

전문가시스템을 이용한 시송전 계통의 구성

이흥재 · 박성진 · 이경섭 · 박성민  
광운대학교 전기공학과

Development of Expert System for Primary Restorative Transmission System  
Planning

Hung-Jae Lee · Sung-Jin Park · Kyeong-Seob Lee · Sung-Min Park  
KwangWoon University

**Abstract** - Power system restoration following a large black-out starts with charging of primary transmission lines. As the power systems are gradually enlarged and become more complex, the power plant and transmission of electricity units are being expanded continuously. Accordingly, evaluation and reconfiguration of the primary transmission system is needed. So far it has been decided to analyze and evaluate with the knowledge and experience of the corresponding expert. This paper presents an expert system for configuring the optimum primary transmission system based on expert knowledge, static analysis and configuration data.

적합수는 페란티 효과, 즉 전압상승률의 저감으로 하는 것이 타당하다.

그림 2의 간단한 예제에서는 쉽게 알 수 있는 바와 같이 위상적으로 연결이 가능한 경로는 5-2-1, 5-3-2-1, 5-4-2-1의 세 가지 경우가 있으며, 전문가시스템의 상태 공간에서는 다음 그림 3과 같이 표현된다. 여기에서 노드와 노드를 연결하는 가지의 가격함수(cost function)는 선로의 어드미턴스[4], 즉, 선로에서 소모되는 진상무효전력의 개략치를 이용하였고, 따라서 탐색 범으로는 경로의 진상무효전력을 최소화 하는 최소비용탐색(least cost search) 전략을 사용하였다. 물론, 전술한 바와 같이 탐색의 과정에서 누적진상무효전력량의 크기가 자체 기동발전기의 최대공급 진상무효전력을 초과하는 경우 추가적인 탐색을 금지함으로써, 탐색 효율의 극대화를 모색하였다.

1. 서 론

정전사고의 발생은 예측할 수 없으며, 광역정전의 발생시 야기되는 경제적 피해와 사회적 혼란은 국가적 재해에 준하는 심각한 수준이므로 사고의 발생시 신속하고도 안전한 복구대책의 수립은 매우 중요하다. 그러나 국가별 또는 지역별로 계통의 특성이 다를 뿐만 아니라 가용한 발전자원과 사고의 양상, 즉, 사고원인과 피해지역에 따라 복구전략이 상이하므로, 이에 대한 연구가 지속적으로 수행되어왔다[1-3]. 정전사고의 복구전략은 여러 가지 방안이 있지만 광역사고의 발생시 기동시간이 짧은 자체기동 발전기의 기동으로부터 미리 계획된 선로를 이용하여 우선공급발전기를 가압하는 것이 초기복구의 기본전략이며, 우리나라의 경우 이를 정밀하게 분석할 수 있는 연구가 수행되었다.[4, 5] 그러나 경제성장에 따른 설비와 부하가 점증하므로, 선전각국에서도 시송전 계통에 대한 검토를 매년 수행하고 있다. 본 논문에서는 복잡한 계산이 수반되는 시송전 계통을 자동적으로 평가하여 구성하는 전문가 시스템을 제안하고자 한다.

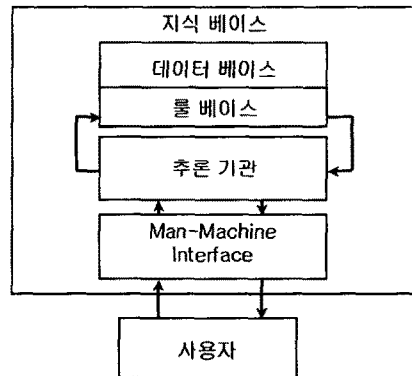


그림1 전문가시스템의 구조

2. 시송전계통 구성 전문가시스템

본 전문가시스템의 구조는 다음 그림 1에 표시한 바와 같이 일반적인 전문가시스템의 경우와 동일하게 데이터 베이스와 룰 베이스, 추론기관과 인간기계연결기관(MMI : Man Machine Interface)로 구성된다.

3. 문제의 표현

가용한 최적의 시송전 계통을 평가하고, 선정하여 구축하는 문제는 다음 그림 2의 시험계통에서 표시된 바와 같이 우선 주어진 하나의 자체기동발전기로부터 우선공급 발전소로서의 요건을 구비한 후보발전소까지 가장 최적의 조건을 가지는 경로를 탐색하는 것으로 귀결되므로, 이러한 부문제를 전계통에 확대 적용함으로써 우리나라 전체의 시송전 계통을 구축할 수 있게 된다. 여기에서 제약조건은 자기여자현상을 방지하기 위한 진상무효전력의 제한조건이고, 최적의 해를 구성하기 위한 목

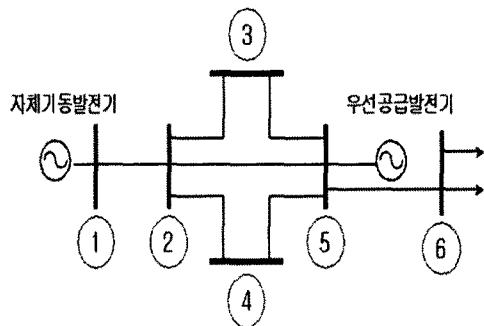


그림 2. 시험계통

## 5. 룰 베이스

룰 베이스에는 기본적인 탐색과 추론을 위한 규칙과 함께 가능한 경로를 탐지하는 규칙과 루우프 구조의 계통에서 순환(circulation)을 방지하는 규칙, 경로의 가능성(feasibility)을 판별하는 규칙들이 저장되어 있으며, 최종적으로 경로가 선정이 되면 이를 이용하여 시송전 계통의 정태해석 프로그램[6]의 입력 데이터 파일을 작성하고 이 프로그램을 수행시키게 된다.

## 6. 사례 연구

본 논문에서 제안한 시송전계통 구성 전문가시스템의 성능 평가를 위한 사례 연구를 수행하였다. 우리나라의 분할 계통 중 영동 지역을 본 사례 연구의 대상으로 하였으며, 영동 지역의 계통 구성은 그림 4와 같다.

영동 지역 계통에서 자체 기동 발전소와 우선 공급 발전소는 각각 강릉 수력발전소와 울진 원자력발전소이다.

최소비용 탐색 전략에서 선로의 누적진상무효전력량은 모든 모선의 전압을 1.0[pu]로 가정 한 선로의 어드미턴스 값을 사용하였기에 탐색을 금지하기 위한 누적진상무효전력량은 자체기동발전기의 최대공급 진상무효전력의 120%로 설정하였다.

전문가시스템으로부터 도출된 시송전 가능 선로에 대한 결과를 표 1과 2에 나타내었다.

표 2의 결과에서 5번, 6번 시송전 선로의 누적진상무효전력량은 자체기동 발전기에서 공급 가능한 무효전력량을 초과하였으나 시송전계통 정태 해석 프로그램의 결과에서는 약 30%정도의 여유가 있음을 볼 수 있다.

자체기동 발전기의 출력전압은 저전압 계전기가 설치된 경우에는 계전기 설정값을 이용하며, 계전기가 없는 경우에는 자기여자현상을 고려하여 출력 전압을 75[%]로 제한하였다. 따라서, 5, 6번 시송전선로는 출력 전압 조건을 만족하지 못해 사용이 불가능하다.

가능한 선로에 대한 전압 프로파일을 각각 그림 5, 6, 7, 8에 나타내었다.

무효전력 여유량을 선정 조건으로 하면 3번 선로가 최적의 해이고, 전압 상승률을 선정 조건으로 하면 1번 선로가 최적의 해가 된다.

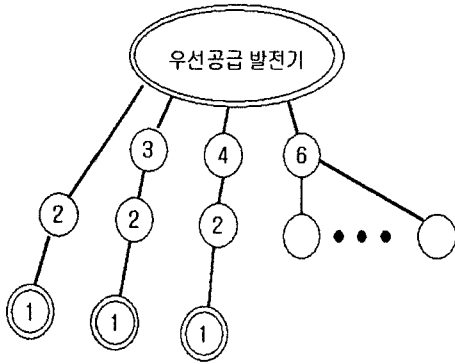


그림 3. 상태공간의 표현

## 4. 데이터 베이스

문제의 표현기법과 함께 전문가시스템의 효율에 큰 영향을 미치는 요인은 전력계통의 표현(representation) 방법이다. 본 전문가시스템에서 사용한 주요 술어(predicate)는 다음과 같다.

선 로 : Tl\_data(No, Name, From, To, Type, Vrate, RateA, R, X, C)

모 선 : Bus\_data(No, Name, Vrate)

변압기 : Tr\_data(No, Name, From, To, Type, RateA)

발전기 : Gen(No, Name, To, Type, Crank, RateA)

부 하 : Load(No, Name, To, MVA)

모든 술어의 표현에서 No는 설비번호, Name은 설비의 명칭, RateA는 정격전력, Vrate는 정격전압, From과 To는 그 설비 양단에 연결된 설비를 표시한다.

발전기 표현에서 Type은 자체기동과 우선공급 및 일반 발전기의 세 가지가 있으며, 각각 0, 1, 2로 구분하고, Crank는 우선공급 발전기의 경우에 기동 전력을, 자체기동발전기의 경우에는 최대진상무효전력을 나타낸다.

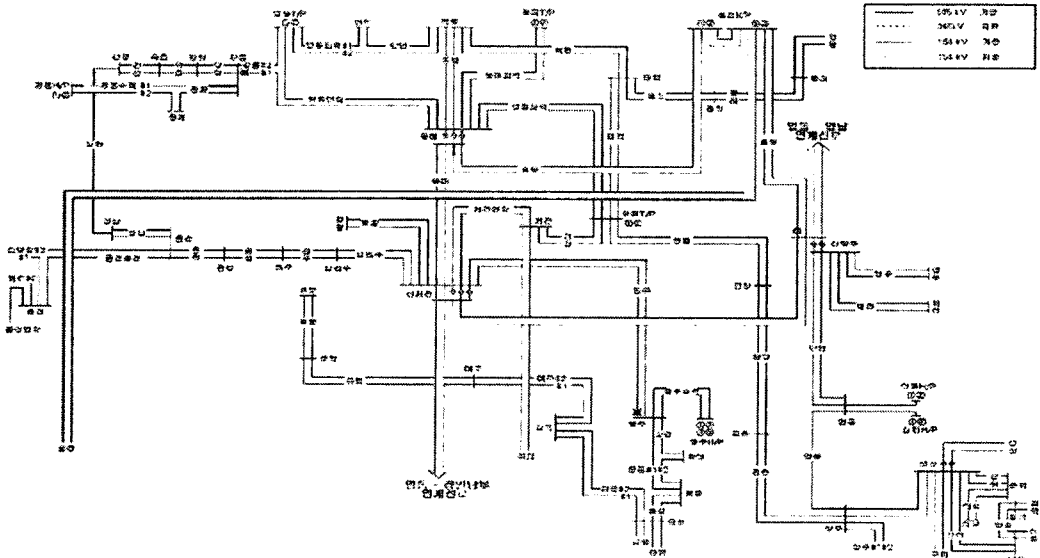


그림 4. 영동 지역 계통도

표 1. 시송전 가능 선로

Path	T/L, S/S명
1	강릉수력#1-강릉#1-동해S/S#1-울동#1
2	강릉수력#2-횡강-강릉#1-동해S/S#1-울동#1
3	강릉수력#1-강릉#2-영동화력#2-동북#1-동해S/S#1-울동#1
4	강릉수력#2-횡강-강릉#2-영동화력#2-동북#1-동해S/S#1-울동#1
5	강릉수력#1-강릉#2-영동화력#1-안인북평-북평#1-북평#1-태백#1-영월화력#1-동해S/S#1-울동#1
6	강릉수력#2-횡강-강릉#2-영동화력#1-안인북평-북평#1-북평#1-태백#1-영월화력#1-동해S/S#1-울동#1

표 2. 결과 Report

Path	선로 말단전압 [PU]	발전기 출력전압 [PU]	발전기 공급가능 무효전력량 [MVAR]	총 공급 무효전력량 [MVAR]	무효전력 여유 [MVAR]
1	1.0000	0.8120	55.800	37.557	18.243
2	1.0000	0.7838	55.800	38.313	17.487
3	1.0000	0.8004	55.800	36.774	19.026
4	1.0000	0.7725	55.800	37.491	18.309
5	1.0000	0.6283	55.800	39.298	16.502
6	1.0000	0.5932	55.800	38.319	17.481

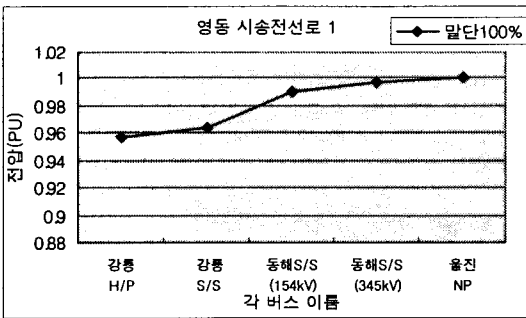


그림 5. 강릉-울진간 시송전계통 전압과일

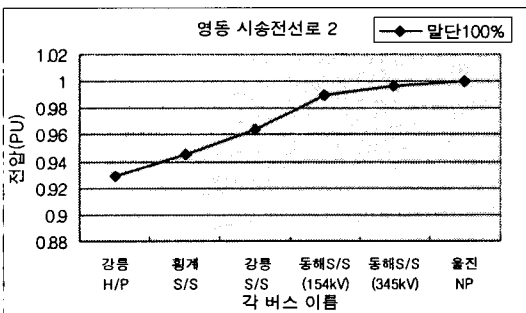


그림 6. 강릉-횡계-울진간 시송전계통의 전압과일

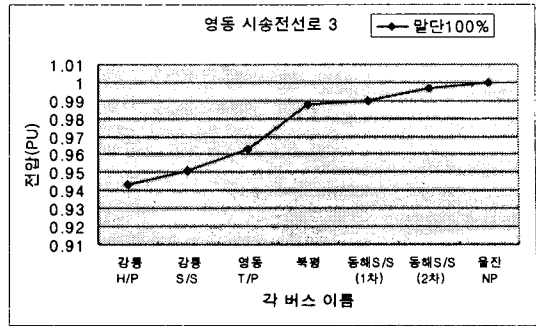


그림 7. 강릉-영동-울진간 시송전계통의 전압과일

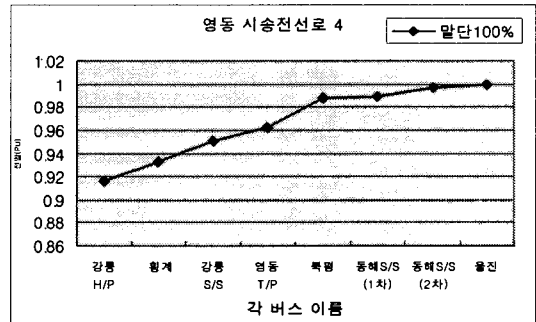


그림 8. 강릉-북평-울진간 시송전계통의 전압과일

## 7. 결 론

자체기동발전기의 변경, 변전소등의 설비 추가 또는 고장으로 인한 유지보수 등으로 인해 시송전 계통을 변경해야하는 경우에는 시송전 계통을 재구성해야만 하며, 계통운용자에게 크게 의존하기 때문에 많은 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 복잡한 계산이 수반되는 시송전 계통을 자동적으로 평가하여 구성하는 전문가 시스템을 제시하였다. 본 시스템은 Boland사의 PROLOG 언어를 사용하여 구성하였으며, 후 방향 추론방식과 최소비용 탐색 전략을 사용하였다.

개발된 전문가시스템은 향후 광역정전 또는 전정전에 대한 복구계획 수립 등에 유용하게 이용될 것으로 기대된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] M. Adibi, et al., "Power System Restoration - A Task Force Report" IEEE Trans. on PWRs, Vol. 2, No. 2, May 1987.
- [2] Gaston Morin, "Service Restoration Following A Major Failure On The Hydro-Quebec Power System" IEEE Trans. on PWRD, Vol. 2, No. 2, pp. 454-462, April 1987.
- [3] E. Mariani, F. Mastroianni, V. Romano, "Field Experiences In Reenergization Of Electrical Networks From Thermal And Hydro Units", IEEE Trans. on PAS, Vol. 103, No. 7, pp. 1707-1713, July 1984.
- [4] 이흥재, 김근도, 박성민, 배주천, 황봉환, 홍순천, 김기동, 이남호, "대정전 계통 복구를 위한 시송전 선로에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술발표 논문집 A권, PP. 377-379, 2001. 7.
- [5] 이흥재, 김상섭, 박성민, 황봉환, 이남호, "자기여차방지를 고려한 시송전 선로에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술발표 논문집 A권, PP. 44-46, 2002. 7
- [6] 전력계통 고장복구 및 지원교육 프로그램 개발에 관한 연구, 한전전력연구원 보고서, 2002