

발전기 연간 정기보수계획을 위한 지식베이스 시스템

* 안병훈, * 김철, ** 신재영, *** 이경재, *** 권태원, *** 이병하, *** 함완균

* 한국과학기술원 경영과학과 ** 한국해양대학 항만운송공학과 *** 한국전력공사 기술연구원 계통연구실

Knowledge-based System for Power Generator Annual Maintenance Scheduling

* Byong-Hun Ahn, * Chul Kim, ** Jae-Yeong Shin, *** Kyung Jae Lee, *** Tae Won Kwon,

*** Byung Ha Lee, *** Wan Kyun Ham

* Korea Advanced Institute of Science and Technology(KAIST), Dept. of Management Science

** Korea Maritime University, Dept. of Port & Transportation Engineering

*** KEPCO Research Center, Power System Department

ABSTRACT

This paper discusses a knowledge-based system being developed by KAIST and KEPCO to assist planning the annual maintenance schedule of power units. To meet users' requirements, we have designed the system with several features: man-machine interaction, catalog system, user-friendliness, the hybrid-system of math-model and knowledge-base. In this paper, we introduce the outline of the system.

서론

70년대 중반 이후 우리나라의 전력계통이 복잡해지고 또 그 효율적 운용이 요청됨에 따라 발전기들의 보수시기를 결정하는 문제가 중요하게 부각되기 시작하였다. 발전기 보수는 발전 설비의 수명연장, 전력의 안정적 공급 등과 직접 연관되어 있으므로 복잡한 계통 하에서는 그 시기의 결정이 체계적인 계획과정에서 이루어져야 한다는 점은 당연하다고 하겠다. 발전기 년차별 보수계획이란 특정 년도의 발전기별 최적 보수시기를 결정하는 것으로, 이 때 발전기별 보수 소요 자재 및 소요 인력 그외 여러 제약조건과 공급신뢰도의 유지나 비용 최소화 등의 목적함수를 고려하게 된다.

발전기 보수계획 문제에 대해서는 70년대 부터 국외에서 많은 이론적 연구가 이루어져 왔다. 보수계획 분야의 최초라고 할 수 있는 Christiannse와 Palmer(1972)의 연구를 시작으로, Arver(1972), Zörn과 Quintana(1975), Dopazo와 Merrill(1975), Gan 외 2인(1976), Stremel과 Jenkins (1981), Escudero(1982) 등의 연구들이 있다.

70년대 초반에 처음 보수계획 문제가 제기되어서 70년대 중반부터 80년대 초반까지 학문적 관심에서 이론적인 연구가 활발하게 진행되었다. 그러나, 80년대 중반에 접어들면서 발전기 보수계획에 관한 연구가 거의 없는 상태인데, 이는 보수계획문제의

수리적 이론 연구의 한계를 말하는 것이기도 하다. 이러한 한계는 발전기 보수계획 문제가 대형규모이며, 현실적으로 목적함수 및 제약식들이 비선형적, 비계량적인 특성을 가지고 있고, 또한 문제 자체가 확률적인 요소를 내포하고 있다는 이유 때문이다.

이와 같은 한계점들을 극복하고, 나아가 실제 계획 과정에 도움이 되는 보수계획 방법을 찾으려는 노력이 생겨나게 되었다. 80년대 후반부터 시작된 보수계획 전문가시스템 개발에 관한 연구들도 이러한 범주에 속한다. 해외의 경우 발전기 보수계획에 관한 전문가시스템의 개발 사례가 최근에 들어 발표되고 있는데, Podubury와 Dillon(1988), Chouseiry와 Sekine(1988), Fustar와 Hsieh(1988), Brown 외 2인(1989), Nara 외 2인(1991), Inoue 외 3인(1991)의 연구들이 여기에 속한다. 국내의 경우는 발전기 보수계획에 관한 전문가시스템의 연구는 아직까지 없는 실정이다.

발전기 보수계획 전문가시스템에 관한 연구들 대부분이 예비율 최대화를 목적함수로 하고, 탐색적방법(Heuristic)을 해법으로 활용하며, 규칙(Rule)과 프레임(Frame)을 지식 표현 방법으로 채택하고 있다. 그러나 이들 시스템들은 아직 개발 초보단계인 원형(Prototype) 상태로, 계속적으로 수정 보완 중임을 대부분의 연구들에서 밝히고 있다.

최근들어 국내에서도 발전기 보수계획문제를 해결하는데 기존의 방법만으로는 한계성이 있다는 점을 인식하고는 새로운 해결 대안을 연구하게 되었다. 이러한 연구의 일환으로 한전기술 연구원과 한국과학기술원은 공동으로 2년간에 걸쳐 발전기 보수계획에 관한 전문가시스템을 개발하기 시작하였으며, 현재 진행중에 있다. 본 연구에서는 무엇보다도 보수계획 실무에 바탕을 두므로써 실질적으로 그 활용도가 높은 시스템 개발을 추진하고 있다. 이 논문에서는 현재 개발중인 시스템의 전체적인 구조와 특징을 소개하도록 하겠다.

2. 문제의 설정

현재 한국전력 내의 보수계획은 1년에 두차례 정기적으로

수립되며, 실행 년도에 변경사유가 발생하면 이 계획이 수정되게 된다. 계획 과정에서는 예비력의 표준화를 목적함수로 하며, 다양한 제약조건들도 고려하고 있다. 서론에서도 밝힌 바와 같이 본 연구에서는 이러한 보수계획 실무를 염두에 두고 문제를 설정하였다. 계획은 주간 단위로 작성하는 것으로 가정하였다.

본 연구에서 고려하는 보수계획 문제는 예비력(또는 예비율) 최대화와 신뢰도 최대화를 목적함수로 한다. 신뢰도를 최대화하는 경우는 신뢰도를 측정하는 지수로서 공급지장확률(LOLP)을 사용한다. 예비력이나 신뢰도의 최대화를 목적으로 하여 계획 대안들을 일차적으로 구한 뒤에 이차적으로 발전비용을 목적함수로 계산하는 방법도 고려한다. 신뢰도와 발전비용을 계산하기 위해서는 발전시뮬레이션(Production Simulation)이 필요하며, 그 시뮬레이션 방식의 선택에 따라 해의 정확도와 계산시간이 결정된다. 시뮬레이션 과정에서 신뢰도 계산에 비하여 발전비용 계산이 부담이 크고 또 현실적으로 발전비용보다 예비율이나 신뢰도가 고려되고 있기 때문에 목적함수로서 예비율과 신뢰도를 우선적으로 적용하였다. 그리고, 계획 변경시에는 기존안과의 편차를 최소화하는 기준을 목적함수로 한다.

문제를 모형화하는 과정에서 목적함수 다음으로 고려해야 할 사항은 제약조건이 되겠다. 발전기 보수계획 문제는 현실에서 파생된 문제로 많은 제약조건들을 고려해야만 한다. 본 연구에서 고려하는 제약조건들은 한 실무분석을 통하여 구한 것들이며 다음과 같은 부류에 속한다.

- ① 보수가능기간
- ② 발전기별 고정된 보수일수
- ③ 보수 인력 및 자재에 관한 제약
- ④ 신규, 폐쇄 등으로 인한 일부 발전기 보수시기의 고정
- ⑤ 일부의 발전기들의 동시 보수 회피
- ⑥ 지역적 제약조건
- ⑦ 계절적 제약조건
- ⑧ 발전원에 따른 제약

3. 개발 시스템의 구조 및 특징

3.1 시스템의 특징 및 개발 추진방향

본 연구에서는 보수계획 시스템의 개발 방향을 설정하기에 앞서 개발 시스템의 수용성을 높이기 위해 보수계획 실무 담당자의 요구사항들을 분석하였다. 그 결과, 기존의 수리계획기법만으로는 실무부서의 요구를 충족시켜줄 수 없으며, 사용자가 목적인 바나 경험지식을 가지고 해를 구하는 과정에 직접 참여하기를 바라고 있고, 이를 위하여 사용하기 쉬운 의사결정시스템이 필요하다는 것이 파악되었다.

따라서, 본 시스템은 사용하기 편리하고 현 업무의 성격을 최대한 반영하는 사용자지원 특성을 중요하게 고려하여 개발한다. 또한, 해를 구하는 과정에 사용자의 의도를 언제라도 반영할 수 있는 Man-machine Interaction System을 구상한다.

그리고, 본 시스템에서는 모형 및 사용 규칙들에 대한 사용자 선택의 폭을 넓히고, 새로운 모형등의 추가도 확장가능성이

큰 시스템의 개발을 추구한다. 이를 위하여 시스템에서 사용하는 모형, 평가함수의 계산루틴, 지식베이스의 규칙(Rule)들을 다수 등록하여 두고, 그 중에서 사용자가 선택할 수 있도록 한다. 즉, 작업자가 작업의도와 유형에 따라 사용규칙과 계산루틴을 선택하는 카탈로그(Catalogue) 방식을 개발시스템에서는 고려한다.

3.2 개발 시스템의 구조

현 실무를 반영하며 기존의 수리모형의 장점을 살리기 위해서 본 시스템은 전체적으로 크게 세 부분(모드 1, 모드 2, 모드 3)으로 나누어진다. 물론 이 세 가지 방식은 독립적으로 이용되는 것이 아니라 서로 연계되어 있다. <표 1>과 <그림 1>에 세 가지 모드들의 내용과 그들간의 관계에 관하여 정리되어 있다.

모드 1은 현실무에 바탕을 둔 사용자지원시스템으로 수작업으로 하는 업무를 대체해 줄 뿐만 아니라 지식베이스와 탐색적방법을 활용하여 좀 더 나은 계획을 작성하도록 도와 준다. 여기서는 그래픽 화면이나 메뉴방식 등을 통해 사용자와 컴퓨터간의 대화(Man-machine Interaction)를 하며 작업을 진행하고, 그 과정에서 필요한 통계량 계산 및 계획 작성 지원을 위해서 계산모듈과 지식베이스(Knowledge-base)가 사용된다. 따라서, 모드 1은 사용자 편의성과 작업 처리 신속성이 가장 중요하게 고려되도록 개발중이다. 본 시스템의 사용자지원시스템은 <그림 2>와 같은 구조를 가지고 있다.

모드 2는 수리적계획 기법과 전문가시스템을 연계 활용하여 현재 가지고 있는 보수계획안 보다 나은 계획을 자동으로 찾아준다. 이 모드에서도 계획을 찾아 나가는 과정 중에 사용자의 의도를 반영할 수 있도록 한다. 이 모드에서 중요하게 고려되어야 할 점은 수리적인 기법의 선택, 목적함수 계산의 신속성, 전문가 시스템과의 연계, 사용자지원 시스템과의 연결 등이다.

모드 3은 완전 자동 모드로, 최적의 조건을 만족할 때까지 즉 최적해를 구할 때까지 모드 2의 과정을 자동 반복 수행한다. 다른 모드와 비교해 볼 때 모드 3은 계산시간이 매우 많이 요구되므로, 실무에서 빈번히 사용하기는 어렵다.

모드 1, 모드 2, 모드 3 외에도 시스템 수행을 위해서는 기본적인 모듈들이 필요하다. 본 시스템을 위한 기본적인 모듈들은 다음과 같다.

- ① 기본적인 자료의 입력을 위한 모듈
- ② 필요 모형 및 해법의 선택을 위한 목록(Catalog)작성모듈
- ③ 지식베이스의 입력 및 번역을 위한 모듈
- ④ 사용 주변환경에 대한 시스템 Configuration 모듈

작업은 먼저 사용자가 원하는 목적함수와 제약조건, 그리고 사용 규칙(Rule)들을 선택하여 하나의 카탈로그를 만드는 것으로 시작된다. 이때 기본적으로 자주 사용하는 카탈로그들은 미리 작성해두고 특별한 경우를 제외하고는 이들중 하나를 선택한다. 카탈로그가 선택되면 사용 모형에서 요구하는 자료들을 입력한다. 그 다음에는 모드 1을 선택하여 보수계획을 작성한다. 이때, 선택한 목적함수를 계산하는 모형과 계획작성 및 제약에 관한 규칙들이 사용되며, 그래픽 차트들과 작업워크시트를 통하여

언제든지 사용자가 직접 현재의 해를 검토/수정할 수가 있다. 이 작업과정에서 자료의 입력 및 작업의 선택은 사용자의 편의를 도모하여 메뉴방식과 스크린 에디터를 통한 입력방식을 취한다. 또한 본 시스템에서 중요하게 활용되는 그래픽 차트로는 두 종류로, 그 중 하나는 작업일정에 관한 일정계획표(간트차트)이고, 또 하나는 기간별 순에비력(또는 신뢰도) 및 보수용량을 표현하는 그래프이다.

모드 1에서 구한 해를 초기해로 하여 좀더 나은 해를 구하기 위해서는 모드 2 나 모드 3 의 최적화기법 과정을 수행한다. 모드 2 의 경우는 현재해 보다 목적함수를 좀더 개선시킨 해를 찾아주며, 모드 3 은 최적해를 찾아준다. 모드 2 의 경우는 개선된 해를 하나 구할 때 마다 사용자가 더 개선된 해를 찾을 것인지 아니면 현재해에 만족하고 작업을 종료할 것인지를 결정해야 한다. 모드 2 와 모드 3 에서는 최적화기법으로 분지한계기법(Branch-and-bound Method)이 사용된다. 분지한계기법은 다른 모형과의 연결이 용이하며, 구조화되지 않은 목적함수나 제약식을 고려할 수 있다는 장점들을 가지고 있어 많은 보수계획 연구들에서 그 활용도가 소개되고 있다.

분지한계기법에서 사용하는 분지전략(Branching Strategy)은 다음과 같다.

- ① 기저중심의 대용량 발전기를 우선적으로 고려한다.
- ② 유사한 용량의 발전기 경우는 보수가능기간이 비교적 고정적인 것을 우선으로 한다.
- ③ 분지는 발전기와 보수가능기간을 묶어서 고려한다.
- ④ 목적함수 값을 가장 최적으로 하는 기간으로 분지한다.

대부분의 분지한계기법에서는 분지하는 가치를 발전기와 기간을 따로 고려하는데, 이는 탐색해야할 가치의 수가 많아지는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 분지를 ③의 경우처럼 발전기와 가능시기를 동시에 고려함으로써 탐색가치를 줄인다. 위에서 소개한 규칙 외에도 더 많은 분지전략을 규칙베이스화하여 사용한다.

절단전략(Fathoming Strategy)은 다음과 같은 기준으로 수행한다.

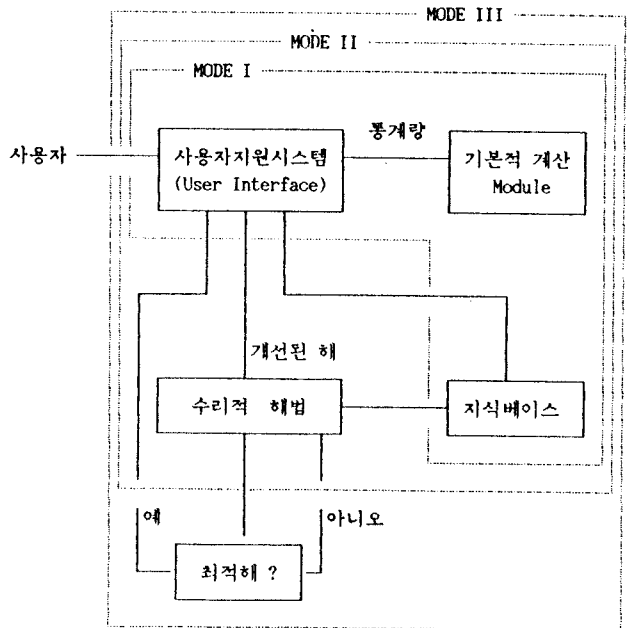
- ① 제약조건을 만족하지 않으면 절단한다.
- ② 현재 해의 상한값이 하한값 보다 작은 경우 절단한다.
- ③ 새 가능해의 목적함수값이 하한값 보다 작으면 절단한다.

절단전략은 번호순으로 적용한다. 전략 ①의 제약조건을 검색은 지식베이스를 활용하며, ②와 ③의 경우는 현재 구한 값이 기준치보다 작은 경우는 물론이고 조금 큰 경우도 해법의 신속한 수행을 위하여 절단한다. 절단 오차는 사용자가 지정할 수 있도록 한다.

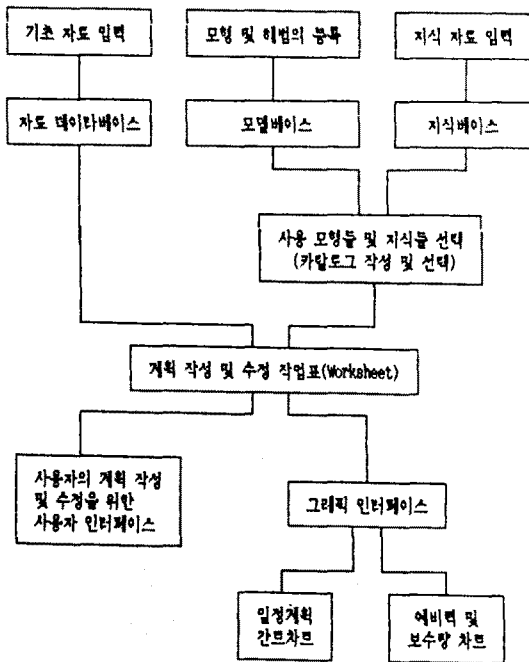
본 시스템에서 활용되는 지식베이스는 계획작성과 관련하여 신규계획작성 지식베이스, 계획변경 지식베이스, 분지한계기법을 위하여 탐색전략 지식베이스, 절단전략 지식베이스 등이 있다. 그리고, 현재 해의 가능해 여부를 결정하는 제약조건 지식베이스가 있다. 본 시스템에서는 지식을 표현하기 위해서 규칙을 주로 사용하며 추론(Inference) 방법으로 전방위법(Forward Chaining)을 사용한다.

(표 1) 개발시스템의 3 가지 모드

	MODE I (Interactive Mode)	MODE II (One-step Ahead)	MODE III (Full Optimizing)
특징	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 컴퓨터와의 대화방식으로 보수계획 작성실부를 간편화 ◦ 연 실행방법을 최대한 반영 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 현재해보다 좀더 나은(Better) 해를 자동으로 구함 ◦ MODE I과 연계사용이 가능함 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 완전자동으로 최적해가 도출될 때까지 MODE II를 반복 수행 ◦ 많은 계산시간 필요
계산 및 수리모형	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 주요 통계량을 구하기 위한 계산모듈 필요(에비력, 신뢰도, 발전비용등) ◦ 신속히 계산되는 방식 채택 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 기선해 구하기 위한 최적화모형 필요 ◦ 비정형화된 계약을 감안할 수 있고, 계속적으로 가능해들 탐색하는 해법(예:분지한계법) 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ MODE II의 최적화 모형의 반복 사용 ◦ 최적해를 구하기 위한 최적기준의 설정
지식 베이스 활용	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 수작업 등으로 계획변경시 계획의 Feasibility Check ◦ 신규 계획 작성 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 가능성 없는 대안의 제거 (Fathoming) ◦ 기선해를 빨리 찾는 경로 선택 (Branching) 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ MODE II와 동일함



[그림 1] 전체 시스템과 Mode I, II, III와의 관계



[그림 2] 사용자지원 시스템의 구조

4. 시스템의 구현 및 기대 효과

시스템 구현을 위해서 386-based PC 기종이 사용되며, 그래픽 처리를 위하여 EGA/VGA 환경하에서 프로그래밍하고 있다. 시스템의 완성은 92년 하반기로 예정하고 있다. 실무물 중심으로 본 시스템을 개발하고 있으므로 완성이 되면 현업을 크게 지원할 수 있을 것으로 생각되고, 카탈로그 방식을 사용함으로써 사용자 리 모형 선택폭이 넓어지고 새로운 모형 도입이 용이할 것으로 낙도된다.

고문헌

.Brown, M., R. Driggans and D. Rochowiak, "Maintenance utage Scheduling Assistant," presented by TVA at EPRI orkshop, 1989.
 .Choueiry, B.Y. and Y. Sekine, "Knowledge Based Method for over Generators Maintenance Scheduling," Symposium on ES pplication to Power Systems, Stockholm-Helsinki, 1988, p.7-14.
 .Christiaanse, W.R. and A.H. Palmer, "A Technique for the stomated Scheduling of the Maintenance of Generating acilities," IEEE Trans. on PAS, Vol.91, 1972, pp.137-144.
 .Dopazo, J.F. and H.M. Merrill, "Optimal Generator aintenance Scheduling Using Integer Programming," IEEE ans. on PAS, Vol.94, 1975, pp.1537-1545

5.Egan, G.T., T.S. Dillon and K. Morsztyn, "An Experimental Method of Determination of Optimal Maintenance Schedules in Power Systems Using the Branch-and-bound Technique," IEEE Trans. on SMC, Vol.6, 1976, pp.538-547.
 6.Escudero, L.F., "On Maintenance Scheduling of Production Units," European Journal of Operational Research, Vol.9, 1982, pp.264-274.
 7.Fustar, S. and J. Hsieh, "A Knowledge-based for Revision of Yearly Generator Maintenance Schedule," Symposium on ES Application to Power Systems, Stockholm-Helsinki, 1988, pp.23-29.
 8.Garver, L.L., "Adjusting Maintenance Schedules to Levelize Risk," IEEE Trans. on PAS, Vol.91, 1972, pp.2057-2063.
 9.Inoue, T., Y. Tanaka, H. Tsukiyama and T. Suzuki, "Power Plants Maintenance Scheduling Expert System," Symposium on ES Application to Power Systems, Tokyo-Kobe, 1991, pp.574-578.
 10.Nara, K., T. Satoh and K. Maeda, "Maintenance Scheduling by Expert Systems Combined with Mathematical Programming," Symposium on ES Application to Power Systems, Tokyo-Kobe, 1991, pp.385-390.
 11.Podbury, C.A. and T.S. Dillon, "Dynamic Frames as a Knowledge Representation in the Power System Maintenance Scheduling Expert System," Symposium on ES Application to Power Systems, Stockholm-Helsinki, 1988, pp.1-6.
 12.Stremel, J.P. and R.T. Jenkins, "Maintenance Scheduling under Uncertainty," IEEE Trans. on PAS, Vol.100, 1981, pp.460-465.
 13.Zürn,H.H. and V.H.Quintana, "Generator Maintenance Scheduling via Successive Approximations Dynamic programming," IEEE Trans. on PAS, Vol.94, 1975, pp.665-671.