

송전계통 안전도 제약조건을 반영한 급전계획 알고리즘 개발에 관한 연구

論 文

54A-12-7

An Approach for Optimal Dispatch Scheduling Incorporating Transmission Security Constraints

鄭 求 亨* · 金 發 鎬†
(Chung, Koohyung · Kim, Balho)

Abstract - The introduction of competition in electricity market emphasizes the importance of sufficient transmission capacities to guarantee various electricity transactions. Therefore, when dispatch scheduling, transmission security constraints should be considered for the economic and stable electric power system operation. In this paper, we propose an optimal dispatch scheduling algorithm incorporating transmission security constraints. For solving these constraints, the dispatch scheduling problem is decomposed into a master problem to calculate a general optimal power flow (OPF) without transmission security constraints and several subproblems to inspect the feasibility of OPF solution under various transmission line contingencies. If a dispatch schedule given by the master problem violates transmission security constraints, then an additional constraint is imposed to the master problem. Through these iteration processes between the master problem and subproblems, an optimal dispatch schedule reflecting the post-contingency rescheduling is derived. Moreover, since interruptible loads can positively participate as generators in the competitive electricity market, we consider these interruptible loads active control variables. Numerical example demonstrates efficiency of the proposed algorithm.

Key Words : Transmission Security Constraints, Dispatch Scheduling, Benders Decomposition Algorithm, OPF

1. 서 론

최근 전력산업에의 경쟁도입에 따른 발전지역과 부하지역 간 장거리 연계선로의 조류 증가, 우회조류의 발생, 송전예비력 및 안정도 여유량의 감소 등으로 인해, 계통운영 시 충분한 송전용량을 확보하는 것은 무엇보다도 중요한 문제가 되고 있다. 따라서, 효율적인 전력거래를 보장하기 위해서는 송전계통 안전도 제약조건을 고려한 급전계획의 수립이 요구되고 있다[1].

이를 위해, 다양한 상정사고 제약조건을 반영한 최적조류 계산(OPF) 알고리즘이 개발되었다. 일반적으로 상정사고 제약조건이 추가될 경우, 계통은 보다 보수적인 방법으로 운영되기 때문에 계통 운전비용은 기본적인 OPF로 계산할 때보다 증가하게 된다. 참고문헌 [2-6]에서 제안한 상정사고 제약 OPF 알고리즘은 상정사고 시에도 계통운전이 가능하도록 하는 추가적인 제약조건을 포함하기 때문에 예방적인 수단이 될 수는 있지만, 상정사고 시 제어 설정을 변경할 수 있는 능력은 가지고 있지 않다. 상정사고 후 수정된 급전계획을 수립할 수 있도록 하는 OPF는 참고문헌 [7-10]에서 기술하였다. 상정사고 후 재급전 능력을 고려할 경우, 각각의 상정사

고 시나리오는 최적화 문제로 모형화되며 그 결과 전체 문제는 상당히 고차원적인 문제로 정식화되기 때문에 분해기법의 적용을 필요로 하게 된다. 그러나, 기존의 연구는 유효전력에 대해서만 고려할 뿐만아니라 차단가능부하는 단지 문제의 실행가능성을 보장하기 위한 수동적인 역할만을 수행하였기 때문에, 자신의 차단가능부하를 이익극대화를 위한 전략으로 사용할 수 있는 경쟁적 전력시장에서는 적합하지 않게 된다 [11,12].

따라서, 본 논문에서는 급전계획 문제의 실행가능성을 보장함과 동시에 차단가능부하 용량제약까지 고려할 수 있는 송전계통 안전도 제약 급전계획 알고리즘을 제안하고자 한다. 이를 위해, 급전계획 문제는 Benders 분해기법을 바탕으로, 송전계통 안전도 제약조건을 고려하지 않는 기본적인 최적조류계산(OPF)을 수행하는 주문제(master problem)와 다양한 상정사고 하에서 최적조류계산 결과의 실행가능 여부를 점검하는 일련의 부문제(subproblem)로 분해된다. 만약 주문제에서 주어진 급전계획이 송전계통 안전도 제약조건을 위반하게 되면, Benders cut을 생성하여 주문제에 추가한다. 이러한 주-부문제 간 반복연산 과정은 상정사고 후 재급전계획을 반영한 최소비용의 급전계획을 도출할 때까지 계속된다.

2. 문제의 정식화

일반적인 상정사고 제약조건 급전계획 문제는 다음과 같이 정식화된다.

† 교신저자, 正會員 : 弘益大學 電氣情報制御工學科 副教授 · 工博
E-mail : bhkim@wow.hongik.ac.kr

* 正會員 : 弘益大學 電氣情報制御工學科 博士課程
接受日字 : 2005年 5月 23日
最終完了 : 2005年 10月 11日

$$\begin{aligned}
 & \text{minimize } f(x_0) \\
 & \text{subject to } g(x_0)=0 \\
 & \quad g(x_k)=0 \text{ for } k=1, \dots, Nc \\
 & \quad h(x_0) \leq 0 \\
 & \quad h(x_k) \leq 0 \text{ for } k=1, \dots, Nc \\
 & \quad |x_0 - x_k| \leq \Delta x_k \text{ for } k=1, \dots, Nc
 \end{aligned} \tag{1}$$

단,
 k 고려하고자 하는 각각의 상정사고에 대한 지수
 Nc 고려하고자 하는 총 상정사고의 수
 x_0 정상상태에서의 계통 제어변수 벡터
 x_k k 번째 상정사고 하에서의 계통 제어변수 벡터
 $g(x_0), h(x_0)$ 정상상태에서의 계통 운전을 위한 등식 및 부등 제약조건 집합
 $g(x_k), h(x_k)$ k 번째 상정사고 하에서의 계통 운전을 위한 등식 및 부등 제약조건 집합
 Δx_k k 번째 상정사고 시 허용되는 계통변수의 제어 허용범위 벡터

$f(x)$ 는 모든 발전기의 발전비용에 대한 합으로 정의되며, 상정사고 제약 급전계획은 정상상태에서의 총 유효전력 발전 비용을 최소화하는 것을 목적으로 한다.

$$f(P_G^0) = \sum_{i=1}^{Ng} F_i(P_{Gi}^0) \tag{2}$$

단,
 i 각 발전기에 대한 지수
 Ng 총 발전기의 수
 $F_i(\cdot)$ 발전기 i 의 발전비용 함수
 P_{Gi}^0 정상상태에서의 발전기 i 의 유효전력 발전량

등식 제약조건 $g(x_0)$ 와 $g(x_k)$ 는 각각 정상상태 및 k 번째 상정사고 하에서의 각 모선에 대한 전력조류방정식으로 정의된다.

$$P_G^0 - P_D^0 - V_i^0 \sum_{j=1}^N V_j^0 (G_{ij}^0 \cos \theta_{ij}^0 + B_{ij}^0 \sin \theta_{ij}^0) = 0 \tag{3}$$

$$Q_G^0 - Q_D^0 - V_i^0 \sum_{j=1}^N V_j^0 (G_{ij}^0 \sin \theta_{ij}^0 - B_{ij}^0 \cos \theta_{ij}^0) = 0 \tag{4}$$

$$P_G^k - P_D^k - V_i^k \sum_{j=1}^N V_j^k (G_{ij}^k \cos \theta_{ij}^k + B_{ij}^k \sin \theta_{ij}^k) = 0 \tag{5}$$

for $k=1, \dots, Nc$

$$Q_G^k - Q_D^k - V_i^k \sum_{j=1}^N V_j^k (G_{ij}^k \sin \theta_{ij}^k - B_{ij}^k \cos \theta_{ij}^k) = 0 \tag{6}$$

for $k=1, \dots, Nc$

단,
 P_{Gi}^0, P_{Di}^0 정상상태 및 k 번째 상정사고 시 모선 i 의 유효 전력 발전량

Q_{Gi}^0, Q_{Di}^0 정상상태 및 k 번째 상정사고 시 모선 i 의 무효 전력 발전량
 P_{Di}^0, P_{Di}^k 정상상태 및 k 번째 상정사고 시 모선 i 의 유효 전력 부하량
 Q_{Di}^0, Q_{Di}^k 정상상태 및 k 번째 상정사고 시 모선 i 의 무효 전력 부하량
 V_i^0, V_i^k 정상상태 및 k 번째 상정사고 시 모선 i 의 전압 크기
 $\theta_{ij}^0, \theta_{ij}^k$ 정상상태 및 k 번째 상정사고 시 모선 i 와 j 간 전압위상각의 차
 G_{ij}^0, G_{ij}^k 정상상태 및 k 번째 상정사고 시 모선 i 와 j 를 연결하는 송전선로의 컨덕턴스
 B_{ij}^0, B_{ij}^k 정상상태 및 k 번째 상정사고 시 모선 i 와 j 를 연결하는 송전선로의 서셉턴스

부등 제약조건 $h(x_0)$ 와 $h(x_k)$ 는 정상상태 및 k 번째 상정사고 하에서의 각각의 계통 제어변수 및 함수값에 대한 허용한계를 설정한다.

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi}^0 \leq P_{Gi}^{\max} \tag{7}$$

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi}^k \leq P_{Gi}^{\max} \text{ for } k=1, \dots, Nc \tag{8}$$

$$Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi}^0 \leq Q_{Gi}^{\max} \tag{9}$$

$$Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi}^k \leq Q_{Gi}^{\max} \text{ for } k=1, \dots, Nc \tag{10}$$

$$|I_{ij}^0| \leq I_{ij}^{\max} \tag{11}$$

$$|I_{ij}^k| \leq I_{ij}^{\max} \text{ for } k=1, \dots, Nc \tag{12}$$

$$V_i^{\min} \leq V_i^0 \leq V_i^{\max} \tag{13}$$

$$V_i^{\min} \leq V_i^k \leq V_i^{\max} \text{ for } k=1, \dots, Nc \tag{14}$$

결합 제약조건(coupling constraints), $|x_0 - x_k| \leq \Delta x_k$ 는 k 번째 상정사고가 발생할 경우에도 계통 운전이 가능하도록 보장하기 위해 각각의 제어변수가 변동할 수 있는 허용한계를 설정한다. 이러한 결합 제약조건은 주로 발전기의 용동능력을 고려하기 위해 정의된다. 그 결과, k 번째 상정사고가 발생하게 되면, 발전기는 주어진 증/감발 한계 내에서 출력을 조정하게 된다.

$$|P_{Gi}^0 - P_{Gi}^k| \leq \Delta P_{Gi}^k \text{ for } k=1, \dots, Nc \tag{15}$$

3. 차단가능부하를 고려한 송전계통 안전도 제약 급전계획 문제

기존의 상정사고 시 재급전계획을 반영한 송전계통 안전도 제약 OPF 알고리즘의 경우, 계산의 실행가능성을 보장하기 위해 차단가능부하를 고려하고는 있지만 그 역할은 매우 수동적이다[7-10]. 향후 경쟁적 전력시장에서는 차단가능부하 또한 시장참여자의 이익극대화를 위한 수단으로 이용할 수 있기 때문에, 발전기와 같이 실질적인 차단가능용량에 대한 제약을 부과해야 한다. 또한 기존의 연구들은 주로 DC OPF를 기반으로 하기 때문에, 차단가능부하 또한 단지 유효전력에 대해서만 고려되었다. 그러나, 실제 계통운전 시에는 부하

차단이 단지 송전선로의 열용량 제약에 의해서 수행되기보다는 계통의 전압안정도를 유지하기 위해 수행되는 경우가 많기 때문에 유효전력뿐만 아니라 무효전력의 차단효과에 대해서도 고려해야 한다. 이를 위해, 본 논문에서는 발전량뿐만 아니라 부하량 또한 제어변수로 고려한다. 이와 같은 경우, 문제의 변수가 증가하기 때문에 계산속도가 저하되는 단점이 있지만 실제로 차단가능한 부하는 전체 부하의 일부에 지나지 않기 때문에 그 영향은 크지 않다고 할 수 있다.

차단가능부하는 실제로 차단된 유효전력 용량에 대해 보상을 받기 때문에 이를 발전기와 같이 취급할 수 있다. 이를 바탕으로, (2)식의 송전계통 안전도 제약 급전계획 문제의 목적함수는 다음과 같이 수정된다.

$$f(P_G^0, P_L^0) = \sum_{i=1}^{N_G} F_i(P_G^0) + \sum_{j=1}^{N_L} CP_{Dj}(P_{Dj}^{req} - P_D^0) \quad (16)$$

- 단,
- N_G 차단가능부하의 수
- CP_{Dj} 유효전력 차단가능부하 j 의 한 단위에 대한 보상액
- P_{Dj}^{req} 모선 j 의 유효전력 부하수요량
- P_D^0 정상상태에서 실제 공급된 유효전력 부하수요량

따라서, P_{Dj}^{req} 와 P_D^0 의 차이가 실제 차단된 부하량으로 정의된다.

실제 공급되는 부하량을 제어변수로 고려하기 때문에 (3)-(6)식의 등식 제약조건 즉, 전력조류방정식의 유효/무효전력 부하는 고정된 파라미터가 아닌 변수로 적용된다. 또한 (3)-(15)식에서 기술한 계통 제약조건들 외에 다음과 같은 유효전력 차단가능용량에 대한 제약조건이 추가되어야 한다.

$$P_{Dj}^{req} - PL_i^{\max} \leq P_D^0 \leq P_{Dj}^{req} \quad (17)$$

$$P_{Dj}^{req} - PL_i^{\max} \leq P_{Dk}^k \leq P_{Dj}^{req} \quad \text{for } k=1, \dots, N_c \quad (18)$$

- 단,
- PL_i^{\max} 모선 i 의 유효전력부하에 대한 최대 차단가능용량
- P_{Dk}^k k 번째 상정사고 시 실제 공급된 유효전력 부하수요량

임의의 모선에서 특정한 유효전력 부하량이 차단될 경우, 무효전력 부하량을 어느 정도 삭감할 것인가는 차단되는 설비의 실제 무효전력 부하량에 좌우된다. 그러나 다양한 설비에 대한 무효전력 부하량에 대한 정보를 고려할 경우 무효전력 부하량 변수의 연속성을 보장할 수 없다. 따라서, 본 논문에서는 일정한 부하역률을 유지하기 위해 특정량의 유효전력 부하가 차단될 경우, 해당 무효전력 부하 또한 동일한 비율로 차단된다고 가정한다. 그 결과, 무효전력 부하량은 유효전력 부하량에 대한 증속변수로 표현된다.

$$Q_D^0 = P_D^0 \cdot \frac{Q_D^{req}}{P_D^{req}} \quad (19)$$

$$Q_D^k = P_{Dk}^k \cdot \frac{Q_D^{req}}{P_D^{req}} \quad \text{for } k=1, \dots, N_c \quad (20)$$

- 단,
- Q_D^{req} 모선 i 의 무효전력 부하수요량
- Q_D^0 정상상태에서 실제 공급된 무효전력 부하수요량
- Q_D^k k 번째 상정사고 시 실제 공급된 무효전력 부하수요량

또한, 상정사고 발생 시 차단가능부하는 발전기와 같이 자신의 차단용량 한계 내에서 부하수요량을 제어할 수 있기 때문에, (15)식과 같은 결합 제약조건을 갖게 된다.

$$|P_{Dk}^0 - P_{Dk}^k| \leq PL_i^{\max} \quad \text{for } k=1, \dots, N_c \quad (21)$$

그러나, 고려하고자 하는 상정사고의 수에 따라 매우 많은 제약조건이 문제에 추가되기 때문에 $n-1$ 상정사고 기준 하에서 최적 급전계획 수립을 위해 이를 직접적인 방법으로 계산할 경우에는 상당한 계산시간을 소요하게 된다. 또한, 제약조건 증가 및 결합 제약조건 존재는 해의 수렴성을 상당히 저하시키는 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 Benders 분해기법을 이용한 송전계통 안전도 제약 급전계획 알고리즘을 제안하고자 한다.

4. Benders 분해기법의 적용

위에서 기술한 송전계통 안전도 제약 급전계획 문제는 결합 제약조건을 제거하면 각각 정상상태에 대한 주문제와 N_c 개의 상정사고 각각에 대한 부문제로 분해될 수 있다. Benders 분해기법은 이와 같이 결합 제약조건을 제거함으로써 원문제를 주-부문제 간 2단계 구조로 구현할 수 있도록 한다[13]. 그러나, 결합 제약조건을 제거하는 대신 Benders cut이라고 하는 추가적인 제약조건이 주문제에 부과되어야 한다. 이는 주문제에서 결정된 변수값이 각각의 부문제에 대해 어느 정도의 영향을 미치는가에 대한 정보를 포함한다.

4.1 부문제의 정식화

송전계통 안전도 제약 급전계획을 위한 부문제는 각각의 상정사고에 대해 정의된다. 따라서, N_c 개의 상정사고를 고려할 경우, N_c 개의 독립적인 부문제가 성립된다. k 번째 상정사고에 대한 부문제는 다음과 같이 정식화된다.

$$\begin{aligned} & \text{minimize } e^T s_k \\ & \text{subject to } g(x_k) = 0 \\ & \quad h(x_k) \leq 0 \\ & \quad |x_k^m - x_k| - s_k \leq \Delta x_k \\ & \quad s_k \geq 0 \end{aligned} \quad (22)$$

단, $e=[1, \dots, 1]^T$. 또한 x_k^m 는 m 번째 반복연산 시 주문제에서 계산된 제어변수 값의 벡터를 나타내며 s_k 는 k 번째 상정사고 시 제어변수 집합 가운데 제약조건을 위반한 정도를 측정된 페널티 변수 벡터를 나타낸다. 이러한 페널티 변수는 부문제의 실행가능성을 보장하는 슬랙 변수의 역할 또한 수행한다.

위 문제의 목적함수 값이 0이 되면, k 번째 상정사고가 발생하더라도 발전기와 차단가능부하의 재급전 용량이 안정된 계통운전을 보장할 만큼 충분하다는 것을 의미한다. 그러나, 만약 목적함수 값이 0보다 크게 되면, 주문제에서 결정된 급전계획으로는 k 번째 상정사고 시 계통운전이 불가능하게 된다는 것을 의미한다. 이와 같은 경우에는, 주문제의 해를 개선하기 위해, 페널티 변수값과 해당 결합 제약조건의 Lagrangian 승수값을 주문제로 전송한다. 이는 주문제에서 결정된 급전계획이 k 번째 부문제에 어느 정도의 영향을 미치는가에 대한 정보를 제공함으로써, 해당 부문제의 목적함수 값을 최소화할 수 있는 새로운 급전계획을 재수립할 수 있도록 한다.

4.2 주문제의 정식화

주문제는 상정사고 제약조건을 고려하지 않는 정상상태 최적 급전계획 수립을 목적으로 한다. 주문제의 정식화는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \text{minimize } f(x_0) \\
 & \text{subject to } g(x_0)=0 \\
 & \quad h(x_0)\leq 0 \\
 & \quad s_k + \lambda_k(x_0 - x_0^m) \leq 0 \text{ for } k=1, \dots, N_c
 \end{aligned} \tag{23}$$

단, λ_k 는 k 번째 부문제에서 전송한 결합 제약조건의 Lagrangian 승수 벡터이다.

(23)식에서 마지막 제약조건은 부문제에서 전송한 정보를 고려하여 최적의 정상상태 급전계획을 수립할 수 있도록 하는 Benders cut을 나타낸다.

4.3 계산 절차

송전계통 안전도 제약조건을 고려한 최적 급전계획 수립 문제는 주-부문제 간 반복연산 과정을 통해 계산되기 때문에, 초기 시작점을 필요로 한다. 이는 주문제의 마지막 제약조건을 제외하여 계산함으로써 얻을 수 있다. 주어진 주문제의 급전계획에 대해, 부문제의 실행가능 여부를 점검한다. 만약 어떠한 부문제에서 송전계통 안전도 제약조건을 위반하는 상황이 발생되면, 해당 결합 제약조건에 대한 Benders cut을 생성하여 이를 주문제에 추가한다. 주문제는 추가된 Benders cut을 고려하여 최적의 급전계획을 재수립하며 그 결과를 부문제로 다시 전송한다. 이러한 과정은 모든 부문제의 목적함수 값이 0이 될 때까지 반복된다.

고려하고자 하는 상정사고에 대한 부문제는 서로 독립적이기 때문에, 부문제의 계산은 분산처리 기법을 이용하여 계산 속도를 향상시킬 수 있다. 참고문헌 [10]에서는 이에 대한 내용을 보다 자세히 기술하고 있다.

5. 사례 연구

본 논문에서 제안한 알고리즘의 효율성을 증명하기 위해, 7모선 예제계통에 대한 분석결과를 제시하고자 한다. 위에서

기술한 송전계통 안전도 제약 최적 급전계획 알고리즘을 5개의 발전기와 10개의 선로를 갖는 7모선 예제계통에 대해 적용하였다. <그림 1>에서 보여주고 있는 바와 같이, 계통은 선로 2-4, 2-5, 3-4 및 6-7에 의해 두 개의 지역으로 분리된다. 따라서, 본 사례연구에서는 두 지역을 연결하는 4개 송전선로의 상정사고에 대해 고려하였다. 계통 내 발전기와 부하 특성은 <표 1>과 <표 2>에서 보여주고 있다.

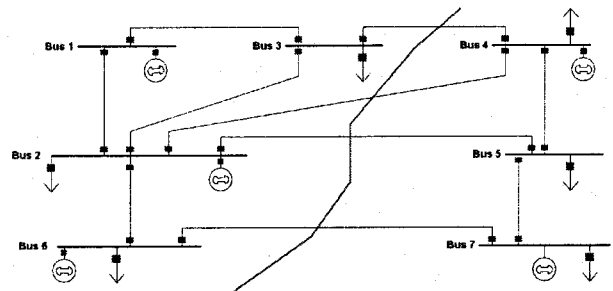


그림 1 7모선 예제계통
Fig. 1 7-bus test system

표 1 발전기 특성 데이터

Table 1 Generator characteristics

모선번호	P^{\min} (MW)	P^{\max} (MW)	ΔP (MW)
1	100.00	400.00	12.00
2	150.00	500.00	15.00
4	50.00	200.00	6.00
6	150.00	500.00	15.00
7	200.00	600.00	18.00

표 2 부하 특성 데이터

Table 2 Load characteristics

모선번호	P_D (MW)	Q_D (MVar)	PL^{\max} (MW)
2	70.00	34.00	0.00
3	175.00	85.00	10.00
4	140.00	68.00	7.00
5	200.00	97.00	15.00
6	325.00	157.00	15.00
7	350.00	170.00	18.00

<표 3>과 <표 4>는 기본적인 OPF와 송전계통 안전도 제약조건을 고려한 급전계획 결과 및 각각의 상정사고 발생 시 변화된 발전기와 차단가능부하의 재급전 수준을 보여주고 있다. <표 5>는 주-부문제 간 반복연산을 통해 해가 개선되는 과정을 보여주고 있다. 그 결과, 3회의 반복연산 후 해가 수렴되고 있음을 확인할 수 있다.

표 3 기본적인 OPF 및 송전계통 안전도 제약 급전계획에 의한 발전기 출력 수준 비교

Table 3 Generation output by basecase OPF and transmission security constrained dispatch scheduling

모선번호	OPF (MW)	송전계통 안전도 제약 급전계획				
		정상상태 (MW)	상정사고 2-4 (MW)	상정사고 2-5 (MW)	상정사고 3-4 (MW)	상정사고 6-7 (MW)
1	143.05	144.72	132.72	155.05	154.32	132.93
2	227.50	220.56	207.19	211.23	212.50	212.50
4	200.00	200.00	194.00	200.00	194.00	194.25
6	311.67	318.46	303.46	303.46	303.46	303.46
7	377.78	376.25	358.31	358.25	359.78	394.25

표 4 기본적인 OPF 및 송전계통 안전도 제약 급전계획에 의한 부하수요 수준 비교

Table 4 Load level by basecase OPF and transmission security constrained dispatch scheduling

모선번호	OPF (MW)	송전계통 안전도 제약 급전계획				
		정상상태 (MW)	상정사고 2-4 (MW)	상정사고 2-5 (MW)	상정사고 3-4 (MW)	상정사고 6-7 (MW)
2	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
3	175.00	175.00	165.00	165.00	165.73	173.42
4	140.00	140.00	133.00	133.00	133.73	139.38
5	200.00	200.00	185.69	185.00	194.70	185.00
6	325.00	325.00	310.00	325.00	325.00	325.00
7	350.00	350.00	332.00	350.00	334.91	344.60

표 5 주-부문제 간 반복연산 결과

Table 5 Computation output of penalty variables

Iteration(회)	$\sum s_k$
1	0.01467
2	0.00057
3	0.00000

5. 결 론

경쟁적 전력시장의 도입으로 인해, 다양한 전력거래를 보장하기 위한 충분한 송전용량 확보의 중요성은 더욱 강조되고 있다. 따라서, 경제적이고 안정적인 전력계통 운영을 위해서는 급전계획 시 송전계통 안전도 제약조건의 영향을 고려해야 한다. 그러나, 고려하고자 하는 상정사고의 수에 따라 매우 많은 제약조건이 문제에 추가되기 때문에 n-1 상정사고 기준 하에서 최적 급전계획 수립을 위해 이를 직접적인 방법으로 계산할 경우에는 상당한 계산시간을 소요하게 된다. 또한, 제약조건의 증가 및 결합 제약조건의 존재는 해의 수렴성

을 상당히 저하시키는 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 Benders 분해기법을 이용한 송전계통 안전도 제약 급전계획 알고리즘을 제안하였다. Benders 분해기법은 복잡한 원문제를 주-부문제의 2단계 구조로 분해하기 때문에, 보다 단순한 형태로 문제를 구현하여 보다 빠르고 정확하게 해를 계산할 수 있도록 한다.

또한, 향후 경쟁적 전력시장에서는 차단가능부하가 시장참여자의 이익극대화를 위한 수단으로 이용할 수 있기 때문에, 급전계획 시 이를 보다 능동적으로 고려할 수 있어야 한다. 이를 위해, 본 논문은 급전계획 문제의 실행가능성을 보장함과 동시에 차단가능부하의 용량제약까지 고려할 수 있도록 정식화하였다.

향후 연구에서는 이러한 정적 안전도 제약조건뿐만 아니라 동적 안전도 제약조건 또한 고려할 수 있는 급전계획 알고리즘을 고안함으로써, 실제 적용가능한 보다 완성된 형태의 급전계획 모형을 구현하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2004학년도 홍익대학교 교내연구비에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

- [1] A. J. Wood and B. F. Wollenberg, *Power Generation, Operation and Control*, Wiley, New York, 1984.
- [2] D. W. Ross, et al., "Dynamic economic dispatch of generation," *IEEE Trans. on Power Apparatus and System*, PAS-99, No. 6, pp. 2060-2068, 1980.
- [3] A. J. Svoboda, et al., "Short-term resource scheduling with ramp constraints," *IEEE Trans. on Power System*, Vol. 12, No. 1, pp. 77-83, 1997
- [4] P. P. J. van den Bosch, "Optimal dynamic dispatch owing to spinning-reserve and power-rate limits," *IEEE Trans. on Power Apparatus and System*, PAS-104, No. 12, pp. 3395-3401, 1985.
- [5] Y. Fukuyama, et al., "An application of neural network to dynamic dispatch using multiprocessors," *IEEE Trans. on Power System*, Vol. 9, No. 4, pp. 1737-1743, 1994.
- [6] G. Irisarri, "Economic dispatch with network and ramping constraints via interior point methods," *IEEE Trans. on Power System*, Vol. 13, No. 1, pp. 236-242, 1998.
- [7] A. Monticelli, M. V. F. Pereira, and S. Granville, "Security-constrained optimal power flow with post-contingency corrective rescheduling," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 175-182, 1987.
- [8] B. Stott, O. Alsac, and A. Monticelli, "Security analysis and optimization," *Proceedings of the IEEE* 75, No. 12, pp. 1623-1644, 1987.

- [9] H. Y. Yamin, Lamel Al-Tallaq, and S. M. Shahidehpour, "New approach for dynamic optimal power flow using Benders decomposition in an deregulated power market," *Electric Power Systems Research*, Vol. 65, pp. 101-107, 2003.
- [10] O. R. Saavedra, "Relaxed approach for the parallel solution of security-constrained dispatch with post-contingency rescheduling," *IEE Proceedings-Generation, Transmission, and Distribution*, Vol. 150, No. 3, pp. 291-296, 2003.
- [11] 정구형, 이찬주, 김진호, 김발호, 박종배, "경쟁적 전력 시장에서의 최적 부하소비전략 수립을 위한 부하관리 시스템 패키지 개발", *대한전기학회 논문지A*, 53권 03호, 2004, 187-197.
- [12] 정구형, 김진호, 김발호, "부하관리사업자의 비상시 부하제어량 배분 알고리즘 개발", *대한전기학회 논문지A*, 53권 08호, 2004, 466-471
- [13] Leon S. Lasdon, *Optimization theory for large systems*, Macmillan, New York, 1970.

저 자 소 개



정 구 형 (鄭 求 亨)

1974년 9월 20일생. 2001년 홍익대학교 전기전자제어공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기정보제어공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정

Tel : 02-338-1621 Fax : 02-320-1110

E-mail : ga3310401@wow1.hongik.ac.kr



김 발 호 (金 發 鎬)

1962년 7월 12일생. 1984년 서울대 전기공학과 졸업. 1984~1990년 한국전력공사 기술연구본부 전력경제연구실 근무. 1992년 Univ. of Texas at Austin 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 졸업(공학박사). 1999년~현재 홍익대학교 전자전기제어공학부 부교수

Tel : 02-320-1462 Fax : 02-320-1110

E-mail : bhkim@wow.hongik.ac.kr