論 文
33～1～2

分岐限定法에 의한 電力系統의 最小費用擴充計劃에 관한 研究

A Study on Minium Cost Expansion Planning of Power System by Branch and Bound Method

宋 吉 永*・崔 在 錫**
(Kil-Yeung Song・Jae-Seok Choi)

Abstract

This paper describes the minimum cost expansion planning which is based on the economical aspect under the various conditions on the power system expansion planning.

It presents not only linear cost characteristics analysis but also stepwise cost characteristics analysis which satisfies practical condition in the power system.

The latter analysis must be handled by integer programming (IP), because the relation between the cost and the capacity has stepwise characteristics.

In order to proceed the latter analysis, the solving procedure is illustrated in detail by using branch and bound method which includes the network flow theory and maximum flow-minimum cut theorem.

Finally, case studies on 28-bus, 35-line actual system have shown that the algorithm proposed is efficiently applicable to the practical expansion planning of power system.

1. 序 論

電力系統拡充計劃에서 고려해야할 몇가지 조건으로는

(1) 負荷豫測
(2) 系統特性
(3) 信頼性
(4) 經濟性

등을 들 수 있으나[1] 이들을 한꺼번에 고려해서 拡充計劃을 수립하기는 현실적으로 쉬운 일이 아니다.

本 研究에서는 이 조건들 중에서도 經濟性에 입각하여 設備費만을 고려하기로 하므로써 '증가하는 負荷를 만족시키고 總設備費를 最小로 하기 위하여 특정한 時期에 어디에 얼마만한 설비를 건설할 것인가?' 하는 最小費用拡充計劃에 관한 문제를 연구대상으로 삼고 다음과 같이 고찰하여 보았다.

(1) 먼저 費用特性을 線形으로 보고 線形計劃問題로 定式化해서 프라이멀-듀얼法(Primal-Dual method)으로 해석해본 다음,

(2) 發電機의 대수와 送電線의 回線数까지 고려한 階段状費用特性을 整数計劃法問題로 定式化해서 이를 分岐限定法으로 해석하였으며

(3) 특히, 階段状費用特性을 해석하기 위하여 分岐限定法을 적용하는 과정에서 最大流量 해석기법을 사용하므로써 계산소요시간의 단축을 기하였다.

2. 問題設定을 위한 假定

문제를 定式化하기 위하여 가정한 사항들을 열거하면 다음과 같다.

(1) 電力系統을 네트워크로 표시하므로써 有効電

*正 會 員：高麗大 工大 電氣工學科 教授・工博
**正 會 員：高麗大 大學院 電氣工學科 碩士課程
接受日字：1983年 9月 4日

力에 관한 공급상태를 쉽게 알 수 있도록 하였다.

(2) 有效電力을 流量으로 취급하여 潮流계산을 流量계산으로 대치시켰다. 결론적으로 이것은 손실이 없다고 가정한 것과 같은 것이지만 개략적인 拡充計劃을 세워 나가기에는 이방법으로도 충분할 것이다.[3),6)]

(3) 建設設備의 후보지점은 미리 정해져 있는 것으로 하였다.

(4) 需要의 수급상태만을 만족하는 것으로 하여, 供給豫備力은 고려하지 않았다.

(5) 시간적으로 斷面(Single-stage or Horizon-year)[10]계산을 하므로써 靜的拡充問題 (Static expansion problem)[10]로 취급하였다.

3. 네트워크 모델링과 費用特性

3.1 네트워크 모델링

실제 電力系統을 그대로 사용하면 容量을 갖고있는 發電所, 變電所, 負荷點등이 節點으로 표시되어서 供給支障상황을 검토하기에 어려운 점이 많다. 그러나 發電所, 變電所, 負荷點을 그와 等價의 容量을 갖는 枝路로 표시하고, 發電所의 總集合點을 流入點(Source)s, 負荷의 總集合點을 流出點(Sink)t, 그리고 각枝路들을 서로 연결해서 구성되는 네트워크 표현을 사용하면 쉽게 供給支障상황을 알 수 있다. 예로써, 그림 1과 같은 모델系統을 等價 네트워크로 표시하면 그림 2와 같이 된다.

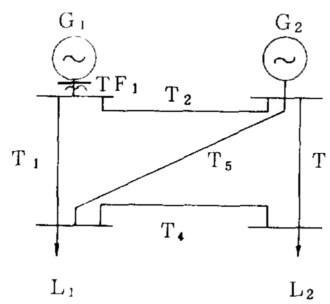


그림 1. 모델 電力系統
Fig. 1. Model power system

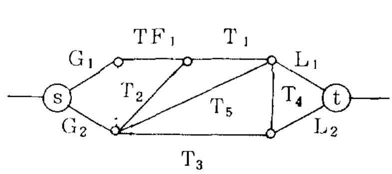


그림 2. 等價 네트워크
Fig. 2. Eguivalent network

또한, 電力系統의 供給支障상황을 몇가지 類型別로 나타내면 표 1과 같다.

표 1. 類型別 供給支障 상황
Table 1. Various aspects of power supply neck

Fm = L ≤ G	供 給 支 障 없 음
Fm = G < L	発 電 力 부 족
Fm < L ≤ G	送 電 容 量 부 족
Fm < G < L	発電力및送電容量부족

단, Fm : 네트워크의 最大流量
　G : 総発電力
　L : 総負荷電力

3.2 費用特性

設備容量과 設備費의 관계인 費用特性에 대하여 다음과 같이 2가지로 생각할 수 있다.

(1) 設備容量과 設備費의 관계를 서로 비례하는 것으로 취급한 線形費用特性

(2) 發電機의 대수, 送電線의 回線数까지 고려하여 設備容量과 設備費의 관계를 階段状으로 취급한 階段状費用特性

그림 3 및 그림 4는 이 2가지 특성에 대한 것을 그래프로 보인 것이다. 여기서, $P^{(0)}_{(xy)}$는 임의의 節點 x, y 間의 枝路에 해당되는 既設設備容量이므로 이에 해당되는 設備費는 線形費用特性이든 階段状費用特性이든 0으로 나타내어진다.

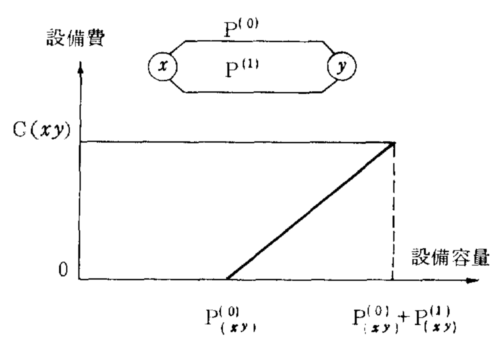


그림 3. 線形費用特性과 設備要素의 表現
Fig. 3. Liner cost characteristics and representation of system element

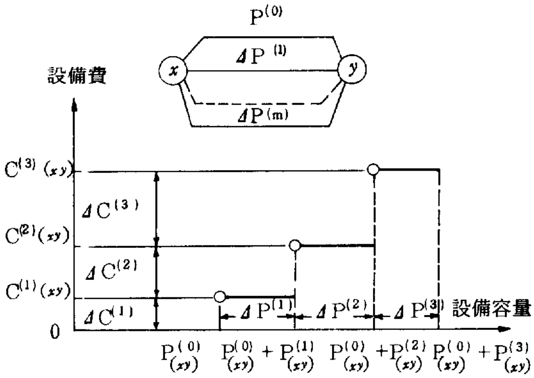


그림 4. 階段状費用特性과 設備要素의 表現

Fig. 4. Stepwise cost characteristics and representation of system element

4. 線形費用特性解析

전술한 양자의 費用特性을 비교하기 위하여 먼저 線形費用特性을 解析하여 보았다. 線形費用特性은 最大流量問題(Maximum flow problem)와 最短經路問題(Shortest path oroblem)를 혼합한 線形計劃法(LP)으로 놓을 수 있다.[4] 따라서 심플렉스法(Simplex method)이나 프라이멀-듀얼法 (Primal-Dual method)등의 技法으로 이것의 解를 구할 수 있는데[9] 그 중 프라이멀-듀얼法의 일종인 Ford-Fulkerson에 의하여 제시된 앨고리즘으로 解析하였다.[3),4)]

이때의 目的函数와 制約條件을 定式化하면 표 2와 같다.[3)]

表 2. 主問題와 雙対問題의 目的函數와 制約條件

Table 2. Objective function and constraint condition of primal and dual problems

主 問 題	雙 対 問 題
MAX $f=-D^T X$	NIN $g=K^T\alpha+P^T\gamma$
Sub. to $AX=K$ $X\leq P$	Sub. to $A\alpha+\gamma\geqq -D$
$X\geq 0$	$-\infty\leqq\alpha\leqq\infty,\ \gamma\geqq 0$

단, D : 費用벡터 (單価)

K : 総負荷量벡터

X : 主問題 変数벡터 (流量)

P : 容量벡터

α, γ : 雙対問題 変数벡터

A : 節点-要素 接続行列

표 2에서 目的函数들인 f와 g의 最適값을 f^*, g^*라 하면, Kuhn-Tucker 最適條件에 의하여

$$f^*-g^*=0 \tag{1}$$

가 된다. 여기에 표 2의 目的函数들을 대입하면

$$\begin{aligned}(\alpha_i^*+\alpha_j^*+\gamma_{ij}^*+d_{ij})\cdot X_{ij}^*&=0\\ \gamma_{ij}^*(P_{ij}-X_{ij}^*)&=0\end{aligned} \tag{2}$$

가 유도된다.[3)] (여기서, *표시는 그 變数가 最適상태임을 나타내는 것이다.)

最小費用의 經路는, 각 節點에서 流出點(Sink)t 까지 單位流量을 수송하는데 소요되는 費用의 정도를 의미하는 α_i, α_j 의 성질을 이용하여 해당되는 枝路를 선택하므로써 얻을 수 있다.

실제로 28모선, 35개 선로 규모인 實系統에 적용해본 결과 후술하는 階段状費用特性과 비교할 때 언제나 費用이 낮게 나타나는 경향을 보이고 있는데 이는 設備費가 設備容量에 비례하는 것으로 가정하였기 때문에 일어난 것으로 판단된다. 한편, 계산속도는 階段状費用特性에 비하여 훨씬 빨랐으므로 (가령, 線形費用特性에서 負荷가 2배로 증가할 때 1분 10초 소요되었는데 階段状費用特性인 경우 負荷가 1.5배로 증가할때 약 10분 소요되었음. (단, IBM 4341 사용시)) 앞으로 여기에 整数解조건까지 포함시켜 整数計劃法(IP)으로 확장시킨다면 이 線形費用特性으로도 어느정도 현실과 부합된 階段状費用特性을 해결할 수 있으리라 전망된다.

5. 階段狀費用特性解析

5.1 定式化

電力系統이 供給支障을 일으키지 않기 위해서는 最大流量-最小切斷定理[2)]에 의해 다음식이 모든 $X\subseteq N$에 대해서 만족되어야 한다.

$$P_C(X,\overline{X})\geq L \quad (s\in X,\ t\in\overline{X}) \tag{3}$$

여기서, $P_c(X,\overline{X})$는 流入點(Source)s 와 流出點(Sink)t 를 분리하는 枝路의 集合인 $(X,\overline{X})$의 컷셋容量이며, N은 節點 전부의 集合이고 X는 N의 部分集合, $\overline{X}=N-X$이다.

이러한 컷셋의 성질을 기초로 해서 이 문제를 定式化하면 다음과 같은 整數計劃法(IP)의 문제로 될 것이다.

目的函数 :

$$M_{in}\ C^T=\sum_{(x,y)\in B}\left[\sum_{i=1}^{m(x,y)}C^{(i)}_{(x,y)}U^{(i)}_{(x,y)}\right] \tag{4}$$

制約條件：

$$\sum_{(x,y)\in(X_k,\overline{X}_k)}\left[P^{(o)}_{(x,y)}+\sum_{i=1}^{m(x,y)}P^{(i)}_{(x,y)}U^{(i)}_{(x,y)}\right]\geq L \quad (5)$$

여기서 사용한 變數 및 기호는 다음과 같다.

$$C^{(i)}_{(x,y)}=\sum_{j=1}^{i}\Delta C^{(j)}_{(x,y)} \quad (6)$$

$$P^{(i)}_{(x,y)}=\sum_{j=1}^{i}\Delta P^{(j)}_{(x,y)} \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{m(x,y)}U^{(i)}_{(x,y)}=1 \quad (8)$$

$$U^{(i)}_{(x,y)}=\begin{cases}1,\ P_{(x,y)}=P^{(o)}_{(x,y)}+P^{(i)}_{(x,y)} & \text{일때}\\ 0,\ P_{(x,y)}\neq P^{(o)}_{(x,y)}+P^{(i)}_{(x,y)} & \text{일때}\end{cases} \quad (9)$$

$$P_{(x,y)}=P^{(o)}_{(x,y)}+\sum_{i=1}^{m(x,y)}P^{(i)}_{(x,y)}U^{(i)}_{(x,y)} \quad (10)$$

L：總負荷量

$\Delta C^{(j)}_{(x,y)}$：枝路(x, y)의 j번째 병렬요소의 設備費

$\Delta P^{(j)}_{(x,y)}$：枝路(x, y)의 j번째 병렬요소의 容量

k：컷셋 번호 (＝1, 2, 3 …… n)

B：全枝路의 集合

m(x, y)：枝路(x, y)의 신증설 요소의 数

5.2 分岐限定法의 適用과 그有用性

整數計劃法의 解는 컷팅-플레인法(Cutting-plane method)이나 分岐限定法(Branch and Bound method)등의 해법으로 구할 수 있다. 전자는 新增設 設備의 수가많은 拡充計劃의 경우에 制約條件式의 数가 팽대해진다는 결점이 있으나 후자는 解그라프의 성질에서 유도된 다음과 같은 점들을 고려하므로써 計劃数를 감소시킬 수 있다.

(1) 供給可能量과 總設備費를 경우의 수에 따라

$P^T_i \geq L$ (實行可能解)　(11)

$P^T_i < L$ (實行不可能解)　(12)

$C^T_i \geq C_{opt}{}^T$　(13)

$C^T_i < C_{opt}{}^T$　(14)

여기서, P^T_i：임의의 擴充計劃量 P_i만큼 擴充했을 때의 供給可能量

C^T_i：임의의 擴充計劃量 P_i만큼 擴充했을 때의 總設備費

로 분류할 수 있으며 여기서 식(11)를 만족하면서 식(13)에 해당되는 拡充計劃은 그設備가 最適解의 總設備費보다 크므로 고려할 必要가 없다.

(2) 식(11)를 만족하는 計劃이 일단 구해지면 解그라프에 있어서 그節點을 잇는 計劃은 더이상 생각할 必要가 없다.

(3) 解그라프의 어느節點 i로부터 나오는 枝路는 네트워크에 임의의 拡充計劃 P_i를 實行했을때 그 네트워크의 最小 컷셋에 包含되는 枝路만을 생각하면 충분하다.

(4) 解그라프에 있어서 임의의 拡充計劃에의 經路는 다수개 있을수 있으며 이때 각 經路에 대한 拡充計劃은 서로 같으므로 중복되는 拡充計劃은 생각하지 않아도 된다.

따라서, 本 研究에서는 이러한 點들을 고려하여 分岐限定法을 채택하였다.

5.3 最小容量切斷枝路의 集合

전술한 바와 같은 유용한 성질을 갖는 分岐限定法을 사용한다 하여도 필요한 計劃数 만큼은 最大流量계산및 最小容量切斷枝路의 集合계산을 하여야 하므로 결국 이 두가지를 구한다는 것은 많은 계산시간을 필요로한다. 따라서 여기서는 이점에 유의하여 다음과 같이 最大流量계산에서 最小容量切斷枝路의 集合을 직접 찾는 방법을 적용시키므로써 더욱 효율적인 앨고리즘을 개발할 수 있었다. 즉, 임의의 네트워크에 最大流量을 흘렸을때 残餘容量이 플러스(+)인 枝路를 더듬어서 流入點으로 부터 도달할 수 있는 節點群을 S라 하고 나머지 節點群을 T라해서 두개의 節點群으로 나누었을때 이 節點群에 걸쳐서 존재하는 枝路群이 最小切斷으로 된다는 것을 이용하였다.

예로써, 그림 5와 같은 네트워크에 있어서 最大流量이 흐를수 있는 상태를 표시하면 그림 6과 같다.

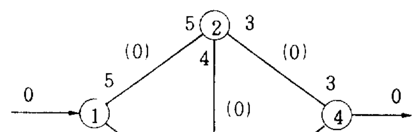


그림 5. 初期流量状態

Fig. 5. Initial flow state

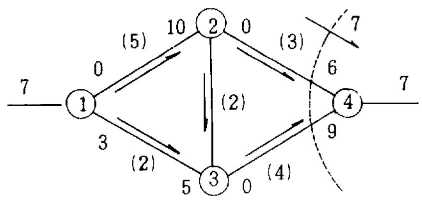


그림 6. 最大流量状態및 最小컷셋

Fig. 6. Maximum flow state and minimum cutset

이때, S={1, 2, 3}, T={4}가 됨을 알 수 있으며, S, T를 연결하고 있는 枝路群은 (2, 4), (3, 4) 이므로 결국 {(2, 4), (3, 4)}라는 最小容量切斷枝路의 集合을 쉽게 찾을 수 있다.

5.4 反復計算을 위한 앨고리즘

전술한 앨고리즘들을 이용하여 反復計算을 위한 앨고리즘을 스텝별로 나누어서 작성하면 다음과 같다.

스텝 1. 拡充計劃이 필요한지 체크한다.

스텝 2. 實行可能解가 존재하는지 체크한다.

스텝 3. $C_{opt}^T=\infty$, $C_1^T=0$ 라 둔다.

스텝 4. 초기상태의 系統에 대하여 最大流量계산에서 最小容量切斷枝路의 集合을 구한다.

스텝 5. 그 集合에 해당되는 枝路중 하나씩만 택하여(여러개의 병렬요소를 갖는 枝路는 設備費가 적은 순으로 요소 1개씩을 선택한다.) 系統에 투입하므로써 拡充計劃에 사용되는 것으로 한다. 이때 투입된 設備의 費用을 $C(A_i)$ 라 한다.

스텝 6. 지금까지 사용된 要素(設備)의 총비용인 $C_j^T+C(A_i)$ 와 C_{opt}^T 를 비교한다.

스텝 7. $C_j^T+C(A_i)\geq C_{opt}^T$ 이면 그 계획은 고려할 필요가 없다. '<' 이면 그 계획의 중복유무를 체크한다. (중복이면 고려할 필요가 없다.)

스텝 8. 實行可能解인지 체크한다.

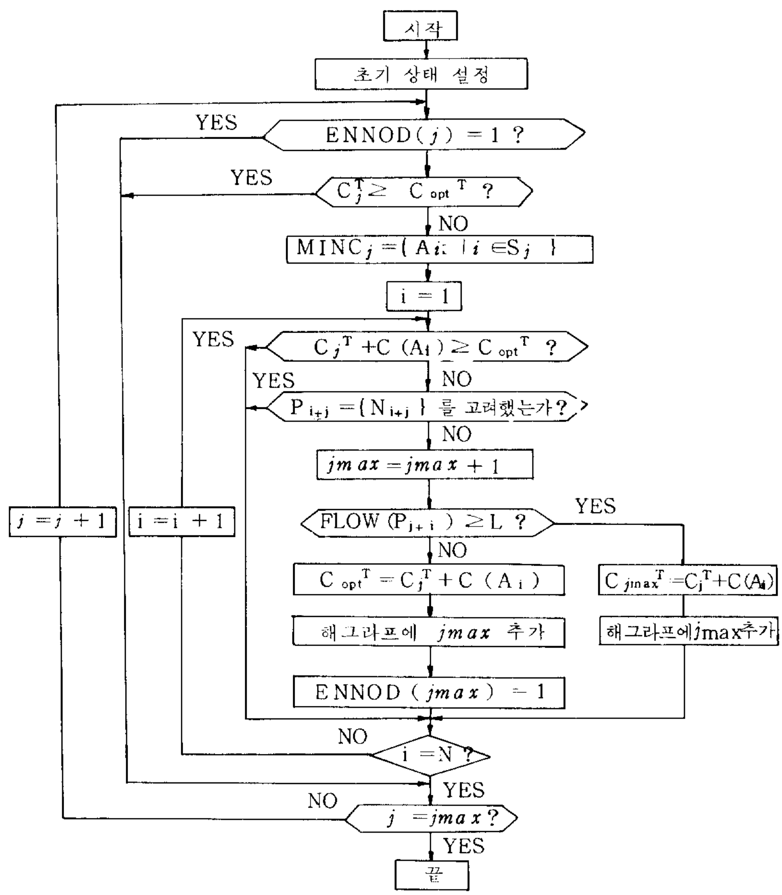


그림 7. 흐름도

Fig. 7. Flow chart

스텝 9. 實行可能解이면 이 解를 새로운 最適解로 하고 $C_{opt}^T = C_j^T + C(A_i)$라 한다.

스텝 10. 實行不可能解이면 $C_{jmax}^T = C_j^T + C(A_i)$라 놓고 最小容量切斷枝路의 集合을 구한다.

스텝 11. 스텝 10의 集合의 枝路가 모두 고려되었는가 체크한다.

스텝 12. 고려될 枝路가 있으면 스텝 5로 간다.

스텝 13. 없으면 모든 實行可能解 중에서 가장 적은 費用을 갖는 拡充計劃이 구해진다.

이러한 앨고리즘을 기초로 階段狀費用 特性을 그림 7과 같은 흐름도에 따라 해석하였다.

단, 이 그림에서 사용한 기호의 설명은 다음과 같다.

$MINC_j$	: 計劃量 P_j 를 실행했을때의 最小容量切斷枝路중 建設候補枝路의 集合
$FLOW(P_{j+i})$	: 計劃量 P_{j+i} 를 실행했을때의 最大流量
C_{opt}^T	: 計劃量 P_{j+i} 만큼 실행하기 전까지의 最適解의 總設備費 (초기치는 ∞)

6. 階段狀費用特性의 적용예

6.1 모델系統에서의 적용예

그림 7의 흐름도에 의하여 처리되어 나가는 과정을 그림 8과 같은 간단한 모델系統에 적용시켜 나타내었다.

이 모델系統은 建設候補地點까지 포함한 것으로써 실선은 初期狀態系統을 표시하며 점선은 候補設備를 나타낸다. 이문제는 負荷가 장차 32 MW→43 MW, 15 MW→22 MW로, 즉 總負荷 47 MW→65 MW로 증가될 것으로 예측될 경우, 最小費用으로 증가될 負荷를 만족시키기 위한 拡充計劃을 구하는 것

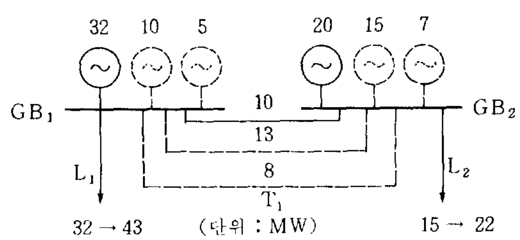
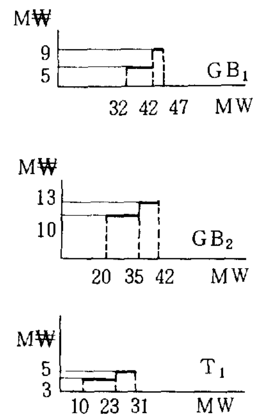


그림 8. 建設候補設備를 고려한 모델 系統

Fig. 8. Model system with considering construction candidate plant

이라 하겠다.

이때 그림 8에 대한 設備容量과 設備費의 관계를 그래프로 나타내면 그림 9와 같이되며, 또한 그림 8을 等價네트워크로 표시하면 그림10과 같이 된다. 여기서 실선위의 각 숫자는 初期狀態의 컷셋容量을 나타낸다.



(1 M₩$=10^6$ 원)

그림 9. 그림 8의 費用特性 그래프

Fig. 9. Cost characteristics Graph of Fig.8

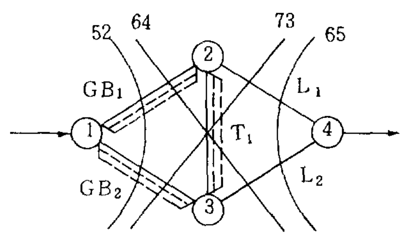


그림 10. 그림 8의 等價네트워크

Fig. 10. Eguivalent Network of Fig.8

그림11은 위와 같은 상황아래에서 最適解가 分岐限定法에 의하여 구해지는 과정을 알기 쉽게 보인것이다. (단, 점선부분은 새로 고려되는 新增設設備이다) 즉, GB_2의 15 MW와 T_1의 13 MW, 총 2대의 설비를 新增設하면 된다. (이때 소요되는 총비용은 13×10^6 원이다.) 이 2대의 설비로 拡充計劃을 실행한 系統은 그림12와 같다.

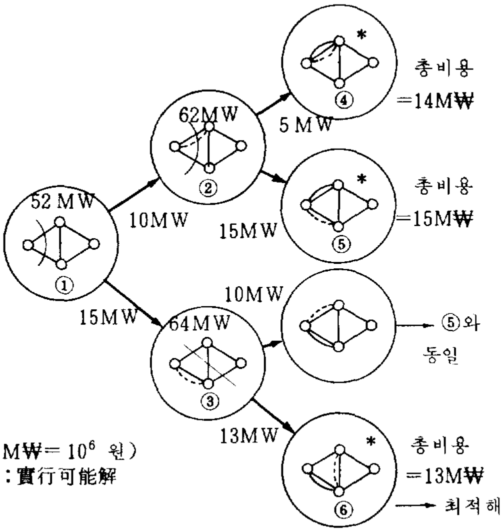


그림 11. 分岐限定法에 의한 解그라프

Fig. 11. Solution graph by Branch & Bound method

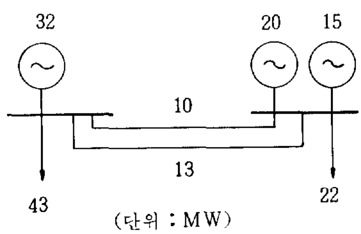


그림 12. 모델系統의 拡充計劃 結果

Fig. 12. Expansion planning result of model system

6.2 實系統에서의 적용예

이번에 개발한 프로그램을 그림13과 같은 28 母線 35 개線路 규모인 實系統에 적용시켜 보았다. 이 系統의 容量 및 費用入力資料는 표 3 과 같다.

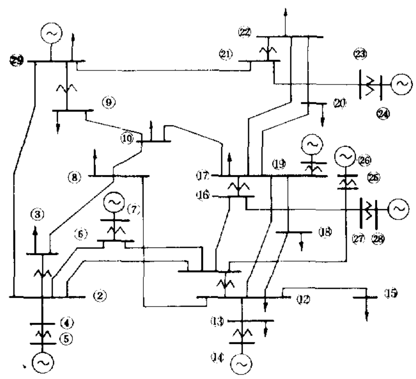


그림 13. 實系統 (28 母線, 35 線路)

Fig. 13. Actual system (28 Bus , 35 Line)

여기서 新增設하는 병렬요소(發電機의 경우 대수,送電線의 경우 회선수)를 최고 4개까지 고려하였으나 임의의 갯수까지 고려해도 좋도록 프로그램을 작성하였다.

표 3. 용량 및 비용 입력자료 (단위 :MW, M₩)

Table 3. Capacity and cost input data (unit : MW, M₩)

* INPUT DATA FOR POWER SYSTEM EXP. PLANNING WITH MIN. COST *

					CATAB					COTAB				
NL	SB	EB	ID	NE	P(0)	P(1)	P(2)	P(3)	P(4)	C(0)	C(1)	C(2)	C(3)	C(4
1	1	5	GN	2	900.	300.	300.	300.	0.	0.	150.	150.	200.	0
2	1	29	GN	1	500.	150.	150.	200.	0.	0.	150.	150.	220.	0
3	1	7	GN	1	300.	100.	100.	50.	50.	0.	200.	200.	150.	100
4	1	14	GN	1	200.	100.	50.	50.	0.	0.	250.	100.	100.	0
5	1	28	GN	2	1200.	600.	600.	0.	0.	0.	230.	230.	0.	0
6	1	24	GN	1	650.	325.	325.	0.	0.	0.	220.	300.	0.	0
7	1	19	GN	3	660.	330.	330.	0.	0.	0.	180.	200.	0.	0
8	1	26	GN	2	800.	200.	200.	200.	200.	0.	100.	100.	100.	110
9	9	29	TF	2	1020.	510.	510.	0.	0.	0.	32.	32.	0.	0
10	21	22	TF	2	1020.	510.	510.	0.	0.	0.	24.	24.	0.	0
11	23	24	TF	1	780.	390.	390.	0.	0.	0.	57.	30.	0.	0
12	17	19	TF	3	750.	750.	0.	0.	0.	0.	65.	0.	0.	0
13	16	17	TF	2	1020.	510.	510.	0.	0.	0.	25.	30.	0.	0
14	27	28	TF	2	1440.	720.	720.	0.	0.	0.	26.	26.	0.	0
15	13	14	TF	1	240.	240.	0.	0.	0.	0.	30.	0.	0.	0
16	11	12	TF	2	800.	800.	0.	0.	0.	0.	95.	0.	0.	0.
17	6	7	TF	1	360.	360.	0.	0.	0.	0.	110.	0.	0.	0.
18	2	3	TF	2	800.	800.	0.	0.	0.	0.	51.	0.	0.	0.
19	4	5	TF	2	1080.	540.	540.	0.	0.	0.	40.	47.	0.	0.
20	25	26	TF	2	960.	460.	0.	0.	0.	0.	76.	0.	0.	0.
21	29	2	TL	2	1000.	500.	500.	0.	0.	0.	29.	29.	0.	0.
22	3	8	TL	1	220.	220.	0.	0.	0.	0.	54.	0.	0.	0.
23	2	6	TL	1	300.	300.	0.	0.	0.	0.	13.	0.	0.	0
		⋮					⋮					⋮		
42	26	27	TL	2	220.	220.	0.	0.	0.	0.	80.	0.	0.	0.
43	17	18	TL	2	220.	220.	0.	0.	0.	0.	80.	0.	0.	0.
44	29	30	LD	1	500.	150.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
45	9	30	LD	1	594.	178.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
46	3	30	LD	1	680.	204.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
47	12	30	LD	1	460.	138.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
48	13	30	LD	1	13.	4.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
49	15	30	LD	1	423.	127.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
50	18	30	LD	1	121.	35.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
51	17	30	LD	1	554.	166.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
52	20	30	LD	1	264.	80.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
53	22	30	LD	1	650.	200.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
54	10	30	LD	1	195.	59.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
55	8	30	LD	1	60.	18.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
56	10	11	TL	0	0.	200.	200.	0.	0.	0.	100.	50.	0.	0.

그림14는 전술한 앨고리즘에 階段狀特性을 연속적으로 얻기 위한 앨고리즘을 첨가시켜 本系統에 적용하므로써 얻은 결과를 그래프로 정리해서 보인것이다.

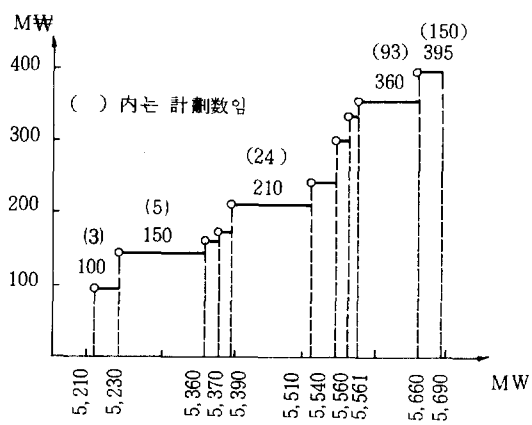


그림 14. 總設備費에 대한 階段狀그래프

Fig. 14. Stepwise graph for total cost

그림14에서 總設備費 395×10⁶원, 計劃數 150인 마지막 단계는 總負荷가 4514 MW에서 5661MW로 증가 할 때의 拡充計劃에 대한 결과이다. (5210MW 까지는 기설설비 만으로도 만족하고 있음) 이를 위한 計算결과는 표4와 같으며 여기서 RSTAB의 '1'의 숫자는 선택된 설비를 가리킨다. 즉, 새로 新增設할 設備는 母線 29에서 發電機 150MW×1, 母線 19에서 發電機 330MW×1, 그리고 母線 19와17 사이에 變壓器 750MW×1등 모두 3대이다.

표　4. 計算結果

Table 4. The calculation result

```
*RESULT*
OLD LOAD=4514.000MW  MAX FLOW=5690.000 MW
NEW LOAD=5873.000MW  OPT COST=  395.000 M₩
    LOAD=5661.000MW  TOT TREE=       195
```

NL	SB	EB	ID	NE	RSTAB			
1	1	5	GN	2	0	0	0	0
2	1	29	GN	1	1	0	0	0
3	1	7	GN	1	0	0	0	0
4	1	14	GN	1	0	0	0	0
5	1	28	GN	2	0	0	0	0
6	1	24	GN	1	0	0	0	0
7	1	19	GN	3	1	0	0	0
8	1	26	GN	2	0	0	0	0
9	9	29	TF	2	0	0	0	0
10	21	22	TF	2	0	0	0	0
11	23	24	TF	1	0	0	0	0
13	17	19	TF	3	1	0	0	0
14	16	17	TF	2	0	0	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
56	10	11	TL	0	0	0	0	0

7. 結　論

이번에 개발한 프로그램에 대한 몇가지 중요한 特性 및 實用性 그리고 앞으로의 연구과제를 요약해 본다면 다음과 같다.

(1) 費用特性을 보다 현실과 부합된 階段狀으로 설정해서 實系統에 적용해본 결과 실제의 拡充計劃에 충분히 활용할 수 있음을 밝힐 수 있었으며

(2) 이미 개발된 系統特性을 고려한 拡充計劃 시스템에 이러한 最小費用拡充計劃 프로그램을 첨가시킨다면 보다 나은 拡充計劃을 수립할 수 있으리라 기대된다.

(3) 또한 最小容量切斷枝路의 集合을 最大 流量계산에서 직접 찾으므로써 계산속도와 기억용량을 대폭 감축시킬 수 있었다.

(4) 여기서는 시간적으로 보아 靜的拡充計劃 (static expansion planning) 이지만 電力系統이란'끊임없이 성장되는 것' 이라는 측면에서 볼때 年次別 拡充計劃까지 결정하는 動的拡充計劃 (dynamic expansion planning)[11]에 대한 연구가 기대되며,

(5) 앞으로 信頼性까지 고려하여 보다 종합적인 拡充計劃을 위한 앨고리즘 개발이 남은 研究課題라 생각 된다.

参 考 文 献

1) 宋 吉永 著 ; "電力系統工學", 동명사 1977년 p. 11～18.

2) 宋 吉永 著 ; "系統解析理論의 基礎와 應用", 동일 출판사 1981년 p. 227～273.

3) 高橋一弘 著 ; "電力 시스템 工學", 코로나社 1977년 p. 178～262.

4) L. R Ford, D. R Fulkerson 著, "Flows in network" princeton university press 1974 년 p. 93～172

5) 宋 吉永 ; "電力系統計劃의 綜合機械化에 관한 研究", 대한전기학회지 pp. 58～64 1978년 1월.

6) 岡田隆夫, 河合半一 ; "階段状 費用特性을갖는 電電力系統의 拡充計劃의 計算手法", 日本電氣學会雑誌 pp. 1602～1610 1969년.

7) Billy E. Gillett著; "Introduction to operations research", McGraw-Hill, p. 193～241 1976 년.

8) T. C Hu 著 ; "Integer programmig and networks flows", Addison-Wesley pub. Company 1970 년.

9) Mokhtar S. Bazara, John J. Jarvis 著; "Linear programming and network flows", John Wiley & Sons, p. 236～304, p. 473～522

10) Stephan T. Y. Lee, Kenneth L. Hicks, Esteban Hnyilicza ; "Transmission expansion by branch and bound integer programming with optimal cost-capacity curves" IEEE, Trans. pp. 1390～1400, SEP/OCT, 1974년

11) A. P. Meliopoulos, R. P. Webb, R. J. Bennon, J. A. Juves ; "Optimal long range transmission planning with AC load flow" IEEE, Tr s. PAS-101 pp. 4156～4163. Oct 1982.