

에너지 마진 제약에 의한 과도안정도를 고려한 급전 알고리즘

정연재, 장동환, 전영환
홍익대학교 전기·정보·제어공학과

Dispatch algorithm with energy margin constraints for transient stability

Yun-jae Jung Seung-ho Choi Wong-gi Bak Dong-Hwan Chang
Hongik university. school of electrical engineering

Abstract - Stability is an important constraint in power system operation. A new methodology that reduces the need for repeated simulation to determine a transiently secure operating point is presented. At contingency, critical generator is limited generation to prevent rotor acceleration until system is secured. When energy margin is zero, generation is determined. Implementation issues and simulation results are discussed in the context of a 10-bus system

1. 서 론

세계 전반에 걸친 전력산업은 구조개편, 규제완화, 민영화 추진되고 있다. 따라서 전력 시스템의 송전망은 더 이상 보수적으로 운영될 수 없게 되었고, 향후 전력수요의 증가로 송전망 운영은 더욱 중요한 요소가 될 것이다. 또한 기존의 전력 시스템보다 과도안정도 문제가 대두될 더 크게 대두될 것이다. 기존에 과도 안정도를 고려함에 있어 전력 시스템을 너무 보수적으로 운영한 결과 경제적인 급전을 하지 못해 왔다. 따라서 전력 시스템을 경제적으로 운영하면서 과도안정도 문제를 해결이 우리의 당면과제로 대두되고 있다.

본 연구는 이러한 과도 안정도 문제를 기존 OPF 제약 조건에 에너지 마진의 제약 조건을 추가함으로써 과도안정도를 고려한 급전알고리즘의 구현에 목적으로 진행되었다.

본 연구의 알고리즘은 기존의 OPF를 실행한 후 제약 조건 에너지 마진이 만족하는가 여부를 확인한다. 만족 여부를 확인한 결과 제약조건인 에너지 마진이 0보다 클 경우 이 알고리즘은 종료되고, 반면에 에너지 마진이 0보다 작은 경우 에너지 함수 프로그램에서 위험한 발전기를 확인한 후 에너지 마진에 영향을 미치는 회전자 운동에너지를 줄여주는 방안으로 이 위험한 발전기의 발전량(전기적출력)을 제한하고 발전량을 재분배한다. 이렇게 발전량을 재분배한 다음 다시 OPF를 실행시키고 다시 에너지 마진을 구하고 이것을 내삽법과 외삽법으로 위험발전기의 발전량 제한량을 계산한 다음 최적조류계산을 실행시킨다.

이 계산된 발전량으로 각 발전기들이 발전할 때 급전알고리즘에서 과도안정을 고려할 수 있게 된다.

2. 본 론

2.1 과도 안정도를 고려한 급전알고리즘 정식화

2.1.1 최적조류계산

최적조류계산의 정식화는 다음과 같다.

$$\text{Min } f(P_g) \tag{1}$$

$$\text{s.t. } P_g - P_L - P(V, \theta) = 0 \tag{2}$$

$$Q_g - Q_L - Q(V, \theta) = 0 \tag{3}$$

$$S(V, \theta) - S^M \leq 0 \tag{4}$$

$$V^m \leq V \leq V^M \tag{5}$$

$$P_g^m \leq P_g \leq P_g^M \tag{6}$$

$$Q_g^m \leq Q_g \leq Q_g^M \tag{7}$$

여기서 $f(P_g)$ 은 비용함수, P_g 는 발전기의 발전량, 식(2),(3)유효,무효전력 조류방정식, 식(5)는 전압제약식식(4)는 송전선로 용량제, 식(6),(7)발전기들의 출력 제약식을 나타낸다.

2.1.2 과도안정도를 고려한 최적조류계산의 정식화

과도 안정도를 고려한 최적조류계산의 정식화는 다음과 같다.

$$\text{Min } f(P_g) \tag{8}$$

$$P_g - P_L - P(V, \theta) = 0 \tag{9}$$

$$Q_g - Q_L - Q(V, \theta) = 0 \tag{10}$$

$$S(V, \theta) - S^M \leq 0 \tag{11}$$

$$V^m \leq V \leq V^M \tag{12}$$

$$P_g^m \leq P_g \leq P_g^M \tag{13}$$

$$Q_g^m \leq Q_g \leq Q_g^M \tag{14}$$

$$\Delta V \geq 0 \tag{15}$$

여기서 ΔV 는 에너지 마진

$$\Delta V = -\frac{1}{2} M_{eq} \omega_{eq} - \sum_{i=1}^n P_i (\theta_i^t - \theta_i^d) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n C_{ij} (\cos \theta_{ij}^t - \cos \theta_{ij}^d) - D_{ij} \frac{\theta_i^t - \theta_i^d + \theta_j^t - \theta_j^d}{\theta_{ij}^t - \theta_{ij}^d} (\sin \theta_{ij}^t - \sin \theta_{ij}^d) \tag{16}$$

여기서, $M_{eq} = \frac{M_{sys} \times M_{cr}}{M_{sys} + M_{cr}}$

$M_{sys} = \sum_{i \in A} M_i$ A : 안정한 발전기 그룹

$M_{cr} = \sum_{i \in B} M_i$ B : 불안정한 그룹

$\omega_{eq} = \omega_{cr} - \omega_{sys}$

$V_{free} = \frac{1}{2} M_{eq} \omega_{eq}$: 운동에너지 Δ

1030	1030-1040	107.75851
1030	1030-1080	80.26752
1020	1020-1010	61.66964
1100	1050-1100	36.09763

위험 발전기 : 1050모선 발전기

Step3) 1050모선의 발전기의 발전량을 10%차감 발전

(표 3.) 위험발전기 발전량 차감후 급전 계획

발전기명	유효발전량	무효발전량
G1020	181.0	5.10
G1030	550.8	269.3
G1050	1625.0	228.4
G1070	568.6	-69.40
G1090	1256.8	154.5
G1100	1263.3	251.7

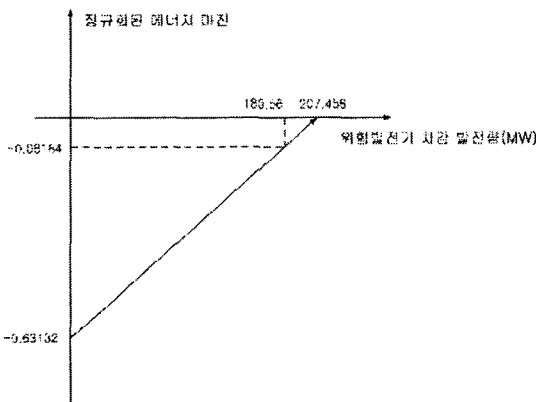
발전총비용 : 14243.791[E08 won per hour]

Step4) 1050모선 발전기의 발전량 10%차감 후 안정도 판정 결과

(표 4.) 최초발전량 차감 후 안정도 평가

사고발생모선	개방선로	정규화된 에너지 마진
1050	1050-1040 1	0.20562
1050	1050-1100 1	-0.08184
1100	1100-1080	27.09243
1090	1090-1080	9.80639
1090	1090-1100	3.92994
1070	1070-1010	60.30865
1100	1100-1090	22.47648
1030	1030-1010	110.08684
1030	1030-1040	108.82433
1030	1030-1080	94.5690
1020	1020-1010	49.62194
1100	1050-1100	24.31634

Step5) 위험 발전기 차감 발전량과 에너지 마진 외삽



<그림3> 위험발전기 최대 출력량

Step6) 위험발전기 최대발전량 산출

(표 5.) 급전 계획

발전기명	유효발전량	무효발전량
G1020	185.8	5.00
G1030	556.1	262.3
G1050	1598.1	222.5
G1070	573.6	-69.1
G1090	1262.2	154.1
G1100	1269.1	249.5

발전 총비용 : 14248.061[E08 won per hour]

Step7) 과도 안정도 평가

사고발생모선	개방선로	정규화된 에너지마진
1050	1050-1100	0.03870

Step8) 전력계통 N-1상정사고에 대해 과도안정도 확보
Step9) (표 5.)와 같이 급전 계획 수립

2.2.3 사례연구 분석

사례연구 시뮬레이션 결과로 알 수 있듯이 상정사고에 대해서 매우 취약하게 연계되어 있는 발전기의 발전량을 줄여줌으로써 과도안정도를 확보할 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 기존의 급전계획을 수행함에 있어 과도 안정도를 확보하는데 목적이 있다. 과도 안정도를 확보는 과정에서 상정사고에 가장 심하게 영향을 받는 발전기를 확인하고 그 발전기의 운동에너지를 줄이는 방안으로 발전량을 제한하고 있다. TEF는 시간모의범과 거의 똑같은 결과를 얻을 수 있음을 검증하였고, 본 연구는 과도 안정도를 고려한 실시간 급전 계획을 실행하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(02-전-01)주관으로 수행된 과제임

[참 고 문 헌]

- [1] A.A.Fouad, Vijay Vittal "Power system trasinet stability analysys using the transient energy function method" Prentice Hall 1992
- [2] Edward Wilson Kmbark, Sc.d. "Power system stability"vol 1 .1948
- [3]Vincent Del Toro "Electric Power systems" Prentice-Hall" 1992
- [4]Uyemura,k, J.Matsuki,I.Yamada, and T.Tsuji. "Approximation of an Energy function in Transient Stability Analysis of Poer system." Electrical Engineering in Japan 92, no.4 (1972) : 96-100
- [5] Peter W. Sauer,M.A.Pai " Power system dynamics and stablity" 1998
- [6] Yasuyuki Tada, Hiroshi Okamoto,Ryuya Tanabe,"Optimal Operation Solutions of Power systems with Transient Stability Constraints vol.48,no3, March 2001
- [7] Pai, M.A "Power system Stability analysis by Direct Method of Lyapunov. North-Holland Systems and Contrl Series 3, 1981
- [8]Allen J.Wood "Power Generation Operation and control" 1984