위한 Advanced ED / Snapshot 데이터를 활용한 가상의 Study Mode ED / 경제급전 이상에 대비한 수동급전용 Manual ED로 구성되어 있으며 다구간 선형 데이터로 구성된 incremental heat rate curve를 이용한 merit order 법과 Lambda iteration 법을 활용하여 경제급전 Basepoint값과 참여율을 계산한다.

2. 본 론

2.1 경제급전의 이론

경제급전은 주어진 계통의 부하를 공급하기 위해 발전기 운전 허용범위 내에서 발전비용을 최소화하는 것을 목적으로 하고 있다. 발전기의 비용함수를 F라고 하면 단위발전량을 증가시킬 때 모든 발전기의 증분비(dF/dP)가 같아질 때 최적의 배분이 결정된다.

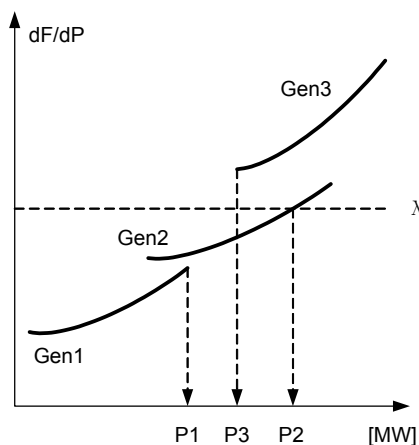


그림 1. 발전기 최적배분의 결정

경제급전 문제에서는 발전기 기동정지는 모두 결정되었다고 가정하기 때문에 대상으로 하는 발전기들은 모두 가동 중이라고 할 수 있다. 즉, 모든 대상 발전기들은 최소발전량보다는 큰 값을 갖게 된다. 그림 1에서와 같이 증분비 λ 에서 최적배분이 이루어졌다고 가정하면 Gen2의 경우는 λ 에서 발전력이 결정되어 P2의 값을 가지게 되며 Gen1의 증분비는 항상 λ 보다 작으므로 최대 발전력을 가지게 된다. Gen3의 증분비는 항상 λ 보다 크므로 최소의 발전력을 가지게 되며 세 발전기의 출력합 $P1+P2+P3$ 가 부하와 같으면 최적의 배분이 된다. 발전기의 출력합이 부하보다 적으면 λ 를 더 늘려가며 부하를 만족시키는 λ 를 찾게되며 발전기의 출력합이 부하보다 크면 λ 를 줄여가면서 최적의 해를 찾도록 한다. 이러한 방법을 Lambda iteration법이라고 하며 프로그램상의 순서도는 그림 2와 같다.

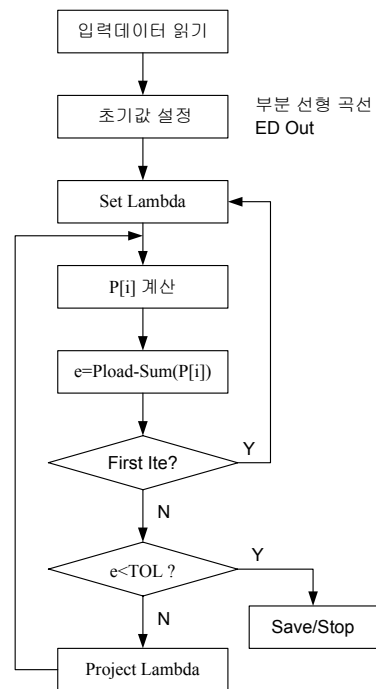


그림 2. Lambda iteration법의 순서도

발전력과 부하가 일치하지 않는 경우 다음 스텝의 λ 값은 이전 두 개의 λ 값의 interpolation 또는 extrapolation으로 추정하게 된다.

2.1.1 증분비함수 Stack법

위와 같이 발전기의 증분비함수가 하나의 연속함수로 주어지지 않고 그림 3과 같이 계단함수로 주어진 경우가 있는데 이 때에는 증분비함수를 stack형태로 쌓아가면서 최적해를 찾는 방식을 사용한다. 그림 3에서와 같이 모든 발전기 중 증분비가 가장 싼 stack부터 차례로 쌓아놓고 λ 를 점차 늘려가며 발전력의 합이 부하량과 같아지는 점을 찾는다. 이러한 방식은 이해하기 쉽다는 장점이 있는 반면 각 발전기의 출력을 구하기 위해서는 선택된 stack을 모두 검색하여 각 발전기별로 다시 합하여야 한다는 점과 그림 4와 같이 같은 증분비를 갖는 stack이 여럿인 경우를 추가로 처리해 주어야 하는 번거로움이 있다.

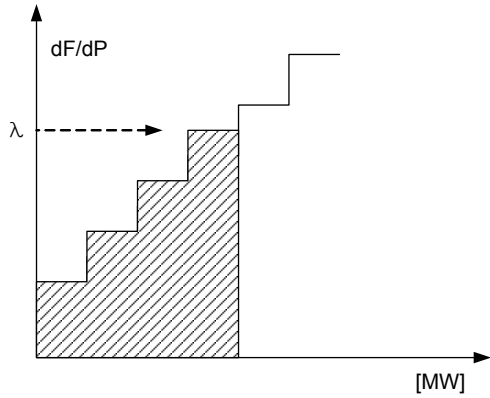


그림 3. 발전기 증분비가 계단함수로 주어진 경우

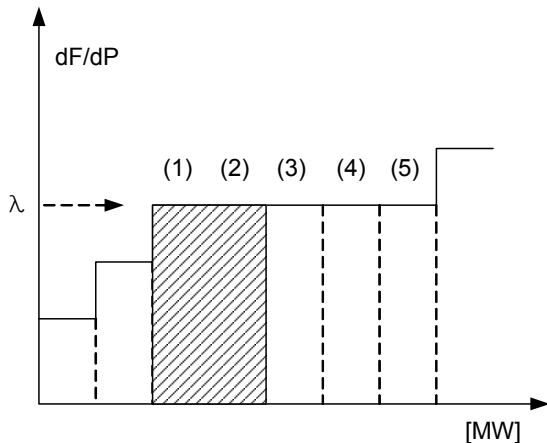


그림 4. 같은 증분비를 갖는 stack이 여러 개인 경우 처리

즉, 그림 4에서와 같이 λ 를 증가시키며 발전력을 더해가는데 주어진 λ 값에서 (1), (2) stack까지만 합하여도 부하를 만족시킬 수 있는 경우가 발생할 수 있다. stack은 같은 증분비에 대해서는 우선순위가 지정되지 않았기 때문에 (3), (4), (5) stack에 대해서도 배분해 주어야만 한다. 그러므로 (1), (2) stack에 해당되는 발전력을 (1)~(5)발전기에 고르게 분배해 주어야 한다. 이와 같은 방식으로 계단함수로 주어진 경우의 경제배분을 수행할 수 있다.

2.2 Piecewise Linear Curve 처리법

한 발전기에 대한 증분비 함수가 부분 선형으로 주어진 경우도 있다. 이러한 경우를 본 프로그램에서는 그림 5와 같이 각 부분선형함수를 독립적인 증분비 함수로 가정하였다. 이 경우 기존의 경제배분과 달라지는 점은 새롭게 정의된 증분비함수를 갖는 가상의 발전기들이 모두 가동된다는 가정이 깨진다는 것이다.

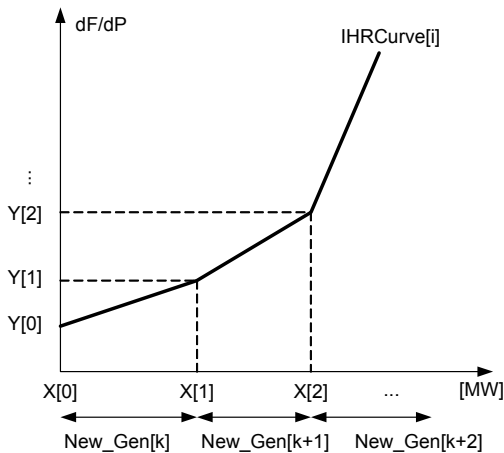


그림 5. 부분선형으로 주어진 증분비함수

그림 6에서와 같이 경제급전에서 고려되는 최대/최소 범위는 발전기의

ramp up/down rate로 결정된다. 발전기의 ramp up/down rate로 인해 결정되는 최대/최소 범위를 각각 EDMax/EDMin으로 정의하면 경제급전 문제에서 실제로 사용되는 발전기 최대/최소는 EDMax, EDMin이 된다. 그림 6에서와 같이 EDMax, EDMin 바깥쪽에 존재하는 증분비함수를 갖는 발전기들은 더 이상 경제급전의 대상 발전기가 아니다. 즉, 기존의 경제급전에서처럼 구간 (1)의 가상의 발전기는 최대출력을 갖고 구간 (3)의 가상의 발전기는 최소의 출력을 갖는 것이 아니라 구간 (2)의 EDMax/EDMin의 최대/최소를 갖는 가상의 발전기만이 매 iteration마다 λ 값과 비교하는 대상 발전기가 된다.

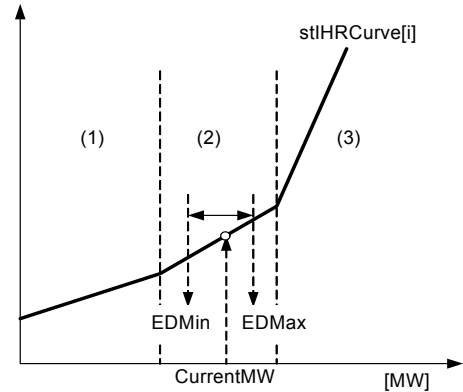


그림 6. 독립적으로 정의된 새로운 증분비함수들

위와 같이 사전 작업을 한 후에 통상적인 Lambda법을 시행하면 된다. 그림 7과 같이 추정된 λ 값과 교차점을 가지는 발전기의 경우 해당 교차점이 그림 6에서와 같이 EDMax/EDMin 내에 있는 경우에는 발전출력이 그 점에서 결정되게 되고 EDMax/EDMin 바깥이면 교차점이 없는 것과 같이 처리된다. 나머지 경우는 기존의 방식과 마찬가지로 λ 보다 항상 크면 최소값을 λ 보다 항상 작으면 최대값을 갖도록 하면 된다.

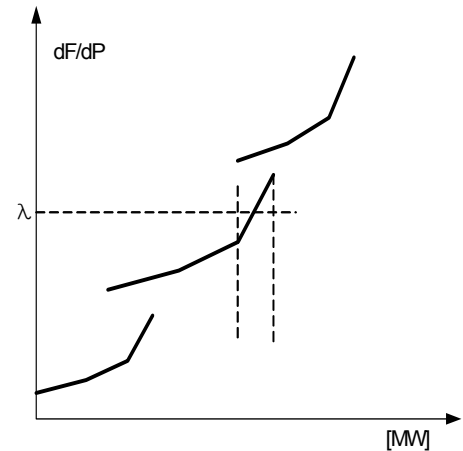


그림 7. 독립적으로 정의된 증분비함수들 구성된 경제급전

3. 결 론

본 논문에서는 현재 개발 중인 K-EMS에서 사용될 경제급전 프로그램 개발에 대한 이론적인 배경을 서술하였다. 기존에 사용되었거나 향후 사용될 것으로 예상되는 여러 가지 증분비 함수의 형태에 대해 경제급전 프로그램에서의 처리 방식을 설명하였으며 향후 지속적인 업그레이드를 통하여 국내 전력계통에 적합하고 사용자의 편의성을 추구하는 소프트웨어를 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

한국형 EMS 개발은 산업자원부의 전력산업연구개발사업으로 수행 중인 사업입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Allen J. Wood, "Power Generation Operation and Control", 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1996
- [2] Korean Energy Management System Technical Specification, 한국전력거래소, 2006
- [3] M.Shahidehpour, Y.Wang, "Communication and Control in Electric Power Systems", John Wiley & Sons, Inc., 2003