

가상제약조건에 의한 비최적 현제운전계통의 모선가격산정

김용하*, 이 범**, 최상규***, 이성준*, 이재걸*, 오석현*, 김미애*
 *인천대학교, **여수대학교, ***안양과학기술대학교

**Calculation of Nodal Price for Nonoptimal System
 by Imaginary Constraint Condition**

Kim, Y.H.* · Lee, Buhm** · Choi, S.K.*** · Lee S.J.* · Lee, J.G.* · Oh, S.H.* · Kim M.H.*
 *University of Incheon, **Yosu National Univ, ***Anyang Technical College

Abstract - This Paper proposes the new method of Nodal Price calculation on nonoptimal condition of power system. It uses Power Flow instead of Optimal Power Flow. We propose a idea of imaginary constraints at the first. And the proposed method is applied to IEEE-30 and results show the effectiveness of the method.

1. 서 론

우리 나라 전력시장의 구조적 변화에 따라서 우리의 현실에 적합한 전력시장운영규칙 및 전력거래 방식의 필요하게 되었고 이에 따라서 다양한 연구가 진행이 되고 있다. 우리 나라의 초기도매시장은 설계단계에서 단순성과 시장운영의 편의를 위해서 전력이격결정에 있어서 전국 단일가격 체계를 선택하였다. 그러나 실제적으로 손실이나 선로제약 등을 고려한 가격결정을 위해서는 지역별 또는 더욱 정확한 가격 결정을 위해서는 한계비용법을 사용한 모선별 가격인 모선가격(Nodal Price:NP)의 책정이 필요로 된다.[1]

현재 다양한 전력이격 책정방법이 연구되어지고 있으나 현재 연구되어지고 있는 방법은 계통이 최적의 상태로 운전되어지고 있는 것을 전제로 하고 최적조류계산(Optimal Power Flow:OPF)의 계산과정인 LP의 결과로 계산되어지는 잠재가격(Shadow Price)을 이용하여 모선가격을 산정하고 있다.[2] 그러나 계통은 여러 가지 복잡한 원인에 의해서 항상 최적으로 운전되고 있는 것은 아니고 비최적상태로 운전되는 경우가 발생하게 된다. 그러나 현재 연구되고 있는 모선가격의 산정방법은 최적화 문제로 구성되어 있으므로 이러한 계통의 비최적 상태를 반영하여 모선가격을 계산할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 경쟁체제 전력시장에서는 다수의 발전사업자와 다수의 판매자 그리고 소비자들이 거래를 하기 때문에 가격산정에 있어서의 공정성 및 정확성은 무엇보다 중요한 요소로 인식되고 있다.

현재 우리 나라의 전국단일가격체제는 차후 시장의 운영에서는 선로혼잡이나 손실 등을 고려함으로써 차등화 된 요금을 산정 할 수 있을 것으로 예상된다.

이에 본 연구에서는 현재계통상태가 비최적으로 운전되어지고 있는 경우에 대하여 가상제약조건이라는 새로운 개념을 도입하여 모선가격을 산정 할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 본 알고리즘은 현재 계통의 발전기가 비

최적으로 운전되고 있을 때 발전기 상·하한 제약을 현재의 발전기 출력으로 수정하여 최적화문제를 풀었을 때 계산되는 잠재가격을 현재상태로 운전되므로써 발생하는 기회비용의 개념으로 정의하고 이 잠재가격을 이용하여 현재계통 상태에 대한 모선가격을 산정 한다. 이때 고려하는 가상적인 제약을 “가상제약”이라고 정의한다. 그리고 본 논문에서는 잠재가격을 계산할 때 최적조류계산을 이용하지 않고 이미 발표한바 있는 알고리즘[3]을 적용하여 현재 계통의 상태인 각 모선의 전압과 위상각을 이용하여 최적조류계산을 이용하지 않고 모선가격을 산정 하였고 사례연구에서 본 알고리즘을 IEEE-30Bus 계통에 적용하였다.

2. 최적계통에 대한 모선가격

최적상태에 대한 모선가격을 산정하기 위해서는 발전비용최소화의 목적함수와 계통에서 발전기 출력 상·하한 제약, 모선전압제약, 선로조류제약으로 구성되는 다음과 같은 최적화문제로 구성하였다.

$$\text{목적함수} \quad \text{Min} \sum_{i=1}^{N_{gen}} f_i(p_{Gi}) \quad (1)$$

제약조건 (등호제약)

$$p_{Dk} + \sum_{i=1}^{N_{gen}} p_{lim} - p_{Gi} = 0 \quad (\text{각 모선별 유효전력수급조건}) \quad (2)$$

$$q_{Dk} + \sum_{i=1}^{N_{gen}} q_{lim} - q_{Gi} = 0 \quad (\text{각 모선별 무효전력수급조건}) \quad (3)$$

(부등호제약)

$$p_{Gi}^{\min} \leq p_{Gi} \leq p_{Gi}^{\max} \quad (\text{발전기 유효전력 출력제약}) \quad (4)$$

$$q_{Gi}^{\min} \leq q_{Gi} \leq q_{Gi}^{\max} \quad (\text{발전기 무효전력 출력제약}) \quad (5)$$

$$v_i^{\min} \leq v_i \leq v_i^{\max} \quad (\text{모선전압 제약}) \quad (6)$$

$$p_l \leq p_l^{\max} \quad (\text{선로조류 제약}) \quad (7)$$

위의 목적함수와 제약조건을 이용하여 아래의 확대목적함수를 구성할 수 있다.

$$L = \sum_{i=1}^{N_{gen}} f_i(p_{Gi}) + \sum_{k=1}^{N_{bus}} [\lambda_{kj} (p_{Dk} + \sum_{i=1}^{N_{gen}} p_{lim} - p_{Gi})] + [\lambda_{kj} (q_{Dk} + \sum_{i=1}^{N_{gen}} q_{lim} - q_{Gi})] + \sum_{i=1}^{N_{gen}} [\rho_{p_i}^{\min} (p_{Gi}^{\min} - p_{Gi})] + \sum_{i=1}^{N_{gen}} [\rho_{p_i}^{\max} (p_{Gi} - p_{Gi}^{\max})] + \sum_{i=1}^{N_{gen}} [\rho_{q_i}^{\min} (q_{Gi}^{\min} - q_{Gi})] + \sum_{i=1}^{N_{gen}} [\rho_{q_i}^{\max} (q_{Gi} - q_{Gi}^{\max})] + \sum_{i=1}^{N_{bus}} [\rho_{v_i}^{\min} (v_i^{\min} - v_i)] + \sum_{i=1}^{N_{bus}} [\rho_{v_i}^{\max} (v_i - v_i^{\max})] + \sum_{l=1}^{N_{line}} [\rho_{p_l}^{\max} (p_l - p_l^{\max})] \quad (8)$$

최적상태에 대한 모선가격은 위의 확대목적함수에서 각 모선의 수급에 관련된 잠재가격인 λ_i 로 계산되어진다.

이 잠재가격은 기존의 상태의 목적함수 값과 수급조건 상수항이 1단위 변화했을 때 최적상태에 대한 목적함수의 차이를 의미한다. i 모선의 모선가격을 계산하기 위해서 확대목적함수를 발전기모선과 부하모선에 따라서 발전기 출력 p_{Gi} 이나 부하용량 p_{Di} 로 편미분을 하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial L}{\partial p_{Gi}} = \frac{\partial f_i(p_{Gi})}{\partial p_{Gi}} - \lambda_{pi} - \rho_{pi}^{\min} + \rho_{pi}^{\max} = 0$$

$$\rightarrow \lambda_{pi} = \frac{\partial f_i(p_{Gi})}{\partial p_{Gi}} - \rho_{pi}^{\min} + \rho_{pi}^{\max} \quad (9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial p_{Di}} = \lambda_{pi} \quad (10)$$

여기에서 ρ_{pi}^{\min} , ρ_{pi}^{\max} 는 발전기 상·하한 제약에 관련된 잠재가격이므로 다음 그림1과 같은 개념을 가진다.

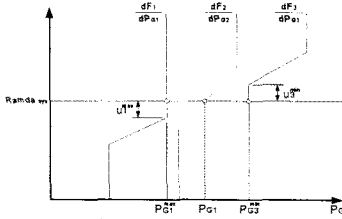


그림 1. 잠재가격의 개념

그러므로 계통의 손실을 고려하지 않고 선로제약이나 전압제약과 같은 제약이 Binding되지 않은 경우에는 그림1과 같이 모선가격은 그 계통의 λ_{pi} 로 동일하게 계산된다.

3. 계통상태를 이용한 최적상태의 모선가격

3.1 계통상태를 이용한 잠재가격 산정

위의 확대목적함수 식(8)의 최적조건은 다음과 같다.

[조건1]

$$\frac{\partial L}{\partial P_{Gi}} = \frac{\partial f_i(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} - \lambda_{pi} - \rho_{pi}^{\min} + \rho_{pi}^{\max} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial L}{\partial Q_{Gi}} = \lambda_{qi} - \rho_{qi}^{\min} + \rho_{qi}^{\max} = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial L}{\partial X_i} = \lambda_{pi} \frac{\partial P_{iim}}{\partial X_i} + \lambda_{qi} \frac{\partial Q_{iim}}{\partial X_i} - \rho_{vi}^{\min} \frac{\partial V_i}{\partial X_i} + \rho_{vi}^{\max} \frac{\partial V_i}{\partial X_i} + \rho_{pi}^{\max} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} = 0 \quad (13)$$

잠재가격을 산정하기 위해 식(13)의 최적 조건1에서 부하모선과 발전기 모선에 대한 수급조건을 구분해서 정리하면 식(14)와 같다.

$$\frac{\partial L}{\partial X_i} = \lambda_{pGi} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} + \lambda_{qGi} \frac{\partial Q_i}{\partial X_i} + \lambda_{pDi} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} + \lambda_{qDi} \frac{\partial Q_i}{\partial X_i} - \rho_{vi}^{\min} \frac{\partial V_i}{\partial X_i} + \rho_{vi}^{\max} \frac{\partial V_i}{\partial X_i} + \rho_{pi}^{\max} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} = 0 \quad (14)$$

λ_{pDi} , λ_{qDi} 는 k 모선의 부하전력과 관련된 라그랑지안 승수 계통의 상태를 이용하여 잠재가격을 산정하기 위해서 라그랑지안함수 즉, 확대목적함수를 전압과 위상각을 이용하여 구성하는데 이때 발전기 출력과 부하용량은 전압과 위상각의 함수인 주입전력(P_i, Q_i)으로 표시한다.[3] 또한 식(11)과 식(12)에서 발전기에 대한 편미분항을 수급조건에 관련되 잠재가격에 대해 정리하면 식(15)와 식(16)과 같이 정리된다.

$$\lambda_{pGi} = - \frac{\partial f(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} + \rho_{pi}^{\min} - \rho_{pi}^{\max} \quad (15)$$

$$\lambda_{qGi} = \rho_{qi}^{\min} - \rho_{qi}^{\max} \quad (16)$$

식(15)와 식(16)을 식(14)에 대입하면 다음의 식(17)과 같이 구성된다.

$$\frac{\partial L}{\partial X_i} = - \frac{\partial f(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} + \rho_{pi}^{\min} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} - \rho_{pi}^{\max} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} + \rho_{qi}^{\min} \frac{\partial Q_i}{\partial X_i} - \rho_{qi}^{\max} \frac{\partial Q_i}{\partial X_i} + \lambda_{pDi} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} + \lambda_{qDi} \frac{\partial Q_i}{\partial X_i} - \rho_{vi}^{\min} \frac{\partial V_i}{\partial X_i} + \rho_{vi}^{\max} \frac{\partial V_i}{\partial X_i} + \rho_{pi}^{\max} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} = 0 \quad (17)$$

발전기 모선이나 부하모선의 유·무효전력을 각 모선의 주입전력(P_i, Q_i)으로 표현하면 식(18)과 같다.

$$P_i = P_{Di} - P_{Gi} \quad Q_i = Q_{Di} - Q_{Gi}$$

$$P_{Gi} < P_{Di} \quad P_i = \sum_{m=1}^n P_{i,m} \quad Q_{Gi} < Q_{Di} \quad Q_i = \sum_{m=1}^n Q_{i,m}$$

$$P_{Gi} > P_{Di} \quad P_i = - \sum_{m=1}^n P_{i,m} \quad Q_{Gi} > Q_{Di} \quad Q_i = - \sum_{m=1}^n Q_{i,m} \quad (18)$$

따라서 식(18)의 관계를 식(17)에 대입하여 다시 정리하면 식(19)에서와 같이 계통의 상태변수로 최적조건을 구할 수 있고 등호제약과 관련된 라그랑지안 승수는 부하모선에 대한 수급만 고려해도 됨을 알 수 있다. 따라서 최적조건1을 모선의 주입전력으로 정리하면 다음과 같다.

[조건1]

$$\frac{\partial L}{\partial X_i} = \frac{\partial f(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} - \rho_{pi}^{\min} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} + \rho_{pi}^{\max} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} - \rho_{qi,i} \frac{\partial Q_i}{\partial X_i} + \rho_{qm,i} \frac{\partial Q_i}{\partial X_i} + \lambda_{pDi} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} + \lambda_{qDi} \frac{\partial Q_i}{\partial X_i} - \rho_{vi,i} \frac{\partial V_i}{\partial X_i} + \rho_{vu,i} \frac{\partial V_i}{\partial X_i} + \rho_{\tau,i} \frac{\partial T_i}{\partial X_i} = 0 \quad (19)$$

최적조건이 상태변수로 구할 수 있도록 구성되었으므로 먼저 조류계산을 통해 상태변수를 구한 뒤 식(19)를 만족시키는 라그랑지안 승수, 즉 잠재가격을 계산하였다. 이 최적화 문제에서 고려하고자 하는 부등호 제약조건이 Binding되었는지를 판별하여 Binding되어있는 경우만 식(19)에 포함시키면 식(20)과 같이 연립방정식의 형태로 구성할 수 있다. 이때 계통에서 발생하는 제약이 동시에 많이 발생하게 되면 연립방정식에서 변수의 수 즉 구하고자 하는 잠재가격의 개수가 방정식의 개수보다 많아져서 연립방정식을 풀 수가 없는 경우가 발생하나 실제 전력계통에서는 이러한 경우는 발생하지 않는다. 실제로 다수의 시험계통을 적용했을 때 변수의 개수가 방정식의 개수보다 많은 경우는 발생하지 않았다. 오히려 계통에서의 운전제약조건이 상한치나 하한치를 위반하는 경우가 적은 경우 구하고자하는 변수의 개수가 적어지는 경우가 발생한다. 이 경우에는 관련 없는 변수의 행렬요소를 0으로 처리하고 정방행렬을 구성하여 LU분할법을 이용해 잠재가격을 계산하였다.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_k}{\partial X_1} & \frac{\partial Q_k}{\partial X_1} & \frac{\partial P_j}{\partial X_1} & \frac{\partial Q_j}{\partial X_1} & \frac{\partial V_i}{\partial X_1} & \frac{\partial T_i}{\partial X_1} \\ \frac{\partial P_k}{\partial X_2} & \frac{\partial Q_k}{\partial X_2} & \frac{\partial P_j}{\partial X_2} & \frac{\partial Q_j}{\partial X_2} & \frac{\partial V_i}{\partial X_2} & \frac{\partial T_i}{\partial X_2} \\ \frac{\partial P_k}{\partial X_3} & \frac{\partial Q_k}{\partial X_3} & \frac{\partial P_j}{\partial X_3} & \frac{\partial Q_j}{\partial X_3} & \frac{\partial V_i}{\partial X_3} & \frac{\partial T_i}{\partial X_3} \\ \frac{\partial P_k}{\partial X_n} & \frac{\partial Q_k}{\partial X_n} & \frac{\partial P_j}{\partial X_n} & \frac{\partial Q_j}{\partial X_n} & \frac{\partial V_i}{\partial X_n} & \frac{\partial T_i}{\partial X_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_{pDK} \\ \lambda_{qDK} \\ \rho_{pLu,j} \\ \rho_{qLu,j} \\ \rho_{\tau,j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} \frac{\partial P_i}{\partial X_1} \\ \frac{\partial f(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} \frac{\partial P_i}{\partial X_2} \\ \frac{\partial f(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} \frac{\partial P_i}{\partial X_3} \\ \frac{\partial f(P_{Gi})}{\partial P_{Gi}} \frac{\partial P_i}{\partial X_n} \end{bmatrix} \quad (20)$$

단, $\rho_{pLu,j}$ $\left\{ \begin{array}{l} -\rho_{pLi} \\ \rho_{pLi} \end{array} \right.$ $\rho_{qLu,j}$ $\left\{ \begin{array}{l} -\rho_{qLi} \\ \rho_{qLi} \end{array} \right.$ $\rho_{\tau,j}$ $\left\{ \begin{array}{l} -\rho_{\tau Li} \\ \rho_{\tau Li} \end{array} \right.$ 하한치에 Binding된 경우 상한치에 Binding된 경우

4. 현재 계통상태에 대한 모선가격

4.1 현재 계통상태에 대한 모선가격의 의미

실제 전력계통을 운전할 때 계통내부에 내재되어 있는 불확실성과 많은 변수에 의해서 항상 최적으로 운전되어 지지는 못한다. 그러나 현재 이러한 계통운전상태에 대한 경제적 신호 산정에 있어서 항상 최적인 상태를 가정하고 산정하고 있다. 이것은 현재의 방법이 정확한 경제적 신호를 제공하지 못하고 있음을 나타내고 있는 것이다. 현재는 이러한 이유에서 발생하는 차에 대해서 실제 계통의 운전을 실시간 계량하여 보정하는 방법을 사용하고 있다. 그러므로 보다 정확하게 계통의 상태를 반영하는 경제적 신호의 산정방법 개발은 경쟁체제의 전력시장에서 필수적이라 할 수 있다.

4.2 가상계약

본 논문에서는 현재계통상태를 정확히 반영할 수 있는 방법을 제안하는데 있어서 새로운 “가상 제약(Imaginary Constraint)”의 개념을 도입하였다. 가상계약이란 현 운전 상태에 있어 계통의 발전기출력이 현 계통에서 최적의 발전력과 차이가 발생하는 비최적 상태에 있다면 해당 발전기의 발전력 상·하한제약을 가상적으로 현재 발전력의 크기와 동일하게 제정의하여 마치 비최적출력을 내고 있는 발전기가 가상계약에 의해서 현재 발전력을 최적의 발전력으로 운전되는 것으로 하여 그때 가상계약에 의해서 발생하는 잠재비용을 비최적에 대한 기회비용으로 정의하고 이를 이용하여 비최적 상태에서의 모선가격 산정 시에 잠재가격과 조합으로 계산을 한다. 아래의 그림2는 가상계약의 개념이다.

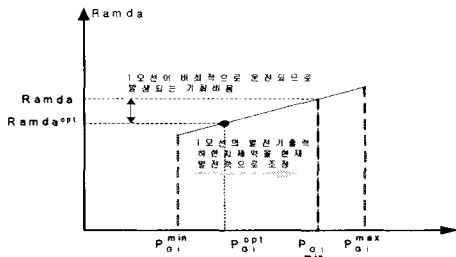


그림 2. 가상계약의 개념

4.3 현재 계통상태에 대한 모선가격산정

가상계약조건을 사용하여 최적조류계산을 하게 되면 마치 비최적 상태로 운전되고 있는 발전기가 출력의 상·하한제약에 Binding된 것과 같이 잠재가격이 계산되어진다. 이때 구해지는 잠재가격을 α_i 라고 하고 동일한 계통에 대해 최적조류계산을 통해서 계산되는 발전기 상·하한제약에 관련된 잠재가격 ρ_i 와의 차이가 본 계통이 비최적으로 운전되고 있으므로 i 모선에 발생하는 영향이 된다. 본 연구에서는 α_i 를 구하기 위해서 최적조류계산을 사용하지 않고 3장에서 소개한 방법을 사용하였고 이를 이용하여 다음과 같이 모선가격을 산정 하였다.

$$NP_{Gi} = \lambda_{kxi} = \frac{\partial f_i(p_{Gi})}{\partial p_{Gi}} - \rho_{ji}^{\min} + \rho_{ji}^{\max} - \alpha_{ji}^{\min} + \alpha_{ji}^{\max} \quad (23)$$

$$NP_{Di} = \lambda_{xi}$$

현재 계통상태에서 모선가격을 산정 할 때는 제약조건의 상태에 따라서 다음과 같은 4가지 Case에 대해서 고려해야 한다.

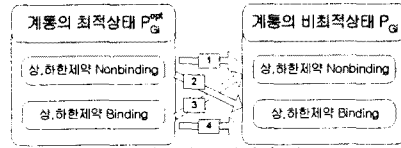


그림 3. 제약조건의 상태에 따른 Case

Case 1] 현 계통에 대한 최적운전 시 발전기의 출력이 아무런 제약에 제한되어 있지 않는 P_{Gi}^{opt} 로 운전되는데 현재 계통상태에서도 최적의 발전력 P_{Gi}^{opt} 으로 운전된다. 이때는 쿨터커 배타원리에 의해서 발전기 출력제약에 관한 잠재가격과 가상계약에 대한 잠재가격이 계산되지 않는다. ($\alpha_i = 0, \rho_{ji} = 0$)

Case 2] 현 계통에 대한 최적운전시 발전기의 출력이 아무런 제약에 제한되어 있지 않는 P_{Gi}^{opt} 로 운전되는데 현재 계통상태에서는 발전력 P_{Gi} 으로 운전된다. 이때는 가상계약이 고려되어서 α_i 값이 계산된다.

$$(\alpha_i = \text{값}, \rho_{ji} = 0)$$

Case 3] 현 계통에 대한 최적운전시 발전기의 출력이 상·하한 제약에 제한되어 P_{Gi}^{opt} 로 운전되는데 현재 계통상태에서는 제약에 제한되지 않는 발전력 P_{Gi} 로 운전된다. (가상계약이 고려되어 $\alpha_i = \text{값}, \rho_{ji} = \text{값}$)

Case 4] 현 계통에 대한 최적운전시 발전기의 출력이 상·하한제약에 제한되어 P_{Gi}^{opt} 로 운전되는데 현재 발전력이 다른 제약에 제한되는 경우 (즉, 최적시 상한 제약이 제한된 경우 하한 제약에 제한되는 경우) ($\alpha_i = \text{값}, \rho_{ji} = \text{값}$)

그러므로 현재(비최적)상태로 운전되어 추가적으로 발생하는 잠재가격 ($COST_{opt} = \alpha_i - \rho_{ji}$)은 계통이 비최적 상태로 운전됨으로써 각 모선의 전력단가에 미치는 영향이다. 그러므로 현재계통상태에 대한 모선가격산정은 현재 계통상태에 대한 경제신호를 각 모선별로 제공하는 것과 동시에 비최적 운전을 함으로써 각 모선이 얻는 이익이나 손실에 대한 정보도 제공하게 된다.

5. 사례연구

본 논문에서 제안된 현재계통상태(비최적상태)에 대한 모선가격 산정에 대한 타당성의 입증과 그 유용성의 증명하기 위하여 제안된 알고리즘을 IEEE RTS-30계통에 적용하였다.

본 연구에 적용한 계통은 총부하가 261.7[MW]에 총 발전설비 용량이 390[MW]이며 4대의 발전기를 가지고 있다. 본 사례연구는 최적상태에서의 모선가격을 산정하고 최적상태에서 4대의 발전기 중 2대의 발전기가 최적의 발전력이 아닌 발전력으로 운전되고 있을 때 모선가격을 본 연구에서 제안한 알고리즘으로 산정 한다. 그리고 산정된 모선가격을 분석하여 본 연구에서 산정한 현재상태에서의 모선가격의 유용성을 증명하였다. 위의 계통에

대한 OPF의 결과 계통 총 발전비용은 8363(\$/hr)이고 각 발전기출력은 $p_{G1} = 76.81$, $p_{G2} = 58.26$, $p_{G3} = 77.64$, $p_{G4} = 56.26$ 으로 계산되었고 최적상태에 모선가격 산정 결과는 표6과 같다. (단, 제약조건 모두가 Nonbinding된 경우)

표 6. 최적상태에서의 모선가격

No	모선가격	No	모선가격	No	모선가격
1	41.9093	11	43.3380	21	42.5345
2	42.6145	12	44.2527	22	42.1381
3	42.9664	13	44.2527	23	44.1223
4	43.2576	14	44.8876	24	43.2062
5	45.6902	15	44.5666	25	42.3339
6	43.4025	16	44.0723	26	43.0383
7	44.5705	17	43.6907	27	41.8073
8	43.6067	18	44.7467	28	42.9794
9	43.3380	19	44.6722	29	42.8736
10	43.3062	20	44.3480	30	43.5997

그러나 실제 계통이 최적으로 운전되지 않고 계통 총 발전비용이 8349(\$/hr)이고 각 발전기출력이 $p_{G1} = 76.81$, $p_{G2} = 44.25$, $p_{G3} = 90.02$, $p_{G4} = 56.26$ 와 같은 비최적상태로 운전되고 있을 때에 대한 모선 가격을 표7과 같이 산정 하였다.

표 7. 현재(비최적)상태에서의 모선가격

No	모선가격	No	모선가격	No	모선가격
1	41.9092	11	43.4151	21	42.8889
2	42.0024	12	44.4012	22	42.7405
3	42.4755	13	44.4012	23	44.3449
4	41.8071	14	45.0738	24	43.4761
5	45.1743	15	44.7502	25	42.448
6	43.0485	16	44.2793	26	43.1592
7	44.1292	17	43.9615	27	42.9653
8	43.2493	18	44.975	28	42.6617
9	43.4151	19	44.9252	29	42.8735
10	43.6058	20	44.6115	30	43.5995

위에서 산정한 최적상태와 비최적상태의 모선가격을 그래프로 나타내면 그림5와 같이 차이를 보인다.

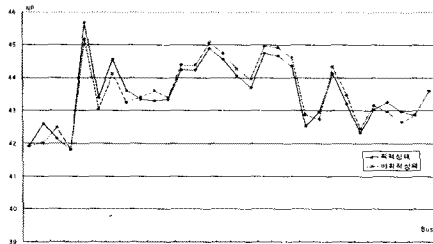


그림 5. 최적상태의 모선가격과 현재상태의 모선가격

위의 그림5에서 최적과 비최적 모선가격간의 차이를 계산한 결과를 표8과 그림6에 나타내었다.

표 8. 최적과 비최적상태의 모선가격의 차이

No	모선가격	No	모선가격	No	모선가격
1	0.0001	11	-0.0771	21	-0.3544
2	0.6121	12	-0.1485	22	0.2259
3	-0.3374	13	-0.1485	23	-0.2226
4	0.0002	14	-0.1862	24	-0.2699
5	0.5159	15	-0.1836	25	-0.1141
6	0.3540	16	-0.2070	26	-0.1209
7	0.4413	17	-0.2708	27	0.2923
8	0.3574	18	-0.2283	28	0.3177
9	-0.0771	19	-0.253	29	0.0001
10	-0.2996	20	-0.2635	30	0.0002

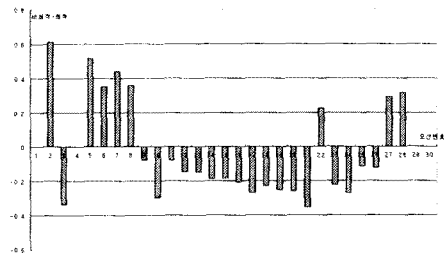


그림 6. 비최적 모선가격과 최적모선가격의 차이

6. 결 론

우리 나라의 전력시장은 그 구조적 변화에 따라서 그에 수반되는 시장 운영규칙이나 규제 그리고 다양한 제도의 정비와 함께 이루어지고 있다. 이의 일환으로 전력요금 및 송전선 사용료 등의 요금산정방법들이 연구되어지고 있다. 현재까지 연구되어지고 있는 모선별 가격산정 방법들은 항상 계통이 최적상태를 유지하고 있다는 전제를 하고 있기 때문에 실제로 최적으로 운전되고 있지 않는 계통에 대해서는 경제적 신호 즉 모선별 가격을 제공할 수 없다는 단점을 지니고 있다. 이에 본 연구에서는 현재 계통이 비최적 상태로 운전되고 있을 때 계통의 특성을 반영할 수 있는 경제적 신호인 모선가격을 제공할 수 있는 알고리즘을 개발하였고 그 타당성과 유용성을 증명 하였다.

본 논문에서 적용한 비최적 상태에 대한 모선가격산정 알고리즘은 시장체제로 변화되고 있는 전력시장에서 실제 계통운전상태에 대한 정보를 제공할 것이며 이를 이용하여 차후 지역별, 모선별 가격산정에 있어서 계통의 특성을 정확히 반영할 수 있는 신호를 제공할 것으로 사료된다.

감사의 글

"본 연구는 한국과학재단 지정 동북아전자물류 연구센터의 지원으로 수행되었습니다"

[참 고 문 헌]

- [1] '전력거래 기본반', 한국전력거래소, 2003년
- [2] Luonan Chen, "Components of Nodal Prices for Electric Power Systems", IEEE Trans Power Syst., VOL. 17, p41-49, Feb 2002
- [3] 김용하, 문혁기, "계통운전상태에서의 모선중분비용 산정 및 분해에 관한 연구(II)", 대한전기학회 논문지, vol. 52, No.9, 2003
- [4] Frame, J. "Locational marginal pricing" Power Engineering Society Winter Meeting, 2001. IEEE, Volume: 1, 28 Jan.-1 Feb. 2001
- [5] Luonan Chen, Suzuki, Hideki Wachi, Tsunehisa, Shimura, Yukihiko "Components of Nodal Prices for Electric Power Systems." IEEE Transactions on Power Systems, Feb2002, Vol. 17 Issue 1, p41, 9p