

전력계통의 지능형 전압제어시스템에 관한 연구

A study on the Intelligent Voltage Control System

이 흥 재[†] · 유 원 근^{*} · 왕 인 수^{*} · 강 현 재^{*} · 신 정 훈^{**}

(Heung-Jae Lee · Won-Kun Yu · In-Soo Wang · Hyun-Jae Kang · Jung-Hoon Shin)

Abstract - As modern power systems become large and complicated, the automated voltage and reactive power control system is required in most developed countries due to the recent amazing progress of computer net works and information thechnology. So far the voltage control has been depend on human operator in korean power system. This paper presents an intelligent voltage control system based on sensitivity analysis and artificial intelligence technology. Detailed state space modeling technique is discussed and a new performance index is proposed to speed up the searching performance of the expert system. As the searching strategy is very important factor of the speed of expert system the least first search algorithm is applied using this performance index. The intelligent voltage control system is applied to the Jeju power system. As a result, case studies showed a promissing application of the intelligent voltage control system.

Key Words : Intelligent voltage control system, Sensitivity matrix, Expert system, RTDS

1. 서 론

최근 구미 선진국에서는 무효전력 수급 불균형에 의한 전압붕괴로 인한 대규모 정전사태가 빈발하고 있으며, 이러한 무효전력 수급 불균형에서 오는 문제들을 해결하기 위하여 이미 여러 선진국에서는 각국 계통에 적합한 전압, 무효전력 제어시스템을 개발하여 운용하고 있다. 최근 우리나라 계통에서도 지속적인 부하의 증가에 따라 중부하 상태로 안정도 한계근처에서 운용되고 있고, 송전선의 장거리화 등에 따른 복상조류로 인해 무효전력 손실의 증가하고 있어 무효전력 수요가 계속해서 증대되고 있다. 그러나, 무효전력 손실을 보상하기 위한 전압보상설비 설치장소 확보가 쉽지 않을 뿐만 아니라 국가단위의 자동화된 전압제어 시스템 체계가 구축되어 있지 않기 때문에 아직도 지역단위로 숙련된 운영자의 경험에 의지하여 계통전압을 유지하고 있는 상황이다. 그러나 최근 우리나라도 전압제어의 자동화에 대한 필요성을 절감하여 이차전압제어방식과 함께 지능형 전압제어 시스템을 개발한 바 있으며, 본 논문에서는 지식경제부 지원으로 개발된 지능형 전압제어 시스템을 소개하고자 한다.

전압제어의 방법론은 크게 최적화기법을 이용한 수치계산적 방식과 지능형 제어방식으로 대별할 수 있는데, 지능형 전압제어방식의 경우는 1980년대에 캐나다에서 최초로 감도트리 기반의 실시간 전압 및 무효전력제어 전문가 시스템 [1]이 제시된 후 1990년대에 스페인에서 SEGRE[2]와 SETRE[3-4]를 개발하여 자국계통에 성공적으로 운용하고

있다. 이들 시스템은 기본적으로 감도트리 기반의 수치계산과 인공지능 기법을 함께 사용한 하이브리드 형태이지만 시스템의 운용방식과 계통의 구조가 나라마다 다를 뿐만 아니라 수치계산의 일부 정칙과 탐색공간의 모델링에 대한 내용이 발표된 바 없어 실제적으로는 개발이 용이하지 않다.

본 논문에서는 발전기의 단자전압과 병렬콘덴서, 선트리 액터 및 변압기 탭을 대상으로 한 감도행렬을 사용하여 전압제어를 수행하는 지능형 전문가 시스템을 개발하였으며 이를 제주계통에 적용하여 그 효용성을 살펴보았다. 또한 본 시스템은 이상전압의 크기와 조정하고자 하는 전압목표의 크기를 자유롭게 조정할 수 있도록 구성하였으며 SCADA 또는 EMS상에서 PSS/E 포맷의 기본적인 계통데이터를 사용하여 범용으로 쉽게 사용할 수 있도록 개발하였다. 일반적으로 지능형 시스템에서 해를 구하는 과정은 목표에 대한 추론과 더불어 상태공간을 탐색하는 문제로 귀결되므로 문제해결을 위한 효과적인 탐색방식은 전문가 시스템의 성능향상에 있어서 가장 중요한 요소이다 본 논문에서는 탐색의 효율을 극대화하기 위하여 가중평가함수를 제시하였고 이를 최소화 하는 탐색기법으로는 최소비용탐색기법을 이용하였다. 또한 연속된 값을 가지는 발전기 단자전압에 대하여 이산화 기법을 이용하여 정밀한 전압제어가 이루어질 수 있도록 개발하였다. 마지막으로 지면관계상 여기에 제시하지는 않았지만 감도행렬은 비선형 계통을 선형화한 모델을 사용하므로 이 모델의 적절성을 검증하기 위해 선형화에 대한 오차분석을 수행하였으며, PSSE 모델 대비 최대 오차는 1% 이내로 상당히 정밀한 수준에서의 제어가 가능함을 확인하였다.

* 정 회 원 : 광운대 공대 전기공학과 박사과정

** 정 회 원 : 한국전력공사 전력연구원

† 교신저자, 시니어회원 : 광운대 전기공학과 교수

E-mail : hjlee@kw.ac.kr

접수일자 : 2012년 5월 15일

최종완료 : 2012년 6월 13일

2. 지능형 전압제어시스템의 기본구조

개발된 지능형 전압, 무효전력 제어시스템의 구조는 다음

그림 1과 같으며, 그림 1에 표시된 바와 같이 지능형 제어기는 전력계통으로부터 전달되는 계통의 각종 실시간 데이터를 동적데이터베이스에 저장하고 감시하고 있다. 이상전압이 발생하면 추론엔진은 그 시점에서의 계통상태를 기준으로 선형화 한 감도행렬을 포함한 수치해석 모듈을 구동한 후 지식베이스의 규칙들을 사용하여 전압 문제를 해결하는 과정을 수행하고 그 해를 계통의 제어신호로 변환하여 전송한다.

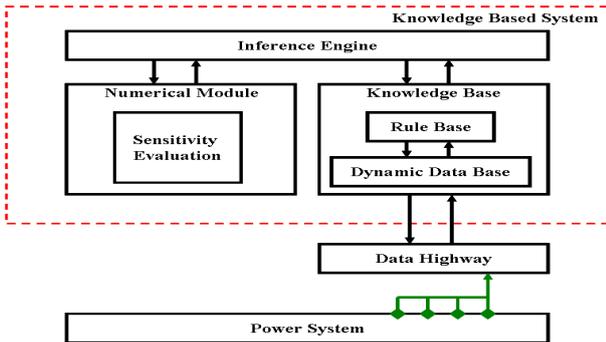


그림 1 지능형 전압제어시스템의 구조
Fig. 1 Structure of the intelligent voltage control system

2.1 지식베이스

지능형 시스템은 위 그림에 표시된 바와 같이 수치 연산 모듈과 함께 데이터베이스와 룰베이스 및 추론엔진으로 구성되는데 데이터베이스와 룰베이스에 저장되어있는 자료의 주요 내용은 다음과 같다.

◎ 데이터베이스

- 이상전압의 상·하한치
사용자로 하여금 모선의 이상전압 상·하한치를 조정할 수 있도록 하여 154kV 계통과 345kV 계통에 모두 사용할 수 있도록 구성하였다.
- 전압조정 상·하한치
이상전압이 발생한 모선의 전압을 조정하여 도달하여야 할 목표값의 범위를 자유롭게 조절이 가능하도록 하여 조상설비가 부족한 계통에서도 해를 구하지 못하는 경우가 적어지도록 고려하였다.
- 모든 제어설비의 상·하한치
 - * 발전기 단자전압 상·하한치 [0.95 p.u. ~ 1.05 p.u.]
 - * 변압기 탭 상·하한치
 - * 병렬 커패시터 상·하한치
- 제어설비의 우선순위
사용자가 전압조정에 필요한 제어설비의 우선순위를 자유롭게 지정할 수 있도록 구성하였다.
- 발전기 단자전압 양자화 레벨
사용자가 발전기 단자전압에 대한 양자화 레벨을 조정할 수 있도록 하였다.

◎ 룰 베이스

- 룰베이스에는 다양한 규칙이 저장되어있는데 이중 전압제어를 위한 주요 규칙은 다음과 같다.
- 모선의 전압이 이상전압의 상·하한치를 초과한다면 제어기를 동작시킨다.
 - 이상전압이 발생하면 우선 감도트리를 구성한다.
 - 제어기의 선택은 효과량이 가장 큰 설비를 선택한다.
 - 효과량은 감도와 투입가능한 단위용량을 곱한 값으로 정의한다
 - 제어기의 보상설비의 우선순위는 지정된 순서를 따른다.
 - 지정된 보상설비를 투입하여도 모선의 전압이 허용범위 이내로 조정되지 않으면 다음 순위의 효과지수를 가지는 보상설비를 투입한다.
 - 이상전압이 여러 모선에서 발생할 경우 이상전압 발생크기가 가장 큰 모선을 기준으로 제어동작을 한다.
 - 무효전력 보상량은 선형예측법을 사용하여 결정한다.

2.2 수치해석 모듈

민감도 해석기술은 전력계통의 제반 문제를 해석하는데 널리 사용되는 기법으로 특히 제어계통에 적용할 경우에는 제어기의 효과를 분석하는데 많이 사용한다. 실제 전력계통은 비선형이기 때문에 무효전력 제어수단과 모선 전압 사이의 감도계수가 전력계통의 상태에 따라 계속 변화하게 된다. 비선형성이 크지 않을 경우에는 단순화를 위해 1차 감도함수가 보통 사용되며 계통의 구조와 상태에 따라 달라지는 문제이지만 현재까지 보고된 다양한 제어시스템의 적용 사례를 살펴보면 계통 운용 조건의 상당한 영역에서 편차가 크게 나타나지 않는다. 이것은 감도 기술이 무효전력과 전압 제어 문제를 분석하는데 성공적으로 사용될 수 있다는 것을 의미한다.

M 개의 제어수단을 갖는 N 모선 규모의 전력계통에서 모선 전압과 제어수단들과의 관계는 다음 그림 2와 같이 표현할 수 있다.

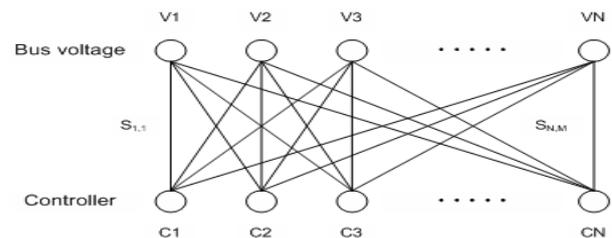


그림 2 전압제어의 표현
Fig. 2 Representation of voltage control

그림 2에서 어떤 모선에서 다수의 제어설비가 있을 때 그 설비를 투입하면 다른 모선에서도 영향을 미치게 됨을 알 수 있다. 따라서 전압제어의 문제는 첫째, 어떤 모선에서 발생한 이상전압을 해소하기 위하여 하나 또는 다수의 제어설비를 투입하되 이로 인하여 다른 모선에서는 이상전압을 유발하지 않는 제어설비의 조합과 투입량을 결정하는 문제이며, 두 번째로는 이러한 제어설비의 투입순서를 가장 효과가 큰 순서대로, 과도현상으로 인한 계통의 충격을 완화하기 위

하여 적절한 시차를 가지고 투입되도록 결정하는 것이다.

이 문제를 해결하기 위해서는 감도행렬을 사용하는데 감도행렬은 지능형 전압 제어시스템의 기본이 되는 매개 변수로서 각 보상기의 보상량, 즉 병렬 콘덴서/리액터의 투입, 발전기 전압변화, 변압기 탭 변화에 대한 모션 전압 관계를 정의하여 이상전압 발생시 제어수단을 선택하고 보상량 투입을 반영한다. 이러한 감도행렬은 기본적인 전력조류 방정식에서 자코비안 행렬 중에서 전압과 무효전력 사이의 관계와 제어수단과의 관계를 이용하여 재구성함으로써 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} & \vdots & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q}{\partial \delta} & \vdots & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \vdots \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)에서 $\Delta \delta$ 은 무효전력에 대해 영향이 미미함으로 전압과 무효전력의 식을 분해하면 다음과 같이 표현된다.

$$[\Delta Q] = \left[\frac{\partial Q}{\partial V} \right] [\Delta V] \quad (2)$$

$$[\Delta V] = \left[\frac{\partial Q}{\partial V} \right]^{-1} [\Delta Q] \quad (3)$$

여기에서 $[\partial Q / \partial V]$ 는 식 (2)에서 전력조류 계산의 자코비안 행렬이고 식 (3)과 같이 $[\partial Q / \partial V]^{-1}$ 를 구하면 무효전력 변화에 대해 모션전압의 변화를 알 수 있는 감도행렬(sensitivity matrix)이 구해진다.

감도행렬을 각 제어수단별로 표현하면 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \circ \Delta V_i &= S_{sh} \cdot \Delta U_{sh} \\ \circ \Delta V_i &= S_{vg} \cdot \Delta U_{vg} \\ \circ \Delta V_i &= S_T \cdot \Delta U_T \end{aligned} \quad (4)$$

3. 전압제어 문제의 상태공간 모델링

전압제어의 문제를 지능형 시스템으로 해결하기 위해서는 문제를 해결 가능한 표현모델로 정의해야 하는데 이는 크게 상태공간 표현과 문제분할 표현으로 대별할 수 있다. 상태공간의 표현은 상태와 연산자로 구성되어있으며, 상태란 어떤 시점에서 변화하는 상황의 정지된 순간적인 사진이라고 할 수 있다. 즉, 모든 상태는 각각 유일하다. 연산자는 하나의 상태에서 다른 상태로 변환시키는 작용자를 말하며 상태공간이란 주어진 문제에서 나올 수 있는 모든 상태의 집합을 말한다. 표현모델의 또 다른 방식인 문제의 분할표현은 주어진 문제를 해결 가능한 작은 부문제로 분해하며 각각의 부문제를 해결함으로써 주어진 문제를 해결하겠다는 사고방식에서 출발한 것이다. 문제의 분할은 더 이상 분할이 안 될 때까지 계속하며 문제의 분할기법은 초기문제와 분할연산자들의 집합, 해결 가능한 원시문제로 구성된다. 전술한 바와 같이 문제의 표현은 상태공간 표현과 문제축약 기법으로 대별되며 어떠한 문제도 이 두가지 형태로 모델링 될 수

있으나 문제의 성격에 따라 그 시스템의 효율은 크게 달라진다. 전력계통분야에서는 고장진단, 사고복구 등 여러 가지 분야에서 문제축약 기법을 사용하고 있다. 그러나 전압제어는 전문가의 경험적 지식과 함께 시스템의 상태에 따라 시시각각으로 변화하는 감도행렬을 필요로 하므로 본 연구에서는 상태공간 표현을 사용하여 문제를 모델링 하였으며, 또한 전압제어 문제에 있어서 일반적으로 적용하는 성능평가함수는 수치제어 방법에서 적용되는 것으로써 본 논문에서는 개발된 지능형 시스템의 성능향상을 위하여 다음과 같이 새로운 가중평가함수를 도입하여 가중평가함수를 최소화 할 수 있는 최소비용탐색기법을 이용하였다.

$$\min(\lambda V_{vio} + \Sigma \alpha |\Delta V_{gi}| + \Sigma \beta |\Delta T_K| + \Sigma \gamma |\Delta Q_i|) \quad (5)$$

단: $\lambda \gg \gamma \gg \beta \gg \alpha$

여기서, V_{vio} 는 정상적인 부하모션에 새롭게 이상전압이 발생하는 부하 모션의 수이고 $\Delta V_{gi}, \Delta T_K, \Delta Q_i$ 는 각각 발전기 전압과 변압기 탭 및 셉트 캐패시터/리액터를 나타낸다.

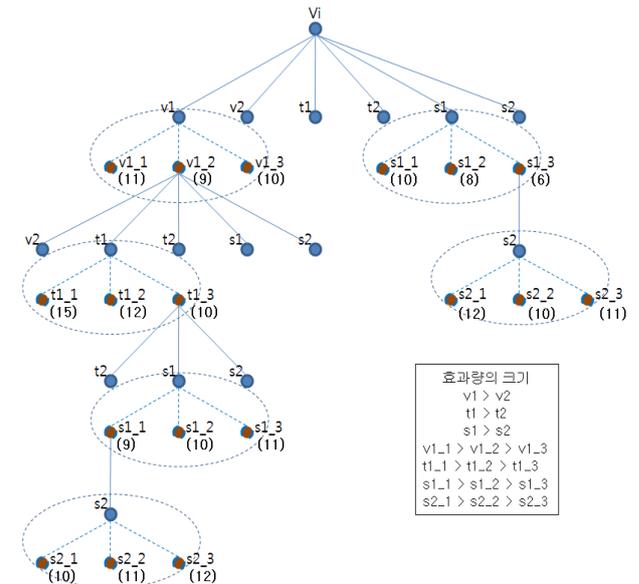


그림 3 지능형 전압제어문제의 상태공간 모형
Fig. 3 Space model of voltage control

3.1 최소비용탐색

지능형 전압문제를 상태공간에서의 표현모델로 기술한 후, 문제의 해를 구하기 위해서는 여러 가지 전략이 필요한데, 전략들 중에서 가장 핵심이 되는 것이 탐색이다.

탐색이란 가능한 해의 경로를 평가하여 초기상태에서 목표상태로 도달하기 위해 시도하는 과정으로 본 논문에서는 식(5)와 같은 가중평가함수를 최소화하는 최소비용탐색법을 사용하였으며, 탐색과정은 다음과 같다.

그림 3에서 이상전압이 발생한 모션에 대하여 최우선적으로 선택되어야 하는 발전기 단자전압 중에서 효과량이 가장 큰 v1 노드가 선택되고, v1 노드는 3개의 양자화된 효과량으로 확장된다. 확장된 3개의 노드의 효과량을 이용하여 전

체 모션전압에 대한 선형예측 및 가중평가함수 값을 계산한다. 예를 들면 그림에서 보는 바와 같이 확장된 노드의 평가함수 값은 각각 11, 9, 10이며, 그 중에서 평가 값이 가장 작은 v1_2 노드가 선택되고 2단계 제어설비 선택으로 진행된다. 2단계에서는 v2의 효과량을 이용하여 선형예측을 수행한 결과 정상 부하모션에서 이상전압이 발생하여, 차순위로 변압기 탭 t1이 선택되었다. 그리고 v1 노드와 동일한 과정을 거쳐 평가함수 값이 가장 작은 t1_3 노드가 선택되며, Vi 모션의 이상전압이 해소되지 않을 경우 3단계 제어설비 선택으로 진행하고 이상전압이 해소되면 탐색이 종료된다.

5. 사례 연구

개발된 시스템의 성능검증을 위하여 RTDS상에 구축된 제주계통을 대상으로 지능형 전압제어시스템의 성능 시험을 수행하였으며, 그림 4는 제주계통의 전압문제를 제어하기 위한 지능형 전압제어시스템의 HMI 화면이다. 개발된 시스템은 전압제어를 위한 제어기 동작조건을 설정할 수 있게 설계되었으며 각각의 동작조건 설정은 다음과 같다.

- 이상전압 상·하한치 설정
- 전압조정 상·하한치 설정
- 발전기 단자전압 제어범위 설정
- 제어설비 우선순위 설정
- 발전기 단자전압 양자화 개수 설정
- 제어기 동작주기 설정

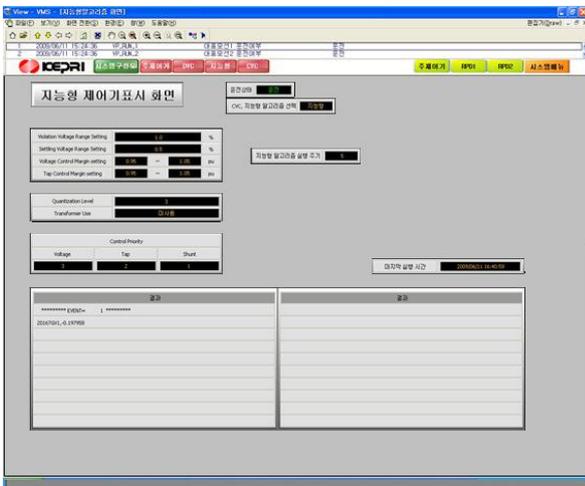


그림 4 지능형 전압제어시스템 HMI
Fig. 4 HMI of intelligent voltage control system

사례연구로서는 선로사고가 발생한 경우를 대상으로 하였으며, 지능형 전압제어시스템의 동작 조건은 다음과 같이 설정하였다.

- 이상전압 상·하한치[p.u.] : $0.95 > V$ or $1.05 < V$
- 전압조정 상·하한치[p.u.] : $0.97 < V < 1.03$

- 발전기 단자전압 상·하한치[p.u.] : $0.95 < V_t < 1.05$
- 제어설비 우선순위 : 발전기>병렬 콘덴서>변압기 탭
- 발전기 단자전압 양자화 개수 : 5
- 제어기 동작주기 : 90초

다음 표 1과 그림 5는 제어된 버스 전압을 보여주고 있다. 그림 5를 살펴보면 선로사고 발생 후 성산(200)모션에서 이상전압이 발생한 것을 알 수 있으며 첫 번째 제어는 이상전압 발생크기가 가장 큰 성산(200)모션을 대상으로 제어가 이루어진 것을 확인할 수 있다. 두 번째 제어 시에는 저전압 모션 제어 후 발생한 이상전압 모션에 대하여 전압제어를 실시하였으며 이 때 가장 크게 이상전압이 발생한 모션은 남제주(170)모션이다. 마지막으로 선로를 복구한 후에 제주TS(122)모션에서 미소한 이상전압이 발생하여 이를 제어한 것을 확인할 수 있다.

표 1 전압제어 전·후의 전압프로파일

Table 1 Voltage profile of the control

BUS NO&NAME	1st control before	2st control before	Final control before
북제주TP(120)	1.0332	1.0517	1.05
북제주CS(121)	1.0332	1.0517	1.05
북제주TS(122)	1.0333	1.0518	1.051
동제주(130)	1.0321	1.05	1.0476
신제주(140)	1.0301	1.0432	1.0306
한림CC(150)	1.0437	1.0528	1.0355
안덕(160)	1.0473	1.0549	1.0268
남제주TP(170)	1.0488	1.0557	1.0258
신서귀(180)	0.9656	0.9849	1.0222
한라(190)	0.975	0.9942	1.0268
성산(200)	0.9424	0.9623	1.0266
산지(210)	1.0316	1.0495	1.047
조천(220)	1.036	1.0546	1.0403
한림(230)	1.0439	1.0528	1.0342

6. 결 론

본 논문에서는 감도행렬을 이용한 지능형 전압제어시스템을 개발하였다. 이 시스템은 가장 감도가 큰 제어설비 대신 제어설비의 가용량을 고려한 실시간 효과량을 기준으로 사용함으로써 단위 스텝당 제어효과를 극대화하였다. 또한 이 시스템은 대형 계통망에서 실시간 적용이 가능하도록 새로운 가중평가함수를 도입하고 최적우선 탐색방법을 채용하여 그 계산속도를 극대화 하였으며, 제주계통의 경우 계산시간은 수십mS, 전국을 대상으로는 2초 내외의 성능을 보여주었다.

사례연구로는 RTDS에 구축된 제주계통을 대상으로 한 사례를 소개하였는데 다양한 성능시험 결과 개발된 시스템은 만족스러운 결과를 보여주었다. 또한 지면관계상 여기에

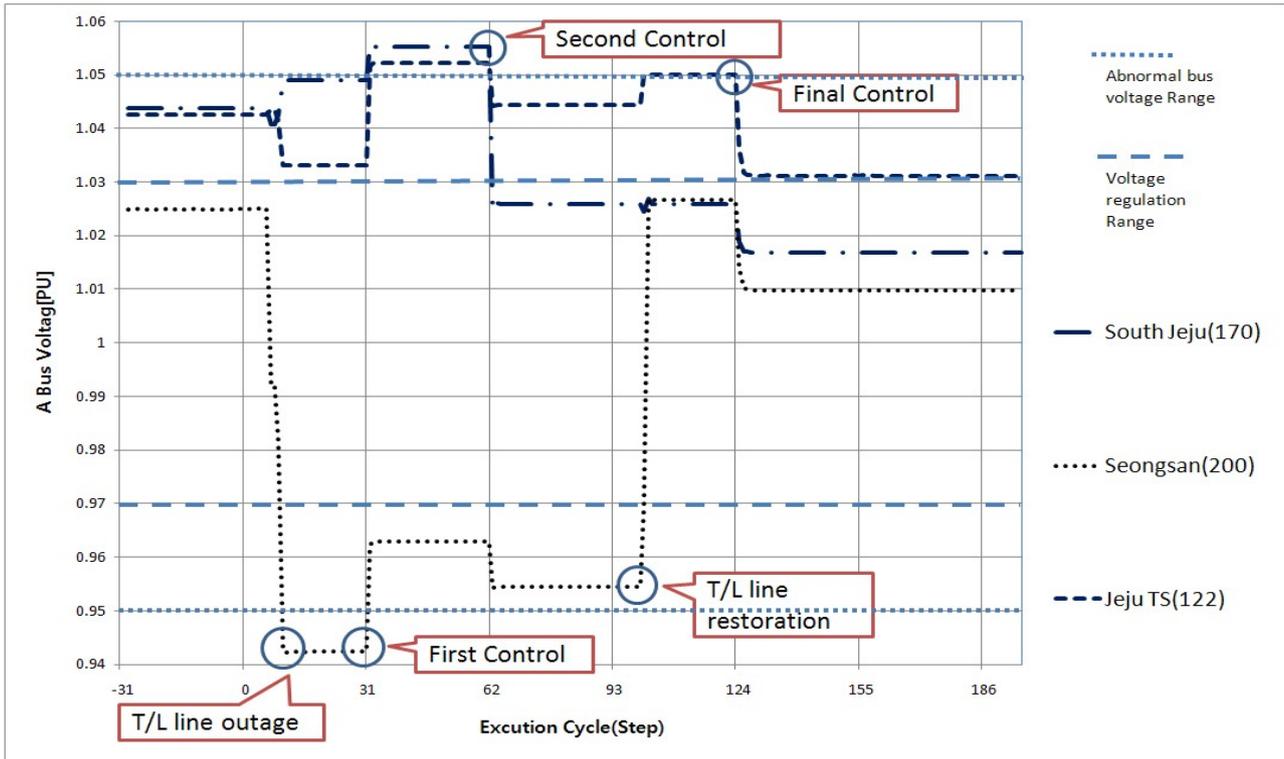


그림 5 이상전압 발생모션 전압프로파일
 Fig. 5 Bus voltage profile of abnormal bus voltage

제시하지는 않았지만 이 시스템에서는 전압제어 설비들에 대한 감도행렬을 이용한 바, 감도행렬은 비선형 계통을 선형화한 모델을 사용하므로 이 모델의 적절성을 검증하기 위해 선형화에 대한 오차분석을 수행하였으며, PSSE 모델 대비 최대오차는 1% 이내로 상당히 정밀한 수준에서의 제어가 가능함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원(2009T100100642) 주관으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] Cheng, S. J.; Malik, O. P.; Hope, G. S., "An Expert System for Voltage and Reactive Power Control of a Power System", IEEE Trans. on PWRS, Vol. 3. No. 4, Nov. 1988, pp. 1449-1455.
 [2] Sancha, J. L.; Fernandez, J.L.; Martinez, F.; Salle, C., "Spanish Practices in Reactive Power Management and Voltage Control", IEEE Colloquium on International Practices in Reactive Power Control, April 1993, pp. 3/1-3/4.
 [3] Gomez Exposito, A.; Martinez Ramos, J.L.; Ruiz

Macias, J.L.; Cuellar Salinas, Y., "Sensitivity-Based Reactive Power Control for Voltage Profile Improvement", IEEE Trans. on PWRS, Vol. 8, No. 3, Aug. 1993, pp. 937-945
 [4] Ramos, J.L.M.; Exposito, A.G.; Cerezo, J.C.; Ruiz, E.M.; Salinas, F.C., "A Hybrid Tool to Assist the Operator in Reactive Power/Voltage Control and Optimization", IEEE Trans. on PWRS, Vol. 10, No. 2, May 1995, pp. 760-768.
 [5] Belhadji, C.; Mohamedi, R.; Lefebvre, S.; Xuan-Dai Do., "An Integrated Power System Global Controller Using Expert System", Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 1996. Vol. 1, May 1996, pp. 446-449.
 [6] Tan Loc Le; Negnevitsky, M.; Piekutowski, M., "Network Equivalents and Expert System Application for Voltage and VAR Control in Large-Scale Power Systems", IEEE Trans. on PWRS, Vol. 12. No. 4, Nov. 1997, pp. 1440-1445.
 [7] W. K. Yu; H. J. Lee; D. Hur; C. H. Lim; T. K. Kim; J. H. Shin; S. C. Nam., "Hybrid Intelligent Voltage and Reactive Power Control System For Jeju Power System in Korea" 8th WSEAS International Conference on POWER SYSTEM(PS 2008), Santander, Cantabria, Spain, September 23-25, pp118-123.

저 자 소 개



이 흥 재 (李興載)

1958년 1월 28일생. 1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년 ~ 1996년 미국 워싱턴 주립대 방문교수.

현재 광운대 공대 전기공학과 교수.

E-mail : hjlee@kw.ac.kr



유 원 근 (俞元根)

1976년 3월 15일생. 2003년 광운대 공대 전기공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정 재학 중.

E-mail : hjlee@kw.ac.kr



강 현 재 (姜賢在)

1962년 11월 12일생. 1981년 수도전기공고 졸업/한국전력 입사. 1989년 부산외국어대 영어과 졸업. 1996년 광운대 산업정보대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 광운대 대학원 전기공학과 박사과정 재학 중. 한국전력공사 부장

E-mail : khj62@kw.ac.kr



왕 인 수 (王仁秀)

1976년 1월 28일생. 1998년 광운대 공대 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정 재학 중.

E-mail : newgod@kw.ac.k



신 정 훈 (申政勳)

1993년 경북대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전력공사 전력연구원 차장

E-mail : jrshin@kepri.re.kr