

# 전압제어를 위한 전문가 시스템

## An Expert System for Voltage Control

白 榮 植\* · 司 空 鎰\*\*  
(Young-Sik Baek · Ill Sa-Gong)

### 요 약

본 논문은 전력계통에서 발생하는 전압이상 문제를 해결하기 위하여 인공지능의 한 분야인 Expert System을 개발하였다. 보상기의 종류는 무효전력보상기(Inductor, Capacitor), 발전단전압, 변압기 탭이 사용되었고 해의 추론방법은 나비우선탐색법을 사용하였으며 감도 Tree를 제안하여 보상기수와 보상량을 최소화 할 수 있었다. 그리고 전력계통의 전압상태가 매우 심각할 경우 선형계획법을 이용하여 전압제어의 효율을 개선하였다. 그리고 Expert System은 PROLOG 언어를 사용하였으며 부 프로그램은 C언어를 사용하였다. 위의 Expert System을 8모선계통에 적용하여 만족스러운 결과를 얻었다.

**Abstract-** An expert system which is a part of artificial intelligence is developed for controlling violated voltages. Control equipments such as shunt capacitors, inductors, transformer tap changers and generator voltages are utilized. A breadth-first search method is used. A sensitivity tree is suggested to minimize the number of control devices. If the voltage condition of a power system is so severe that the expert system fails in voltage control, linear program should be utilized to efficiently solve the problem. The expert system uses PROLOG and for the sub-program C language is used. This expert system, when applied to an 8 bus power system, shows satisfactory results.

### 1. 서 론

#### 1.1 연구배경

인공지능은 최근 여러분야에서 연구, 개발되어

지고 있다. 특히 인공지능 중에서도 Expert System은 일반적인 Computer Programming에 비교하여 논리적이며 해를 추론 해가는 기능이 뛰어나다. 그리고 Expert System이 어느 한 분야에 적용될 때 그 분야의 모든 정보를 Knowledge Base에 저장 및 수정, 교체가 가능 함으로 항상 새로운 지식을 입력할 수 있고 기존의 지식을 Expert System으로부터 얻을수도 있다. 이러한 기능을 이용하여 전력계통분야의 부분적인 문제

\*正 會 員 : 慶北大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博

\*\*正 會 員 : 慶北大 大學院 電氣工學科 碩士過程

接受日字 : 1989年 5月 25日

1次修正 : 1989年 8月 11日

해결을 위하여 연구, 개발되고 있다. [4, 7]

### 1.2 연구목적

본 논문에서 개발된 Expert System은 전력계통의 많은 문제중 각 모선의 전압을 검토하여 모선 상태와 계통상태를 결정하고 이에따라 적당한 보상기를 선택, 제어함으로써 전압이상 문제를 해결하고 계통을 안정화하는 문제에 대하여 연구, 적용하였다. 지금까지의 컴퓨터 계산법은 산술연산 알고리즘에 의한 연속적인 계산을 실행함으로써 여러가지 상황변화에 대처할 수 있는 능력이 부족하고 사람이 직접제어를 하는경우 단지 경험에 의한 지식에 의존함으로써 정확한 제어방법선택과 제어량결정이 불가능하였다. [11, 12] 뿐만 아니라 외부환경과 사람의 감정등 여러가지 요인에 의하여 영향을 받으므로 지속적으로 신속한 해결 방안을 제시하지 못한다. 그러나 Expert System은 상황변화에 따른 추론과 정확한 계산에 의한 제어기 선택, 제어량결정 등으로 외부의 영향을 받지 않고 정확하고 신속하며 지속적인 해결안을 제시한다. 본 논문에서 제안한 Expert System은 이러한 기능을 최대한 이용하여 전력계통의 연결상태, 무효전력의 분배상태, 각 모선의 전압상태, 각 보상기의 상태 등을 Knowledge Base에 입력하고 이를 기초로하여 계통의 전압 이상이 발생할 경우 각 보상기를 제어하여 문제를 해결하였다. 그리고 부분적으로 나타나는 복잡한 산술연산은 C언어로 형성한 부 프로그램을 개발, 지원하였다. 사용된 보상기의 종류로는 무효전력보상기 [6] (Inductor · Capacitor), 발전단전압, 변압기탭 등이 있고 위의 보상기를 사용한 제어가 실패할 경우 선형계획법을 [2, 5] 적용하여 Expert System의 신뢰도를 향상하였다. 사용된 인공지능 언어는 Turbo Prolog 2.0을 사용하였으며 [1] 결과확인을 위하여 8모선에 적용하여 만족한 결과를 얻었으며 임의의 계통에도 적용가능하다.

## 2. EXPERT SYSTEM의 개요

개발된 Expert System은 그림 2-1에서와 같이 크게 3가지로 분류할 수 있다. 먼저 전력계통에서 얻은 사실과 규칙을 저장하고 있는 Knowledge Base와 이들을 기초로 하여 추론을 하는 Inference engine, 그리고 Expert System을 지원하는 부 프로그램으로 구성되어 있다. 사용된 부 프로그램은 C언어를 사용하여 실행효율을 개선하였으며 PROLOG언어와의 연결(link)이 가능하였다. [1]

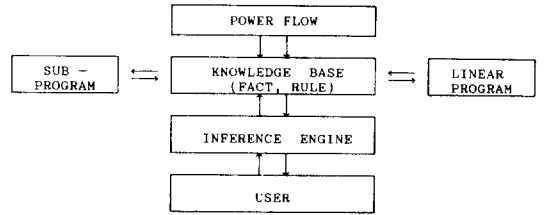


그림 2-1 Expert System의 구성도

Fig 2-1 The Expert System Configuration

### 2.1 KNOWLEDGE BASE

Expert System에 있어서 Knowledge Base는 필수적이며 사람의 두뇌에 해당하는 것으로 이것의 개발정도에 따라 효율을 개선할 수 있다. [10] 본 논문의 Knowledge Base에는 전력조류계산에서 얻은 계통의 모든 정보를 RAM속에 저장하여 필요로 하는 사실(fact)을 신속히 인용할 수 있도록 하였으며 탐색도중에 나타나는 정보 또한 저장함으로써 효율을 개선하였다.

#### 2.1.1 개발된 사실(FACT)

본 논문에서 개발, 사용된 사실(fact)는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- (1) 전력조류계산으로부터 현재의 전력계통의 모든 상태를 입력, 저장한다.
- (2) 모든 모선전압의 현재값, 최대값, 최소값을 입력, 저장한다.
- (3) 모든 보상기의 현재값, 최대값, 최소값을 입력, 저장한다.
- (4) 모든 모선의 상태(발전모선, 부하모선, 변압기존재모선)을 입력, 저장한다.
- (5) 감도행렬 Table을 입력, 저장한다.
- (6) 계통선로 연결 상태를 입력, 저장한다.

위의 정보는 Expert System을 실행하기 위한 기본적인 정보들로서 전력조류 계산으로부터 얻는 정보이다. 그러나 앞에서 언급한 것과 같이 개발된 Expert System은 실행도중 발생한 정보 또한 저장하는데 다음과 같다.

- (7) 각 모선의 전압상태를 확인하고 모선번호와 상태를 저장한다.
- (8) (7)의 정보를 기초로하여 전 계통의 상태를 저장한다.
- (9) (8)의 정보를 기초로하여 (7)의 상태에 따르는 보상기의 선택과 감도 Tree를 형성 저장한다.

위에서 요약한 이외에 여러가지 사실(fact)이 프로그램속에 존재한다.

### 2.1.2 개발된 규칙(RULE)

개발된 사실을 이용하기 위하여 Expert System은 적당한 양의 규칙이 필요하다. 본 논문에서 사용되어진 규칙은 다음과 같다.

- (1) 전력조류계산으로부터 정보 입력을 위한 규칙
- (2) 각 모선 전압의 상태를 확인하기 위한 규칙  
\*모선상태 판단기준\*  
정상상태(0) :  $0.95 < V < 1.05$   
이상상태(1) :  $0.90 < V < 0.95$  or  $1.05 < V < 1.10$   
위급상태(2) :  $0.90 > V$  or  $1.10 < V$
- (3) 전력계통 상태 확인을 위한 규칙  
\*계통상태 판단기준\*  
정상상태(0) : 모든 모선 상태가 정상일 때  
이상상태(1) : 이상 모선이 3개 이하일 때  
위급상태(2) : 이상 모선이 4개 이상일 때  
위급상태 모선이 1개 일 때  
비상상태(3) : 위 경우를 제외한 모든 경우일 때
- (4) 전력계통 상태에 따라 결정된 각 제어방법에 필요한 규칙
- (5) 선형계획법 실행을 위한 초기값 형성을 위한 규칙
- (6) 보상기 현 상태 확인을 위한 규칙등 다수의 규칙을 개발하였다.

위의 규칙들은 서로 독립하여 개발함으로써 필요에 따라 수정, 변경, 삭제가 가능하도록 하였으며 중요한 몇개의 규칙은 실행후 그 상태를 RAM속의 Knowledge Base에 저장함으로써 사용자가 그 내용을 확인할 수 있도록 하였으며 불필요한 반복 실행을 제거하였다.

## 2.2 INFERENCE ENGINE

Inference Engine은 Knowledge Base에 있는 사실과 규칙등을 이용하여 해를 찾기위한 기본적인 단위이다. 본 논문에서 개발한 INFERENCE ENGINE은 아래와 같이 분류할 수 있다. [7]

- (1) 정보 입력과 관련된 규칙을 이용하여 전력조류계산으로부터 계산된 전력계통의 모든 정보를 입력하고 Knowledge Base에 저장한다.
- (2) 입력된 정보와 모선상태 확인용 규칙, 계통상태 확인용 규칙등을 이용하여 모선상태와

계통상태를 확인하고 Knowledge Base에 저장한다.

- (3) 입력된 정보에서 이상전압모션을 확인하고 이를 중심으로하여 나비우선 탐색법으로 계통의 이상상태를 정상화한다.
- (4) 위의 과정이 실패하면 선형계획법의 초기값을 형성, 실행한다.
- (5) 해를 찾기위한 나비우선 탐색법의 기본 Tree은 감도행렬을 기초로 하여 보상기 탐색을 위한 규칙과 Knowledge Base의 정보를 이용하여 형성한다.
- (6) 기타 여러가지 입·출력을 제어한다.

## 2.3 Expert System을 지원하는 부 프로그램

Expert System에 사용되는 언어는 PROLOG로서 논리적인 실행에는 매우 뛰어난 반면 산술적인 실행인 경우 불합리하다. [3, 8] 따라서 PROLOG의 이러한 단점을 보완하기 위하여 C언어로 개발한 부 프로그램을 사용하였다. 그 결과 프로그램 실행을 원활이하고 반복적인 부분을 독립화하여 주 프로그램의 호출(call)이 있을 때 즉각 실행가능하도록 하였다. 본 논문에서 개발한 부 프로그램은 다음과 같다.

- (1) 보상기의 보상량 계산을 위한 부 프로그램
- (2) 선형계획법의 초기값 계산을 위한 부 프로그램
- (3) 선형계획법 실행을 위한 부 프로그램

## 2.4 EXPERT SYSTEM의 실행과정

Expert System의 전 실행과정은 다음과 같이 요약·정리할 수 있다. 그리고 그림 2-2에 흐름도를 나타내었다.

- (1) Knowledge Base로 부터 계통의 상태를 확인한다.
- (2) 계통의 상태가 정상상태(0)인 경우 :
  - 모든 모선의 전압이 안정한 상태이므로 계통의 안정상태를 출력하고 실행을 정지한다.
- (3) 계통의 상태가 이상상태(1)인 경우 :
  - Knowledge Base로 부터 이상전압모션을 확인한다.
  - 확인된 이상전압모션을 중심으로 하여 각 모선에 존재하는 보상기를 나비우선 탐색법과 감도행렬을 이용하여 가까운 순서로 적당한 범위의 제어할 보상기를 탐색, 선택한다.
  - 선택된 보상기를 중심으로 하여 감도행

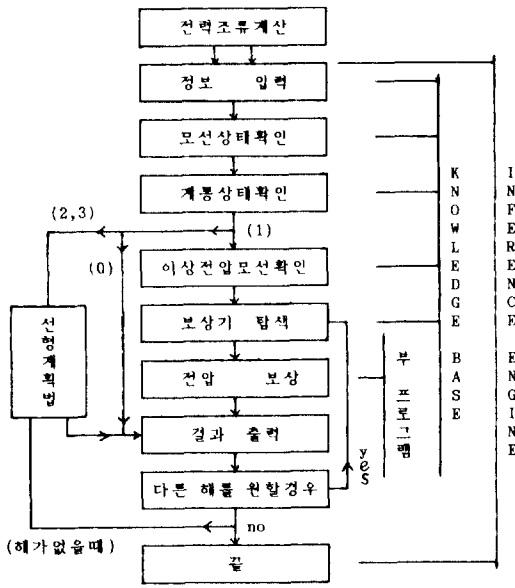


그림 2-2 개발된 Expert System의 흐름도  
 Fig 2-2 Flowchart of the developed Expert System

렬을 이용한 TREE에 따라 다른 부하 모션전압을 고려하여 보상량을 결정한다.

- 결정된 보상량에 의한 부하모션전압의 변화를 확인한다. 이상전압상태가 계속 될 경우 다음 보상기에 대하여 위의 과정을 반복한다.
- 이상전압상태를 극복하였을 때는 보상기의 종류, 보상량, 존재하는 모션번호와 개선된 전압을 출력한다.
- 모든 보상기의 제어가 실패할 경우 Expert System은 감도행렬을 사용하여 선형계획법의 초기상태를 형성한다음 부 프로그램을 실행하도록 한다.

(4) 계통상태가 위급상태(2) 또는 비상상태(3)인 경우 :

- 각 경우에 대하여 제한조건을 달리하여 선형계획법의 초기상태를 형성하여 선형계획법을 실행하도록 하였다.

(5) 모든과정이 실패할 경우 Expert System은 제어실패를 출력하고 정지한다. 이때는 Load shading등 다른 방법을 강구하여야 한다.

### 3. 감도행렬과 나비우선 탐색법

감도행렬은 각보상기의 보상량, 즉 무효전력의 변화, 발전단전압변화, 변압기 탭 변화에 대한 각 모션전압의 변화량을 나타낸 행렬이다. 그리고 감도 행렬의 각 모션과의 상호관계를 이용하여 해를 찾는 나비우선탐색법의 기본 Tree로 이용함으로써 각 보상기의 동작에 따라 각 모션에 반영되는 영향을 확인할 수 있어 보상량을 결정할 때 정확하고 손실을 최소화 하였다.

#### 3.1 감도행렬

감도행렬은 Expert System의 기본이되는 매개 변수로서 전압과 무효전력, 변압기 탭, 발전단 전압과의 관계를 정의하여 이상전압발생시 적당한 보상량을 계산, 반영한다. 본 논문에서 사용되어진 감도행렬은 식 3-1과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \nabla V_i &= S_1 \cdot \nabla Q_i \\ \nabla V_i &= S_2 \cdot \nabla V_{gi} \end{aligned} \quad (3-1)$$

$$\nabla V_i = S_3 \cdot \nabla T_i$$

$\nabla V_i$  : 부하단 전압

$\nabla Q_i$  : 무효전력 보상기의 보상량

$\nabla V_{gi}$  : 발전단 전압의 변화량

$\nabla T_i$  : 변압기 Tap의 변화량

그리고 새로운 전압의 계산은 식 3-2에서와 같이 개선된다.

$$V_i^{new} = V_i^{old} + \nabla V_i \quad (3-2)$$

감도행렬  $S_1$ 은 무효전력보상기의 보상량 변화에 대한 모든 부하모션전압의 변화를 나타내는 감도행렬로써 식 3-3[6]에서 유도하였다. 두번째 행렬인  $S_2$ 는 보상기가 발전단 모션이므로 발전단모션의 전압변화에 대한 부하모션의 전압변화를 표현한 감도행렬로써 이 또한 식 3-3으로부터 유도하였다. 행렬  $S_3$ 는 변압기가 존재하는 선로의 변압기 탭에 따른 선로손실을 계산하여 유도하였다. 감도행렬  $S_1, S_2$ 의 특징은 식 3-4에서와 같이 대각행렬의 값이 비대각행렬의 값보다 크고 모든 행렬 요소값은 "0"보다 크다.

$$\begin{aligned} dV_i &= -(E/S_{sc}) \times dQ_i^{(6)} \\ dV_i &= -(1/I_{sc}) \times dQ_i \\ dV_i &= S_i \times dQ_i \end{aligned} \quad (3-3)$$

$$\begin{aligned} S_{1ii} &= -(1/I_{sc}) \\ S_{1ii} &\geq S_{1ij}, S_{1ij} \geq 0. \\ S_{2ii} &\geq S_{2ij}, S_{2ij} \geq 0. \end{aligned} \quad (3-4)$$

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

**표 1** 모선의 무효전력보상기의 보상량이 0.05[Mvar]일 때

**Table 1** When reactive power variation of the 6th bus is 0.05[Mvar]

모선번호	초기전압	전력조류계산	EXPERT SYSTEM
1	1.0000	1.0000	1.0000
2	1.0000	1.0000	1.0000
3	1.0000	1.0000	1.0000
4	1.0000	1.0000	1.0000
5	0.9887	1.0005	0.9998
*6	0.9688	0.9960	0.9952
7	0.9900	1.0042	1.0034
8	0.9728	0.9799	0.9738

**표 2** 3번 발전모선의 전압변화가 0.05[p.u.]일 때

**Table 2** When voltage variation of the 3th generation bus is 0.05[p.u.]

모선번호	초기전압	전력조류계산	EXPERT SYSTEM
1	1.0000	1.0000	1.0000
2	1.0000	1.0000	1.0000
*3	1.0000	1.0050	1.0500
4	1.0000	1.0000	1.0000
5	0.9887	1.0008	0.0115
6	0.9688	0.9806	0.9908
7	0.9900	1.0118	1.0176
8	0.9728	0.0051	1.0090

**표 3** 5번 모선변압기의 탭 변화량이 0.05일 때

**Table 3** When tap variation of the 5th transformer bus is 0.05

모선번호	초기전압	전력조류계산	EXPERT SYSTEM
1	1.0000	1.0000	1.0000
2	1.0000	1.0000	1.0000
3	1.0000	1.0000	1.0000
4	1.0000	1.0000	1.0000
*5	0.9887	1.0026	1.0027
6	0.9688	0.9571	0.9981
7	0.9900	0.9849	0.9855
8	0.9728	0.9763	0.9764

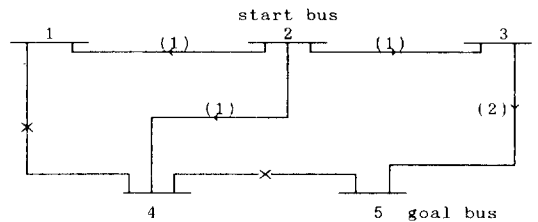
그러나 감도행렬 S3은 탭의 변화에 따른 선로상의 무효전력조류 변화를 고려하여 무효전력변화에 대한 각 부하모선전압변화를 충분히 고려하였다.

감도행렬 S2, S3은 모두 감도행렬 S1을 기초로 하여 확장하였으므로 감도행렬의 계산을 단순화 하였고 보상기의 보상량 변화에 따라 전압변화가 정확하게 나타났고 표 1,2,3에서 확인할 수 있다. 표 1,2,3은 위의 사실을 확인하기 위하여 간단한 8모선 계통에 대하여 전력조류계산과 감도행렬에 의한 전압변화를 비교하였다.

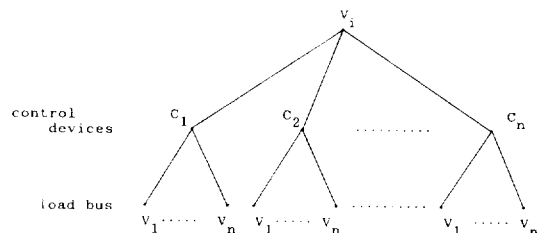
**3.2 나비우선 탐색법**

나비우선 탐색법은 해를 탐색하는데 있어서 시작점으로부터 가장 인접한 부분에서부터 탐색하고 점차 탐색 범위를 확대하는 방법이다. [3, 4, 8] 따라서 본 논문에서는 이러한 나비우선탐색법의 특징을 이용하여 가장 인접한 보상기부터 제어하고 다음 보상기를 탐색함으로써 제어보상기수를 최소화하고 보상량 또한 최소화 할 수 있었다. 나비우선탐색법을 적용하기위한 기본 Tree을 형성하기 위하여 그림 3-1에서와 같이 이상전압 모선을 Knowledge Base로부터 확인하고 이 모선을 탐색의 시작점으로하여 가장 인접한 보상기부터 전 계통의 보상기를 가까운 순서대로 찾은다음 이를 바탕으로 Tree을 형성하였다. 물론 보상기탐색 또한 나비우선 탐색법을 사용하였다.

그림에서와 같이 보상기 탐색시 반복적인 모선의 확인을 피하고 탐색속도를 개선하기 위하여 RAM속의 Knowledge Base의 계통선로연결 정보를 이용하였다. 그리고 그림 3-2에서와 같이 각보



**그림 3-1** 보상기 탐색경로  
**Fig 3-1** The Search path of compensator



**그림 3-2** 감도 Tree  
**Fig 3-2** Sensitivity Tree

표 4 모선전력과 모선전압

Table 4 Bus power and Voltage

Bus	Type	Bus power	Voltage	Qmin	Qmax
1	Slack.	Unspec.	1.0+j0.0		
2	P.V	-23.3+j(Unspec.)	V =1.0	-10.	10.
3	P.V	15.0+j(Unspec.)	V =1.0	-10.	10.
4	P.V	-20.0+j(Unspec.)	V =1.0	-10.	10.
5	P.Q	25.0+j20.0	Unspec.		
6	P.Q	-22.0-j13.0	Unspec.		
7	P.Q	25.0+j 0.0	Unspec.		
8	P.Q	0.0-j10.0	Unspec.		

표 5 선로 DATA

Table 5 Line DATA

Line	Startbus	End bus	Zser. %	Ysh, pu
1	1	2	1.0 +j7.0	j0.05
2	1	6	0.2 +j1.0	0.
3	1	5	0.3 +j3.0	0.
4	1	4	0.8 +j6.5	j0.03
5	4	5	0.35+j2.0	0.
6	3	4	0.75+j6.3	j0.06
7	3	8	0.1 +j1.5	0.
8	3	7	0.25+j2.3	0.
9	2	3	1.1 +j8.1	j0.08
10	2	7	0.32+j3.0	0.
11	6	7	0.21+j1.0	0.
12	5	6	0.2 +j1.3	0.
13	5	8	0.16+j2.1	0.
14	7	8	0.21+j3.11	0.

상기의 보상량결정을 효율적으로 하기위하여 감도 행렬을 이용하여 한모선의 전압보상으로 인하여 다른 모선전압의 영향을 확인하여 다른 모선전압에 이상이 발생하지 않게 하였으며 탐색의 깊이를 제한하여 영향이 작은 보상기는 제거하였다.

위에서 언급한바와 같이 먼저 나비우선 탐색법을 구축한 다음 이상전압 모선을 시작점으로하여 근접한 순서에따라 보상기를 탐색, 나열하여 Tree를 형성하고 감도행렬을 이용하여 각 보상기의 보상에 따르는 다른 모선의 이상전압파급을 확인함으로써 보상하고자하는 보상기의 양을 가장 적당한 값으로 결정함으로써 보상기의 보상량을 최소화 하였다.

#### 4. 선형 계획법

본 논문에서는 Expert System이 해를 찾는 데 실패할 경우에 선형 계획법을 실행하도록 하였다. 사용된 선형계획법은 Simplex Method로써 프로그램이 간단, 명료하다, 또 Prolog와 연결하기쉬운 C언어를 사용하여 Expert System이 요구할때마다 실행할 수 있게 부 프로그램을 형성하였다. 선형 계획법의 목적함수와 조건등은 Expert System에서 형성하고 목적함수는 보상량의 값이 최소가 되도록 하였으며 조건식은 각 모선의 전압과 각 보상기의 보상량이 한계치를 벗어나지 않도록 하였으며 계통의 상태에따라 다르게 하였다. 식 4-1, 4-2은 앞에서 언급한 목적함수와 조건을 나타낸 것이다.

$$\text{Min } (\sum_i |\nabla Q_i| + \sum_j |\nabla V_{gj}| + \sum_k |\nabla T_k|) \quad (4-1)$$

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max}$$

$i : \text{load bus}$

$$\begin{aligned} Q_i^{min} &\leq Q_i \leq Q_i^{max} \\ V_{gi}^{min} &\leq V_{gi} \leq V_{gi}^{max} \\ T_i^{min} &\leq T_i \leq T_i^{max} \end{aligned} \quad (4-2)$$

#### 5. 모델 계통에 의한 사례연구

본 논문에서 개발된 Expert System을 간단한 8-모선에 적용하여 만족스러운 결과를 얻었다. 각 경우에 적용하기위하여 전력계통을 조금씩 수정하였으며 실행과정은 아래와 같다. 표 6은 각 경우의 계통상태를 정리하였다.

경우 1)

전압상태 : 8번 모선전압이 0.012강하.

표 6 각 경우의 결과정리  
Table 6 The result of each case

변 수		한 계 치		경 우 1		경 우 2	
		최소값	최대값	초기값	결과값	초기값	결과값
무효전력보상기 (MVAR)	Q6	-1.0	1.0	0	0	0	0
	Q8	-1.0	1.0	0	0.015	0	0
발전모선전압 (P.U.)	V1	0.95	1.05	1.000	1.000	1.000	1.000
	V2	0.95	1.05	1.000	1.000	1.000	1.000
	V3	0.95	1.05	1.000	1.000	1.000	1.000
	V4	0.95	1.05	1.000	1.000	1.000	1.000
변압기 탭 (T.R.)	T5	0.9	1.1	1.0	1.0	1.0	0.959
부하모선전압 (P.U.)	V5	0.95	1.05	1.021	1.025	1.061	1.049
	V6	0.95	1.05	0.975	0.977	0.975	0.984
	V7	0.95	1.05	1.021	1.024	1.021	1.025
	V8	0.95	1.05	0.938	0.951	0.985	0.082

변 수		경 우 3		경 우 4		경 우 5	
		최소값	결과값	초기값	결과값	초기값	결과값
무효전력보상기 (MVAR)	Q6	0.	0.	0.	0.091	0.	0.124
	Q8	0.	0.	0.	0.	0.	0.018
발전모선전압 (P.U.)	V1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	V2	1.000	1.009	1.000	1.009	1.000	1.000
	V3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	V4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
변압기 탭 (T.R.)	T5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
부하모선전압 (P.U.)	V5	1.001	1.003	1.001	1.008	0.925	0.963
	V6	0.947	0.950	0.947	0.960	0.904	0.980
	V7	1.021	1.024	0.942	0.951	0.913	0.957
	V8	0.948	0.951	0.948	0.953	0.919	0.955

결 과 : \* Bus state Emergence(1); 1  
 \* Bus state Emergence(2); 0  
 \*\* System state emergence(1) : [1.000, 1.000, 1.000, 1.000, 1.021, 0.975, 1.021, 0.938]  
 \*\* Input bread first search depth ? 3  
 \*\* Control start point→Bus : 8, Voltage : 0.938  
 \*\*\* Do you want solution ?.(y/n) y  
 \* Find optimal solution  
 Q-Comp. #8 dq value ; 0.015  
 System voltage stable ; [1.00, 1.000, 1.000, 1.000, 1.025, 0.977, 1.024, 0.951]  
 \*\*\* Do you want solution?. (y/n) y  
 \* Find optimal solution

G-Comp. #3 dv value ; 0.017  
 System voltage stable ; [1.000, 1.000, 1.000, 1.000, 1.029, 0.928, 1.030, 0.951]  
 \*\*\* Do you want solution?., (y/n) n  
 \* Hit any key to stop!.\*  
 경우 2)  
 전압상태 : 5번 모선전압이 0.011 상승  
 결 과 : \* But state Emergence(1); 1  
 \* But state Emergence(2); 0  
 \*\* System state emergence(1) : [1.000, 1.000, 1.000, 1.000, 1.061, 0.975, 1.021, 0.985]  
 \*\* Input bread first search depth?. 3  
 \*\* Control start point→Bus : 5, Voltage : 1.

061

```

*** Do you want solution?. (y/n) y
* Find optimal solution
Tr.-Comp. # 5 dt value ; -0.041
System voltage stable ; [1.000, 1.000, 1.
                        000, 1.000, 1.049, 0.
                        984, 1.025, 0.982]
    
```

```

*** Do you want solution?. (y/n) n
* Hit any key to stop !.*
    
```

경우 3)

```

전압상태 : 6번 모선전압이 0.003 강하
결과 : 8번 모선전압이 0.002 강하
* Bus state Emergence(1) ; 2
* Bus state Emergence(2) ; 0
** System state emergence(1) : [1.000, 1.000, 1.
                                000, 1.000, 1.001, 0.947, 1.021, 0.948]
** Input bread first search depth?. 3
** Control point → Bus : 6, Voltage : 0.947
** Control start point → Bus : 8, Voltage : 0.948
*** Do you want solution? (y/n) y
* Find optimal soluton
G-Comp. #2 dv value ; 0.009
System voltage stable ; 1.000, 1.009, 1.000,
                        1.000, 1.003, 0.950,
                        1.024, 0.951
    
```

```

*** Do you want solution?. (y/n) n
* Hit any key to stop!.*
    
```

경우 4)

```

전압상태 : 6번 모선전압이 0.003 강하
              7번 모선전압이 0.008 강하
              8번 모선전압이 0.002 강하
결과 : * Bus state Emergence(1) ; 3
        * Bus state Emergence(2) ; 0
** System state emergence(1) : [1.000, 1.000,
                                1.000, 1.000, 1.001, 0.947, 0.942, 0.948]
** Input bread first search depth?. 3
** Control start point → Bus : 6, Voltage : 0.947
** Control start point → (Bus : 7, Voltage : 0.
                        942
** Control start point → Bus : 8, Voltage : 0.948
*** Do you want solution?. (y/n) y
* Find optimal soluton
G-Comp. #2 dv value ; 0.009
Q-Comp. #6 dq value ; 0.019
System voltage stable ; [1.000, 1.009, 1.000,
                        1.000, 1.008, 0.960, 0.951, 0.953]
    
```

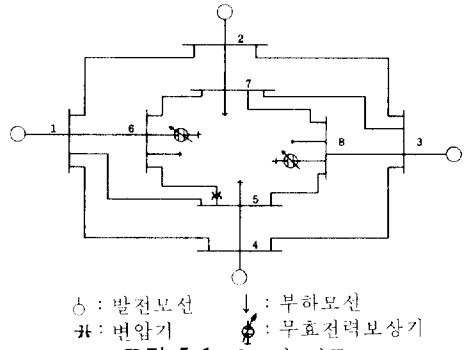


그림 5-1 8모선 계통도  
Fig 5-1 8Bus Power System

```

*** Do you want solution?. (y/n) n
* Hit any key to stop!.*
    
```

경우 5)

```

전압상태 : 5번 모선전압이 0.025 강하
              6번 모선전압이 0.426 강하
              7번 모선전압이 0.037 강하
              8번 모선전압이 0.031 강하
결과 : * Bus state Emergence(1) ; 4
        * Bus state Emergence(2) ; 0
** System state emergence(2) : [1.000, 1.000, 1.
                                000, 1.000, 0.925, 0.904, 0.913, 0.919]
*** Do you want LP control, system state
    [2] : ?. (y/n) y
Linear program execution.....
* LP Object maxim(+1.) or minim(-
1.) ?.: -1.
N = 2 M = 12 M1 = 8 M2 = 4 M3 = 0
* finite solution*
The optimal solution
dq(1) dq(2)
0.124 0.018
The object value ; -0.142.
* LP program end*
System voltage stable ; [1.000, 1.000, 1.
                        000, 1.000, 0.963, 0.
                        980, 0.957, 0.955]
* Hit any key to stop!.*
    
```

## 6. 결론

본 논문에서 개발된 Expert System은 전력계통에서 부하모선전압의 안정을 위하여 발전단전압과 무효전력주입, 변압기탭을 제어하였다. 그리고 위의 보상방법이 실패할 경우 선형계획법을 적용하



었다. 그 결과 다음과 같은 특징을 가진다.

- (1) 실행도중 나타나는 정보를 RAM 속의 Knowledge Base에 저장함으로써 정보탐색의 효율을 개선하였으며 입의의 상황변화에 대한 신속한 대응이 가능하였다.
- (2) 모든 규칙들을 독립적으로 형성하여 수정, 변경, 삭제가 가능하게 하였다.
- (3) 나비우선 탐색법과 감도행렬을 사용한 감도 TREE를 형성하여 보상기의 수와 보상량을 최소화 하였고 나비우선 탐색법의 단점을 보완하였다.
- (4) C언어로 복잡한 산술연산을 부 프로그램으로 형성함으로써 Expert System의 효율을 개선하였다.
- (5) 선형계획법(Linear Programming)을 적용하여 Expert System의 신뢰도를 개선하였다.
- (6) 제어 실패의 경우 Load shading 등 다른 방법 모색이 앞으로의 과제이다.

Expert System을 간단한 8모선에 적용하여 만족스러운 결과를 얻었으며 실행에 필요한 정보를 전력조류계산으로부터 직접 입력함으로써 실제 계통에서 정보를 입력한것과 같은 효과를 얻을 수 있었다. 보상량을 결정할때는 감도행렬을 이용한 Tree를 제안함으로써 각 모선간의 영향을 고려할 수 있어 보상의 효율을 개선할 수 있었다. 그리고 Expert System이 제어를 실패할 경우에 대비하여 선형계획법을 개발함으로써 신뢰도를 증가하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] "TURBO PLOLOG 2.0," Borland International, 1988.
- [2] "TURBO C 1.5," Borland International.
- [3] Ivan Bratko, "Prolog Programming for Artificial Intelligence," Addison-Wesley, 1986.
- [4] Neil C. Rowe, "Artificial Intelligence through Prolog," Prentice-Hall International Editions, 1988.
- [5] "Numerical Methods of Mathematical Optimization," Academic Press, 1971.
- [6] T.J.E. Miller, "Reactive Power Control in Electric System," A Wiley-Interscience Publication, 1982.
- [7] P.H.D. King, "Expert System," A Wiley Press Book, 1985.
- [8] Leon Sterling and Ehud Shapiro, "The Art of Prolog," The MIT press, 1986.
- [9] Y.M. Park, Y.S. Paick, "An Improved Fast Decoupled Newton Raphson Load Flow Study," Jour. of KIEE, vol. 26, no. 2, Mar. 1977.
- [10] C.H.Liu, "Overview of Expert System," 1982.
- [11] C.C. Liu, K.L. Tomsovic, "An Expert System Assisting Decision-Making of Reactive Power/Voltage Control," IEEE Transactions on Power System, vol. PWRS-1 no. 3, August 1986.
- [12] S.J. Cheng, O.P. Malik, G.S. Hope, "An Expert System for Voltage and Reactive Power Control of a Power System," IEEE Transactions, vol. 3, no. 4, November 1988.