

論 文  
36~9~1

# 선로사고및 선로용량을 고려한 전력계통 최적운용에 관한 연구

## Study on the Calculation of the Optimal Power System Operation Considering Line Contingencies and Line Capacities

朴永文\*·白榮植\*\*·徐輔赫\*\*\*·愼重麟\*\*\*\*

(Young-Moon Park, Young-Sik, Paek Bo-Hyuk, Suh Joong-Lin Shin)

### ABSTRACT

The optimal operation of power system is developed by alternately using real power dispatch and reactive power dispatch problem.

The real power system scheduling process is formulated as an optimization problem with linear inequality constraints. A.C. loadflow method is used for the problem solution and line losses are considered. The constraints under consideration are generator power limits, load scheduling limits and line capacity limits. In solving the objective function the Dual Relaxation method is adopted. Tests indicate that the method is practical for real time application.

The reactive power control problem uses the Dual Simplex Relaxation method as in the real scheduling case. Instead of minimizing the cost of power system, the objective is selected as to determine the highest possible voltage schedule. The constraints under consideration are the voltage limits at each node and the possibilities of supply or absorption of reactive energy by generator units and the compensation facilities. Tests indicate that the method is practical for real time applications.

The overall optimization methods developed in this paper proved to obtained fine results in minimizing object function compared with the method without using voltage control. And the overall voltage profiles were also improved.

### 1. 서론

電力系統의 最適運用に 관한 연구는 電力系統의 중요분야로서, 계속 연구가 진행되고 있는 실정이다.<sup>1) 2)</sup>

이 분야의 연구는 有効電力制御문제<sup>1) 2)</sup>와 無効電力制御<sup>3) 4)</sup>의 문제로 크게 분류할 수 있으며 최근에는 이 두 분야를 합한 종합적인 制御문제<sup>5) 6)</sup>로 발전되었다. 有効電力制御문제는 發電費用의 最少化이며, 無効電力制御문제는 線路損失의 最少化 혹은 發電費用의 最少化를 목적으로 하였다. 그러나 無効電力制御에서의 發電費用 最少化는 그 값이 有効電力制御에 비하여 극소하며, 또한 無効電力制御의 목적이 發電費用의 감소보다 電壓의 安定化에 있다는 것이 일반적인 연구의 결과이다.

본 연구에서는 發電費用의 最少化 및 電壓의 安定

正 會 員 : 서울大 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
正 會 員 : 慶北大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博  
正 會 員 : 慶北大 工大 電氣工學科 助教授 · 工博  
正 會 員 : 서울大 工大 電氣工學科 博士課程  
接受日字 : 1987年 5月 6日  
1次修正 : 1987年 6月 26日

화가 동시에 이루어 지도복 하는 알고리즘을 개발하였다. 또한 線路容量制約<sup>6)</sup>도 고려하므로써 系統事故의 경우에도 본 알고리즘의 적용이 가능하도록 하였다. 그리고 문제의 해법으로서는, 최근 그 高速性, 解의 安定性 및 문제 精度에의 적합성등으로 많이 이용되고 있는 L.P(Linear programming) 技法을 사용하였으며, 특히 뉴알렉시플렉스法과 쌍대완화법(dual relaxation method)을 사용하므로써 계산시간의 단축을 기하였다.

본 알고리즘을 IEEE 24모선, 38선로 모델계통<sup>10)</sup>에 적용하여 그 유용성을 입증하였으며, 그 결과 종래의 發電費用만의 最少化 결과에 비하여 費用이 감소 됐음과 더불어 電壓안정화에도 기여 함이 입증되었다.

## 2. 문제의 구성

본 문제는 有効電力制御 부분과 無効電力制御 부분으로 각각 구성되며, 이 두 부분을 그림 1과 같이 교대로 반복 적용하여 최종적으로 最適運用 解를 구한다. 아래에서는 이 두 부분에 대하여 각각 설명한다.

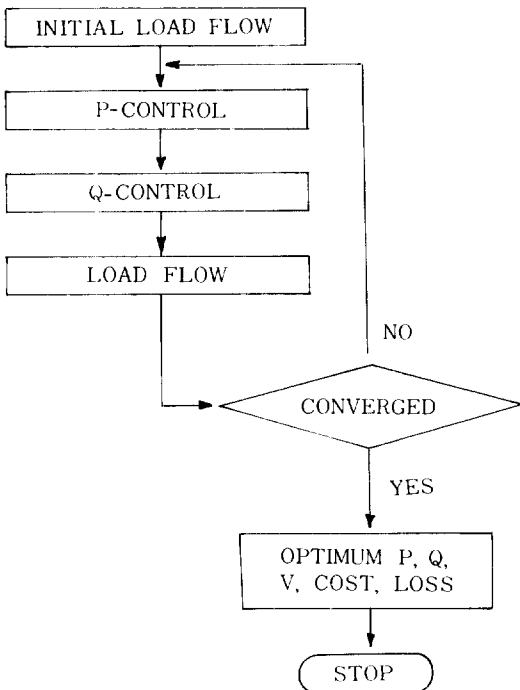


그림 1. 개략적인 흐름도  
Fig. 1. Computational Sequence

## 2.1 有効電力制御<sup>2)</sup>

본 문제의 목적함수는 發電費用과 負荷遮斷費用의 합으로 되어 있다. 負荷遮斷費用을 목적함수에 넣은 것은 그 係數  $\alpha_i$  (평균 發電費用係數  $C_i$  보다 상당히 큰 값)의 크기 때문에 平常時에는 發電費用의 最少값이 구해지며, 線路事故等에 의하여 線路容量 부족이 생길 경우에는 負荷遮斷이行하여지기 때문에 어떤 경우라도 解가 보장되기 때문이다. 制約條件으로는 發電容量의 上下限, 負荷遮斷可能量의 上下限 및 線路容量의 上下限을 모두 고려하였다. 또한 電力方程式(5)도 물론 성립하여야 한다.

$$\begin{cases}
 \text{目的函數 ; } \text{Min} \left[ \sum_{i=1}^{NB} C_i P_{gi} + \sum_{i=1}^{NB} \alpha_i (P_{Li}^a - P_{Li}) \right] & (1) \\
 \underline{P}_g \leq P_g \leq \bar{P}_g & (2) \\
 0 \leq P_L \leq P_L^a & (3) \\
 -\bar{P}_i \leq P_i \leq \bar{P}_i & (4) \\
 \text{制約條件 ; } P_j = V_j \sum_{k=1}^{NB} V_k (G_{ik} \cos \theta_{ik} + B_{ik} \sin \theta_{ik}) & (5) \\
 Q_j = V_j \sum_{k=1}^{NB} V_k (G_{ik} \sin \theta_{ik} - B_{ik} \cos \theta_{ik}) & (6)
 \end{cases}$$

단,  $P_g, \underline{P}_g, \bar{P}_g$ ; 母線發電電力, 發電可能 下限 및 上限의 벡터 값,  $P_L, P_L^a$ ; 線路의 潮流 및 線路容量의 벡터 값,

$P_{gi}, P_{Li}, P_{Li}^a$ ;  $i$  母線의 發電出力, 供給電力 및 負荷受要,  $C_i, \alpha_i$ ;  $i$  母線 發電所의 平均 燃料費係數 및  $i$  母線負荷의 供給故障費用係數, NB; 母線數,  $P_i, Q_i$ ;  $i$  母線의 有効 및 無効電力,  $V_i$ ;  $i$  母線의 電壓,  $\theta_{ij}$ ;  $i, j$  母線간의 位相角差,  $G_{ik}, B_{ik}$ ; 母線어드미턴스  $Y_{ij}$ 의 실수部 및 허수部.

주 制約條件(2)~(6)을 만족하는 目的函數式(1)의 最少化되는 變數들을 구하면 된다.

## 2.2 無効電力制御

본 연구에서는 電壓, 無効電力制御 문제의 目的函數式(7)과 같이, 높은 電壓의 유지를 目的으로 하였으며, L.P技法의 도입을 위해 線形式으로 놓았다. 그리고 制約條件으로는 電壓의 上下限制約, 無効電力制御의 上下限 制約 및 母線無効電力方程式의 성립등을 制約條件으로 놓았다.

$$\left[ \text{目的函數 ; } \text{Min} \sum_{i=1}^{NB} (V_i^{\max} - V_i) \right] \quad (7)$$

문제 (II)  $\left\{ \begin{array}{l} \text{制約條件 ; } V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad (8) \\ Q_j^{\min} \leq Q_j \leq Q_j^{\max} \quad (9) \\ Q_i = V_i \sum_{k=1}^{NB} V_k (G_{ik} \sin \theta_{ik} - B_{ik} \cos \theta_{ik}) \quad (10) \\ i = 1, 2, \dots, NB \end{array} \right.$

단,  $Q_i, V_i$ ;  $i$  母線の 無効電力 및 電壓,  $Q_j^{\max}, Q_j^{\min}$ ;  $j$  母線の 無効電力制御容量의 上下限값,  $V_i^{\max}, V_i^{\min}$ ;  $i$  母線の 電壓制約의 上下限값이다.

2.3 電力潮流計算<sup>8)</sup>

電力潮流計算은 分割 뉴턴랩슨법 (Decoupled Newton Raphson Load Flow method) 을 사용하였으며, 이 방법은 式(11) 에 의하여, 式(12) 와 같이  $V, \theta$  를 수정해 나가는 방법이다.

$$\left. \begin{array}{l} V \Delta \theta = [H]^{-1} [\Delta P / V] \\ \Delta V = [L]^{-1} \Delta Q \end{array} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{array}{l} \theta^{(k+1)} = \theta^{(k)} + \Delta \theta^{(k)} \\ V^{(k+1)} = V^{(k)} + \Delta V^{(k)} \end{array} \right\} \quad (12)$$

3. 문제의 解法

電力潮流計算을 하여 초기解  $V_i^0, P_i^0, Q_i^0, \theta_i^0$  를 구하고 그림 1 과 같이 有効電力制御 문제와 無効電力制御 문제를 반복 계산해 나간다. 여기서 문제 (I), (II) 는 非線型式이므로 초기 運轉點에서 線型化하여 듀알 심플렉스법 및 쌍대완화법을 사용하여 구한다.

3.1 有効電力制御<sup>2)</sup>

式(6) 은 초기 運轉點 계산에서 만족되었고, 문제 (II) 에서 다시 만족시켜야 되므로 有効電力制御 에서는 생략할 수 있다.

문제 (I) 에서 式(4), (5) 는 非線型이므로 運轉點에서 線型化하면 式(4)' 및 (5)' 와 같게 된다. 式(5)' 는 式(11) 에서 슬랙성분을 고려할 경우, 다음 式과 같이 표현되며,

$$\begin{bmatrix} \Delta P^s \\ \Delta P_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & J_1 \\ J_s & J_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta^s \\ \Delta \theta_s \end{bmatrix}$$

단,  $\Delta P^s, \Delta \theta^s$ ; 슬랙母線을 제외한 母線電力, 位相角 變化分의 벡터값.

여기서 슬랙母線의 位相角  $\Delta \theta_s$  는 0 이므로 式(5)' 를 얻을 수 있다.

따라서 문제 (I) 의 線型化된 문제는 다음과 같다.

目的函數 ;  $\text{Min} \left[ \sum_{i=1}^{NB} C_i \Delta P_{gi} + \sum_{i=1}^{NB} \alpha_i \Delta P_{Li} \right] \quad (1)'$

制約條件 ;  $\underline{P}_g - P_g^0 \leq \Delta P_g \leq \bar{P}_g - P_g^0 \quad (2)'$

$-(P_L^0 - \underline{P}_L) \leq \Delta P_L \leq P_L^0 \quad (3)'$

$-\bar{P}_i - P_i^0 \leq \Delta P_i \leq \underline{P}_i - P_i^0 \quad (4)'$

$\Delta P_s = J_s H^{-1} [\Delta P_g^s - \Delta P_L^s] \quad (5)'$

단,  $\Delta P_{im} = \sum_{k=1}^{NB} \Delta P_{im}^k \cdot \Delta P_k$  이고

$\Delta P_{im}^k = V_p V_q (g_m \sin \theta_{pq} - b_m \cos \theta_{pq}) (Z_{pk} - Z_{qk})$   
 $\Delta P_k, \Delta P_s$ ;  $k$  母線 및 슬랙 母線의 母線電力 變化量,  
 $P_{im}$ ; 線路  $m$  에 흐르는 潮流,

$g_m, b_m$ ; 線路  $m$  의 임피던스의 실수 및 허수분,  $Z_{pk}$ ;  $[H]^{-1}$  의  $p, k$  요소.

여기서  $[H]^{-1}$  는 式(11) 에서 구한 값이다 (문헌 8 참조) 式(1)' ~ (5)' 는 線型式이므로 듀알 심플렉스법 및 쌍대완화법을 적용하면 발전력의 증감량  $\Delta P_g$  및 부하차단량  $\Delta P_L$  이 구해진다.

본 방법의 알고리즘을 그림 2 에 보였다.

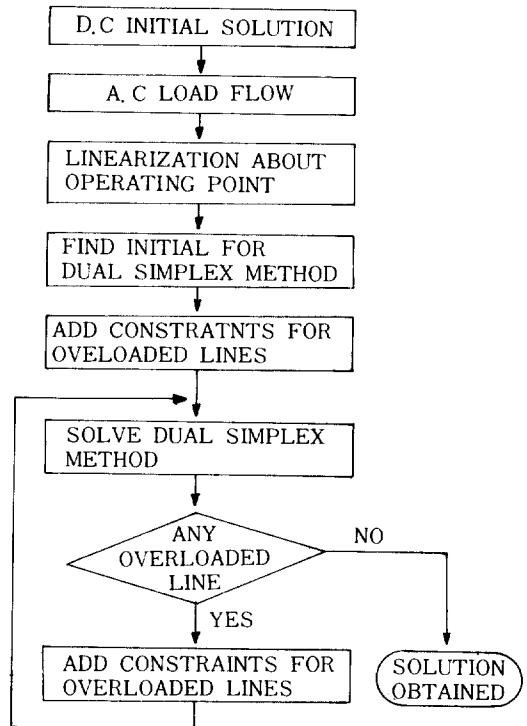


그림 2. 유효전력제어 알고리즘의 흐름도

Fig. 2. Flowchart for the algorithm of P-control

### 3.2 無効電力制御

위의 결과로부터 구한  $V_i^o, Q_i^o, \theta_{ij}^o$ 에서 이 값을 초기 運轉點으로 하여 線型化하면 式(7), (8), (9)는 각각 다음과 같아진다.

$$\text{目的函數 ; } K - \text{Min} \sum_{i=1}^{NB} \Delta V_i \quad (7)'$$

$$\text{制約條件 ; } V_i^{\text{min}} - V_i^o \leq \Delta V_i \leq V_i^{\text{max}} - V_i^o \quad (8)'$$

$$Q_i^{\text{min}} - Q_i^o \leq \Delta Q_i \leq Q_i^{\text{max}} - Q_i^o \quad (9)'$$

電力潮流計算式(11)로부터  $\Delta Q, \Delta V$ 간의 관계式을 이용하면

$$\text{目的函數 ; } K - \text{Min} |1 \cdots 1| \cdot L^{-1} \Delta Q \quad (7)''$$

$$\text{制約條件 ; } V^{\text{min}} - V^o \leq L^{-1} \Delta Q \leq V^{\text{max}} - V^o \quad (8)''$$

$$Q^{\text{min}} - Q^o \leq \Delta Q \leq Q^{\text{max}} - Q^o \quad (9)''$$

단,  $\Delta Q, V^{\text{min}}, V^o, Q^{\text{min}}, Q^{\text{max}}$ 는  $(NB \times 1)$  벡터이다.

여기서 式(10)은 다음과 같이 해결하였다. 우선 式(7)'', (8)'', (9)''에 쌍대완화법을 적용하여  $\Delta Q_i$ 를 구하고, 새로운 값  $Q_i^{\text{new}}$ 는 式(13)으로 주어진다.

$$Q_i^{\text{new}} = Q_i^{\text{old}} + \Delta Q_i \quad (13)$$

이 값을 다음의 4가지 경우에 따라서 각각 아래와 같이 조정된다.

$$\text{case 1) } Q_i^{\text{new}} > Q_i^{\text{max}} \rightarrow Q_{si} = Q_i^{\text{max}} \quad (\text{P, Q모선으로 됨})$$

$$\text{case 2) } Q_i^{\text{new}} < Q_i^{\text{min}} \rightarrow Q_{si} = Q_i^{\text{min}} \quad (\text{P, Q모선으로 됨})$$

$$\text{case 3) } Q_i^{\text{old}} < Q_i^{\text{new}} < Q_i^{\text{max}} \rightarrow Q_i^{\text{min}} = Q_i^{\text{new}} + k \cdot \Delta Q_i$$

$$\text{case 4) } Q_i^{\text{min}} < Q_i^{\text{new}} < Q_i^{\text{old}} < Q_i^{\text{max}} \rightarrow Q_i^{\text{max}} = Q_i^{\text{new}} + k \cdot \Delta Q_i$$

case 1), 2)에 있어서는 조정된 값이 無効容量한 계값을 넘는 경우로, 이 경우에는 電壓調整 母線이 P, Q 指定母線으로 바뀌며 그 지정값은 각각 容量한계값이 된다. case 3), 4)에 있어서는 조정값이 容量 상하한을 초과하지 않는 경우로서 이때에는 容量 상하한의 변경으로 그 조정효과를 반영할 수 있다. 여기서  $\alpha$ 는 선형화에 따른 오차를 교정하여주기 위한 목적으로 사용하였다. 본 방법의 알고리즘을 그림 3에 보았다.

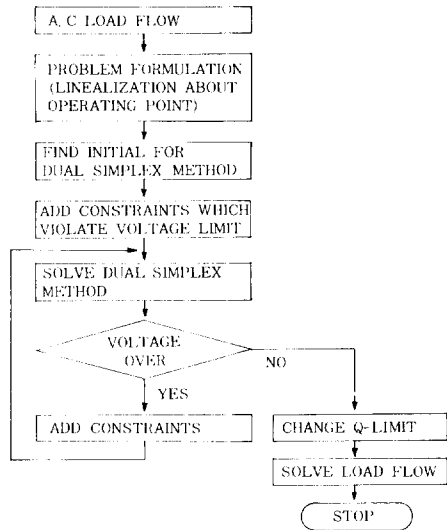


그림 3. 무효전력제어 알고리즘의 흐름도

Fig. 3. Flowchart for the algorithm of Q-control

### 3.3 듀알심플렉스법 및 쌍대완화법

式(7)'~(9)''를 L, P技法으로 푸는데 있어서 사용한 듀알심플렉스법 및 쌍대완화법의 이점을 간략히 살펴 보면 다음과 같다. 우선 制約條件(9)''를 만족하는 式(7)''의 最適解  $\Delta Q$ 는 係數의 크기 순서에 따라서 쉽게 구해지며 이 값을 듀알쌍대解가 되므로 듀알심플렉스法の 初期解로 사용 가능하므로 L, P法에서의 초기해를 구하는 과정(Phase I)이 전혀 불필요하다. 다음으로 이 값을(8)''에 代入하여 만족하지 않는 것만을 制約條件에 추가함으로써(쌍대완화법), 制約條件이 대폭 감소되므로, LP에 비해 계산시간이 현저하게 감소됨을 알 수 있다. 式(1)'~(5)'의 풀이 과정도 이것과 같다. 그림 2, 그림 3에서 본 방법의 적용과정을 볼 수 있다.

### 4. 모델系統에의 적용

본 연구에서 제시한 알고리즘을 IEEE 24母線, 38線路系統(그림 4)에 적용해 본 결과를 요약하면 다음과 같다.

표 1에 母線 再配列결과, 負荷값, 發電出力의 上下限값, 무효전력 容量의 上下限값이 주어지고,

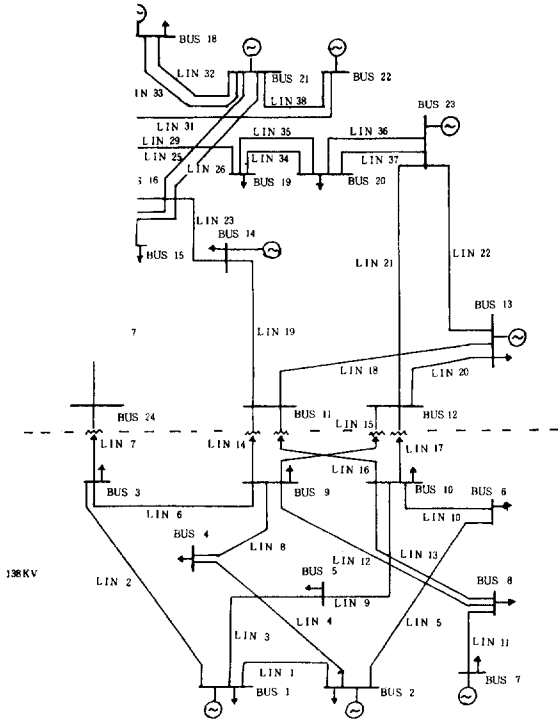


그림 4. IEEE 모델系統

Fig.4. IEEE Tes System

이 데이터로 얻은 결과가 표 2 및 표 3에 나와 있다.

표 2에 보면 본 알고리즘을 적용한 후 각 母線의 電壓이 上向조정된 것을 볼 수 있으며, 각 결과가 제약조건을 만족하며 費用이 4.41% 정도 감소된 결과를 볼 수 있다. 표 3에 의하면 有効電力制御에 의한 費用 감소는 656.07에서 632.44로 감소하였다. 그러나 본 알고리즘, 즉 有効, 無効電力制御의 반복적용으로 費用이 625.54까지 감소된 것을 확인할 수 있다. 有効無効電力制御에 있어서 有効電力制御에서 無効電力制御로 가는 과정은, 發電費用의 감소가 目的이 아니고 電壓의 安定化에 있기 때문에 그 費用이 약간 증가(632.44→634.39)함을 볼 수 있으나, 궁극적으로는 반복적용에 의하여 發電費用이 감소해 가는 과정을 볼 수 있다. 따라서 본 알고리즘의 적용으로 發電費用의 감소가 有効電力制御만이 경우에 비해 많은 개선을 가져 왔으며 아울러 電壓의 安定化를 함께 기할 수 있음이 증명되었다.

표 1. 母線 재배열 결과, 부하수요, 발전출력 상하한값, 무효전력제어용량의 상하한 및 평균 발전비용.

Fig.1. Results of bus reordering, data of load demand, bounds of generation power, Q-limits and average generating costs.

BUS ORDER	BUS NAME	LOAD DEMAND	Pg Up.	Pg LOW.	GEN. COST	Qc Up.	Qc LOW.
1	BUS07	1.	0.8	0.5	60.	2.5	0.
2	BUS20	0.224					
3	BUS19	1.448					
4	BUS22						
5	BUS17						
6	BUS21		5.0	0.5	38.	3.0	0.
7	BUS14	1.552		4		5	
8	BUS16	0.8	0.9	0.5	58.	2.5	0.
9	BUS15	1.736	1.0	0.5	55.	2.5	0.
10	BUS24					0	
11	BUS23		8.0	5.0	20.	4.0	0.
12	BUS08	1.368				0	
13	BUS06	1.088				1.0	0.
14	BUS04	0.592					
15	BUS02	0.776	2.5	1.0	45.	1.5	0.
16	BUS05	0.568					
17	BUS01	0.864	2.5	1.0	46.	2.0	0.
18	BUS03	1.44				1.0	0.
19	BUS03	2.12	3.0	1.0	35.	4.0	0.
20	BUS10	1.56				1.0	0.
21	BUS11						
22	BUS09	1.4					
23	BUS12						
24	BUS18	1.864	2.5	0.5	20.	6.0	0.

표 2. 본 알고리즘의 모선별 초기 및 최종값

Table.2. Initial and final results of the algorithm at each bus

BUS NO.	BUS VOL.		BUS Q		GEN. POWER	
	INITIAL	FINAL	INITIAL	FINAL	INITIAL	FINAX L
1	1.0000	1.0000 1	1.3167	0.9266	0.5	0.5
2	0.9895	1.0693 1	-0.2016	-0.2244	0.0	0.0
3	0.9763	1.0260 1	-1.3032	-1.3032	0.	0.
4	1.0113	1.0310 1	0.	0.	0.	0.
5	1.0012	1.0059 1	0.	0.	0.	0.
6	1.0054	1.0345 1	0.0127	2.4221	4.0	3.0
7	0.9521	0.9687 0	-1.3968	-1.3968	0.	0.
8	0.9972	1.0367 1	1.78	-0.7132	0.5	0.4
9	1.0000	1.0227 1	0.4379	0.8408	0.5	0.5
10	0.9812	1.0099 1	0.	0.	0.	0.
11	1.0000	1.0964 1	0.3549	3.3018	6.6	6.8955
12	0.9259	0.9494 0	-1.2312	-1.2312	0.	0.
13	1.0000	1.1173 1	-0.7896	-0.1413	0.	0.
14	0.9409	1.0380 1	-0.5327	-0.5328	0.	0.
15	1.0000	1.1508 1	-0.1564	-0.7779	1.92	2.4526
16	0.9664	1.0724 1	-0.5111	-0.5112	0.	0.
17	1.0000	0.1473 1	-0.2444	1.1240	1.92	1.0
18	0.9608	1.0000 1	-0.2999 2	-0.7316	0.	0.
19	1.0000	1.0000 1	-0.8326	-1.3601	2.83	2.9555
20	0.9907	1.0461 1	-0.4040	-1.4040	0.	0.
21	0.9726	1.9958 0	-0.	0.	0.	0.
22	0.9657	1.0111 1	0.	0.	0.	0.
23	0.9824	1.0228 1	0.	0.	0.	0.
24	1.0000	1.0000 1	-0.5065	-2.6640	0.592	1.7563
COST		656.0654		627.5475		
LOSS		0.3920		0.4634		

\*Upper Limit of V = 1.15

\*Lower Limit of V = 0.95

표 3. 본 알고리즘의 최종결과.

Table.3. Final results of the algorithm

	INITIAL	ITERATION 1		ITERATION 2	
		P	Q	P	Q
COST	656.07	632.44	634.39	627.39	627.54
LOSS	0.3920	0.3757	0.4364	0.4557	0.4634

### 5. 결 론

본 연구는 有効電力制御에 있어서 線路容量制約을 고려하였으므로 系統사고시에도 본 알고리즘의 이용이 가능하도록 하였으며, 無効電力制御에 있어서는 종래의 運轉費 감소의 관점보다 더욱 중요한 것으로 판명된 安定度의 관점에서 制御를 하였으며,

본 알고리즘을 모델 系統에 적용시켜 본 결과 종래의 전압을 고려하지 않은 방법보다 우수함이 입증되었으며 그 결과를 간략히 정리하면 다음과 같다.

- 1) 선로조류제약을 고려하였다.
- 2) 무효전력 제어 결과 電壓을 될 수 있는대로 높게 유지시키므로 安定度의 향상을 기하였다.
- 3) 運轉費의 감소에 있어서도 본 방법이 유효함이 입증되었다.
- 4) 쌍대완화법을 사용함으로써 대규모 실계통에 도입이 가능하다.

따라서 본 알고리즘이 개발됨에 따라 이것을 계통운영에 이용할 수 있음은 물론 系統計劃에 확장하여 이용 가능하리라 생각된다.

끝으로 본 연구는 과학재단 1986년도 연구비 지원으로 수행되었으며 관계 당국에 심심한 감사를 드린다.

## REFERENCE

- 1) A.M.H.Rashed and D.H.Kelly, "Optimal Load Flow Solution using Lagrangian Multipliers and the Hessian Matrix", Paper T74 160-8, presented at the IEEE PES Winter Meeting, New York, Jan. 1974
- 2) Y.M.Park and Y.S.Paek, "Study on the Optimal Power Operation considering Line Coningencies.", Jour.of KIEE, Vol.33, No.6, May 1984, pp.241-246.
- 3) J.Peschon, W.F.Tinney et., "Optimum Control of Reactive Power Flow", IEEE Trans. vol.PAS-87. No.1, Jan.1968, pp.40-48.
- 4) I.Hano et, "Real time control of System Voltage and Reactive Power", IEEE Tras., Vol.PAS-88, No. 10, Oct. 1969, pp.1544-1559
- 5) E.Hobson, "Network Constrained Reactive Power Control Using Linear Programming", IEEE Trans. Vol.PAS-99, No.3, May / Tune 1980, pp.868-877
- 6) Jai-Kil Chung, Y.M.Park, "A Study on the Optimum Operation Control of Power Systems", Jour.of KIEE Vol.33 No.10, Oct.1984
- 7) Y.M.Park, K.Y.Lee, "A United Approach to Optimal Real ad Reactive power Dispatch", IEEE Trans. Vol.PAS-104, No.5, May, 1985, pp.1147-1153
- 8) 박영문, 백영식, "전력조류계산의 개선에 관한 연구.", 대한전기학회지, 3월, 1977
- 9) G.Blanchon, J.C.Dodu, "Developing a New Tool for Real-Time control in order to Coordinate the Regulation of Reactive Power and the Voltage schedule in Large-Scale EHV power Systems", GIGTE-IFAC Symposium, Florence, 26-28, Sep., 1983
- 10) "IEEE Reliability Test System." IEEE Trans.PAS-98, pp.2047-2054, 1979.
- 11) 백영식, "전력계통의 전압, 무효전력 실시간제어에 관한 연구", 경북대학교 논문집 제 41집, 1986.8, pp. 411-419