母線 電力方程式을 制約條件으로 하는 經濟的 發電力 연산방법

論 文
51A-8-5

Economic Generation Allocation with Power Equation Constraints

嚴 載 鄯* · 金 建 中** · 李 尙 中*** · 崔 章 欽§
(Jae-Sun Eom · Kern-Joong Kim · Sang-Joong Lee · Jang-Heum Choi)

Abstract - The ELD computation has been based upon the so-called B-coefficient which uses a quadratic approximation of system loss as a function of generation output. Direct derivation of system loss sensitivity based on the Jacobian-based method was developed in early 1970s', which could eliminate the dependence upon the approximate loss formula. However, both the B-coefficient and the Jacobian-based method require a complicated procedure for calculating the system loss sensitivity included in the constraints of the optimization problem. In this paper, an ELD formulation in which only the bus power equations are defined as the constraints has been introduced. Derivation of the partial derivatives of the system loss with respect to the generator output and calculation of the penalty factors for individual generators are not required anymore in proposed method. A comprehensive solution procedure including calculation of the Jacobians and Hessians of the formulation has been presented in detail. Proposed ELD formulation has been tested on a sample system and the simulation indicated a satisfactory result.

Key Words : Economic Load Dispatch(ELD), Transmission Loss, Power Equations, Constraints

1. 서 론

연료비를 최소화하기 위하여 최적 발전력 분담을 연산하는 기존의 경제급전(ELD) 문제에서는 송전손실감도와 발전기 페널티 계수를 구하는 일이 연산의 중요한 과정이다. 발전출력에 대한 손실감도를 계산하는 통상적인 방법으로서 B 계수법이 있다. B 계수는 Kron의 power-invariant transformation을 이용하여 기준 운전점의 송전손실을 발전출력의 2차함수로 표시하고 근사적인 손실방정식을 유도하는 방법이다. B계수법은 일단 B 계수가 결정되면 페널티 계수가 매우 간단히 구해지는 장점이 있으나 고정된 하나의 운전점을 기준으로 계산된 페널티 계수가 운전조건이나 계통구성이 달라질 경우 오차가 발생하는 단점이 있다.[1,2,3] 1974년 Happ은 chain rule을 적용하여 Jacobian 행렬에 근거한 손실감도 유도방법을 소개하였다.[3,4] 이후 Wood, Wollenberg등에 의하여 Jacobian 행렬을 이용한 페널티 계수의 계산법과 새로운 ELD 연산기법이 발표되었다.[5,6]

* 正 會 員 : 忠南大學校 電氣工學科 · 工博
** 正 會 員 : 忠南大學校 電氣工學科 敎授 · 工博
*** 正 會 員 : 서울産業大學校 電氣工學科 助敎授 · 工博
§ 準 會 員 : 忠南大學校 電氣工學科 博士課程
接受日字 : 2001年 1月 14日
最終完了 : 2002年 5月 6日

Jacobian 행렬에 근거한 방법은 페널티 계수가 계통망의 현재 상태를 반영하는 최적해를 구할 수 있다는 점에서 B 계수에 비하여 우수하다고 볼 수 있다. 그러나 Jacobian 행렬에 근거한 페널티 계수 산출기법 또한 발전모선에 대한 송전손실의 복잡한 편미분 계산을 필요로 함에 따라 classical coordination equation 이 아닌 변형된 formulation 상에서 ELD 연산이 수행되는 문제가 있다. 이상과 같은 기존의 방법들은 공통적으로 ELD 연산과정에 있어 송전손실을 발전기 유효전력의 함수로 정식화하는데 많은 어려움을 겪어왔다.

본 논문에서는 모선 전력방정식 만을 제약조건으로 가지는 ELD 연산방법을 소개한다. 기존의 ELD 방법들이 복잡한 손실방정식이나 페널티 계수를 구하는데 주안점을 둔 것과는 달리 제약조건으로부터 송전손실 항을 근원적으로 배제시킴으로써 손실방정식 및 페널티 계수 계산에 따른 복잡한 문제를 해소하였다, 본 논문에서 제시한 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해 모형계통을 대상으로 시뮬레이션을 수행하고 기존의 방법들과 ELD 수행 결과를 비교하였다.

2. 기존의 경제급전 조건식과 페널티 계수 유도방법

식 (1) 및 (2)는 등증분 연료비 원리에 근거한 계통손실을 고려한 기존의 ELD 조건식이다.[1]

$$\frac{dF_i}{dP_{Gi}}(PF_i) = \lambda \tag{1}$$

$$PF_i = 1/(1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{Gi}}) \tag{2}$$

단, F_i 는 i 번째 발전기 출력 P_{Gi} 의 함수로 표시된 연료비, P_{loss} 는 계통손실, PF_i 는 i 번째 발전기의 페널티 계수를 나타낸다. 발전기 모선의 손실감도로부터 페널티 계수를 구하는 대표적인 기존의 방법에 대하여 설명한다.

2.1 B 계수에 의한 방법

B 계수 방법은 부하전류를 발전기 전류로 표현하고 이를 다시 발전기 유효전력의 함수로 변환하여 발전기 출력에 대한 계통손실감도를 구하는 방법이다. 그림 1과 같은 두 개의 발전기 1,2와 부하모선 3,4로 구성된 4 모선 모형계통을 가정한다.[2]

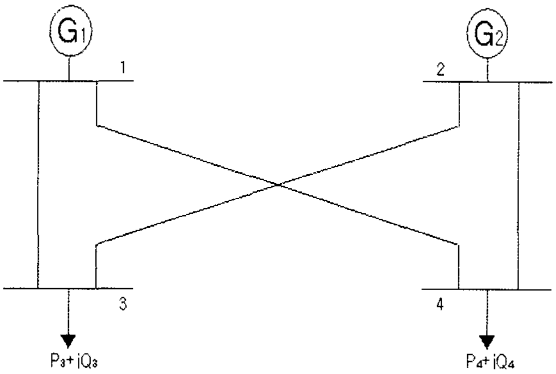


그림 1 4 모선 계통
Fig. 1 Single line diagram of 4 bus system

모선전류를 각각 I_1, I_2, I_3 및 I_4 라 하고 모선의 부하 분담률이 일정하다고 가정하면 변환행렬 C를 정의하여 아래와 같이 각 모선전류를 발전기 전류로 표시할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_n^0 \end{bmatrix} \tag{3}$$

단, I_n^0 는 정전류(no-load current) 이다. 여기서 계통의 유효전력 손실은

$$P_L = [I_1\ I_2\ I_n^0]\,[C^T R_{bus} C^*] \begin{bmatrix} I_1^* \\ I_2^* \\ I_n^{0*} \end{bmatrix} \tag{4}$$

가 되고 발전기의 역률이 일정하다고 가정하면

$$P_L = \begin{bmatrix} P_{G1} \\ P_{G2} \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \alpha_2 & \cdot \\ \cdot & \cdot & I_n^0 \end{bmatrix} [C^T R_{bus} C^*] \begin{bmatrix} \alpha_1^* & \cdot & \cdot \\ \cdot & \alpha_2^* & \cdot \\ \cdot & \cdot & I_n^{0*} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{G1} \\ P_{G2} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= P_G^T B P_G + P_G^T B_0 + B_{00} \tag{5}$$

로서 발전기 출력 P_{G1}, P_{G2} 의 함수와 B 계수로 표시되는 손실방정식을 얻게 된다. 단, R_{bus} 는 임피던스 행렬 Z_{bus}의 실수부, α는 상수이다.

2.2 기준발전기 β_i 계수를 이용하는 방법

부하의 변동이 없는 다수의 발전기로 구성된 계통에서, i 발전기의 출력 P_i 가 $\triangle P_i$ 만큼 증가할 때 기준발전기 출력이 $\triangle P_{ref}$ 만큼 변한다고 한다. 전력수급의 평형을 위해 기준발전기의 출력변화 $\triangle P_{ref}$ 는 선로손실의 변화 $\triangle P_{loss}$와 $-\triangle P_i$의 합이 되어야 한다. 즉,

$$\triangle P_{ref} = -\triangle P_i + \triangle P_{loss} \tag{6}$$

β_i 를 $-\triangle P_{ref}$ 와 $\triangle P_i$ 의 비로 정의하면

$$\beta_i = \frac{-\Delta P_{ref}}{\triangle P_i} = \frac{\triangle P_i - \triangle P_{loss}}{\triangle P_i} = 1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_i} \tag{7}$$

기준발전기의 연료비 함수를 $F_{ref}(P_{ref})$ 및 $F_i(P_i)$ 라 하면

$$\frac{1}{\beta_i}\frac{dF_i(P_i)}{dP_i} = \frac{dF_{ref}(P_{ref})}{dP_{ref}} \tag{8}$$

의 조건에서 경제급전 상태가 된다. 식 (8)은 경제급전 일반식 (1)과 매우 유사하며 $1/\beta_i$ 은 페널티 계수의 형태를 취하고 있음을 알 수 있다. β_i 계수는 기준모선을 1번으로 할 경우 아래의 식으로부터 유도된다.[5]

$$\begin{bmatrix} \partial P_{ref}/\partial P_2 \\ \partial P_{ref}/\partial P_3 \\ \vdots \\ \partial P_{ref}/\partial Q_2 \\ \partial P_{ref}/\partial Q_3 \\ \vdots \end{bmatrix} = [J^T]^{-1} \begin{bmatrix} \partial P_{ref}/\partial \theta_2 \\ \partial P_{ref}/\partial \theta_3 \\ \vdots \\ \partial P_{ref}/\partial V_2 \\ \partial P_{ref}/\partial V_3 \\ \vdots \end{bmatrix} \tag{9}$$

기준발전기 β_i 계수를 이용하는 기존의 ELD 연산방법은 최적해를 구할 수 있는 훌륭한 방법이다. 그러나 식 (8),(9)에서 나타난 바와 같이 수식이 기준 발전기모선에 종속되어 있고, β_i 계수를 구하기 위하여 식 (9)의 다소 생소한 연산이 추가로 필요하며, 손실감도를 대입하여 페널티 계수를 구하는 것이 아니라 β_i 계수로 직접 페널티 계수를 구하여 식(8)과 같은 변형된 경제급전 조건식에 의하여 최적해를 연산하는 다소 변칙적인 기법이라 볼 수 있다.

3. 母線 電力方程式을 制約條件으로 하는 ELD 연산

기존의 ELD 연산 방법들은 발전량, 부하 및 계통손실의 합이 零이 된다는 전력 수급방정식을 제약조건으로 하고 있다. 그런데 계통손실은 임의적으로 설정될 수 없으며 전모선의 전력방정식을 풀어야만 정확한 계산이 가능하다. 기존 연구로서 B-계수법은 전력수급방정식을 만족시키는 조류계산, 손실방정식의 유도 및 최적화에 의한 발전력 분배계산을 따로 따로 만족시키는 방법이며 연산이 간단한 장점이 있는 반면 ELD 연산결과가 조류계산과 일치하지 않는 단점이 있다. 기준발전기 β_i 계수를 이용하여 직접 페널티 계수를 구하는 기존의 방법은 경제급전 연산결과가 조류계산과 일치하는 장점을 가지고 있는 반면 이 또한 손실감도 β_i 계수를 구하기 위한 복잡한 연산과정이 추가로 필요하게 된다. 본 논문에서는 모선의 전력방정식만을 제약조건으로 채택하는 발전 연료비 최소화 문제를 정의하였다.[7,8,9] 즉,

$$\text{Min } F=\sum_{i=1}^{m}F_i(P_{Gi})=\sum_{i=1}^{m}(a_i+b_iP_{Gi}+c_iP_{Gi}^2)$$

$$\text{subject to } \mathbf{H_P}=\mathbf{P_B}-\mathbf{P_G}+\mathbf{P_D}=0 \qquad (10)$$

$$\mathbf{H_Q}=\mathbf{Q_B}-\mathbf{Q_G}+\mathbf{Q_D}=0$$

$\mathbf{P_B}$-$\mathbf{Q_B}$, $\mathbf{P_G}$-$\mathbf{Q_G}$ 및 $\mathbf{P_D}$-$\mathbf{Q_D}$ 는 모선의 유무효전력, 발전량 및 부하량 벡터, $\mathbf{H_P}$ 및 $\mathbf{H_Q}$는 이 세가지 양을 유효분 및 무효분 끼리 각각 합한 벡터이다. 발전연료비는 2차함수로 정의하였다. 식 (10)에 대한 Lagrangian dual function L을 정의하면

$$\begin{aligned} L &= \sum_{i=1}^{m}(a_i+b_iP_{Gi}+c_iP_{Gi}^2) \\ &+\sum_{i=1}^{n}\lambda_{Pi}\cdot(P_{Bi}-P_{Gi}+P_{Di}) \\ &+\sum_{i=1}^{n}\lambda_{Qi}\cdot(Q_{Bi}-Q_{Gi}+Q_{Di}) \end{aligned} \qquad (11)$$

가 된다. 따라서 L을 구성하는 변수는

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= [\ \boldsymbol{\theta}\ \ \mathbf{V}\ \ \boldsymbol{\lambda_P}\ \ \boldsymbol{\lambda_Q}\ \ \mathbf{P_G}\ \ \mathbf{Q_G}\ ] \\ &= [\ \theta_1,\theta_2,\cdots,\theta_n,\quad V_1,V_2,\cdots,V_n,\quad \lambda_{P1},\lambda_{P2},\cdots,\lambda_{Pn}, \\ &\quad \lambda_{Q1},\lambda_{Q2},\cdots,\lambda_{Qn},P_{G1},P_{G2},\cdots,P_{Gm},Q_{G1},Q_{G2},\cdots,Q_{Gm}\ ] \end{aligned} \qquad (12)$$

가 된다. L을 각각의 변수로 편미분하면 L을 최소화하기 위해 필요한 다음과 같은 최적 조건식(optimality condition)을 얻게 된다.

$$\mathbf{L}_\theta=\frac{\partial \mathbf{L}}{\partial \theta}=\frac{\partial \mathbf{H_P}}{\partial \theta}\cdot\lambda_\mathbf{P}+\frac{\partial \mathbf{H_Q}}{\partial \theta}\cdot\lambda_\mathbf{Q} = 0 \qquad (13\text{-}1)$$

$$\mathbf{L_V}=\frac{\partial \mathbf{L}}{\partial \mathbf{V}}=\frac{\partial \mathbf{H_P}}{\partial \mathbf{V}}\cdot\lambda_\mathbf{P}+\frac{\partial \mathbf{H_Q}}{\partial \mathbf{V}}\cdot\lambda_\mathbf{Q} = 0 \qquad (13\text{-}2)$$

$$L_{\lambda_P}=\frac{\partial L}{\partial \lambda_P}=P_B-P_G+P_D = 0 \qquad (13\text{-}3)$$

$$L_{\lambda_Q}=\frac{\partial L}{\partial \lambda_Q}=Q_B-Q_G+Q_D = 0 \qquad (13\text{-}4)$$

$$L_{P_G}=\frac{\partial L}{\partial P_G}=-\lambda_P+b+2c\cdot P_G = 0 \qquad (13\text{-}5)$$

$$L_{Q_G}=\frac{\partial L}{\partial Q_G}=-\lambda_Q = 0 \qquad (13\text{-}6)$$

(13)에서 주어진 최적조건 연립방정식에 대해 Newton-Raphson 법을 적용하여 행렬식으로 표현하면

$$\begin{bmatrix} \Delta L_\theta \\ \Delta L_V \\ \Delta L_{\lambda_P} \\ \Delta L_{\lambda_Q} \\ \Delta L_P \\ \Delta L_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial L_\theta}{\partial \theta} & \frac{\partial L_\theta}{\partial V} & \frac{\partial L_\theta}{\partial \lambda_P} & \frac{\partial L_\theta}{\partial \lambda_Q} & \frac{\partial L_\theta}{\partial P} & \frac{\partial L_\theta}{\partial Q} \\ \frac{\partial L_V}{\partial \theta} & \frac{\partial L_V}{\partial V} & \frac{\partial L_V}{\partial \lambda_P} & \frac{\partial L_V}{\partial \lambda_Q} & \frac{\partial L_V}{\partial P} & \frac{\partial L_V}{\partial Q} \\ \frac{\partial L_{\lambda_P}}{\partial \theta} & \frac{\partial L_{\lambda_P}}{\partial V} & \frac{\partial L_{\lambda_P}}{\partial \lambda_P} & \frac{\partial L_{\lambda_P}}{\partial \lambda_Q} & \frac{\partial L_{\lambda_P}}{\partial P} & \frac{\partial L_{\lambda_P}}{\partial Q} \\ \frac{\partial L_{\lambda_Q}}{\partial \theta} & \frac{\partial L_{\lambda_Q}}{\partial V} & \frac{\partial L_{\lambda_Q}}{\partial \lambda_P} & \frac{\partial L_{\lambda_Q}}{\partial \lambda_Q} & \frac{\partial L_{\lambda_Q}}{\partial P} & \frac{\partial L_{\lambda_Q}}{\partial Q} \\ \frac{\partial L_P}{\partial \theta} & \frac{\partial L_P}{\partial V} & \frac{\partial L_P}{\partial \lambda_P} & \frac{\partial L_P}{\partial \lambda_Q} & \frac{\partial L_P}{\partial P} & \frac{\partial L_P}{\partial Q} \\ \frac{\partial L_Q}{\partial \theta} & \frac{\partial L_Q}{\partial V} & \frac{\partial L_Q}{\partial \lambda_P} & \frac{\partial L_Q}{\partial \lambda_Q} & \frac{\partial L_Q}{\partial P} & \frac{\partial L_Q}{\partial Q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta V \\ \Delta\lambda_P \\ \Delta\lambda_Q \\ \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \qquad (14)$$

위의 행렬은 많은 요소가 0인 sparse 행렬로써 0인 요소를 정리하여 다시 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \Delta L_\theta \\ \Delta L_V \\ \Delta L_{\lambda_P} \\ \Delta L_{\lambda_Q} \\ \Delta L_P \\ \Delta L_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial L_\theta}{\partial \theta} & \frac{\partial L_\theta}{\partial V} & \frac{\partial L_\theta}{\partial \lambda_P} & \frac{\partial L_\theta}{\partial \lambda_Q} & 0 & 0 \\ \frac{\partial L_V}{\partial \theta} & \frac{\partial L_V}{\partial V} & \frac{\partial L_V}{\partial \lambda_P} & \frac{\partial L_V}{\partial \lambda_Q} & 0 & 0 \\ \frac{\partial L_{\lambda_P}}{\partial \theta} & \frac{\partial L_{\lambda_P}}{\partial V} & 0 & 0 & \frac{\partial L_{\lambda_P}}{\partial P} & 0 \\ \frac{\partial L_{\lambda_Q}}{\partial \theta} & \frac{\partial L_{\lambda_Q}}{\partial V} & 0 & 0 & 0 & \frac{\partial L_{\lambda_Q}}{\partial Q} \\ 0 & 0 & \frac{\partial L_P}{\partial \lambda_P} & 0 & \frac{\partial L_P}{\partial P} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial L_Q}{\partial \lambda_Q} & 0 & \frac{\partial L_Q}{\partial Q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta V \\ \Delta\lambda_P \\ \Delta\lambda_Q \\ \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \qquad (15)$$

(15) 로부터 각 모선의 위상각, 전압 및 각 발전기의 유무효전력 배분 등을 구할 수 있으며 결국 주어진 계통 최적화 문제의 해를 구하게 된다. 본 논문에서 새로 제시한 ELD 연산방법은 전모선의 전력방정식을 제약조건으로 가짐으로 인해서 기존의 방법에 비해 해의 수렴성 보장이나 계산 속도면에서 상당히 불리한 것처럼 보일 수도 있다. 하지만 기존의 ELD 연산 또한 계통손실을 고려하기 위하여 B-계수를 계산하거나 각 발전기의 β_i계수를 구하는 과정에서 전모선의 전력방정식을 만족시키기 위한 조류계산을 수행해야 하는 것은 마찬가지다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방법은 계통손실과 손실감도를 연산하는 과정이 없으므로 이점에 있어서 기존의 방법에 비하여 연산측면에서 유리하다고 볼 수 있다.

4. 사례연구

그림 1의 계통에 대하여 모선 1을 슬랙 모선으로 선정하고 V_1=1.0 및 θ_1=0 로 지정하여 초기조류계산을 수행하였다. 선로정수는 표 1에, 각 모선에 주어진 유무효전력 및 전압지정치(*이탤릭체*)와 PSSE-24를 이용한 초기조류계산 결과를 표 2에 도시하였다. [2]

표 1 4 모선 계통의 선로정수
Table 1 Line and bus data (pu) of 4 bus system

from	to	R	X	Shunt Y
1001	1004	.00744	.0372	0.0775
1001	1003	.01008	.0504	0.1025
1002	1003	.00744	.0372	0.0775
1002	1004	.01272	.0636	0.1275

표 2 초기조류계산 결과
Table 2 base case power-flow solution

bus	P(p.u.)	Q(p.u.)	V(p.u.)	angle(rad)
1001	1.913152	1.87224	***1.0***	***0***
1002	***3.18***	1.32543	***1.0***	.0426
1003	***-2.20***	***-1.3634***	.96051	-.0188
1004	***-2.80***	***-1.7352***	.94304	-.0458

P_{G1} 및 P_{G2}의 비용함수 $F_i(P_{Gi})$는 아래와 같이 가정하였다.

$$F_1(P_{G1}) = .0040\,P_{G1}^{\,2} + 8.0\,P_{G1} + 240$$
$$F_2(P_{G2}) = .0048\,P_{G2}^{\,2} + 6.4\,P_{G2} + 120 \tag{16}$$

base case에서 주어진 B 계수는 아래와 같다.

$$B = \begin{bmatrix} 8.3831 & -.0494 & .3750 \\ -.0494 & 5.9635 & .1949 \\ .3750 & .1949 & .0901 \end{bmatrix} \times 10^{-3} \tag{17}$$

그림 2와 3은 본 논문에서 제안한 방법에 의한 프로그램 수행결과이다. 기존의 B 계수법 및 기준발전기 β_i계수를 이용하는 방법과, 본 논문에서 제시된 알고리즘에 의한 ELD 연산결과를 표 3에 비교하였다. 표 3에 나타난 바와 같이 본 논문에서 제시된 방법은 B 계수법보다 우수한 연산결과를 보이고 있으며 발전모선의 전압조건이 동일할 경우 기존의 기준발전기 β_i계수를 이용하는 방법과 동일한 최적해를 가짐을 알 수 있다.

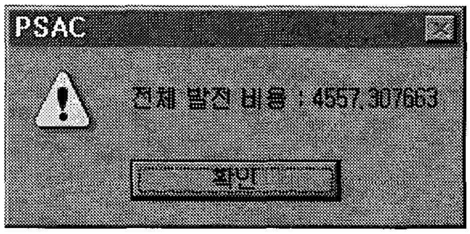


그림 2 ELD 연산결과 4모선 시스템의 총연료비
Fig. 2 Total fuel cost of four-bus system

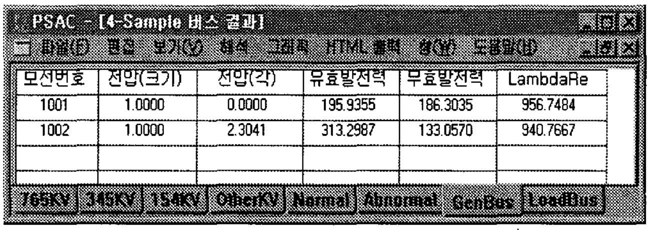


그림 3 ELD 연산결과 4모선 시스템의 발전력 배분 결과
Fig. 3 Economic generation allocation of four-bus system

표 3 기존방법과 새로 제시된 방법의 ELD 연산결과비교
Table 3 Comparison of ELD results by proposed method with by traditional methods

	Existing B method	Existing Jacobi-method	proposed method
total cost($/hour)	4557.51	4557.31	**4557.31**
P_{G1} (MW)	190.2204	195.9367	**195.9367**
P_{G2} (MW)	319.1015	313.2978	**313.2978**
Transmission loss(MW)	9.32192	9.23449	**9.23449**

5. 결 론

기존의 ELD 연산방법들이 공통적으로 복잡한 손실방정식이나 페널티 계수를 구하는데 주안점을 둔 것과는 달리 본 논문에서는 송전손실항을 제약조건으로 부터 근원적으로 배제시키고 모선전력방정식만을 제약조건에 포함시킴으로써 손실방정식, 손실감도 및 페널티 계수의 유도에 따른 복잡한 과정을 해소하였다. 본 논문의 주요내용은 다음과 같다.

- 모선전력방정식만을 제약조건으로 하는 ELD 연산 formulation을 소개하였고

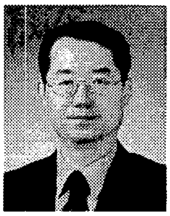
- 최적조건식을 통해 얻어진 비선형 연립방정식을 Newton-Raphson 법을 이용하여 최적 발전력 분담해를 구하였다.
- 본 논문에서 제시한 알고리즘의 타당성을 입증하기 위해 sample 계통을 대상으로 기존의 방법들과 ELD 수행 결과를 비교한 결과,
- 새로 제시된 방법은 기존의 B 계수법보다 연산결과가 우수하며 발전모선의 전압조건이 동일할 경우 기준발전기 β_i계수를 이용하는 방법과 동일한 최적해를 가지게 됨을 알 수 있었다.

향후 기존 ELD 계산방법들과 연산상의 장단점을 보다 면밀히 검토하고 모선전압과 선로조류 한계 및 계통안전성 제약조건 등을 본 논문의 앨고리즘에 확장 적용하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] H.H.Happ, Optimal Power Dispatch-A Comprehensive Survey, IEEE Transaction on PAS, vol.96, No.3, 1977, pp 841-854
[2] John J. Grainger, William D. Stevenson, Jr., "Power System Analysis , Mcgraw Hill Inc., 1994. pp 548-560,
[3] H.H.Happ, Optimal Power Dispatch , IEEE Transaction on PAS, vol.93, No.3, 1974, pp 820-830
[4] H.H.Happ, Piecewise Methods and Applications to Power Systems , John Wiley & Sons, Inc., 1980, pp 293-297
[5] A. J. Wood, B.F. Wollenberg, "Power Generation, Operation and Control", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994. pp120-123
[6] F.L.Alvarado, Penalty Factors from Newton's Method IEEE Transaction on Power Apparatus and System, vol.PAS-97, Nov/Dec 1978, pp 2031-2037
[7] 김원겸, 김용배, 김건중, 이상중, 정태호, "전력계통 유효전력 손실감도에 근거한 새로운 전압붕괴 근접도 지표", 전기학회 논문지 42-10-4 1993.10월호, p 29-36
[8] 전동훈, 추진부, 김건중, 이병일, "최적화 조류계산법을 이용한 전압안정도 해석" 전기학회 논문지 50권 7호, 2001. 7월호, p 340-347
[9] 전동훈, 김건중, 최장흠, 엄재선, 허형, 이병일, "최적화 기법을 이용한 새로운 조류계산 알고리즘", 전기학회 논문지 49권 11호, 2000. 11월호, p 542-548

저 자 소 개



엄 재 선 (嚴 載 鄯)
1963년 9월 9일생. 1986년 충남대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박).
Tel : 042-821-7609
E-mail : minmax99@hanafos.com

김 건 중 (金 建 中)
1953년 2월 12일생. 1975년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년 동대학원 전기공학과 졸업(공박). 1977년 해군제2사관학교 교수. 현 충남대학교 전기공학과 교수
Tel : 042-821-5659, FAX : 042-823-7970
E-mail : kjkim@ee.cnu.ac.kr

이 상 중 (李 尙 中)
1955년생. 1976년 한전입사, 1995 전력연구원 책임연구원, 1996 한전보령화력본부 부장, 부산공업고등전문학교, 성균관대학교 전기과 졸, 1995년 충남대학교 전기공학과 대학원(工博), 현재 서울산업대학교 전기공학과 조교수
E-mail : sjlee@snut.ac.kr

최 장 흠 (崔 章 欽)
1972년 5월 26일생. 1997년 충남대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.
Tel : 042-821-7609 FAX : 042-823-7970
E-mail : mu-sic@ee.cnu.ac.kr