

스파스 벡터 기법을 이용한 전력계통 분할 알고리즘의 개발

이 춘모
한국전력공사

조 인숙, 신 명철
성균관대학교

A Design of Diakoptic Method based on Sparse Vector Method for the Power System

C. M. LEE
KEPCO

I. S. CHO, M. C. SHIN
Sung Kyun Kwan Univ.

ABSTRACT

Diakoptic method applied to analyze large power system, always require the efficient tearing algorithm. But conventional tearing methods is not suitable to apply practical power system. This paper presents new tearing algorithm based on factorization path concept of sparse vector method, and applied MPRLD, a kind of optimal ordering algorithm, in ordering step to improve the efficiency of tearing algorithm. Test result of model systems shows that new proposed method in this paper is enable to tear power systems not to be teared by heuristic cluster method, reduces computing time and memory size.

1. 서 론

1950년대 초기에 Gabriel Krong이 최초로 제시한 분할해석 기법 (diakoptic method)은 대형계통을 여러 작은그룹으로 분할하여 해석하는 방법으로, 이를 전력계통 해석에 적용하면 분할된 각각의 그룹을 자기 다른 컴퓨터에서 병렬로 처리하므로써 컴퓨터의 연산시간과 기억용량을 줄일 수 있다. 계통분할 방법(tearing method)에는 임의로 분할하는 방법과 heuristic cluster 알고리즘을 이용하는 방법 등이 있으나 이 방법들은 전력계통 해석에 적용하기에 부적합하거나, 분할이 불가능한 계통이 존재하여 실제의 전력계통에 적용하기에는 한계성을 갖고있었다. [7-9]

본 연구에서는 스파스벡터기법의 경로그래프와 역행렬 $[L]^{-1}$ 의 스파스스티구조와의 관계를 고찰하여 $[L]^{-1}$ 의 스파스스티구조로부터 직접 계통을 분할하도록하는 새로운 분할기법을 제시하였고, 분할의 효율을 향상시키기 위하여 서열단계에서 최적서열 순법을 적용하였다.

제한한 분할기법은 기존의 방법으로 분할이 불가능한 계통까지도 분할이 가능할 뿐만 아니라 분할시간도 거의 무시할 수 있을 정도로 작게되는 잇점이 있다. 제한된 분할기법의 신뢰성을 입증하기 위하여 14모선 전력계통모델을 대상으로 제안한 분할기법에 적용한 경우와 heuristic cluster 알고리즘에 적용한 경우의 결과를 비교, 검토하였다.

2. 스파스 벡터기법(sparse vector method)

2.1 스파스벡터 기법의 개요

일반적으로 전력계통과 같은 대규모 회로망을 분석하기 위하여 식 (2-1)과 같은 연립방정식을 사용한다.

$$[A][x] = [b] \quad (2-1)$$

단, [A]: Nonsingular matrix.

[X]: 미지의 행벡터.

[b]: 기지의 독립벡터.

식(2-1)의 행렬[A]는 식(2-2)와 같이 LU분할(LU factorization)에 의해 상측 삼각행렬 [U]와 하측 삼각행렬[L]로 나누어 질 수 있다.

$$[L][U][x] = [b] \quad (2-2)$$

식 (2-1)의 벡터 [b]에서 영이 아닌 요소들을 각각 하나의 벡터로 취급하고, 이 각각의 벡터, 즉 singleton에 대한 경로(path)는 하측삼각행렬[L]에서 열벡터의 첫번째 영이아닌요소로부터 구해지게 되는데 각 벡터들에 대한 경로의 조합을 그래프로 나타낸 것이 경로 그래프(path graph)이다. 그림(2-1)의 16모선 계통에 Tinney의 Minimax Degree(MD) 서열순법을 적용하여 삼각 행렬[L]을 구한 후 이[L]로부터 각 singleton에 대한 경로를 구하여 경로그래프를 완성하면 그림 (2-2)와 같다.

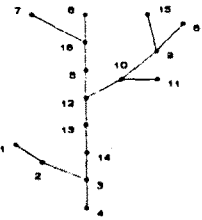
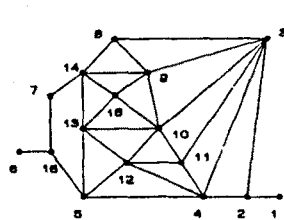


그림 2-1: 16 모선 모델 계통.

그림 2-2: 경로 그래프.

Fig 2-1: A 16 nodes model network Fig 2-2: Path graph

스파스 벡터기법은 이 경로그래프를 이용하여 오직 연산에 영향을 미치는 경로, 즉 분할경로(factorization path)에 대해서만 연산을 실행하도록 하는 것으로서 식 (2-1)에서 기지의 독립벡터 [b]가 스파스하거나 미지의 행벡터 [x]의 요소 중 오

직 일부의 해만 요구될 경우, 스파스 행렬기법에 비하여 경로 그래프를 이용한 스파스벡터기법이 더욱 효율적이다. [1]

스파스 벡터법의 효율을 개선하기 위하여 1988년 이후 Gomez의 AI, MD-MNP[9] 및 Roman의 MD-ML[4]의 서열산법이 제안되어왔으며, 최근에는 서열산법의 최적화 기법을 더욱 향상시킨 MPRLD[6]도 제안되었다. MPRLD법은 각 서열 단계에서 Gauss 소거법과 Gauss-Jordan 소거법을 동시에 적용하여 [L]과 [L]⁻¹의 fill-in을 함께 구할 수 있도록 한 것이며, 모든 모선의 서열 과정에서 [L]⁻¹의 fill-in을 고려하므로써 경로들의 평균길이를 작게한 것이다.

2.2 분할경로(factorization path)의 연산

그림 2-1의 모델계통에 MD법으로 서열한 후 구한 삼각행렬 [L]에 대하여 모선 6,8에 있는 요소가 수정이 되었을 경우 영향받는 분할경로(factorization path)는 그림 2-3과 같이 된다.

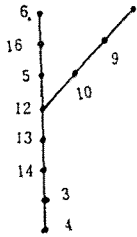


그림 2-3: 분할 경로
Fig 2-3: Factorization path

스파스벡터기법의 연산절차는 각각의 수정되는 모선 요소들 중 분할경로에서 더 낮은 위치에 있는 모선의 요소들이 먼저 계산되어져서는 안된다. 그러나 그래프상의 가지(branch)들은 서로 어떤 순서로나 계산이 가능하다. [1,5] 그림2-3에서 가지 (6,16,5)와 가지(8, 9,10)은 서로 독립적으로 계산이 수행되어 각 가지에 속한 모선 요소의 변화는 다른 가지의 모선에는 영향을 미치지 않고 오직 해당된 가지의 모선들과 공통 경로인 12,13,14,3,4번 모선에만 영향을 미치게 된다. 즉, 경로그래프의 아래 부분에 위치한 모선들은 다른 모선들의 수정시 항상 영향을 받는 모선이고 이들 모선들을 제외한 두 가지의 모선들은 서로 독립적이다.

3. 전력계통분할

대규모 전력 계통을 해석하는 경우, 계통을 여러개의 작은 그룹으로 분할하여 각각의 분할된 그룹을 각기 다른 컴퓨터에서 병렬로 처리하면 전력계통 전체를 처리하는데 소요되는 연산시간과 컴퓨터의 기억용량을 효과적으로 감소시킬 수 있다. 계통 분할기법(tearing method)에는 임의의 계통을 분할하는 방법과 heuristic cluster 알고리즘을 이용하는 방법등이 있다 [7,10].

3.1 Heuristic cluster 알고리즘

Heuristic cluster 알고리즘은 임의의 모선 "IS(iteration set)"를 선택한후 이 모선에 인접한 모선들 "AS(adjacent set)"와 AS의 모선 수 "CN(contour number)"을 구하고, 다시 AS의 모선중 새로운 가지(fill-in)를 포함한 degree의 수가 가장 작은 모선을 다음 IS로 정하여 이 모선의 AS와 CN를 구하고 CN이 0이 될때까지 반복하여 수행한 후, CN의 값이 감소하다가 다시 증가하는 곳의 AS 모선들로 계통을 분할하는 방법이다.

그림 3-1의 14모선 모델계통과 그림2-1의 16모선 모델계통에 대하여 Heuristic cluster 알고리즘을 적용하여 각 벡터들을 구하면 표 3-1과 같이 된다.

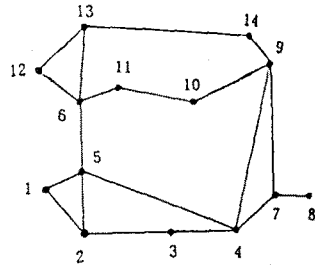


그림 3-1: 14모선 모델 전력계통.
Fig 3-1: 14 Nodes model system

표 3-1: 모델 계통에 대한 heuristic cluster 알고리즘 적용 결과

Table 3-1: The result of heuristic cluster algorithm application of Model system
(a) 14 모선 (b) 16 모선

AS			IS	AS		CN
n6			n6	n6		1
n8	n7		n6	n7 n5		2
n7	n4 n9		n7	n4 n5		2
n4	n3 n5 n	2	n5	n2 n4 n3 n4		4
n3	n2 n5 n	3	n4	n8 n9 n5 n2 n4 n3		6
n2	n1 n5 n	3	n8	n9 n5 n2 n4 n3 n3		6
n1	n5 n9	2	n9	n10 n5 n2 n4 n3 n3		6
n5	n6 n9	2	n15	n10 n2 n4 n3 n3		5
n9	n6 n10	3	n3	n10 n2 n4 n3		4
n10	n6 n11	3	n10	n2 n4 n3 n1		4
n4	n3 n11	3	n12	n4 n3 n1		3
n11	n6 n13	2	n11	n4 n3		2
n13	n6 n12	2	n3	n4 n2		2
n12	n6	1	n4	n2		1
n6	0		n2	n1		1
			n1	0		1

표 3-1-(a)에서 14 모선의 경우 절선 위의 부분과 아래 부분으로 계통을 분할할 수 있으나, 표 1-(b)와 같은 16모선의 경우 heuristic cluster 알고리즘으로는 분할이 되지 않음을 알 수 있다. 일반적으로 heuristic cluster 알고리즘은 전력 계통을 작은 영역으로 쉽게 분할할 수 있는 절점이 존재하고 그 절점에 의해 분할되는 작은 영역의 내부가 밀집되어 있는 경우에만 적용이 가능하다. 따라서 적용이 불가능한 계통도 존재하게 된다.

3.2 계통분할 문제에서의 스파스벡터기법의 적용

스파스벡터기법의 경로그래프에서 각 가지들의 공통 경로인 아래 부분에 위치한 모선들은 가지들의 모선에 항상 영향을 받는 모선이고 이들 공통모선들을 제외한 각 가지들은 서로 독립적이다. 그러므로 경로그래프의 아래부분에 위치한 공통모선을 경계모선으로 하여 가지들을 분할된 그룹으로 나누어 분리하여 연산을 수행하여도 연산결과는 영향을 받지 않게 되므로 이 경로그래프를 이용하면 계통을 작은 그룹으로 적절하게 분할하여 해석 할 수 있다. 경로그래프를 이용한 계통 분할 알고리즘을 개발하기 위하여 다음과 같은 벡터를 정의한다.

- $f(i)$: 모선 i 에 대한 경계모선 혹은 분할 그룹을 구분
- $a(t)$: 각 분할그룹 t 의 모선 수.

Heuristic cluster 알고리즘으로 분할이 되지 않는 그림 2-1의 계통에 Tinney의 MD 서열산법을 적용하여 그림 2-2의 경로 그래프를 구한 후 위 두 벡터를 이용하여 분할하면 그림 3-2와 같다.

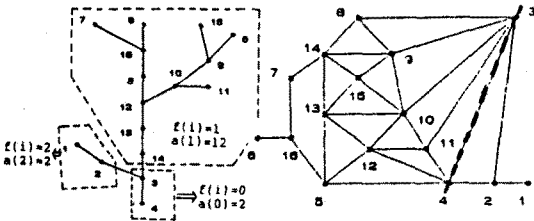


그림 3-2: 분할된 경로그래프와 16모선 모델계통.

Fig 3-2: The tearing of path graph and 16 node model network

그림 3-2에서 $f(i) = 0$ 은 경계모선을 $f(i) = 1$, 2는 분할 그룹 "1"과 "2"를 나타낸다. 즉, 분할그룹 "1"과 "2"의 모선 수는 12개와 2개이며 경계모선의 모선 수는 2개이다. 이와 같이 heuristic cluster 알고리즘으로 분할이 되지 않는 계통도 스파스벡터기법의 경로 그래프를 이용하면 분할이 가능하게 된다.

3.3 역행렬 $[L]^{-1}$ 를 이용한 계통분할의 과정

경로그래프를 실제로 구하여 계통을 분할하는 방법은 대규모 전력계통에 적용시 매우 복잡하고, 많은 시간을 요구하기 때문에 경로그래프를 그려서 계통을 분할하는 것은 비효율적이고 어렵게 된다[11]. 따라서 경로그래프를 구하지 않고 $[L]^{-1}$ 행렬요소들의 스파스티 구조로부터 직접 계통을 분할하는 방법을 고찰하도록 한다. 역행렬 $[L]^{-1}$ 의 스파스티 구조와 경로그래프는 서로 중요한 관계를 갖고 있다. 그림 3-3은 16 모선 계통에 대하여 MD 법으로 모선을 재서열한 후 얻어진 역행렬 $[L]^{-1}$ 의 스파스티 구조와 경로그래프를 나타낸 것이다. $[L]^{-1}$ 스파스티 구조에서 X는 영이 아닌 요소를 F는 LU분할 시 발생하는 fill-in, 1는 $[L]$ 을 역변환 할때 발생하는 Fill-in을 표시한다.

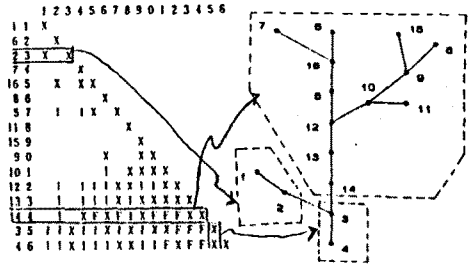


그림 3-3: 역행렬 $[L]^{-1}$ 요소의 스파스티 구조와 경로그래프와의 관계.

Fig 3-3: The relation with sparsity structure of $[L]^{-1}$ and path graph.

그림 3-3에서 보는 바와 같이 $[L]^{-1}$ 에서 14번 모선 행벡터의 영이 아닌 요소의 수와 그 요소들의 열 번호는 각각 경로그래프 상에서 14번 모선에 연결되어 있으면서 14번 모선 보다 앞선 위치의 모선 수와 모선들을 나타내게 되므로 $[L]^{-1}$ 에서 분할그룹 "1"의 $a(1)$ 은 14번 모선 행벡터의 영이 아닌 요소의 수인 7이며 14번 모선을 포함한 부분할 그룹 모선들은 (6,7,16,8, 5,11,15,9,10,12,13,14)이다. 또한 $a(2)$ 는 2번 모선 행벡터의 영이 아닌 요소의 수 2 이고 2번 모선을 포함한 부분할 그룹 모선들은 (1,2)가 되며 경계모선 (3,4)는 3번 모선 열벡터의 영이 아닌 요소들이다.

3.4 제안된 전력계통 분할 알고리즘

경로그래프를 나타내는 모든 정보를 $[L]^{-1}$ 의 스파스티 구조에서 얻을 수 있으므로 경로그래프를 실제로 구하지 않아도 $[L]^{-1}$ 에서 직접 경계모선과 분할그룹 모선들을 찾아낼 수 있다. $[L]^{-1}$ 에서 마지막에 서열된 모선으로부터 역순으로 영요소가 하나도 없는, 즉 모든 앞선 모선들을 경로로 하는 모선들은 경계모선이 되고 최초로 영요소가 나타나는 모선이 분할그룹 "1"의 가장 마지막에 서열된 모선이 되며, 이 모선의 영이 아닌 요소들로부터 그룹"1"의 모선들을 구할 수 있고 영요소로부터는 다음 그룹의 모선들을 구할 수 있다. 또한 최적서열산법 적용단계에서 MPRLD법을 적용하게 되면 별도의 연산과정을 거치지 않아도 $[L]^{-1}$ 의 스파스티 구조를 구할 수 있으므로 계통을 분할하기 위한 시간은 단지 $[L]^{-1}$ 에서 경계모선과 분할 그룹을 찾는 데 소요되므로 거의 무시할 수 있을 정도의 적은 시간만 소요되게 된다. 이와 같은 과정을 요약한 계통 분할 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) MPRLD법을 적용하여 모선을 재서열하고 $[L]^{-1}$ 의 스파스티 구조를 구한다.
- 2) N 모선 계통에 대하여 $k = N-1$ 로 놓는다.
- 3) 분할그룹의 수 t 를 초기치 1로 지정한다.
- 4) 역행렬 $[L]$ 에서 k 번째 모선의 행벡터에 있는 영이 아닌 요소의 수가 $a(k) = k-1$ 이면

- 4.1) $f(k) = 0$
- 4.2) $k = k-1$ 하고 $k = 0$ 이면 종료 아니면 step 4)로 가서 반복 수행한다.
- 5) 역행렬 $[L]^{-1}$ 에서 k 번째 모선의 행벡터에 있는 영이 아닌 요소의 수가 $a(k) = k-1$ 이면
 - 5.1) $f(k) = t$, nonzero = $k - a(k) - 1$ 로 하고
 - 5.2) k 모선의 영이 아닌 요소들의 모선번호 i 대하여 $f(i) = t$
 - 5.3) k 번째 행의 영 요소중 가장 끝에 위치한 영 요소의 모선번호가 j 라고 하면 $t = t + 1$, $f(j) = t$
 - 5.4) j 모선의 영이 아닌 요소들의 모선번호 l 에 대하여 $f(i) = t$
 - i) nonzero = $a(j) + 1$ 이면 종료하고
 - ii) nonzero = $a(j) + 1$ 이면 nonzero = nonzero - $a(j) - 1$
 $k = j$ 로 하고 step 5.3)으로 가서 반복 수행한다.

이상의 제안된 분할기법은 스파스벡터기법의 분할경로개념에서 각 가지들의 독립성을 이용하여 경로그래프를 그려서 계통을 분할하는 방법 [11]보다 분할에 소요되는 시간을 단축시키기 위하여 $[L]^{-1}$ 스파스티 구조로부터 직접 계통을 분할하도록 하였으며, 서열단계에서 MPRLD를 적용하므로써 $[L]^{-1}$ 의 스파스티 구조를 별도로 구할 필요가 없게 하였다.

4. 적용에 및 결과고찰

4.1 새로운 분할기법의 적용

그림 2-1의 16 모선 모델전력계통에 제안된 분할기법을 적용하면 다음과 같다.

서열산법 MPRLD를 적용하여 모선을 재서열한 후 얻어진 $[L]^{-1}$ 의 스파스티구조에서 마지막에 서열된 모선 9로부터 역순으로 영 요소가 하나도 없는 모선인 경계모선을 구하고, 이들 모선에 의하여 분할된 모선들을 구하면 표 4-1과 같이 된다. 표에서 보는 바와 같이 경계모선은 3, 10, 13, 5이고 분할그룹 "1"은 6, 7, 16, 8, 15, 9, 14가 되고 분할그룹 "2"는 1, 2, 11, 4, 12 이 되어 16모선 계통의 분할결과는 그림 4-1과 같이 구해진다.

표 4-1: 제안된 분할기법의 적용결과

Table 4-1: The result of application of proposed method

서열전	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
서열후	1	6	7	2	16	8	15	11	9	4	12	14	3	10	13	5	
f(i)	2	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2	1	0	0	0	0	
a(i)	a(0) = 4, a(1) = 7, a(2) = 5																

앞의 그림 3-1에서 보는 바와 같이 서열단계에서 MD법을 적용하여 계통을 분할하면 분할된 각 그룹으로 할당된 모선 수가 분할그룹 "1"은 12개, 분할그룹 "2"는 2개로 큰 차이가 있어 계통을 분할하여 연산할 때 효율이 좋지 못하게 된다. 그러나 MPRLD 서열산법을 적용하여 계통을 분할하면 각 분할그룹 모선수는 각각 7개와 5개가 되어 매우 효율적으로 분할되었음을 알 수 있다.

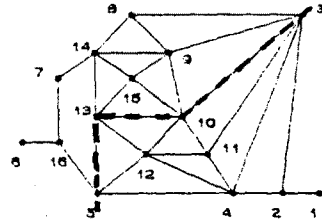


그림 4-1: 분할된 16모선 모델계통

Fig 4-1: The tearing of 16 node model network

4.2 전력계통에서의 적용

어드미턴스 행렬과 모선전류가 각각 표4-2와 표4-3인 그림 2-5의 14모선모델계통을 heuristic cluster 알고리즘으로 분할한 경우와 새로 제안된 분할알고리즘으로 분할한 경우에 대하여 분할해석기법(diakoptic method)을 적용하면 다음과 같다.

표 4-2: 14 모선모델 계통 어드미턴스

Table 4-2: 14 nodes Model system admittance

(1, 2)	0.09380+j0.05917	(6, 11)	0.09498+j0.19890
(1, 5)	0.05403+j0.22304	(6, 13)	0.06615+j0.13027
(2, 3)	0.04699+j0.19797	(7, 8)	0.00000+j0.17615
(2, 4)	0.05811+j0.17632	(7, 9)	0.00000+j0.11001
(2, 5)	0.05695+j0.17388	(9, 10)	0.03181+j0.08450
(3, 4)	0.06701+j0.17103	(9, 14)	0.12711+j0.27038
(4, 5)	0.01335+j0.04211	(10, 11)	0.08205+j0.19207
(4, 7)	0.00000+j0.20912	(12, 13)	0.22092+j0.19988
(4, 9)	0.00000+j0.55618	(13, 14)	0.17093+j0.34802
(5, 6)	0.00000+j0.25202		

표 4-3 : 14 모선 모델계통의 전류(Ibus)

Table 4-3: 14 nodes model system current

노드	부	유	노드	부	유
1	24888E+00	+j.11043E+01	8	00000E+00	+j.17660E+00
2	.121759E+01	+j.121469E+01	9	36970E+00	-j.201214E+01
3	45280E+00	+j.159921E+01	10	25772E+00	+j.153140E+00
4	27640E+00	+j.238953E+01	11	33008E+00	-j.170110E+00
5	24660E+00	+j.139210E+01	12	56475E+00	+j.163357E+00
6	.117592E+01	+j.346518E+01	13	658220E+00	+j.112027E+01
7	00000E+00	+j.2801210E+00	14	46870E+00	+j.396420E+00

모선 분할에 의한 분할방정식(diakoptic equation)의 일반식은 식(4-1)로 나타내 진다.

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & & & \\ & Y_{22} & & \\ & & \ddots & \\ & & & Y_{ic} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ \\ \\ E_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ \\ \\ I_c \end{bmatrix} \quad (4-1)$$

여기서

- I_1, E_1 : 분할그룹 i의 전류 및 전압 벡터
- Y_{11}, Y_{cc} : 분할그룹 i와 경계모선 c의 어드미턴스행렬
- Y_{ic}, Y_{ci} : 분할그룹과 경계모선사이의 전달 어드미턴스행렬
- I_c, E_c : 경계모선의 전류 및 전압 벡터

모델계통에 대하여 새롭게 제안된 분할알고리즘을 적용한후 구한 분할방정식은 식 (4-2)와 같이 되며 heuristic cluster 알고리즘을 적용한 경우는 식 (4-3)과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} Y_{22} & Y_{27} \\ Y_{22} & Y_{21} & Y_{22} & Y_{24} \\ Y_{21} & Y_{11} & Y_{12} & Y_{14} \\ Y_{27} & Y_{27} & Y_{27} & Y_{24} \\ Y_{21} & Y_{21} & Y_{21} & Y_{24} \\ Y_{11} & Y_{11} & Y_{11} & Y_{14} \\ Y_{12} & Y_{12} & Y_{12} & Y_{14} \\ Y_{14} & Y_{14} & Y_{14} & Y_{14} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_8 \\ E_9 \\ E_{10} \\ E_{11} \\ E_{12} \\ E_{13} \\ E_{14} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_8 \\ I_9 \\ I_{10} \\ I_{11} \\ I_{12} \\ I_{13} \\ I_{14} \end{bmatrix} \quad (4-2)$$

$$\begin{bmatrix} Y_{22} & Y_{27} \\ Y_{22} & Y_{21} & Y_{22} & Y_{24} \\ Y_{21} & Y_{11} & Y_{12} & Y_{14} \\ Y_{27} & Y_{27} & Y_{27} & Y_{24} \\ Y_{21} & Y_{21} & Y_{21} & Y_{24} \\ Y_{11} & Y_{11} & Y_{11} & Y_{14} \\ Y_{12} & Y_{12} & Y_{12} & Y_{14} \\ Y_{14} & Y_{14} & Y_{14} & Y_{14} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_8 \\ E_9 \\ E_{10} \\ E_{11} \\ E_{12} \\ E_{13} \\ E_{14} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_8 \\ I_9 \\ I_{10} \\ I_{11} \\ I_{12} \\ I_{13} \\ I_{14} \end{bmatrix} \quad (4-3)$$

식 (4-2)와 식 (4-3)에 의하면 두 알고리즘의 적용 결과는 서열된 모선의 순서만 다를 뿐 경계모선 및 분할그룹은 새로 제안된 분할기법을 사용하여 얻은 결과와 heuristic cluster 알고리즘에 의한 결과가 동일하다. 따라서 전압은 두 알고리즘을 적용한 경우 모두 표 4-4과 같이 구해지게 된다.

표 4-4: 14모선 계통의 전압(Ebus).
Table 4-4: 14 nodes model system voltage.

노드	전압
E1	.56423730E+06 -J.72016398E+05
E2	.14223477E+02 -J.39835451E+01
E3	.86482469E+06 -J.29642806E+07
E4	-1.3855337E+00 +J.24081404E+00
E5	.75291287E+01 +J.37223112E+01
E6	-.94207441E+01 +J.19983149E+00
E7	-15112845E+04 -J.11131344E+04
E8	-.7171867E+07 -J.25989468E+08
E9	-1.6925964E+00 +J.164843230E+00
E10	.50158563E+05 +J.9175849E+05
E11	.2519701E+02 +J.93381018E+01
E12	-.26400035E+04 +J.36006133E+04
E13	.1168802E+03 -J.16987016+03
E14	-.90876551E+03 -J.89240410E+03

5. 결 론

대규모 전력계통 선형방정식의 해석시 계통을 여러개의 작은 그룹으로 분할하여 해석하는 분할기법(diakoptic method)을 적용하면 분할된 각각의 그룹을 각기 다른 컴퓨터에서 병렬로 연산처리 할 수 있어 전력 계통 전체를 해석하는데 필요한 연산 시간을 줄일 수 있다. 본 연구에서는 대규모 전력 계통을 보다 효율적으로 분할할 수 있도록 스파스벡터기법을 이용한 새로운 분할기법을 제시하였고, 분할의 효율을 향상시키기 위하여 서열 단계에서 최적서열산법을 적용하였다. 또한 14 모선 전력계통 모델을 대상으로 제안한 분할기법에 적용한 경우와 heuristic cluster 알고리즘에 적용한 경우의 결과를 비교, 검토하여 그 신뢰성을 입증하였다.

본 논문에서 연구된 중요한 내용은 다음과 같다.

1. 스파스 벡터기법의 분할 경로에 대한 연산 절차를 고찰하여 경로그래프를 계통분할 문제에 적용하는 방법을 제시하였다.
2. 역행렬 $[L]^{-1}$ 의 스파서티 구조와 경로그래프와의 관계를 고찰하여 $[L]^{-1}$ 의 스파서티 구조로부터 직접 계통을 분할하도록 하는 새로운 분할 기법을 제시하였다.
3. heuristic cluster 알고리즘으로 분할이 되지않는 계통까지도 제안된 분할기법을 적용하면 분할이 가능해질 뿐만 아니라 분할 시간도 거의 무시할 수 있을 정도로 작게된다.
4. 분할기법 적용시 서열단계에서 MPRLD법을 적용하면 MD법을 적용한 경우보다 분할이 매우 효율적으로 이루어 지게된다. 대규모 전력 계통 해석시 제안한 분할기법을 적용하게되면 분할된 임의의 영역에서 발생한 변화는 그 해당 영역에만 영향을 미치므로, 이때 영향을 미치는 영역에서만 해석가능하기 때문에 수행되는 컴퓨터의 처리 속도가 단축되며, 전력 계통의 계수 행렬이 갖는 스파스(sparse)한 성질을 최대한으로 이용하므로, 연산시 필요한 기억용량은 최소가 된다. 따라서 본논문에서 얻어진 연구 결과는 대규모 전력 계통을 각기 다른 컴퓨터로 병렬 처리하여 해석할 때 매우 유용하게 적용될 것으로 기대된다.

6. 참고문헌

- [1] W. F. Tinney, "Sparse Vector Methods," IEEE Transaction on Power and Systems, Vol. Pas-104, NO. 2, Feb. 1985.
- [2] A. Gomez and L. G. Franquelo, "An Efficient Ordering Algorithm to Improve Sparse Vector Method," IEEE Transactions on Power system, Vol 3, No. 4, Nov. 1988.
- [3] Ramon Betancourt, "An Efficient Heuristic Ordering Algorithm for Partial Matrix Refactor," IEEE Trans. on power System Vol. 3, No. 3, pp. 1181-1187, Aug. 1988.
- [4] A. Gomez and L. G. Franquelo, "An Efficient Ordering Algorithm to Improve Sparse Vector Method," IEEE Trans. on Power Systems, Vol. No. 1, pp 73-79, Feb. 1988.
- [5] S. M. Chang and V. Brandwain, "Partial Matrix Refactorization", IEEE Trans. on Power System, Vol PWRS-1 No 1, pp. 193-200, Feb, 1986.
- [6] 신명철, 이춘모, 스파스 벡터법을 위한 서열 산법의 최적화, 전기 학회, 1989.
- [7] Happ H. H, "Diakoptics and Piecewise Method," IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-89, pp 1373-1382, 1970.
- [8] B. K. Mohamad, "A Comparative Study of Computational Requirements for Solution of Diakotic Equations," Ph.D. Dissertation, Cornell University, Ithacha, N.Y., 1976.
- [9] L. K. Chen, L. O. Chua, "An Efficient Heuristic Cluster Algorithm for Tearing Large Scale Network," IEEE Trans. on Circuits and Systams, Vol. CAS-24, No 12, pp 709-717, Dec. 1977.
- [10] W. F. Tinney, Some Examples of Sparse Matrix Methods for Power Network Problems, B.P.A., Potland, Oregon.
- [11] 조인숙, 이춘모, 신명철, 최적서열산법을 이용한 전력계통 분할 해법의 개발, 성균 논문집, 제 41집, No 1, 1990.