

# 계통운전상태에서의 모선증분비용 산정 및 분해에 관한 연구(II)

論文  
52A-9-7

## A Study on Caculation and Decomposition of Bus Incremental Cost on Power System Operation

金龍河\* · 李 范\*\* · 崔祥圭\*\*\* · 文赫基§ · 李宰杰§  
(Yong-Ha Kim · Buhm Lee · Sang-Kyu Choi · Hyuc-Ki Moon · Jae-Gul Lee)

**Abstract** - In this paper we propose the new method for calculating the Bus Incremental Cost using bus voltage magnitude and angle. And perform the decomposition of Bus Incremental Cost on power system operation. In this method, we calculate the Shadow Price that is derived from using power flow calculation results. The proposed Method is applied to IEEE-30 and the result shows the effectiveness of the method.

**Key Words** : 모선가격, 모선증분비용, 분해, 잠재가격, 최적조건, 계통상태

### 1. 서 론

전력산업구조개편이 진행되면서 전력가격산정이론의 중요성이 대두되고 있다. 기존의 독점적인 전력산업구조에서 많이 사용되어진 총괄비용법은 소요된 총비용을 생산된 총전력량에 따라 배분하는 방법이나 이는 경제적 형평성에 어긋나게 된다. 그러므로 근래에는 계통의 운용목적 및 제약조건을 만족시키는 최적조류계산에서 산정된 라그랑지안 승수인 잠재가격(Shadow Price)을 이용하여 모선가격(Nodal Price)을 산정하는 한계비용법이 주목을 받고 있다[1]. 한계비용법은 80년대이후 제안되어진 현물가격 산정법(Spot Price Theory) 중의 하나이며, 최적조류계산을 기반으로 하고 있다. 그러나 계통에 내재하고 있는 여러 가지 형태로 발생할 수 있는 불확실적인 요소를 감안할 때 전력계통은 항상 최적상태를 유지하면서 운전될 수 있는 것은 아니므로 이러한 경우에 대하여 현재의 운전상태로부터 모선가격을 산정하는 것이 필요한 경우가 발생하게 된다. 그러므로 본 연구에서는 현재의 계통운전상태만을 가지고 이로부터 직접적으로 모선가격을 산정할 수 있는 방법을 제안하였다. 즉, 조류계산을 통해 구해진 계통의 상태로부터 잠재가격을 계산하고 이를 이용하여 모선증분비용(Bus Incremental Cost: 본 연구에서는 현재운전상태를 가지고 계산된 모선가격을 모선증분비용이라 표현함)을 산정하는 알고리즘을 개발하였다. 한편 이와같이 모선증분비용이 산정되더라도 전력시스템의 운전에는 발전기 출력, 전압의 상하한치, 선로피상조류,

수급조건 등과 같은 다양한 종류의 제약조건이 부가되게 되며 이들이 모선증분비용에 어떠한 영향을 주는지는 정확히 알지 못한다. 그러므로 본 연구에서는 전력시스템의 운전에 영향을 주는 제약조건을 시장에서 거래되는 제약인 거래계약(모선증분비용의 요소가 아닌)과 거래되지 않는 제약인 비거래계약으로 분류하고 이러한 계약을 음함수 이론(Implicit theory)에 적용하여 다양한 구성요소안에서 모선증분비용을 분해하였다[2]. 이를 IEEE-30모선계통에 적용하여 본 연구의 유용성을 검증하였다.

### 2. 잠재가격을 위한 라그랑지안 함수구성

본 연구에서는 모선의 상태변화에 대한 계통전체의 발전비용변화정도를 경제적인 신호로 나타낼 수 있는 모선증분비용(모선가격)을 라그랑지안 함수의 편도함수로 나타내는데 라그랑지안 함수를 구성하기 위해서 이를 구성하는 잠재가격을 구하여 모선증분비용을 계산할 수 있는 방법을 제안하였다.

#### 2.1 발전비용 최소화 문제

계통의 운용 목적을 발전비용 최소화로 한 경우 전력계통은 다음과 같은 최소화 문제로 구성되어진다.

◎목적함수 : 발전비용 최소화

$$\text{Min} \sum_{j \in G(i)} f_j(P_{Gj}) \quad (1)$$

단,  $f_j(P_{Gj}) = \alpha_j P_{Gj}^2 + \beta_j P_{Gj} + \gamma_j$  :  $j$ 모선의 발전기 발전비용함수  
 $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$ : 발전비계수  
 $NB$ : 계통의 총모선수  
 $G(i)$ :  $i$ 모선중에서 발전기모선의 집합

\* 正 會 員 : 仁川大學校 電氣電子工學部 教授 · 工博  
 \*\* 正 會 員 : 麗水大學校 電氣 및 半導體工學科 副教授 · 工博  
 \*\*\* 正 會 員 : 安養科學大學 電子通信情報學部 副教授 · 工博  
 § 準 會 員 : 仁川大學校 電氣電子工學部 碩士課程  
 接受日字 : 2003年 2月 4日  
 最終完了 : 2003年 7月 14日

◎ 제약조건

○ 등호제약조건 : 각 모선의 수급조건

$$P_{Li} + \sum_{m=1}^n P_{i,m} - P_{Gi} = 0$$

$$Q_{ji} + \sum_{m=1}^n Q_{i,m} - Q_{Gi} = 0 \quad (2)$$

단,  $P_{Gi}, Q_{Gi}$ :  $i$ 모선의 발전기 유·무효출력

$P_{Di}, Q_{Di}$ :  $i$ 모선의 부하 유·무효전력

$P_{i,m}, Q_{i,m}$ :  $i$ 모선과 연결된 선로유·무효조류

$n$ :  $i$ 모선과 연결된 총모선수

○ 부등호제약조건

· 발전기 모선의 유·무효출력

$$P_{ij}^{\min} \leq P_{Gj} \leq P_{Gj}^{\max}$$

$$Q_{Gj}^{\min} \leq Q_{Gj} \leq Q_{Gj}^{\max} \quad (3)$$

모든  $j$  발전기모선의 유·무효전력에 대해

· 각 모선의 전압의 크기

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad (4)$$

모든  $i$ 모선의 전압크기에 대해

· 선로피상조류 상한치

$$T_l \leq T_l^{\max} \quad (5)$$

모든  $l$  선로의 피상조류에 대해

단,  $\square^{\min}$ :  $\square$  제약조건 하한치

$\square^{\max}$ :  $\square$  제약조건 상한치

여기서, 등호 및 부등호제약조건에는 여러가지 다른 제약이 포함될 수 있으나 본 연구에서는 식(2)~식(5)만을 고려하도록 하였다.

2.2 라그랑지안 함수의 구성

식(1)~식(5)로 구성된 계통의 잠재가격을 구하기 위해 Constrained Optimization 문제를 Unconstrained Optimization 문제로 변환하면 라그랑지안 함수의 형태인 식(6)으로 표현된다

$$\begin{aligned} & \mathcal{L}(P_G, Q_G, P_D, Q_D, V_i, \theta_i, \lambda_{Pi}, \lambda_{Qi}, \rho_{Pi,j}, \rho_{Pv,j}, \rho_{Qi,j}, \rho_{Qv,j}, \rho_{Vi,j}, \rho_{T,j}) \\ &= \sum_{j \in G(i)} f_j(P_{Gj}) + \sum_{i=1}^{NB} \left[ \lambda_{Pi} (P_{Di} + \sum_{m=1}^n P_{i,m} - P_{Gi}) \right] + \sum_{i=1}^{NB} \left[ \lambda_{Qi} (Q_{Di} + \sum_{m=1}^n Q_{i,m} - Q_{Gi}) \right] \\ &+ \sum_{j \in G(i)} [\rho_{Pi,j} (P_{Gj}^{\min} - P_{Gj})] + \sum_{j \in G(i)} [\rho_{Pv,j} (P_{Gj} - P_{Gj}^{\max})] \\ &+ \sum_{j \in G(i)} [\rho_{Qi,j} (Q_{Gj}^{\min} - Q_{Gj})] + \sum_{j \in G(i)} [\rho_{Qv,j} (Q_{Gj} - Q_{Gj}^{\max})] \\ &+ \sum_{i=1}^{NB} [\rho_{Vi,j} (V_i^{\min} - V_i)] + \sum_{i=1}^{NB} [\rho_{Vv,j} (V_i - V_i^{\max})] \\ &+ \sum_{l=1}^{NC} [\rho_{T,j} (T_l - T_l^{\max})] \end{aligned} \quad (6)$$

단,  $T_l = \sqrt{R_l^2 + Q_l^2}$

$$P_{ij} = g_{ij} V_i^2 - V_i V_j (g_{ij} \cos \theta_{ij} + b_{ij} \sin \theta_{ij})$$

$$Q_{ij} = -(b_{ij} + b_{ji}) V_i^2 - V_i V_j (g_{ij} \sin \theta_{ij} - b_{ij} \cos \theta_{ij})$$

$\lambda^i, \lambda^{Qi}$ :  $i$ 모선 수급조건과 관련된 잠재가격

$\rho_{Pi,j}, \rho_{Pv,j}, \rho_{Qi,j}, \rho_{Qv,j}$ :

$j$ 발전기모선 유·무효출력 상·하한치와 관련된 잠재가격

$\rho_{Vi,j}, \rho_{Vv,j}$ :  $i$ 모선 전압 상·하한치와 관련된 잠재가격

$\rho_{T,j}$ :  $l$ 선로 피상조류 상한치와 관련된 잠재가격

$P_{i,m}, Q_{i,m}$ :  $i$ 모선과  $j$ 모선에 흐르는 유·무효 선로조류

$P_{Gi}, Q_{Gi}$ :  $i$ 모선 발전기의 유·무효출력

$P_{Di}, Q_{Di}$ :  $i$ 모선 부하의 유·무효전력

$V_i$ :  $i$ 모선의 전압

$\theta_i$ :  $i$ 모선의 위상각

$g_{ij}$ :  $i$ 모선과  $j$ 모선에 연결된 콘덕턴스

$b_{ij}$ :  $i$ 모선과  $j$ 모선에 연결된 서셉턴스

$b_{ji}$ :  $i$ 모선과  $j$ 모선에 연결된 충전용량

$\theta_{ij}$ :  $i$ 모선과  $j$ 모선의 상차각

$NC$ : 계통의 총모선수

라그랑지안 함수를 구성변수에 대하여 편미분하고 최소점의 필요조건이 성립되도록 식을 재구성하면 식(7)과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_{Gi}} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Q_{Gi}} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_{Di}} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Q_{Di}} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial V_i} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \theta_i} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_{Pi}} = 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_{Qi}} = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \rho_{Pi,j}} \leq 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \rho_{Pv,j}} \leq 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \rho_{Qi,j}} \leq 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \rho_{Qv,j}} \leq 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \rho_{Vi,j}} \leq 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \rho_{Vv,j}} \leq 0, \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \rho_{T,j}} \leq 0$$

3. 계통운전상태에서의 모선증분비용 산정

본 연구에서 제안한 현재 계통의 운전상태에서 계통의 주 입전력이 변화할 때 계통전체의 발전비용의 변화량을 나타내는 모선증분비용을 산정하기 위해서 우선, 본 연구에서는 현재 계통운전조건으로서 조류계산을 수행하여 상태변수 ( $V_i, \theta_i$ )를 구하도록 하였다. 또한 식(7)을 모두 상태변수만의 함수로 표현하도록 하여 2.2절의 편도함수를 잠재가격에 대한 연립방정식으로 구성하고 이를 풀어 잠재가격을 구함으로써 모선증분비용을 산정 하였다.

3.1 계통상태로부터의 잠재가격 산정

우선 주어진 계통의 운전조건에서 결정된 계통상태로부터 모선증분비용을 산정하기 위해서는 식(7)로 구성된 확대목적함수가 계통의 상태변수만으로 표현되어야 한다. 식(7)에서  $P_{i,m}, Q_{i,m}, V_i, T_l$ 은 모두 상태변수로 표현되어 있으나  $P_{Gi}, Q_{Gi}, P_{Di}, Q_{Di}$ 는 상태변수로 표현되어 있지 않으므로 본 연구에서는 발전기 출력( $P_{Gi}, Q_{Gi}$ )과 부하( $P_{Di}, Q_{Di}$ )를 주입전력( $P_i, Q_i$ )으로 표현함으로써 식(6)의 모든 변수를 계통의 상태변수  $V_i, \theta_i$ 만으로 표현하도록 하였다. 한편, 2.2절의 식(7)에서 발전기 유·무효출력에 대한 편미분식은 식(8) 및 식(9)로서 표현되며

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_{Gj}} = \frac{\partial f(P_{Gj})}{\partial P_{Gj}} + \lambda_{P_{Gj}} - \rho_{Pi,j} + \rho_{Pv,j} = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial Q_{Gj}} = \lambda_{Q_{Gj}} - \rho_{Qi,j} + \rho_{Qv,j} = 0 \quad (9)$$

$$\text{단, } f(P_G) = \sum_{j \in G(i)} f_j(P_{Gj}), P_i = \sum_{m=1}^n P_{i,m}, Q_i = \sum_{m=1}^n Q_{i,m}$$

$\lambda^{P_{Gj}}, \lambda^{Q_{Gj}}$ :  $j$ 발전기모선 수급조건과 관련된 잠재가격

$\lambda^{P_{Dk}}, \lambda^{Q_{Dk}}$ :  $k$ 부하모선 수급조건과 관련된 잠재가격

식(8) 및 식(9)을  $\lambda_{PGj}, \lambda_{QGj}$ 로 정리하여 2.2절의 식(7)인  $\frac{\partial L}{\partial X_i} = 0$  을 나타내는 식(10)에 대입하면 식(11)으로 정리된다.

$$\frac{\partial L}{\partial X_i} = \lambda_{PGj} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} + \lambda_{QGj} \frac{\partial Q_i}{\partial X_i} + \lambda_{PDK} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} + \lambda_{QDK} \frac{\partial Q_i}{\partial X_i} - \rho_{Pi,j} \frac{\partial V_i}{\partial X_i} + \rho_{Vi,j} \frac{\partial V_i}{\partial X_i} + \rho_{Tj} \frac{\partial T_i}{\partial X_i} = 0 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial X_i} = & -\frac{\partial f(P_G)}{\partial P_{Gj}} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} + \lambda_{PDK} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} + \lambda_{QDK} \frac{\partial Q_i}{\partial X_i} + \rho_{Pi,j} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} - \rho_{Vi,j} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} \\ & + \rho_{Qj,j} \frac{\partial Q_i}{\partial X_i} - \rho_{Qj,j} \frac{\partial Q_i}{\partial X_i} - \rho_{Vi,j} \frac{\partial V_i}{\partial X_i} + \rho_{Vi,j} \frac{\partial V_i}{\partial X_i} + \rho_{Tj,j} \frac{\partial T_i}{\partial X_i} = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

식(11)에서 발전기 모선의 수급조건에 관련된  $\lambda$ 값은  $\frac{\partial f(P_G)}{\partial P_{Gj}} \frac{\partial P_i}{\partial X_i}$ 의 형태로서 표현이 되어지므로 본 연구에서는 부하모선에 관련된 수급조건만을 포함하도록 함으로써 계산의 효율성을 도모하였다.  
위의 결과를 적용하여 라그랑지안 함수를 재구성하면 식(12)과 같이 상태변수만의 함수로 구성이 가능하게 된다.

$$\begin{aligned} L(V_i, \theta_i, \lambda_{PG}, \lambda_{QG}, \rho_{Pi,j}, \rho_{Vi,j}, \rho_{Qj,j}, \rho_{Qj,j}, \rho_{Vi,j}, \rho_{Vi,j}, \rho_{Tj,j}, P_i, Q_i) \\ = \sum_{j \in D(i)} f_j(P_j) + \sum_{k \in D(i)} \left[ \lambda_{PDK} \left( \sum_{m=1}^n P_{im} - P_i \right) \right] + \sum_{k \in D(i)} \left[ \lambda_{QDK} \left( \sum_{m=1}^n Q_{im} - Q_i \right) \right] \\ + \sum_{j \in G(i)} \left[ \rho_{Pi,j} (P_i^{\min} - P_j) \right] + \sum_{j \in G(i)} \left[ \rho_{Vi,j} (P_j - P_i^{\max}) \right] \\ + \sum_{j \in G(i)} \left[ \rho_{Qj,j} (Q_i^{\min} - Q_j) \right] + \sum_{j \in G(i)} \left[ \rho_{Vj,j} (Q_j - Q_i^{\max}) \right] \\ + \sum_{i=1}^n \left[ \rho_{Vi,j} (V_i^{\min} - V_i) \right] + \sum_{i=1}^n \left[ \rho_{Vi,j} (V_i - V_i^{\max}) \right] \\ + \sum_{i=1}^n \left[ \rho_{Tj,j} (T_i - T_i^{\max}) \right] \end{aligned} \quad (12)$$

단,  $D(i)$ :  $i$ 모선중에서 부하모선의 집합

$$P_i = P_{Gi} - P_{Di}, Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di}; \text{각 모선의 주입전력}$$

$$P_i = \sum_{k=1}^n V_i V_k (G_{ik} \cos \theta_{ik} + B_{ik} \sin \theta_{ik}) \quad Q_i = \sum_{k=1}^n V_i V_k (G_{ik} \sin \theta_{ik} - B_{ik} \cos \theta_{ik})$$

2.2절의 식(7)에서 부하에 대한 편미분항인 부하모선의 등호 제약조건과 관련된 잠재가격  $\left( \frac{\partial L}{\partial P_i} = \lambda_{PGi} = 0, \frac{\partial L}{\partial Q_i} = \lambda_{QGi} = 0 \right)$ 은 0이 되어 구할 수 없지만 재구성된 라그랑지안 함수 (12)의 각 상태변수와 잠재가격들에 대한 편도함수를 잠재가격에 대한 연립방정식으로 구성하여 풀면 부하모선과 관련된 잠재가격을 구할 수 있다. 재구성된 라그랑지안 함수에 대한 편도함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial X_i} = & \frac{\partial f(P_j)}{\partial P_j} \frac{\partial P_j}{\partial X_i} + \lambda_{PDK} \frac{\partial P_k}{\partial X_i} + \lambda_{QDK} \frac{\partial Q_k}{\partial X_i} - \rho_{Pi,j} \frac{\partial P_j}{\partial X_i} + \rho_{Vi,j} \frac{\partial P_j}{\partial X_i} \\ & - \rho_{Qj,j} \frac{\partial Q_j}{\partial X_i} + \rho_{Qj,j} \frac{\partial Q_j}{\partial X_i} - \rho_{Vi,j} \frac{\partial V_i}{\partial X_i} + \rho_{Vi,j} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} + \rho_{Tj,j} \frac{\partial T_i}{\partial X_i} = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

자세한 수식은 부록[1]에 수록하였다.

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_{Pi}} = P_i + \sum_{m=1}^n P_{im} = 0 \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda_{Qi}} = Q_i + \sum_{m=1}^n Q_{im} = 0 \quad (14)$$

단,

$$P_i = \sum_{k=1}^n V_i V_k [G_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k) + B_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k)]$$

$$Q_i = \sum_{k=1}^n V_i V_k [G_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k) - B_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k)]$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \rho_{Pi,j}} = P_i^{\min} - P_i \leq 0 \quad \frac{\partial L}{\partial \rho_{Vi,j}} = P_i - P_i^{\max} \leq 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \rho_{Qj,j}} = Q_i^{\min} - Q_i \leq 0 \quad \frac{\partial L}{\partial \rho_{Qj,j}} = Q_i - Q_i^{\max} \leq 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \rho_{Vi,j}} = V_i^{\min} - V_i \leq 0 \quad \frac{\partial L}{\partial \rho_{Vi,j}} = V_i - V_i^{\max} \leq 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \rho_{Tj,j}} = T_i - T_i^{\max} \leq 0 \end{aligned} \quad (15)$$

단,  $T_i = \sqrt{P_i^2 + Q_i^2}$   
 $P_{ij} = g_{ij} V_i^2 - V_i V_j (g_{ij} \cos \theta_{ij} + b_{ij} \sin \theta_{ij})$   
 $Q_{ij} = -(b_{ij} + b_{ji}) V_i^2 - V_i V_j (g_{ij} \sin \theta_{ij} - b_{ij} \cos \theta_{ij})$

즉, 본 연구에서는 현재계통의 운전상태를 알기 위해 조류계산을 통한 상태변수를 구한 뒤 식(13)~식(15)를 구성하였다. 여기서 라그랑지안 함수의 편도함수를 살펴보면 식(14)는 조류계산을 통해 구해진 상태변수이므로 수급조건을 항상 만족하게 된다. 식(15)의 부등호제약조건은 상태변수로 구성된 제약조건인 운전치가 상한치나 하한치에 Non-binding되어지는 경우에는 잠재가격  $\rho$ 는 0이 되지만 Binding되어진 경우에는 잠재가격  $\rho$ 값을 가지게 된다. 그러므로 본 연구에서는 부등호 제약조건이 Binding되었는지를 판별하여 Binding되어있는 경우만 식(13)에 적용하여 식(16)과 같이 연립방정식을 구성하도록 하였다.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_k}{\partial X_i} & \frac{\partial Q_k}{\partial X_i} & \frac{\partial P_j}{\partial X_i} & \frac{\partial Q_j}{\partial X_i} & \frac{\partial V_i}{\partial X_i} & \frac{\partial T_i}{\partial X_i} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial P_k}{\partial X_i} & \frac{\partial Q_k}{\partial X_i} & \frac{\partial P_j}{\partial X_i} & \frac{\partial Q_j}{\partial X_i} & \frac{\partial V_i}{\partial X_i} & \frac{\partial T_i}{\partial X_i} \\ \frac{\partial P_k}{\partial X_j} & \frac{\partial Q_k}{\partial X_j} & \frac{\partial P_j}{\partial X_j} & \frac{\partial Q_j}{\partial X_j} & \frac{\partial V_j}{\partial X_j} & \frac{\partial T_j}{\partial X_j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial P_k}{\partial X_n} & \frac{\partial Q_k}{\partial X_n} & \frac{\partial P_j}{\partial X_n} & \frac{\partial Q_j}{\partial X_n} & \frac{\partial V_n}{\partial X_n} & \frac{\partial T_n}{\partial X_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_{PDK} \\ \lambda_{QDK} \\ \bar{\rho}_{Pi,j} \\ \bar{\rho}_{Qj,j} \\ \bar{\rho}_{Vi,j} \\ \bar{\rho}_{Tj,j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \frac{\partial f(P_j)}{\partial P_j} \frac{\partial P_j}{\partial X_i} \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

단,  $\bar{\rho}_{Pi,j} \begin{cases} -\bar{\rho}_{Pi,j} & \text{하한치에 Binding된 경우} \\ \bar{\rho}_{Pi,j} & \text{상한치에 Binding된 경우} \end{cases}$

그러나 계통은 모든 운전제약조건이 상한치로서 운전되는 경우는 없으며 운전제약을 위반하더라도 상한치를 위반하거나 하한치를 위반하는 경우는 상호배타적인 사건이므로 미지수의 개수보다 변수의 개수가 많아지는 경우는 존재하기 어렵다. 실제로 다양한 경우의 시험계통에 본 연구를 적용한 결과 변수의 개수가 방정식의 개수보다 많아지는 경우는 발생하지 않았다. 한편 역으로 계통이 운전될때 운전제약을 위반하는 경우가 적을때에는 변수의 개수가 방정식의 개수보다 적어지게 되며 이러한 경우는 자주 발생하게 된다. 본 연구에서는 이러한 경우에 값이 0인 열을 추가하여 정방행렬을 구성하고 LU분할법으로 잠재가격을 계산하였다.

### 3.2 모선증분비용 산정

앞서 언급한 3.1절에서 구한 잠재가격을 이용해 모선증분비용을 산정하였다. 각 모선 유·무효 주입전력에 대한 전체비용으로 계산되어지는 모선증분비용을 발전기모선과 부하모선으로 정리하면 식(17)과 식(18)이 된다.

· 발전기 모션인 경우

$$\pi_{pc,j} = \frac{\partial L}{\partial P_j} = \frac{\partial f(P_j)}{\partial P_j} - \bar{p}_{pi,j} + \bar{p}_{pv,j} \quad (17)$$

$$\pi_{qc,j} = \frac{\partial L}{\partial Q_j} = -\bar{p}_{qi,j} + \bar{p}_{qv,j}$$

· 부하 모션인 경우

$$\pi_{pc,k} = \frac{\partial L}{\partial P_k} = \lambda_{pdk} \quad (18)$$

$$\pi_{qc,k} = \frac{\partial L}{\partial Q_k} = \lambda_{qdk}$$

단,  $\bar{p}$  : Binding된 부등호제약조건의 잠재가격

#### 4. 모션증분비용의 분해[2]

본 연구에서는 잠재가격으로부터 모션증분비용을 분해하기 위해 참고문헌[2]에서 제안한 방법을 사용하였다.

##### 4.1 제약조건의 분류

라그랑지안 함수 식(12)는 운전비용의 합과 제약조건에 관련된 비용이 더해진 형태로 구성되어진다. 여기서 각 발전기의 증분비용은 다른 제약의 잠재가격을 결정하기 위해서는 필요한 요소이므로 모션증분비용을 분해할 때 다른 제약과 달리 분해되어야 할 중요한 요소가 된다. 또한 제약조건들이 모션증분비용에 미치는 영향을 결정하기 위하여 라그랑지안 함수 안에 있는 모든 제약조건들 중에서 관심을 가지는 구성요소를 결정해야 한다. 그러므로 수급조건과 같이 시장안에서 거래될 수 없는 제약인 비거래제약과 시장가격을 가지는 제약인 거래제약으로 분류하였다. 이렇게 분류된 제약조건 중 비거래제약을 연립방정식으로 구성된 식(16)과 함께 식(19), 식(20)으로 구성하게 되면 비거래제약은 분해요소로서 고려되어지지 않게 된다.

$$\frac{\partial L(X, \lambda, \rho, P, Q)}{\partial X_i} = \frac{\partial f(P_i)}{\partial P_i} \frac{\partial P_i}{\partial X_i} + U(X, \alpha, P, Q) = 0 \quad (19)$$

$$M(X, P, Q) = 0 \quad (20)$$

여기서,

$$U(X, \alpha, P, Q) = \lambda_{pdk} \frac{\partial P_k}{\partial X_i} + \lambda_{qdk} \frac{\partial Q_k}{\partial X_i} - \bar{p}_{pi,j} \frac{\partial P_j}{\partial X_i} + \bar{p}_{pv,j} \frac{\partial P_j}{\partial X_i} - \bar{p}_{qi,j} \frac{\partial Q_j}{\partial X_i} + \bar{p}_{qv,j} \frac{\partial Q_j}{\partial X_i} - \bar{p}_{vi,j} \frac{\partial V_i}{\partial X_i} + \bar{p}_{vr,j} \frac{\partial P_j}{\partial X_i} + \bar{p}_{tr,j} \frac{\partial T_j}{\partial X_i} = \alpha \frac{\partial M}{\partial X_i} + \beta \frac{\partial N}{\partial X_i}$$

단,  $M$  : 비거래제약

$\lambda$  : 비거래제약

$\alpha$  : 비거래제약과 관련된 잠재가격

$\beta$  : 비거래제약과 관련된 잠재가격

##### 4.2 모션증분비용 분해요소 계산

상태변수  $X$ 와 비거래제약과 관련된 잠재가격  $\alpha$ 가 서로 독립적이면서 식(19)와 식(20)을 만족하는 모션의 주입전력  $(P, Q)$ 의 함수로 암묵적으로 정의하여 모션증분비용을 분해하였다. 라그랑지안 함수 식(16)을 음함수 이론(Implicit

Theory)에 의해 정의된  $(P, Q)$ 의 함수로써 식(21)로 재구성하여 모션증분비용을 구하면 식(22)가 된다.

$$L(X(P, Q), \alpha(P, Q), P, Q) = f(X(P, Q), P, Q) + \alpha(P, Q)M(X(P, Q), P, Q) + \beta N(X(P, Q), P, Q) \quad (21)$$

$$\frac{\partial L(X(P, Q), \alpha(P, Q), P, Q)}{\partial P_i} = \left( \frac{\partial f(X, P, Q)}{\partial P_i} \frac{\partial P_i}{\partial P_i} + \frac{\partial f(X, P, Q)}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial P_i} \right) + \left( \frac{\partial \alpha(P, Q)}{\partial P_i} M(X(P, Q), P, Q) + \alpha(P, Q) \left( \frac{\partial M(X, P, Q)}{\partial P_i} \frac{\partial P_i}{\partial P_i} + \frac{\partial M(X, P, Q)}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial P_i} \right) \right) + \beta \left( \frac{\partial N(X, P, Q)}{\partial P_i} \frac{\partial P_i}{\partial P_i} + \frac{\partial N(X, P, Q)}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial P_i} \right) \quad (22)$$

또한 최적조건 식(19)와 식(20)에 음함수이론을 적용하면 식(23)이 되고 이를 상태변수에 대해 편미분하여 식(22)에서 필요한 주입전력에 대한 상태변수 변화  $\frac{\partial X}{\partial P_i}$ 를 식(24)로부터 구하였다.

$$\frac{\partial f(X(P, Q), P, Q)}{\partial X_i} + U(X(P, Q), \alpha(P, Q), P, Q) = 0 \quad (23)$$

$$M(X(P, Q), P, Q) = 0 \quad (a)$$

$$\frac{\partial^2 f(X, P, Q)}{\partial X_i^2} \frac{\partial X_i}{\partial P_i} + \frac{\partial U(X, \alpha, P, Q)}{\partial \alpha} \frac{\partial \alpha}{\partial P_i} = - \frac{\partial^2 f(X, P, Q)}{\partial X_i \partial P_i} \frac{\partial U(X, \alpha, P, Q)}{\partial P_i} - \frac{\partial M(X, P, Q)}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial P_i} = - \frac{\partial M(X, P, Q)}{\partial P_i} \quad (b) \quad (24)$$

$$\text{단, } \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial X_i^2} + \frac{\partial U}{\partial X} \frac{\partial U}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial M}{\partial X} & 0 \end{bmatrix} \neq 0$$

따라서 식(24)와 식(23), 식(24)에서의 (a), (b)를 식(22)에 적용하면 모션증분비용이 구해지는데 이 모션증분비용은 발전기 출력에 대한 분해요소와 거래제약과 관련된 분해요소로서 식(25)로 구성되어진다. 또한 식(25)는 각 요소의 합으로 구성되어 있으므로 식(26)으로 구해진다.

$$\frac{\partial L(X(P, Q), \alpha(P, Q), P, Q)}{\partial P_i} = \left( \frac{\partial f(X, P, Q)}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial P_i} + \frac{\partial f(X, P, Q)}{\partial P_i} \right) + \beta \left( \frac{\partial N(X, P, Q)}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial P_i} + \frac{\partial N(X, P, Q)}{\partial P_i} \right) \quad (25)$$

$$\pi_i = \sum_j^{ng} \left( \frac{\partial f_j}{\partial X_i} \frac{\partial X_j}{\partial P_i} + \frac{\partial f_j}{\partial P_i} \right) + \sum_n^m \beta_n \left( \frac{\partial N_n}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial P_i} + \frac{\partial N_n}{\partial P_i} \right) \quad (26)$$

단,  $\left( \frac{\partial f_j}{\partial X_i} \frac{\partial X_j}{\partial P_i} + \frac{\partial f_j}{\partial P_i} \right)$ :  $f_j$ 의 발전기 출력에 대한 분해요소

$\beta_n \left( \frac{\partial N_n}{\partial X_i} \frac{\partial X_i}{\partial P_i} + \frac{\partial N_n}{\partial P_i} \right)$ : 거래제약  $N$ 에 대한 분해요소

따라서 각 발전기 출력과 관련된 분해요소와 각 거래제약과 관련된 분해요소로 계산되어지므로 시장참여자가 관심 있는 제약에 대한 각각의 요소를 구할 수 있다.

5. 흐름도

본 연구의 전체 흐름도는 그림 1과 같다. 현재 계통의 조류계산을 통해서 구해진 계통의 상태를 이용하여 상태변수를 부등호제약조건에 대입하여 현재 계통의 상태가 부등호제약조건에 Binding되어있는지를 판별하고 Binding된 경우의 제약조건만을 고려하여 연립방정식을 구성하고 풀어서 잠재가격을 계산하였다. 이와 같이 계산되어진 잠재가격을 이용해 모선증분비용을 계산하고 또한 시장참여자가 관심을 가지는 제약조건이 전체계통의 발전비용에 대하여 미치는 영향을 평가하기 위해서 모선증분비용을 분해하였다.

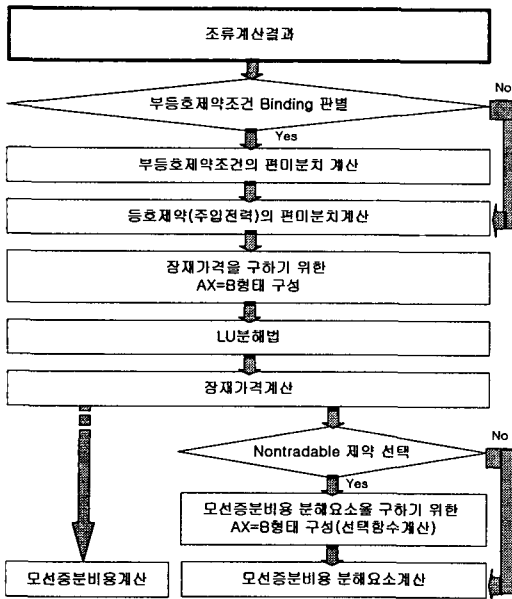


그림 1 제안한 방법의 흐름도  
Fig. 1 Flow Chart of the proposed Method

6. 사례 연구

본 연구에서 제안한 알고리즘을 참고문헌[2]에서 구한 결과와 일치하는지를 검증해보기 위하여 동일한 계통인 IEEE-30모델계통을 본 연구에 적용시켜 사례연구를 수행하였다. IEEE-30모델계통은 부록[2]의 계통과 동일하며 총 부하는 262[Mw], 총 발전설비용량은 390[Mw]이다.

우선 본 연구의 신뢰성을 검증하기 위하여 최적조류계산에서 계산된 잠재가격을 이용하여 참고문헌[2]의 방법으로 모선증분비용을 산정한 결과와 OPF에서 계산된 각 모선의 전압과 위상각을 이용하여 본 연구에서 제안한 모선증분비용을 계산한 결과 동일한 모선증분비용이 구해졌다.

한편, 계통운전상태가 최적의 상태에서 미소하게 변화한 경우 모선증분비용에 어떤 영향을 미치는가를 파악하기 위하여 IEEE-30모델계통의 21번 모선 부하가 17.5[MW]인 경우에 대한 최적조류계산의 결과(Case1)와 21번 모선의 부하가 16.5[Mw]로 단 1[Mw]를 줄인 경우 모선증분비용을 계산한 결과(Case2)가 그림 2와 같으며 이를 명확히 표현하기 위해서 식(27)를 이용하여 Case1을 기준으로 한 경우 각 모선의 모

선증분비용 변화의 %를 보인 결과가 그림 3과 같다.

$$\frac{\text{부하변화후의모선증분비용} - \text{부하변화전의모선증분비용}}{\text{부하변화전모선증분비용}} \times 100 \quad (27)$$

그림 2에서 보는 바와 같이 계통의 운전상태가 최적인 상태에서 다소변화하더라도(본 계통의 경우는 전체부하 262[Mw]에서 전체부하 261[Mw]로 약 0.38%) 모선증분비용은 상당히 변화하고 있는바 계통이 최적인 상태에서 다소 변화하여 운전되고 있는 경우에 대하여 모선증분비용을 산정하는 작업은 매우 중요한 의미를 갖는 것으로 사료된다.

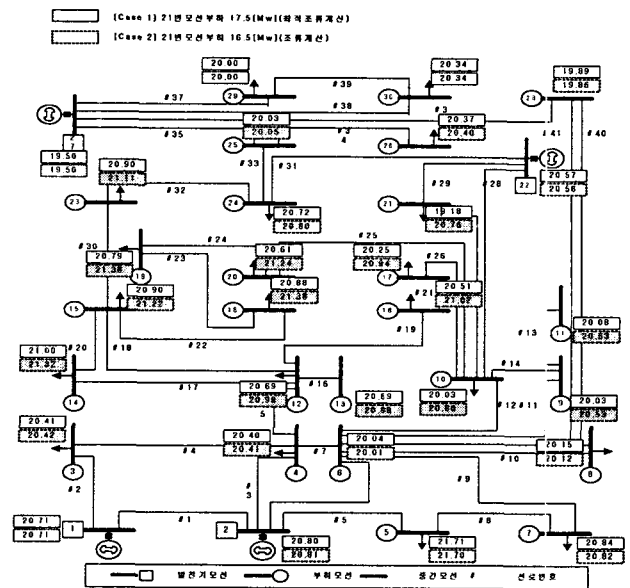


그림 2 모선증분비용 비교  
Fig. 2 Comparison of Bus Incremental Cost

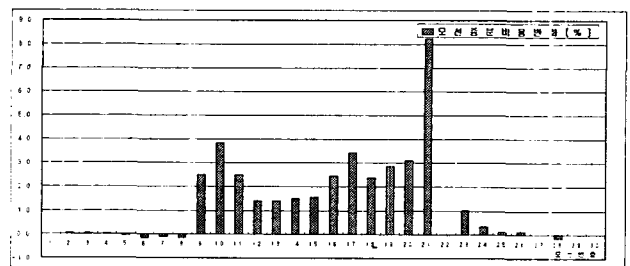


그림 3 모선증분비용 변화 [%]  
Fig. 3 Change Rate of Bus Incremental Cost

다음으로 그림 2의 두 경우에 대해 참고문헌[2]의 방법에 의해 모선증분비용을 분해한 결과가 표 1과 같다.

표 1에서 전술한 바와 같이 미소한 계통운전상태의 변화에 대해서도 거래제약에 대한 분해요소가 달라지고 있음을 알 수 있다. 즉, 21번 모선 부하는 1[MW] 줄인 경우 29번 선로의 혼잡이 없어지게 되어 이에 대한 분해요소가 없음을 알 수 있다.

표 1 모선증분비용 비교

Table 1 Comparison of Bus Incremental Cost

[Case 1] 21번모선부하17.5[Mw]									
번호	발전기출력에 대한 분해요소				Tradable Constraint에 대한 분해요소				모선증분비용
	1번 발전기	2번 발전기	22번 발전기	27번 발전기	22번 모선전압	27번 모선전압	29번 피상조류	2번 발전기 출력제한	
1	11.9537	7.9114	0.7883	0.5277	0.0180	0.0177	-0.0355	0.5269	20.71
2	11.7805	8.0870	0.8276	0.0141	-0.2121	-0.1891	-0.0478	0.5385	20.80
19	3.4767	9.8059	8.4322	0.0136	-0.0903	-0.0964	-0.4059	0.6530	20.79
20	3.3685	8.3213	9.5467	0.4007	-0.0606	-0.0582	-0.4656	0.5541	20.61
21	2.2307	0.9448	19.1930	0.5351	-0.2420	-0.1105	-1.4257	0.0629	19.18
22	2.7794	0.5495	18.0483	0.9466	0.0516	0.0627	0.0905	0.0366	20.57
23	2.4539	7.4913	8.2467	2.3598	-0.0230	-0.0335	-0.0989	0.4989	20.90
29	-0.1795	1.2890	-0.6438	19.5211	-0.0526	-0.0349	0.0175	0.0858	20.00
30	-0.5939	4.2657	-2.1305	18.7498	-0.1741	-0.1156	0.0580	0.2841	20.34

[Case 2] 21번모선부하16.5[Mw]									
번호	발전기출력에 대한 분해요소				Tradable Constraint에 대한 분해요소				모선증분비용
	1번 발전기	2번 발전기	22번 발전기	27번 발전기	22번 모선전압	27번 모선전압	29번 피상조류	2번 발전기 출력제한	
1	1.1311	7.6186	0.6427	0.7392	0.0148	0.0514		0.5103	20.71
2	1.2845	6.9713	2.2523	0.1020	-0.0618	-0.2091		0.4669	20.81
19	2.2352	11.7992	9.3657	-1.3855	-0.0965	-0.3289		0.7903	21.38
20	2.4667	10.1290	10.0271	-0.7576	-0.0682	-0.2321		0.6784	21.24
21	3.7388	0.7770	18.5473	0.5809	0.0149	0.0528		0.0520	20.76
22	2.6382	1.5101	17.7659	0.5307	-0.0004	0.0159		0.1011	20.56
23	1.5497	8.9242	8.9088	1.4012	-0.0640	-0.2082		0.5977	21.11
29	-0.4837	1.3297	-0.1508	19.3247	-0.0285	-0.0779		0.0891	20.00
30	-1.5989	4.3955	-0.4984	18.1025	-0.0942	-0.2575		0.2944	20.34

다음 그림 4는 21번 모선에 대한 분해요소를 나타낸 것이다.

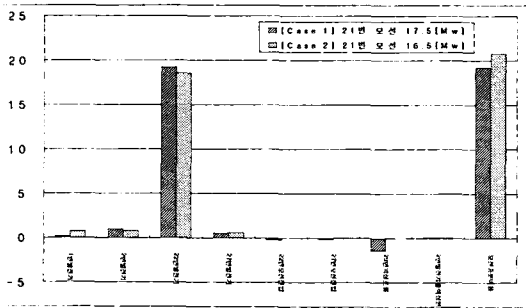


그림 4 21번모선증분비용 비교  
Fig. 4 Comparison of 21 Bus Incremental Cost

그림 4에서 22번 발전기 출력에 대한 요소가 21번모선증분비용에 많은 영향을 주고 있으며 부하 17.5[Mw]였을 때 혼잡에 대한 보상을 받지 못하고 있기 때문에 부하 16.5[Mw]일 때 모선증분비용이 증가하고 있음을 알 수 있다.

7. 결론

본 연구에서 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 계통에 내재하고 있는 여러 가지 형태로 발생할 수 있는 불확실한 요소를 감안할 때 전력계통은 항상 최적상태를 유지하면서 운전될 수 있는 것은 아니므로 이러한 경우에 대하여 현재의 계통운전상태만을 가지고 이로부터

더 직접적으로 모선증분비용을 산정할 수 있는 방법을 제안하였다. 이를 위하여 계통의 모든 합수를 상태변수만으로 표현하였으며 발전기 모선을 제외한 부하모선의 수급 조건만을 포함시키도록 하여 계산의 효율성을 도모하였다.

(2) 시장참여자가 관심 있는 제약에 대한 가격결정을 할 수 있도록 제약을 거래계약과 비거래계약으로 분류하여 모선증분비용을 분해하여 모선증분비용이 다양한 제약조건으로부터 어떠한 영향을 받고 있는지에 대한 정보를 제공하였으며 양질의 전력서비스를 유지하기 위한 다양한 정보를 제공할 수 있는 기반을 마련하였다.

향후 실계통의 실질적인 각종정보를 도출하는 작업이 필요할 것으로 사료된다.

**감사의 글**

“본 연구는 한국과학재단지정 인천대학교 동북아 전자물류연구센터의 지원에 의한 것임”

참고 문헌

- [1] S.R. Lee/S.A. Kim /M.H. Jeong/B. Lee/J.M. Cha, “A Study on the Decomposition of Nodal Price for the Zonal Evaluation of System Loss & Congestion Cost”, 대한전기학회 논문집, 대한전기학회, 2000, 11.
- [2] Luonan Chen, Suzuki, Hideki Wachi, Tsunehisa, Shimura, Yukihiro “Components of Nodal Prices for Electric Power Systems.” IEEE Transactions on Power Systems, Feb2002, Vol. 17 Issue 1, p41, 9p
- [3] Allen J. Wood. “Power Generation Operation, AND Control”
- [4] Baughman, Martin L.; Siddiqi, Shams N, “Advanced pricing in electrical systems Part” IEEE Transactions on Power Systems, Feb97, Vol. 12 Issue 1, p496
- [5] El-Keib, A.A.; Ma, X “Calculating short-run marginal costs of active and reactive power production”IEEE Transactions on Power Systems, May97, Vol. 12 Issue 2, p559, 7p
- [6] Denton, Michael J, Rassenti, Stephen J, Smith, Vernon L. “Spot market mechanism design and competitiveness issues in electric power” Journal of Economic Behavior & Organization, Apr2001, Vol. 44 Issue 4, p435, 19p
- [7] H. Singh, A. Papalexopoulos, “Transmission Congestion Management in Competitive Electricity Markets” IEEE Trans. on Power System, Vol.13, No.2, pp.672-680, May 1998.
- [8] R. S. Fang, A. K. David, “Transmission Congestion Management in an Electricity Markets, ” IEEE Trans. on Power System, Vol.14, No.3, pp.877-883, August 1999.

부 록[1]

라그랑지안 함수의 편도함수에 대한 수식 전개

$$\frac{\partial P}{\partial \theta_i} = \sum_{k=1}^n V_i V_k [-G_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k) + B_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial P}{\partial V_i} = \sum_{k=1}^n V_k [G_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k) + B_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial P}{\partial X_i} = 2V_i [G_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k) + B_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial P}{\partial \theta_i} = V_i V_k [G_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k) - B_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial P}{\partial V_i} = V_i [G_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k) + B_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \theta_i} = \sum_{k=1}^n V_i V_k [G_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k) + B_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial Q}{\partial V_i} = \sum_{k=1}^n V_k [G_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k) - B_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial Q}{\partial X_i} = 2V_i [G_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k) - B_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \theta_i} = V_i V_k [-G_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k) - B_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial Q}{\partial V_i} = V_i [G_{ik} \sin(\theta_i - \theta_k) - B_{ik} \cos(\theta_i - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial T_i}{\partial X_i} = \frac{P_y}{\sqrt{P_y^2 + Q_y^2}} \frac{\partial P_y}{\partial X_i} + \frac{Q_y}{\sqrt{P_y^2 + Q_y^2}} \frac{\partial Q_y}{\partial X_i} - \frac{\partial f(P_y)}{\partial P_y} = 2\alpha_j P_{y_j} + \beta_j$$

$$\frac{\partial P_y}{\partial \theta_j} = [V_i V_j (g_y \sin \theta_j - b_y \cos \theta_j)]$$

$$\frac{\partial P_y}{\partial V_j} = [2g_y V_j - V_j (g_y \cos \theta_j + b_y \sin \theta_j)]$$

$$\frac{\partial P_y}{\partial X_j} = [-V_i V_j (g_y \sin \theta_j - b_y \cos \theta_j)]$$

$$\frac{\partial P_y}{\partial V_j} = [-V_j (g_y \cos \theta_j + b_y \sin \theta_j)]$$

$$\frac{\partial Q_y}{\partial \theta_j} = [-V_i V_j (g_y \cos \theta_j + b_y \sin \theta_j)]$$

$$\frac{\partial Q_y}{\partial V_j} = [-2(b_y + b_{yij}) V_j - V_j (g_y \sin \theta_j - b_y \cos \theta_j)]$$

$$\frac{\partial Q_y}{\partial X_j} = [V_i V_j (g_y \cos \theta_j + b_y \sin \theta_j)]$$

$$\frac{\partial Q_y}{\partial V_j} = [-V_j (g_y \sin \theta_j - b_y \cos \theta_j)]$$

$$\frac{\partial V_i}{\partial \theta_i} = 0$$

$$\frac{\partial V_i}{\partial V_i} = 1$$

$$\frac{\partial V_i}{\partial \theta_j} = 0$$

$$\frac{\partial V_i}{\partial V_j} = 0$$

부 록[2]

본 연구의 사례연구에서 사용된 계통도

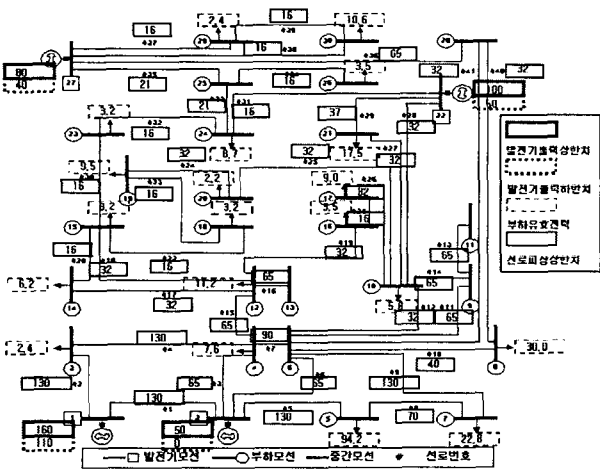
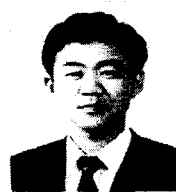


그림 5 IEEE-30 모델계통  
Fig. 5 IEEE-30 Bus System

저 자 소 개



**김용하 (金龍河)**  
1959년 5월 16일생, 1982년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1987년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년~현재 인천대학교 전기공학과 교수.  
Tel : (032) 770-8434, Fax : (032) 766-8434  
E-mail : yhkim@incheon.ac.kr



**이범 (李 範)**  
1959년 10월 28일생, 1981년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1989년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 여수대학교 전기 및 반도체 공학과 부교수  
Tel : (061) 659-3313  
E-mail : buhmlee@yosu.ac.kr



**최상규 (崔祥圭)**  
1960년 12월 22일생, 19년 충북대학교 전기공학과 졸업. 1986년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 안양과학대학 전자통신정보학부 부교수  
Tel : (031) 441-1326  
E-mail : cskm@ianyang.ac.kr



**문혁기 (文赫基)**  
1975년 07월 15일생. 2000년 시립인천대학교 전기공학과 졸업. 2000년~2003년 동 대학원 석사과정졸업. 2003~현재 비츠로시스 근무  
Tel:(032)882-4746  
E-mail : moon4746@hanmail.net



**이재걸 (李宰杰)**  
1976년 08월 19일생. 2001년 시립인천대학교 전기공학과 졸업. 2001년~현재 동 대학원 재학  
Tel : (032)882-4746  
E-mail : jaelry@hanmail.net