

분산 송전손실정보에 의한 전력시스템의 경제운용

A Power System Economic Operation using Bus Distributed Transmission Loss Information

李 鳳 容* · 沈 建 輔**
(Bong-Yong Lee · Koen-Bo Shim)

요 약

선로에서 발생하는 송전손실정보는 그 선로에 연결되는 양단의 모선에 배분될 수 있고, 그 결과 전 시스템의 송전손실은 마치 모선에서 발생하는 것처럼 간주될 수 있다. 이렇게 해서 모선송전손실정보가 정의될 수 있다. 전력시스템 경제운용의 요체는 유효전력과 무효전력(전압)의 제어에 있으며, 이 때 송전손실의 처리에 따라서 계산의 효율성과 결과의 정확성이 좌우된다. 분산된 모선송전손실정보를 이용하면 경제운용의 효율성과 목적이 크게 증진될 수 있다. 세 개의 표본시스템에 대하여 사례연구를 수행하였으며, 시스템의 규모에 관계없이 어느 시스템이나 불과 3회의 반복회수에 경제운용의 목표가 달성되었다. 만일 실시스템에 본 방법을 적용하는 경우, 경제운용의 목표는 단 1회에 달성할 것으로 예상된다. 본 연구의 결과는 최적전력조류계산의 결과와도 비교되었다.

Abstract- The transmission loss information produced in a line may be shared by both end buses connected to the line. Then, the loss may be seen as if it is discretely produced at both buses. Likewise, all transmission losses can be considered as if they are discretely produced at every bus distributed. The bus transmission loss equation can be defined, in which the loss information about connected lines are contained. This formulation can greatly enhance the computational efficiency for the economic control of both real powers and voltages. It requires solutions of two linear matrix equations, one for the calculation of incremental transmission losses and the other for the determination of voltage levels to be controlled.

The proposed approach is demonstrated through three sample systems and it is found that the solutions can be obtained after three iterations regardless of system sizes. This implies that only one-step search would be required for the solution if real informations would be available. Results are compared with those of optimal power flows.

1. 서 론

전력시스템의 등증분연료비법에 의한 경제운용은 50년 이상의 역사를 갖고 있으며, 이 방법은

*正 會 員 : 弘益大 工大 電氣制御工學科 教授 · 工博

**正 會 員 : 弘益大 工大 電氣制御工學科 講師

接受日字: 1989年 10月 11日

1次修正: 1990年 2月 13日

아직도 가장 효율적인 방법이다[1]. 송전손실을 고려한 경제운용이, 이어서 널리 사용되었고 [2~3], 극히 최근에 이르기까지 전력회사의 주요한 운용수단이 되어 왔다. 이 때 송전손실계수의 결정이 중요하며, 근사적이거나 정확한 계수들이 사용된다[4~6]. 고전적 경제운용의 결점은 유효전력만을 대상으로 하기때문에 진정한 경제운용의 목표를 달성할 수 없다는 것이며, 따라서 별도의 무효전력 또는 전압제어가 필요하게 된다. 이 분야에 대한 연구 역시 계속적인 관심사가 되고 있다[7~10].

최적전력조류계산의 출현[11]은 전력시스템 경제운용의 새로운 장을 개척하였는 바, 그 후 선형 및 비선형계획법을 포함하는 여러 최적화 기법이 성공적으로 적용되어 왔다. [12~17]. 최적전력조류계산은 유효전력 및 무효전력(또는 전압)을 동시에 제어함으로써, 경제운용의 목표를 달성하도록 하여준다. 그러나 최적화의 달성에 이르는 반복과정이 불가피하다는 이유때문인지 아직까지 산업체에서 제한적으로만 응용되고 있는 것으로 보인다.

본 논문은 화력 전력시스템의 경제운용에서, 송전손실을 모선에 분산화시킴으로써 보다 효율성을 증진시킬 수 있다는 것을 보인 것이다. 송전손실은 본래 전시스템의 모선전압의 크기나 위상각과 같은 시스템의 상태정보를 포함하고 있으므로, 경제운용의 유용한 대상 또는 매개체로서 작용한다.

본 논문에서 제시하는 경제운용은 유효전력제어와 전압제어를 위한 두 개의 선형 행렬방정식을 풀으므로써 달성될 수 있다.

25모선, 51모선 및 188모선의 세 개 표본시스템에 대하여 제안된 방법의 특성이 검토되었으며, 종래의 최적전력조류계산의 결과와 비교하였다. 사례 연구의 결과는 어느 시스템이나 반복회수가 불과 3회로서 경제운용의 목표가 달성됨을 보였는데, 만일 실제통에 적용된다면(실계통의 정보가 입수된다면) 단1회의 계산으로서 목표가 달성될 수 있을 것으로 예상되어, 특히 실시간 적용에 적합할 것으로 보인다.

2. 경제운용의 목적함수

경제운용의 목표는 전시스템 연료비의 최소화이며, 그 정식화는 다음과 같이 익히 잘 알려진 것이다.

$$\min F_T = \sum_{k \in K} f_k(P_{Gk}) \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{k \in K} P_{Gk} = P_D + P_L \quad (2)$$

$$P_{Gi} = P_{Di} + \sum_{j=1}^n V_i V_j [G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}] \quad (3)$$

$$Q_{Gi} = Q_{Di} + \sum_{j=1}^n V_i V_j [G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}] \quad (4)$$

$$\underline{P}_{Gk} \leq P_{Gk} \leq \bar{P}_{Gk} \quad (5a)$$

$$\underline{Q}_{Gm} \leq Q_{Gm} \leq \bar{Q}_{Gm} \quad (5b)$$

$$\underline{V}_m \leq V_m \leq \bar{V}_m \quad (5c)$$

여기서,

$$f_k(P_{Gk}) = a_k + b_k P_{Gk} + C_k P_{Gk}^2 : k\text{발전소의 연료비} \quad (6)$$

P_{Gi} : i 모선의 발전 유효전력

$P_D = \sum_{i=1}^n P_{Di}$: 시스템 수요

n : 시스템의 모선수

K : 발전소 집합

M : 전압제어모선 집합

$\bar{P}_{Gk}, \underline{P}_{Gk}$: P_{Gk} 의 상하한

Q_{Gm} : m 의 모선의 발전 무효전력

$\bar{Q}_{Gm}, \underline{Q}_{Gm}$: Q_{Gm} 의 상하한

V_m : m 모선의 전압

$\bar{V}_m, \underline{V}_m$: V_m 의 상하한

δ_{ij} : 모선 $i-j$ 간의 전압 위상각 차

G_{ij} : 모선 $i-j$ 간의 어드미턴스 유효분

B_{ij} : 모선 $i-j$ 간의 어드미턴스 무효분

P_L : 송전손실

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$k \in K$$

$$m \in M$$

등호제약조건 식(2)만을 사용해서

$$L = F_T - \lambda \left(\sum_{k \in K} R_{Gk} - (P_D - P_L) \right) \quad (7)$$

여기서,

λ : 라그랑제 미정계수

인 확장된 목적함수가 정의될 수 있고, 식(7)이 제어변수에 대하여 최소화되어야 한다. 제어변수는 유효전력 P_{Gk} , 전압의 크기 V_m 및 변압기의 탭이 된다. 다만 본 논문에서는 변압기의 탭은 일정하다고 보았다.

3. 모선 송전손실정보

식(7)이 제어변수에 대하여 최소화될 수 있으면, 먼저 송전손실이 그러한 제어변수의 함수로 표현될 수 있어야 한다.

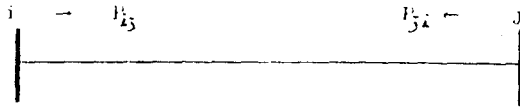


그림 1 모선 i-j사이의 유효전력 조류
Fig. 1 Real Power Flow of Busi-J

송전손실은 손실계수 (B 계수)에 의하여 근사적으로 표현되거나, 모선전력의 합이라는 형태로 정확히 표현된다. 전자는 유효전력만의 함수로 표현되며, 후자는 현재 사용되고 있는 일반적인 형태이다. 이 형태는 전시스템의 정보를 포함하고 있기 때문에, 이를테면 최적전력조류계산에서 비용최소화를 가능하게 한다.

본 논문에서는 보다 간편한 형태의 송전손실을 제시하고자 한다.

그림 1은 모선 i와 j사이의 유효전력조류 P_{ij} 를 보인 것이며, 이 값은

$$P_{ij} = \text{Re}\{V_i I_{ij}^*\} = -V_i^2 G_{ij} + V_i V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (8)$$

여기서,

I_{ij} : 모선 i-j사이의 전류

* : I_{ij} 의 공액

와 같다. 모선 i-j사이의 송전손실을 P_{Lij} 라고 하면

$$P_{Lij} = P_{ij} + P_{ji} = -(V_i^2 + V_j^2) G_{ij} + 2V_i V_j G_{ij} \cos \delta_{ij} \quad (9)$$

가 된다. 그런데 이 송전손실은 양단 모선 i와 j의 상태에 의해서 결정된 것이므로 평균적으로 각 모선에 절반씩의 책임이 있다고 할 수 있다. 그래서 각 모선에 대하여 책임이 있는 송전손실정보는 각각

$$P_{Li} = -\frac{1}{2} (V_i^2 + V_j^2) G_{ij} + V_i V_j G_{ij} \cos \delta_{ij} \quad (10a)$$

$$P_{Lj} = -\frac{1}{2} (V_i^2 + V_j^2) G_{ij} + V_i V_j G_{ij} \cos \delta_{ij} \quad (10b)$$

여기서,

P_{Lj} : 모선 i에 책임있는 송전손실정보

P_{Li} : 모선 j에 책임있는 송전손실정보

이 된다. 모선 i는 일반적으로 시스템의 다른 모선들과 연결되어 있으므로, 모선 i에 책임있는 송전손실정보 P_{Li} 는 다음과 같다.

$$P_{Li} = \sum_{j \neq i}^n P_{Lj} = -\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (V_i^2 + V_j^2) G_{ij} + \sum_{j \neq i}^n V_i V_j G_{ij} \cos \delta_{ij} \quad (11)$$

식(11)을 모선 송전손실정보라고 부르기로 한다. 전 시스템의 송전손실 P_L 은

$$P_L = \sum_{i=1}^n P_{Li} = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (V_i^2 + V_j^2) G_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n V_i V_j G_{ij} \cos \delta_{ij} \quad (12)$$

와 같이 결정된다. 현재 사용되고 있는 식은

$$P_L = \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n V_i V_j [G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}] \quad (13)$$

로서, 식(12)에서는 수식 자체가 송전손실만이라도 각 모선손실정보가 그대로 표현되고 있음에 비해서 식(13)에서는 모선전력을 모두 합한 결과가 아니고서는 송전손실정보를 알 수 없다는 점에서 차이가 있다. 따라서 식(12)를 이용하면 시스템의 어느 모선 부근에서 송전손실이 더 발생하고 있는가를 파악할 수 있다.

4. 유효전력 제어

이미 잘 알려져 있는 바와 같이, 협조방정식은 식(7)이 최소화되는 조건이다. 이 조건이 만족되도록 유효전력제어가 수행되는 것이며, 그 조건은

$$\frac{df_i}{dp_{ci}} P_{Fi} = \lambda, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (14)$$

여기서,

$$PF_i = \frac{1}{1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_{G_i}}} : \text{모선 } i \text{의 페널티 계수}$$

$$\frac{\partial P_L}{\partial P_{G_i}} : i \text{발전기에 대한 증분송전손실 (ITL)}$$

와 같다. 식(12)의 송전손실이 전압과 그 위상각만으로 표현되어 있으나, 송전손실은 또한 유효전력, P_{G_i} 의 함수임이 명백하므로 다음의 내재적 관계(implicit relation)가 가정될 수 있다.

$$P_L = P_L(P_{G_1}, P_{G_2}, \dots, P_{G_n}) \quad (15)$$

그러면 연쇄법칙(chain rule)으로부터 다음의 관계가 얻어진다.

$$\frac{\partial P_L}{\partial \delta_k} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial P_L}{\partial P_{G_i}} \cdot \frac{\partial P_{G_i}}{\partial \delta_k}, \quad (16)$$

$$k=1, 2, \dots, n-1$$

식(15)에서는 부하모선인 경우 $P_{G_i}=0$ 를 포함하여 전 모선을 대상으로 하고 있다. 한편

$$\Delta P_L = \sum_{i \in k} ITL_i \Delta P_{G_i} \quad (17)$$

여기서,

$$ITL_i = \frac{\partial P_L}{\partial P_{G_i}}$$

이고, 또

$$\Delta P_{G_i} = \sum_k \frac{\partial P_{G_i}}{\partial \delta_k} \cdot \Delta \delta_k \quad (18)$$

이므로, 식(16)과 (17)로부터 다음의 선형 행렬방정식이 얻어진다.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_L}{\partial \delta_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial P_L}{\partial \delta_{n-1}} \\ \Delta P_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{G_1}}{\partial \delta_1} \dots \frac{\partial P_{G_{n-1}}}{\partial \delta_1} \frac{\partial P_{G_n}}{\partial \delta_1} \\ \vdots \dots \vdots \vdots \\ \frac{\partial P_{G_1}}{\partial \delta_{n-1}} \dots \frac{\partial P_{G_{n-1}}}{\partial \delta_{n-1}} \frac{\partial P_{G_n}}{\partial \delta_{n-1}} \\ \Delta P_{G_1} \dots \Delta P_{G_{n-1}} \Delta P_{G_n} \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\begin{bmatrix} ITL_1 \\ \vdots \\ ITL_{n-1} \\ ITL_n \end{bmatrix}$$

식(19)에서 $\delta_N=0$ (기준모선)이므로 추가항을 필요

로 하며, 그것이 식(17)의 관계이다. 그런데 식(17)을 사용하기 위해서는 다시 식(18)이라는 사전정보가 요청되는데, 사전정보는 실제의 시스템인 경우에 언제든지 쉽게 얻을 수 있으나, 시뮬레이션인 경우라면 이 사전정보를 보다 정확하게 얻기 위해서 최소한 2회의 반복계산이 요청된다.

식(15)~(19)와 유사한 방법이 문헌[17]에서도 언급되고 있으나, 송전손실의 표현에서 본 논문과 차이가 있으며, 식(19)에 이르는 과정도 매우 다르다.

식(19)는 보다 간결한 형태로 다음처럼 표현될 수 있다.

$$[S][U]=[D] \quad (20)$$

여기서, $[S] : n \times n$ 행렬
 $[U] : n \times 1$ 벡터
 $[D] : n \times 1$ 벡터

각 행렬의 요소는 다음과 같다.

$$S_{ik} = \frac{\partial P_{G_i}}{\partial \delta_k} = \begin{cases} -\sum_{j=k}^n V_k V_j (G_{kj} \sin \delta_{kj} - B_{kj} \cos \delta_{kj}), \\ \text{for } k=i \\ V_i V_k (G_{ik} \sin \delta_{ik} - B_{ik} \cos \delta_{ik}), \text{ for } k \neq i \end{cases} \quad (21)$$

$$D_k = \frac{\partial P_L}{\partial \delta_k} = -2 \sum_{j=k}^n V_k V_j G_{kj} \sin \delta_{kj} \quad (22)$$

식(20)으로부터 일단 증분 송전손실이 결정되면, 페널티 계수가 따라서 계산되므로, 식(14)에 의한 유효전력배분이 이루어지게 된다. 그러나 유효전력배분도 종래의 λ -반복법으로서는 매우 불충분하며, 본 연구에서는 극히 단순하면서도 효율적인 방법을 제시하고자 한다.

각 발전기의 증분비용을 λ_i 라고 하면

$$\lambda_i = b'_i + 2c'_i P_{G_i} \quad (23a)$$

$$\bar{\lambda}_i = b'_i + 2c'_i \bar{P}_{G_i} \quad (23b)$$

$$\underline{\lambda}_i = b'_i + 2c'_i \underline{P}_{G_i} \quad (23c)$$

여기서,

$$b'_i = b_i \cdot PF_i,$$

$$c'_i = c_i \cdot PF_i.$$

와 같이 출력의 상하한 및 그 사이의 출력에 대한 증분비용 역시 표현될 수 있다.

발전기의 증분출력 ΔP_{G_i} 는

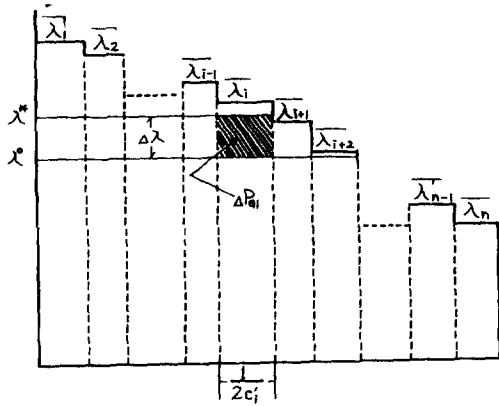


그림 2 출력증분을 이용한 경제부하배분
 Fig. 2 The Concept of the New Economic Power Dispatch

$$\begin{aligned} \Delta P_{Gi} &= \frac{dP_{Gi}}{d\lambda} \cdot \Delta\lambda \\ &= \frac{1}{2C_i'} \cdot \Delta\lambda \end{aligned} \quad (24)$$

여기서, $\Delta\lambda$: 초기치 λ^0 로부터의 증분연료비 값과 같다. 이러한 출력증분을 이용하여 경제부하배분이 매우 효율적으로 달성될 수 있는데, 이 때의 개념을 그림 2에 보였다. 그림을 참조하여 경제부하배분의 과정은 다음과 같다.

1. λ_i 를 크기순으로 배열한다.
2. 임의의 초기 λ^0 를 선정한다.
3. λ^0 에 상응하는 P_{Gi}^0 를 계산한다.
4. $\Delta P_D = \sum P_{Gi}^0 - P_D$ 를 계산한다.
5. $\Delta P_D = 0$ 이 만족되도록 그림 2를 염두에 두고 λ_i 를 위반하지 않는 범위의 $1/(2C_i')$ 합과의 관제로부터 $\Delta\lambda$ 를 결정한다.

그림 2에 표시된 바와 같이 $1/(2C_i')$ 와 $\Delta\lambda$ 의 곱에 상응하는 면적, 또는 ΔP_{Gi} 가 즉시 주어지므로, $\sum \Delta P_{Gi} = \Delta P_D$ 되는 그러한 $\Delta\lambda$ 를 찾는 일의 거의 단번에 가능하며, 정확한 값이 결정된다. 이때 주의할 것은 λ_i 가 위반될 수 있으므로 약간의 고려가 필요하다는 정도일 뿐 제시된 방법은 극히 단순하며 또한 정확하다. 종래의 λ -반복법(해석식)과 비교할 때 약 20배정도의 효율성이 확인되고 있으며, 더구나 제시된 방법은 출력의 상하한을 자동적으로 만족시킨다는 점이 더욱 편리하다.

이 방법은 5, 60년대에 산업체에서 '계산자법'이라 해서 사용되던 방법의 다른 형태일뿐이다.

5. 전압 제어

식(7)의 목적함수가 유효전력에 대하여 최소화된 조건으로부터 유효전력제어가 이루어진 것과 같이, 전압에 대하여서도 최소화될 때 전압제어가 달성될 수 있다.

그리하여

$$\frac{\partial L}{\partial V_m} = \frac{\partial F_T}{\partial V_m} - \lambda \left[\sum_{i \in k} \frac{\partial P_{Gi}}{\partial V_m} - \frac{\partial P_L}{\partial V_m} \right] = 0, \quad (25)$$

$m \in M$

여기서,

V_m : 제어전압

인 조건을 얻으며, 각 항은 다음과 같이 정리된다.

$$\frac{\partial F_T}{\partial V_m} = \sum_{i \in k} \frac{\partial f_i}{\partial V_m} = \sum_{i \in k} \frac{\partial f_i}{\partial P_{Gi}} \cdot \frac{\partial P_{Gi}}{\partial V_m} \quad (26)$$

$$\frac{\partial f_i}{\partial P_{Gi}} = \frac{\lambda}{PF_i} \quad (27)$$

$$\frac{\partial P_{Gi}}{\partial V_m} = \begin{cases} \sum_{j=1}^n V_j (G_{mj} \cos \delta_{mj} + B_{mj} \sin \delta_{mj}) \\ \quad + 2V_m G_{mm}, \text{ for } m=i \end{cases} \quad (28)$$

$$V_i C_{Gim} \cos \delta_{im} + B_{im} \sin \delta_{im}, \quad \text{for } m \neq i \quad (29)$$

$$\frac{\partial P_L}{\partial V_m} = -2V_m \sum_{j=1}^n G_{mj} + 2 \sum_{j=1}^n V_j G_{mj} \cos \delta_{mj} \quad (30)$$

식(26)~(30)을 식(25)에 대입하고, 제어전압을 변수로 하여 정리하면 다음의 선형행렬방정식을 얻게 된다.

$$[A][Vc] = [C] \quad (31)$$

여기서,

$[A]$: $NC \times NC$ 의 계수행렬

$[Vc]$: $NC \times 1$ 인 제어전압 벡터

$[C]$: $NC \times 1$ 인 상수 벡터

그리고 $[A]$ 와 $[C]$ 의 각 요소는 다음과 같다.

$$A_{im} = \begin{cases} 2 \left(\frac{1}{PF_i} - 1 \right) G_{ii} - 2 \sum_{j=1}^n G_{ij}, \\ \quad \text{for } i=m \end{cases} \quad (32)$$

$$2 \left(\frac{1}{PF_i} - 1 \right) (G_{im} \cos \delta_{im} + B_{im} \sin \delta_{im}) + 2G_{im} \cos \delta_{im}, \quad \text{for } i \neq m \quad (33)$$

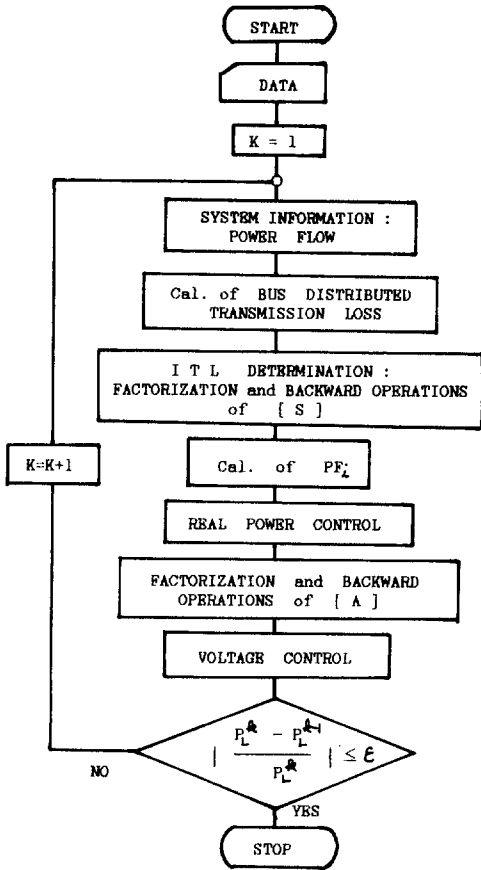


그림 3 제시된 방법의 계산 흐름도
Fig. 3 The Flow-Chart of the Proposed Approach

$$C_i = \left(1 - \frac{1}{PF_i}\right) \sum_{j \in M} V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) - 2 \sum_{j \in M} V_i G_{ij} \cos \delta_{ij} \quad (34)$$

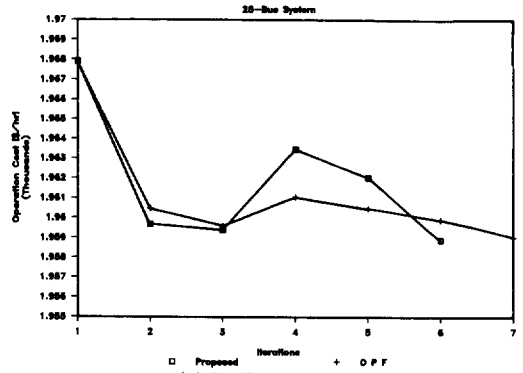
식(31)로부터 제어전압의 수준이 즉시 결정될 수 있으며, 변압기의 탭이 현재 표현되어 있지는 않으나, 탭에 관한 수식유도는 약간의 과정을 필요로 할 뿐이다.

6. 계산 과정

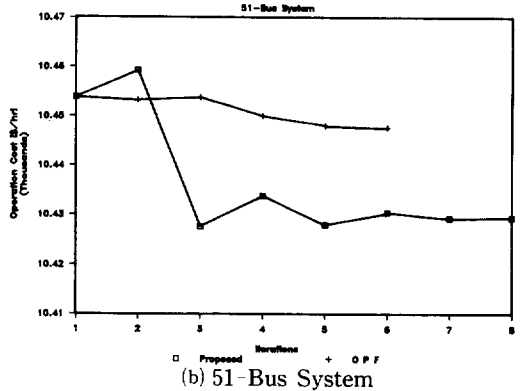
이상의 과정을 그림 3에 보였다. 이 과정을 간단히 설명하면 다음과 같다.

단계 1. 먼저 시스템의 정보를 얻기 위하여 전력조류계산이 수행된다.

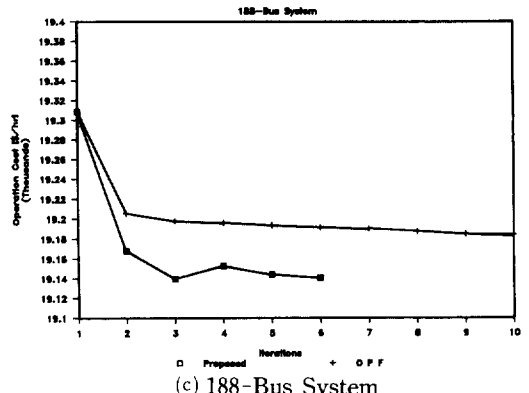
단계 2. 모선 송전손실방정식을 표현한다.



(a) 25-Bus System



(b) 51-Bus System



(c) 188-Bus System

그림 4 수렴 특성의 비교
Fig. 4 Characteristics of Convergence

단계 3. 식(20)을 풀어 ITL_i를 결정한다.

단계 4. ITL_i로부터 PF_i가 주어지므로 그림 2에 따르는 유효전력제어를 한다.

단계 5. 식(31)을 풀어 제어전압을 결정한다.

단계 6. 수렴조건이 만족되면 종료하고, 그렇지 않으면 다시 단계 1로 이행한다.

이상의 과정을 보면, 두 개의 선형행렬방정식을 풀으므로 유효전력과 전압제어가 달성된다는 매우 단순한 흐름임을 알 수 있으며, 시간이 소요될

표 1 운전비용과 송전손실

Table 1 Results of the Operation Cost and T/L Loss

System and Method		25-Bus System		51-Bus System		188-Bus System	
		Proposed	OPF	Proposed	OPF	Proposed	OPF
Initial	Total Cost [\$/hr]	1967.904		10453.86		19308.69	
	Achievable Margin[\$/hr]	61.16		232.45		548.94	
	TL Loss[p.u]	0.234 16		1.185 31		3.33717	
19183.73 Final	Total Cost [\$/hr]	1959.36	1959.58	10427.55	10447.55	10447.72	19139.40
	Reduced Cost [\$/hr]	8.543	8.324	26.31	6.14	169.29	124.96
	TL Loss[p.u]	0.15881	0.16709	1.05672	1.20500	2.68462	2.99243
Reduction [%]	Total cost	0.43	0.42	0.25	0.06	0.88	0.65
	Reduced Cost /Achievable Margin	14.00	13.61	11.32	2.64	30.84	22.76
	TL Loss	32.20	28.64	10.85	—	19.55	10.33
Iterarions		3	3	3	6	3	10

수 있는 부분도 이 행렬방정식 부분뿐이어서 전체적으로 매우 효율적인 과정임을 확인된다.

7. 사례연구

제시된 알고리즘을 세 개의 표본시스템에 대하여 적용하였다. 25-모선(5-발전기, 730[MW]부하), 51-모선(29-발전기, 5212[MW]부하) 및 188-모선(35-발전기, 11,404[MW]부하)에 대하여, 경사법을 사용하는 최적전력조류계산[16]결과와 비교하였다.

그림 4는 각 표본시스템에 대한 비용의 수렴특성을 보인 것이다.

제시된 방법은 세 시스템 모두 반복회수 3회일 때 시스템운용의 목표를 달성하고 있으며, 최적전력조류계산으로서는 찾을 수 없었던 더 경제적인 상태를 찾아가고 있다. 다만, 해를 찾은 후에 반복계산에서 다소 불안정하게 보이는 비용변화를 나타내고 있는데, 이 것은 모선수가 증가할수록 완화된 그림으로부터 볼 수 있어, 분산송전손실 정보의 수가 증가할수록 송전손실의 이산화 효과가 감소함을 보여주고 있다.

반복회수 2회는 식(18)을 정확히 결정하기 위하

여 필요하였으며, 따라서 만일 실시스템 정보를 직접 얻을 수 있다면, 제시된 방법은 불과 1회의 계산으로서 시스템의 경제운용을 달성할 수 있을 것으로 보인다.

전압제어에 의하여 송전손실이 감소된다는 점은 이미 알려진 사실이거나 본방법에 의한 결과를 표 1에 나타냈다. 표1의 초기 시스템 상태는 송전손실을 무시한 경제부하배분후의 전력조류계산 결과이다. 따라서 경제운용에 의하여 얻을 수 있는 이득은 송전손실에 대하여 평가되어야 할 것이며, 이렇게 평가된 결과는 25-모선 시스템에서 14.0 [%], 51-모선에서 11.3[%] 및 188-모선에서 30.84[%]이다. 이 결과는 어느 것이나 최적전력조류계산의 결과를 훨씬 능가하고 있다.

8. 결론

분산 모선송전손실정보를 이용하므로써, 본 연구에서는 매우 간결하면서도 효율적인 전력시스템 경제운용의 한 방법을 제시하였으며, 주요한 결과는 다음과 같다.

1) 선로의 손실정보는 평균적으로 양단 모선에 할당될 수 있으며, 모선송전손실정보 방정식을 정

의하였다.

2) 정의한 모선송전손실방정식을 이용하여 부하 중심에 대한 페널티계수를 결정하는 하나의 방법을 제시하였다.

3) 유효전력배분을 위한 극히 간결하면서도 효율적이며, 매우 정확한 절차를 제시하였다.

4) 전압제어를 위한 선형행렬방정식을 유도하였다.

5) 제시된 방법은 사례연구 시스템의 규모에 관계없이 실질적으로 반복회수 3회에 경제운용의 목표를 달성하고 있으며, 최적전력조류계산보다 훨씬 효율적임을 보였다.

이 논문은 1987년도 한국과학재단의 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] H.H. Happ, "Optimal Power Dispatch-A Comprehensive Survey," IEEE Trans. PAS, vol. PAS-96, pp. 841~854, 1977.
- [2] L.K. Kirchmeyer, Economic Operation of Power Systems, John Wiley & Sons, New York, 1958.
- [3] W.D. Stevenson, Jr., Elements of Power System Analysis, 3rd Ed., McGraw-Hill koga-kusa, 1975.
- [4] F.L. Alvarado, "Penalty Factors from Newton's Method," IEEE Trans. PAS., vol. PAS-97, no. 6, pp. 2031~2040, 1978.
- [5] M.E. El-Hawary & G.S. Christensen, Optimal Economic Operation of Electric Power System, Academic press, 1979.
- [6] Allen J. Wood & Bruce F. Wollenberg, Power Generation, Operation and Control, John Wiley & Sons, Inc., 1986.
- [7] S. Narita & M.S.A.A. Hamman, "A Computational Algorithm for Real Time Control of System Voltage and Reactive Power," IEEE Trans, PAS., vol. PAS-90, pp. 2495~2508, 1971.
- [8] K.R.C. Mamandur & R.D. Chenoweth, "Optimal Control of Reactive Power Flow for Improvements in Voltage Profiles and Real Power Loss Minimization", ibid., vol. PAS-100, no. 7, pp. 3185~3194, 1981.
- [9] IEEE VAR MANAGEMENT WORKING GROUP Report, "Bibliography on Reactive Power and Voltage Control," IEEE Trans Power System., vol. PWRS-2, pp. 361~370, 1987.
- [10] L. Roy & N.D. Rao, "A New Algorithm for Real-time Optimal Dispatch of Active and Reactive Power Generation Retaining Non-linearity," IEEE PES 1982 Summer Meeting, 82 SM 425-7, 1982.
- [11] H.M. Dommel & W.F. Tinney, "Optimal Power Flow Solutions," IEEE Trans. PAS, vol. PAS-87, no. 10, pp. 1866~1876, 1968.
- [12] P.A. Chamorel & A.J. Germoud, "An Efficient Constrained Power Flow Technique based on Active-Reactive Decoupling and the Use of Linear Programming," ibid. vol. PAS-101, pp. 158~167, 1982.
- [13] David I. Sun, W.F. Tinney & et. al., "Optimal Power Flow by Newton Approach," ibid., vol. PAS-102, no. 10, pp. 2864~2880, 1984.
- [14] J.L. Bala, Jr. & A. Thamikachalam, "An Improved Second order Method for Optimal Load Flow," ibid., vol. PAS-97, pp. 1239~1244, 1978.
- [15] Sarosh N. Talukdar, Theo. C. Giras, et, al., "Decompositions ofr Optimal Power Flows," ibid., vol. PAS-102, no. 12, pp. 3877~3884, 1983.
- [16] H.S. Yang, Y.M. Park & B.Y. Lee, "Decoupled Optimal Power Flow Solutions," KIEE Trans. vol. 28, pp. 739~744, 1979.
- [17] Arthur R. Bergen, Power System Analysis, Prentice-Hall, Inc., 1986.