

# 우선도를 고려한 지역 부하차단에 관한 전문가 시스템

유 미복\*  
송실대학교\*

김 재철  
송실대학교

김 응상  
한국전기연구소

## An Expert system On Local load shedding With priority

Mi-Bog You  
Soong sil UNIV.

Jae-Chul Kim  
Soong sil UNIV.

Eung-Sang Kim  
KERI

### Abstract

In operation of power systems, operators must solve overloads in abnormal conditions instantaneously for restoring the power system to normal state.

Earlier works proposed the power flow distribution and the load shedding decision, developed by the expert system, for settling overloads.

This paper presents a method for solving special conditions in the earlier works which requires less amount of loads than that of the load shedding, in particular, of the load shedding considering the priority. This paper uses the expert system to improve the ability of a beginner as well as of trained operators for operating the power system during emergency operation.

To prove efficiency of the proposed method, this paper has adopted the model system with 13 bus for obtaining simulation results and used the prolog language to implement the system.

### 1. 서 론

사회 전반적인 생활수준의 향상으로 전력수요는 매년 급증하고 있으며, 도시는 과밀화, 집단화됨에 따라서 정전시 일상업무의 정지 뿐만 아니라 막대한 재산상의 피해등이 예상되므로 신뢰도가 높은 전력공급원의 필요성이 대두되고 있다. 그러나 많은 전력이 동시에 운송되고 있는 현 상황에서는 예기치 못한 사고등으로 인하여 과부하 신호가 발생되게 되며, 이를 해소하기 위해서는 발전량조정으로 인한 전력조류 재배분방법, 전력계통의 스위칭작용으로 인한 전력조류 재배분방법을 적용하게 된다. 그러나, 이러한 방법을 적용했음에도 불구하고 과부하가 해소되지 않았을 경우에 적절한 조치를 취하지 않으면 결국 전체계통이 붕괴되는 비상사태가 발생될 수도 있으며 이러한 경우에는 과부하 해소를 위하여 부하를 차단해야만 된다. [1, 2]

그러나, 기존의 비선형 최적화 기법을 이용한 순차적인 알고리즘을 적용한 부하차단 방법은 ① 지하전송망 같이 열에 많은 영향을 받는 장소는 보다 신속한 조치가 필요한데 이 방법으로 는 해를 찾는 데 많은 시간이 소요되어 주어진 시간내에 적절한 조치를 취할 수 없어 사고가 파급될 위험이 크고, ② 시스템이 커짐에 따라서 실시간 운용과 제어에 사용하는 것이 불가능한 단점이 있다.

그러므로, 이러한 단점들을 극복하고 위급상태시 운영자의 오만을 막으며 초보자에게도 전문가와 같은 조치를 취할 수 있는 전문가 시스템의 도입이 전력계통에서는 보편화가 되어 가고 있으며, 또한 최근에 발표된 M.M. Adibi와 S. Shar는 논문에서 지역부하차단이론을 적용한 전문가시스템을 제시하였다. 이들 기존의 논문들에서는 ① 지역부하 차단이론으로 차단량을 계산하여 모선에서 부하차단을 행할 때 부하량이 차단량보다 작은 경우 ② 중계모선과 같이 부하가 없는 경우와 같이 특정한 경우에 과부하가 완전히 해소되지 않으므로 본 논문에서는 ①, ②와 같은 특정 경우를 고려하여 그 방안을 제시하였고 특히, 정전시 피해가 적은 장소부터 차단하는 우선도를 고려하여 부하차단하는 방안을 제시한 지역부하차단 전문가 시스템을 개발하였는데 이 특징은 다음과 같다. [3, 4]

- ① 기존의 수학적 알고리즘에 의한 것 보다 전문가의 지식을 사용하기 때문에 해를 추측하는 기능이 뛰어나다.
- ② 모든 정보를 Knowledge Base에 저장 및 수정이 가능하므로 항상 새로운 지식을 넣을 수 있다.
- ③ 초보자에게도 교육이 가능하다.
- ④ 사고난 지점에 인접한 부분만을 고려하므로 신속하고 지속적인 해결안을 제시하였다.
- ⑤ 특정 경우에도 처리가능하며 피해가 적은 곳 부터 우선 차단하므로 보다 실용적이며 실 시간 적용이 가능하였다.

본 논문에서 제시한 지역부하차단 전문가 시스템의 효율성을 입증하기 위하여 13 Bus에 적용하여 기존의 기법보다 좀 더 범용화된 전문가 시스템을 개발하였다.

### 2. 특정 경우를 고려한 지역 부하차단 방법론

그림 1과 같이 모선 A에서 선로 1의 과부하인  $IOL_k$ 를  $IOL_i$ 로 표시하고 이를 해소하기 위하여 모선 A에서 유입하는 모든 다른 선로에 흐르는 조류를 줄여야만 가능하다. 이 조류를 선형관계로 가정하면 유입하는 k선로에서 줄여야할 계산된 조류량  $IOL_k$ 은 다음과 같다. [3, 4, 5, 6]

$$IOL_k = RPF_k \times \frac{IOL_i}{RPF_i} \dots \dots \dots (2-1)$$

단, k : A 모선에 유입하는 선로 번호  
 $RPF_i$  : 선로 i의 유효전력조류  
 $IOL_i$  : A 모선에 유입되는 선로 i의 과부하  
 $IOL_i = RPF_i - Cap_{ai} \times \alpha$   
 (  $Cap_{ai}$  : i선의 단시간 정격 )

여기서,  $\alpha$ : 차단계수

차단계수값 설정은 다음 조건에 의하여 결정된다.

- ① 일반적인 전력 조류 분배이론과 부하 차단량 결정이론을 적용하여 부족 차단량이 발생되지 않아 과부하 선로라 여겼던 모선에서 과부하 차단을 수행하는 경우는 선형성을 고려하기 위하여 차단계수  $\alpha_0=0.95$ 로 설정한다.
- ② 부족 차단량이 발생하여 인근모선에서 차단할 경우에 있어서 특히, 루프가 형성되지 않은 경우에는 차단계수  $\alpha_1$ 은 1.0내외로 설정되며 계통상태에 따라 약간 변할 수 있다.
- ③ ②와 같은 경우중 루프가 형성되어 있을 때는 루프 구성형태에 따라 차단계수  $\alpha_2$ 는  $\alpha_1$ 보다 조금 큰 경우로 설정한다. 이는 루프내 어떤 모선 차단시 타 모선에 미치는 영향을 고려하기 위함이다.

대부분의 전력계통은 위에서 제시한 식 (2-1)을 이용한 M.M. Adibi와 S. Shar의 이론을 적용하면 실제 부하 차단량을 결정할 수 있다. 그러나 부하 차단시 계산된 부하 차단량이 모선의 부하량보다 많은 경우 또는 모선의 부하가 없는 중계 모선인 경우 적용할 수 없게 되는 특정 경우가 발생한다. [3, 4]

즉, 모선 A에서 차단량  $LS_A$ 만큼 차단 하여야 과부하가 해소된다. 그러나, 이 차단량 ( $LS_A$ )이 부하량( $LD_A$ )보다 적을 경우에 부족량( $\Delta LD_A = LS_A - LD_A$ )만큼을 인근 모선에서 더 차단해야 하며 그 방법론은 다음과 같다.

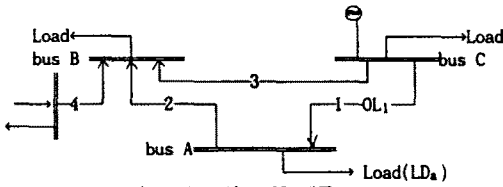


그림 1. 4 모선 모델 계통도

2.1. 중계모선일 경우

그림 2와 같이 선로 1의 탈락때문에 선로 2가 과부하 상태였다면 중계모선에서 차단하여야 하는데 중계모선은 부하가 없기 때문에 인근모선에서 차단량( $LS_A$ )만큼을 더 차단하여야 한다. 즉, 차단량( $LS_A$ ) = 부족 차단량 ( $\Delta LS_A$ )이 된다. 만일 인근모선에서 더 차단할 경우 유출하는 모선이 하나일 경우 2.2항의 방법을 적용하고 유출하는 모선이 둘 이상일 경우 2.3항의 방법을 적용한다.

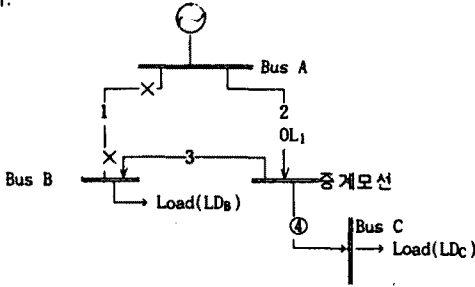


그림 2. 4 모선 모델 계통도

2.2. 부하모선이 하나 있을 경우

그림 1에서와 같이 선로 1의 과부하를 해소하기 위하여 모선 A에서 부하 차단을 하여야 하는데 모선 A에서 부하량이 차단량보다 적을 경우 그 부족량은 다음과 같다. [3.4]

$$\Delta LS_A = LS_A - LD_A \dots\dots\dots(2-2)$$

단,  $\Delta LS_A$  : 그림 1에서 모선 A의 부하량이 부하 차단량보다 더 적을 경우 과부하를 해소하기 위해 인근모선에서 더 감시시켜야 할 부족량.

$LS_A$  : 모선 A에서 차단해야 할 부하 차단량.  
 $LD_A$  : 모선 A의 부하량.

식 (2-2)에서 계산된 부족량을 모선 A에서 유출하는 선로 j (그림 1에서 선로 2)의 끝모선 K (그림 1에서 모선 B)에서 감시시킬 실제 부족차단량은 다음과 같다.

$$\text{실제부족차단량}(RLDS_b) = \sum_{k \in B} \frac{\Delta LS_A}{\Delta RPF_k} \times RPF_k \dots\dots\dots(2-3)$$

단,  $\Delta RPF_j$  : 모선 A에서 차단량이 부족하였을 경우 모선 A에서 모선 B로 유출되는 선로 j의 조류량.

$\Delta RPF_k$  : 부하 차단 부족량이 발생시 A모선에서 유출하는 선로 j(그림 1에서 선로 2)의 끝 모선 B에 유입되는 k선로의 조류량.

k : B모선으로 유입되는 선로 번호.

2.3. 부하 모선이 둘 이상일 경우

과부하 발생시 이를 해소하기 위하여 부하차단을 하여야 하는데 차단하여야 할 모선에서 부하량보다 차단량이 더 클 경우에는 그 모선에서 유출하는 선로의 끝 모선에서 차단한다. 이때, 유출하는 선로의 끝 모선이 둘 이상일 경우 해결 할 수 있는 방법론을 다음에 제시하였다. [3.4]

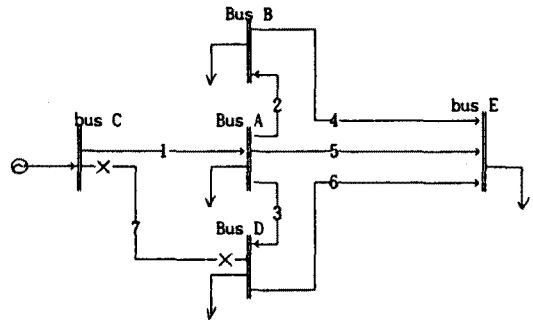


그림 3. 5 모선 7 선로 모델 계통도

그림 3에서와 같이 선로 7의 탈락 때문에 선로 1이 과부하가 존재하므로 과부하를 해소하기 위하여 모선 A에서 차단해야 하는데 이때 모선 A의 부하량보다 계산된 차단량이 더 적을 경우 이 모선에서 유출하는 선로 2,3,5의 끝 모선 B,D,E에서 부족량 만큼 더 차단해야 과부하가 해소되며 정상상태로 회복 시킬 수 있다. 이 경우 유출하는 선로의 끝 모선이 둘 이상일 경우 다음과 같은 방법으로 부하 차단을 행한다.

- 1) 그림 2와 같이 부하량이 실제차단량 보다 적은 경우 그 모선의 유출되는 끝 모선끼리 연결되어 있다면 이것은 루프가 된다. 따라서 연결된 모선의 끝모선 E에서 식 (2-3)의 실제 부족 차단량(RLDS<sub>b</sub>)을 도입하여 식 (2-4)과 같이 루프 실제차단량을 계산한다.

$$\text{루프실제차단량}(RLS_b) = RLDS_b - \left( \sum_{k \in L1} \frac{\Delta LD_A}{\Delta RPF_k} \times RPF_A \right) \dots\dots(2-4)$$

단, L1(loop line): 부하량이 차단량보다 부족한 모선의 끝 모선끼리 연결된 선로.

RLDS<sub>b</sub> : 유출되는 끝 모선끼리 연결되어 있는 경우 그 중 끝모선 E에서 식 (2-3)의 실제 부족 차단량을 계산한 결과 값.

- 2) 루프가 형성되어 있지 않는 모선의 경우 각 모선별로 식 (2-3)을 이용하여 실제 부족 차단량을 계산한다.
- 3) 각 모선 별로 계산된 부족 차단량중 가장 적은 차단량부터 차단한다.

3. 차단량 알고리즘과 우선도를 고려한 차단량 결정 알고리즘

부하차단시 고려할 우선도는 절대 차단해서는 안될 부하, 가능한 차단하지 말아야 할 부하, 언제라도 차단가능한 부하인 상, 중, 하로 구분하여 다음과 같은 알고리즘을 제시하였다. [4]

3.1. 우선도를 고려하지 않는 차단량 결정 알고리즘

단계 1) 과부하시 전력 조류 분배이론과 부하 차단량 결정 이론을 이용하여 차단해야 할 차단량을 계산한다.

단계 2) 부하량(LD)이 부하 차단량(LS)보다 클 경우 단계 1)에서 계산한 차단량 만큼 차단한다.

단계 3) 부하량(LD)이 부하 차단량(LS)보다 적을 경우 차단하여야 할 모선에서 유출하는 선로의 끝 모선의 갯수를 판별한다.

단계 4) 유출하는 선로의 끝 모선수가 한개일 경우 다음을 수행한다.

단계 4-1) 유입하는 선로가 한개이면 식 (2-2)과 같이 부족 차단량을 계산한다.

단계 4-2) 유입하는 선로가 둘 이상이면 식 (2-3)과 같이 실제부족 차단량을 계산한다.

단계 4-3) 유입하는 선로가 둘 이상이며 루프를 형성한다면 식 (2-4)과 같이 루프 실제 부족차단량을 계산한다.

단계 4-4) 단계 4-1), 단계 4-2), 단계 4-3)에서 계산된 실제 부족차단량 만큼을 차단한다.

단계 5) 유출하는 선로의 끝 모선이 둘 이상일 경우 다음을 수행한다.

단계 5-1) 유출하는 모선수가 둘 이상이면 루프를 형성한다면 식(2-4)을 이용하여 실제 부족 차단량을 계산한다.

단계 5-2) 유출하는 모선수가 둘 이상이면서 루프를 형성하고 있지 않으면 각 모선별로 유입되는 선로가 하나일 경우 식 (2-2), 유입되는 선로가 둘 이상일 경우 식 (2-3)을 이용하여 각 모선별로 실제 부족차단량을 계산한다.

단계 5-3) 단계 5-1)과 단계 5-2)에서 계산한 실제 부족차단량중 그 차단량이 가장 적은 순으로 차단한다.

### 3.2. 우선도를 고려시 부하량이 부하 차단량보다 클 경우

단계 1) 전력 조류 분배 이론과 부하 차단량 결정 이론을 이용하여 부하 차단량을 계산한 후 차단하여야 할 모선의 우선도가  $\alpha$  이하인 경우는 계산된 차단량 만큼 차단한다.

단계 2) 전력 조류 분배 이론과 부하 차단량 결정 이론을 이용하여 부하 차단량을 계산한 후 차단하여야 할 모선의 우선도가  $\alpha$  이상인 경우는 차단량(LS) = 부족차단량( $\Delta$ LS) 이 된다. 이 부족차단량만큼 인근 모선에서 더 차단하여야 한다.

단계 3) 단계 2)에서 계산한 부족 차단량은 유출하는 선로의 끝 모선수가 한개일 경우 3.1항 단계 4)에서 유출하는 모선수가 둘 이상일 경우 3.1항 단계 5)를 수행하여 실제 부족 차단량을 계산한다. 단, 여기서 유출하는 선로의 끝 모선수 판별시 우선도  $\alpha$  이상인 모선선택에서 제외되어 우선도  $\alpha$  이하인 모선부터 차단한다.

### 3.3. 우선도를 고려시 부하량이 부하 차단량보다 적을 경우

단계 1) 전력 조류 분배 이론과 부하 차단량 결정 이론을 이용하여 부하 차단량을 계산한 후 차단하여야 할 모선의 우선도가  $\alpha$  이상인 경우는 3-2절 단계 2)와 같은 형태가 된다.

단계 2) 전력 조류 분배 이론과 부하 차단량 결정 이론을 이용하여 부하 차단량을 계산한 후 차단하여야 할 모선의 우선도가  $\alpha$  혹은  $\alpha$  이하인 경우 먼저 그 모선에서 부하량만큼 차단하며 차단하지 못한 부족 차단량( $\Delta$ LS)은 다음과 같이 실행한다.  $\Delta$ LS = LS-LD( $\alpha$ ,  $\alpha$ )

단계 3) 단계 1)과 단계 2)에서 계산한 부족차단량 만큼을 인근모선에서 더 차단하기 위한 방법은 3-1절 단계 4)과 단계 5)에서 수행하여 실제 부족 차단량을 계산한다. 여기서, 주의 사항은 단계 1)과 단계 2)에서 계산한 부족 차단량을 인근모선에서 더 차단할 경우 인근 모선 중 우선도가  $\alpha$  이상인 경우를 제외한 나머지 모선으로 3.1절 단계 4)와 단계 5)를 수행한다.

### 4. 사례연구

본 논문에서 적용한 이론의 효율성을 검증하기 위해 13모선 계통에서 사례연구를 하였다.

표 1. 13모선 계통의 데이터

모선 번호	발전량	부하량
1	106.77	0.00
2	40.00	19.96
3	50.00	76.66
4	0.00	34.78
5	0.00	16.99
6	70.00	10.30
7	0.00	0.00
8	0.00	27.14
9	0.00	8.28
10	0.00	13.22
11	0.00	15.71
12	0.00	23.46
13	0.00	13.71

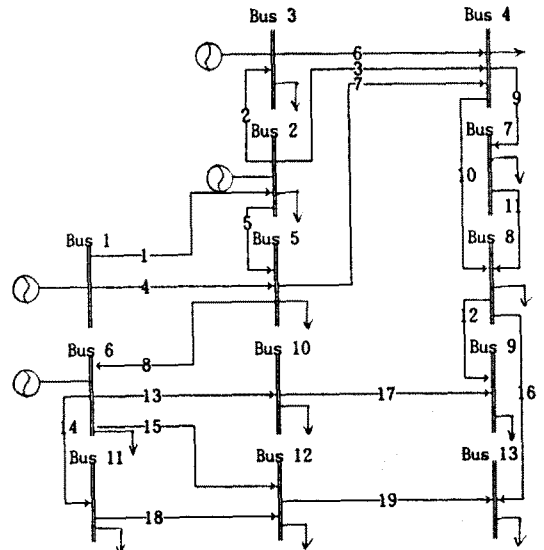


그림 4. 13모선 계통도

#### 4.1. 사례연구 1

정상적인 계통에서 선로 2가 탈락된 경우에 우선도를 고려한 경우와 우선도를 고려하지 않는 경우로 나누어서 그 결과를 결과 1-1과 결과 1-2에 나타내었다. 이때 선로 2의 탈락시 조류계산 결과 및 부하차단후 조류계산결과와 우선도 고려시 부하차단후 조류계산결과가 표 6의 사례 1에 나타내었다.

##### 1) 결과 1-1

본 전문가 시스템을 실행한 후 그 결과로서 표 2와 같이 모선 4에서 3.435[MW]를 부하차단하는 결과가 나왔다. 이 경우는 우선도를 고려하지 않는 경우이며 기존의 알고리즘에 루프시 부하 차단량을 계산하는 알고리즘을 보완하여 보다 정확한 차단량이 계산되었다.

표 2. 선로 2의 탈락시 부하 차단량

모선번호	부하차단량 [MW]
4	3.435

##### 2) 결과 1-2

우선도를 고려 하지 않는 경우인 결과 1-1은 모선 4에서 3.435[MW]만큼 차단하라는 명령을 보여 주었지만 우선도를 고려하고 모선 4는 우선도가  $\alpha$  이상으로 가정하면 부하를 차단하여서는 안된다. 그러므로, 모선 4의 유출선로의 끝 모선인 7, 8에서 부하를 차단하여야 한다. 그러나, 모선 7은 중계모선이므로 모선 8이 선택된다. 여기서 모선 8에 유입하는 선로는 둘이상이므로 식 (2-8) 실제 부족 차단량이론을 적용하여 차단량을 계산해야 하며 그 결과는 표 3과 같다.

표 3. 우선도 고려시 부하 차단량

모선번호	부하차단량 [MW]
8	4.220

#### 4.2. 사례연구 2

정상적인 계통에서 선로 4가 탈락된 경우에 우선도를 고려한 경우와 우선도를 고려하지 않는 경우로 나누어서 그 결과를 결과 2-1과 결과 2-2에 나타내었다. 이때 선로 4가 탈락시 조류계산 결과는 표 6의 사례 2에 나타내었고 이 표 6에서 선로 1과 선로 3에 과부하가 존재함을 보여 주고 있다.

1) 결과 2-1

표 6의 사례 2에서 과부하 선로는 1과 3이고 과부하량은 22.289[MW]와 1.573[MW]이다. 또한, 모선에 유입되는 선로가 루프를 형성하므로 차단량은 22.28[MW]와 1.6[MW]가 된다. 그러나, 과부하 선로의 끝 모선 모선 2와 모선 4에서 차단하여야 하는데 여기서, 모선 2의 부하량이 19.96[MW]인데 비해 차단량은 22.28[MW]이므로 부족량 2.32[MW]을 인근 모선에서 더 차단하여야 한다. 그 결과는 표 4에 나타내었다.

표 4. 선로 4가 탈락시 부하 차단량

모 선 번 호	2	3	4
부하차단량[MW]	19.96	2.329	1.573

2) 결과 2-2

우선도를 고려한 경우로서 모선 2에서 부하차단하여야 하는데 모선2가 우선도가 높이라면 차단할 수 없으므로 모선 2에서 유출하는 선로중 모선3에서 부족량만큼 차단하여야 한다. 또한, 선로 3의 과부하를 해소하기 위해 모선 4에서 부하차단하여야 하는데 모선 4의 우선도가 높이라면 인근모선 8에서 차단하여 과부하를 해소하여야 한다. 그 결과는 표 5에 나타나 있다.

표 5. 우선도 고려시 부하차단량

모 선 번 호	3	8
부하차단량[MW]	22.289	1.656

표 6. 13모선 19선로의 사례연구 결과

선 번 번호	모 선 연 결 상 태	정상 조류	사 례 1			사 례 2			선로 류 한 계 치
			선로2 탈락	우선도 (x)BUS 4 차단	우선도 (0)BUS 8 차단	선로4 탈락	우선도 (x)2,3 .4차단	우 선 도(0) 3,8	
1	1-2	67.0	61.7	59.60	59.08	107.2	77.317	81.73	85.0
2	2-3	28.5	0.0	0.00	0.00	35.1	32.424	21.53	60.0
3	2-4	32.5	45.9	44.60	44.41	46.2	42.962	1.71	44.7
4	1-5	38.3	45.0	43.53	43.14	0.0	0.0	0.0	76.8
5	2-5	25.2	35.2	34.42	34.10	43.9	40.903	38.82	45.3
6	3-4	1.4	26.6	-26.66	-26.66	7.9	7.638	16.96	50.0
7	5-4	31.7	-46.4	44.56	45.08	12.7	11.346	8.68	80.0
8	5-6	13.7	14.8	14.85	13.66	13.1	11.694	12.35	50.0
9	4-7	19.2	18.6	18.66	16.69	19.6	17.602	19.12	75.0
10	4-8	11.0	10.6	10.70	9.57	11.2	10.099	10.96	15.7
11	7-8	19.2	10.6	18.66	16.69	19.6	17.602	19.11	100.
12	9-8	1.0	-1.6	1.58	0.89	0.5	-0.252	0.13	90.0
13	6-10	23.3	24.0	23.99	23.27	22.9	22.072	22.47	35.7
14	6-11	16.2	16.3	16.33	16.24	16.2	16.093	16.14	27.7
15	6-12	33.8	34.2	34.22	33.84	33.7	33.229	33.43	53.3
16	8-13	4.2	3.7	3.80	4.25	4.4	4.988	4.74	26.4
17	10-9	9.4	-9.9	9.97	9.27	8.9	8.117	8.51	38.4
18	11-12	0.1	0.2	0.22	0.13	0.1	-0.005	0.04	50.0
19	12-13	9.7	-10.1	10.16	9.71	9.5	8.967	9.21	43.0

5. 결론

기존의 논문들에서는 많은 조건들을 고려하여 부하차단을 행하므로 좀더 정확성은 있지만 신속성이 없다. 본 논문에서는 계산시간, 메모리 용량, 실시간작업 할 수 있는 지역부하차단이론을 적용하였으며, 그 중에서도 특정경우와 우선도를 고려하여 좀더 범용화된 전문가 시스템을 구축하였다. 본 논문에서 개발된 전문가 시스템의 효율성을 입증하기 위하여 13모선 19선로 계통에 적용하여 과부하를 해소하는데 만족할 만한 결론을 얻었다.

참고문헌

- [1] 김재철, 김용상, "부하차단 전문가 시스템에 관한 연구", 대한 전기학회 전력계통 춘계 논문지, 1991. 4.
- [2] Allen J. Wood and Bruce F. Wollenberg, "Power Generation Operation and Control", John Wiley & Sons, pp. 335-384. 1984.
- [3] 김재철, 유미복, 김용상, "개선된 부하차단에 관한 전문가 시스템", 대한 전기 학회 하계 학술 발표, 1991. 7.19
- [4] 유미복, "우선도를 고려한 부하차단에 관한 전문가 시스템", 숭실대학교 대학원 석사학위 논문, 1992.2.
- [5] S. S. Shah and S. M. Shahidehpour, "A Heuristic Approach to Load Shedding Scheme ", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.4, No.4, pp.1421-1429, October 1989
- [6] M. M. Adibi and D. K. Thorne, "Local Load Shedding", IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 3, No3, pp.1220-1229, August 1988.