

발전기 예방정비계획 전산모형 개발

박종배*, 정운원*, 주행로**, 이명희**, 신점구***
 *건국대학교, **한국전력거래소, ***풀소프트

Development of Generator Maintenance Scheduling Program

Jong-Bae Park*, Yun-Won Jeong*, Haeng-Ro Joo**, Myoung-Hee Yi**, Jum-Gu Shin***
 *Konkuk University, **Korea Power Exchange, ***PulSoft

Abstract - This paper presents development of program for generator maintenance scheduling. The maintenance scheduling of generating units is a dynamic discrete combinatorial optimization problem with constraints to determine the optimal maintenance periods of each generating units for a given planning periods. The developed program is designed so as to provide the maintenance schedule satisfying the operating reserve margin levelization and the procurement of proper reliability. In order to verify the effectiveness of the developed program, the numerical study has been performed with the practical data in 2005.

1. 서론

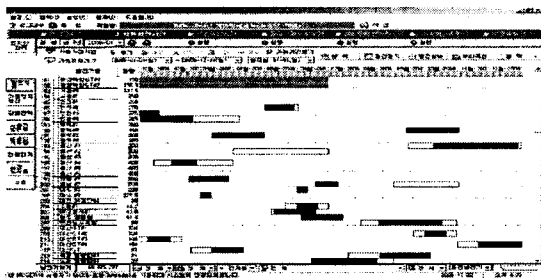
전력계통에서 발전기 예방정비계획은 경제적 운용과 공급신뢰도 확보 측면에서 매우 중요한 문제이다. 발전기 예방정비계획이란 특정기간 동안 각 발전기의 예방정비 순서 및 예방정비 시기를 최적으로 결정하는 동태적 조합 최적화 문제이다[1]. 예방정비계획의 목적은 각 발전설비의 성능을 개선하고 안정적으로 전력을 공급하면서 비용을 최소화하는데 있다. 그러나 계통운용계획 차원에서의 발전기예방정비계획은 개별 발전소의 관점보다는 계통 전체의 예방정비일정을 최적으로 수립하고 조정하는 것이 중요하다. 특히, 최근 들어 점진적으로 증가하고 있는 전력계통의 복잡성은 예방정비계획의 수립에 있어 보다 체계적인 접근방법을 요구하고 있다. 적절한 예방정비계획은 연료비를 절감하고 계통의 신뢰도를 만족시킬 수 있어 계통운용의 효율화를 꾀할 수 있는 반면, 타당하지 못한 발전기 정지계획은 계통신뢰도를 위협하거나 계통의 합리적인 운용을 저해하게 된다.

예방정비계획의 목적함수로 통상 사용되고 있는 것은 크게 신뢰도와 비용으로 구분할 수 있으며, 공급예비율, 공급지장확률 등을 사용하는 신뢰도함수[2], 운전비용, 보수비용 등을 이용하는 비용함수[3], 혹은 이들을 동시에 고려하는 다목적 접근법[4] 등이 전통적으로 채택되어 왔다. 본 논문에서는 이러한 다양한 목적함수 가운데 공급예비율 평활화를 대상으로 하였으며, 공급예비율 평활화가 가질 수 있는 단점을 보완하기 위하여 발전기의 출력변화, 수위변화 등을 보완하였다.

이러한 관점에서 본 논문은 발전원별 예비율의 평준화 및 공급신뢰도 확보를 통하여 계통신뢰도를 현실적으로 만족하면서 현행 전력거래소의 실무업무의 개선에 주요한 점을 둔 예방정비계획 프로그램을 개선하는데 기본 목적이 있다. 또한 본 발전기예방정비계획프로그램은 전력수급계획 및 운용해석 종합시스템의 일환으로 종합데이터베이스를 통하여 타 프로그램과의 연계기능을 포함하고 있다.

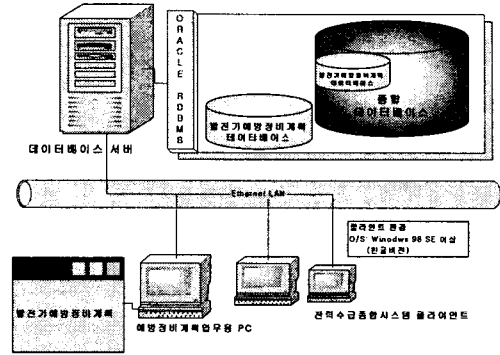
2. 개발 전산모형의 시스템 구조

아래의 그림은 본 논문에서 개발한 발전기 예방정비계획 프로그램의 주요화면을 보여준다.



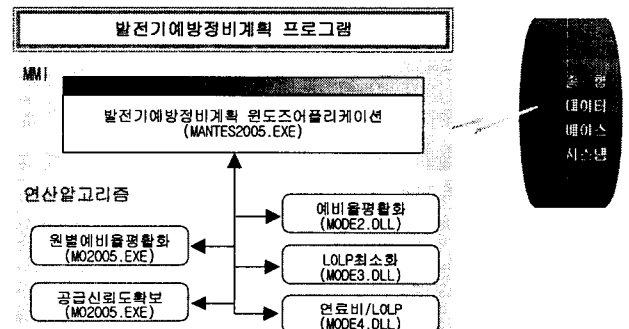
〈그림 1〉 개발 전산모형의 주요화면

본 시스템의 하드웨어는 아래의 그림과 같이 오라클데이터베이스시스템이 설치된 Database Machine과 한글윈도우98SE 이상을 운영체제로 하여 발전기예방정비계획프로그램이 설치되는 업무용PC로 구성된다. 전자는 하나의 PC에 Personal Oracle과 발전기예방정비계획프로그램을 설치하는 경우로서 한글윈도우98SE이상을 운영체제로 하여 구성된다. 후자는 서버에 Oracle Database Server를 설치하고, 클라이언트PC에 발전기예방정비계획 프로그램을 설치함으로써 C/S환경인 전력수급계획 및 운용해석 종합시스템을 구성한다.



〈그림 2〉 발전기예방정비계획 시스템구조도

발전기 예방정비계획 프로그램은 MMI를 담당하는 윈도우애플리케이션(MANTES2005.EXE) 및 최적화 기법을 통하여 연산을 수행하는 3개의 DLL(Dynamic Linking Library)과 1개의 EXE파일로 구성되어 있다. 발전기예방정비계획 프로그램의 소프트웨어구조는 다음의 그림과 같다.



〈그림 3〉 발전기예방정비계획 소프트웨어 구조

발전기 예방정비계획 윈도우애플리케이션은 사용자에게 윈도즈인터페이스를 제공하며 오라클로 구축된 발전기예방정비계획 데이터베이스를 운용한다. 또한 연산알고리즘 부분인 DLL를 실행, 이를 통하여 계산된 결과를 데이터베이스에 저장하는 역할을 수행한다. 연산알고리즘 부분은 최적화기법을 통하여 자동으로 예방정비계획안을 계산하는 부분으로서 예비율평활화안, LOLP최소화안, 연간 연료비 및 LOLP를 계산하는 3개의 DLL과 원별 예비율평활화 및 공급신뢰도확보 최적화알고리즘을 수행하는 MO2005.EXE 파일로 구성되어 있다. 이러한 수행파일은 주실행 프로그램인 발전기예방정비계획 윈도우애플리케이션에서 실행되어 처리된다.

3. 예방정비계획 알고리즘

본 연구에서는 발전기의 예방정비계획을 수립하기 위해 아래의 그림과 같은 절차를 따른다. 개선된 예방정비계획 프로그램은 다음과 같이 크게 3가지의 모드(mode)로 구성된다.

- MODE I : 사용자 정비안 알고리즘 적용 예방정비계획 수립
- MODE II : 원별 예비율평활화 알고리즘 적용 예방정비계획 수립
- MODE III : 공급신뢰도 확보 알고리즘 적용 예방정비계획 수립

먼저, 사용자 정비안 알고리즘(MODE I)은 사용자가 발전기별 예방정비 일정 및 조정가능기간을 입력한 후, 전력거래소와 공급예비력 등을 분석하여 발전기의 예방정비계획 일정을 사용자가 조정하는 방법이다. MODE I의 결과는 MODE II와 MODE III의 초기치가 된다.

원별 예비율평활화 알고리즘(MODE II)은 예방정비 계획기간 동안에 공급예비율을 평활화하기 위해 공급예비율의 분과 값을 최소화하는 최적의 예방정비계획(안)을 수립한다. 예방정비계획의 수립에 앞서, 사용자는 기본적인 제약조건 외에 반영코자 하는 추가적인 제약조건을 입력하여야 한다.

또한 사용자는 발전원별에 따라 예비율을 평활화하기 위해 발전원의 우선 순위를 지정해주어야 한다.

다음으로 공급신뢰도 확보 알고리즘(MODE III)은 사용자 정비안 알고리즘을 기초안으로 선정하여, 최소공급예비율(사용자가 지정하는 공급예비율 및 공급예비력)을 만족시킴과 동시에 공급예비율이 평활화되는 부분이다. 이때 예방정비가 가능기간은 우선으로 처리하여 상기 조건을 만족시키는 범위 내에서 최적안을 찾는 방안과 가능기간은 무시하고 최저예비율을 찾는 방안 가운데 사용자가 선택할 수 있도록 하였다.

4. 사례연구

본 논문의 사례연구에서는 앞에서 언급한 각 알고리즘을 우리나라 실제 통에 적용하여 그 결과와 비교·분석하고자 한다. 아래의 사례연구는 회원사 송부자료 초안(2005년 7월)을 원별 예비율평활화 알고리즘과 공급신뢰도 확보 알고리즘의 초기 값으로 하여 2006년의 예방정비계획을 각 알고리즘별로 수립하고 그 결과를 비교하였다. 예방정비계획을 수립하기 앞서 각 알고리즘에 적용한 제약조건을 살펴보면 아래와 같다.

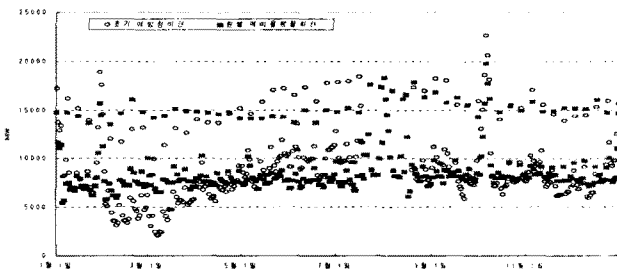
- 예방정비 가능기간 제약: 원자력발전의 경우, 예비정비 가능기간 내에서만 예비정비계획이 수립되지만, 원자력발전을 제외한 기타 발전원에서는 예방정비 가능기간을 모든 계획기간으로 확장하였다.
- 발전소내 호기 증점 방지
- 정지회피기간 제약: 모든 발전원은 2006년 7월 20일부터 2006년 8월 25일 사이에 예방정비계획을 수립할 수 없다.
- 최소예비력 제약: 이 제약조건은 공급신뢰도 확보 알고리즘에만 적용되며, 6,000MW의 최소예비력을 만족하여야 한다.

발전원별로 구분하여 예방정비계획을 수립하기 위해 다음과 같은 순서대로 발전원별 우선순위를 두었다.

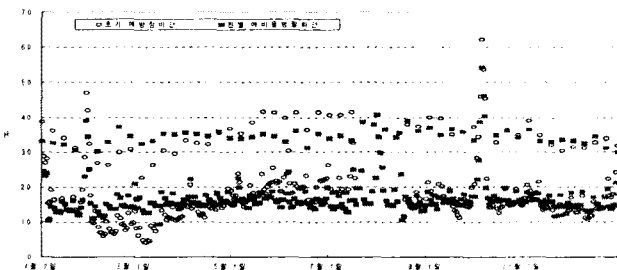
- 원자력, 석탄, 국내탄, 유전소, 가스, 복합, 수력, 양수, 내연, 기타

또한, 예방정비계획을 수립하는데 있어 고온감소, 열공급, 성능저하 등을 고려한 증감발전력, 원자력 기동정지 출력특성, 비증감발전기의 월간 계획발전량 등을 모두 고려하였다. 아래의 모든 시뮬레이션 결과는 4번의 반복 계산을 통해 도출되었다.

본 논문에서 개발한 알고리즘의 유용성을 판단하기 위하여 초기 예방정비안과 각 알고리즘을 적용하여 수립된 예방정비안을 공급예비력 및 공급예비율 측면에서 비교·분석하였다. 아래의 그림은 초기 예방정비안과 본 논문에서 개발한 원별 예비율평활화 알고리즘을 적용하여 예방정비계획을 수립한 경우의 공급예비력과 공급예비율을 비교한 것이다.



〈그림 4〉 초기 예방정비안과 원별 예비율평활화안의 공급예비력 비교



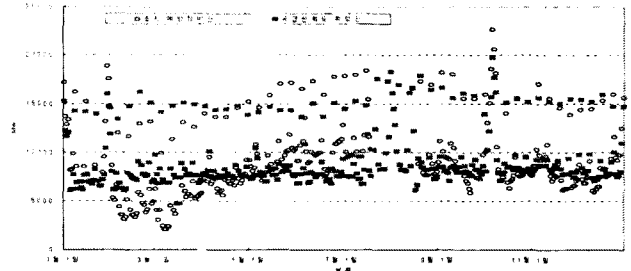
〈그림 5〉 초기 예방정비안과 원별 예비율평활화안의 공급예비율 비교

각 예방정비안의 평활화 정도를 분석하기 위하여 아래의 표와 같이 공급예비력 및 공급예비율의 분산 값을 비교하였다.

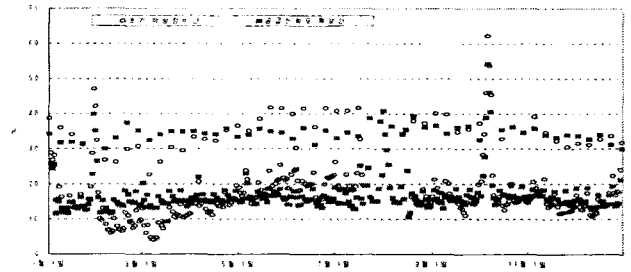
〈표 1〉 초기 예방정비안과 원별 예비율평활화안의 비교

	초기 예방정비안	원별 예비율평활화안
공급예비력의 분산	13,814,978.8	8,667,054.2
공급예비율의 분산	86.225	59.888

아래의 그림은 초기 예방정비안과 본 논문에서 개발한 공급신뢰도 확보 알고리즘을 적용하여 예방정비계획을 수립한 경우의 공급예비력 및 공급예비율을 비교한 것이다.



〈그림 6〉 초기 예방정비안과 공급신뢰도 확보안의 공급예비력 비교



〈그림 7〉 초기 예방정비안과 공급신뢰도 확보안의 공급예비율 비교

아래의 표에서는 초기 예방정비안과 공급신뢰도 확보 알고리즘에 따른 예방정비안의 평활화 정도를 분석하기 위하여 공급예비력 및 공급예비율의 분산 값을 비교하였다. 또한 초기 예방정비안과 공급신뢰도 확보안의 최소예비력 및 최소예비율을 비교하였다. 공급신뢰도 확보 알고리즘을 적용하여 수립한 예방정비안은 앞에서 제약조건으로 입력한 최소예비력 6,000MW를 모든 계획기간 내에서 만족하였다.

〈표 2〉 초기 예방정비안과 공급신뢰도 확보안의 비교

	초기 예방정비안	공급신뢰도 확보안
최소예비력 [MW]	2,083.4	6,052.2
최소예비율 [%]	4.00	10.70
공급예비력의 분산	13,814,978.8	8,725,862.2
공급예비율의 분산	86.225	60.302

위의 결과에서 보는 바와 같이, 본 논문에서 개발한 원별 예비율평활화 알고리즘 및 공급신뢰도 확보 알고리즘을 적용하여 수립한 예방정비계획안은 초기 예방정비안에 비해 공급예비력 및 공급예비율이 상당히 평활화되었음을 알 수 있다. 또한 공급신뢰도 확보 알고리즘은 모든 계획기간 내에서 최소예비력을 만족하는 예방정비계획을 수립하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 발전기 예방정비계획의 수립을 위한 전산모형을 개발하였다. 본 논문에서 개발한 원별 평활화 알고리즘은 공급예비율을 평활화하는 예방정비안을 수립하며, 공급신뢰도 확보 알고리즘은 사용자가 지정한 최소예비력(율)을 우선 만족시키며 공급예비율을 평활화하는 예방정비안을 수립한다. 또한, 사용자가 발전원별 우선순위를 지정하여 예방정비계획을 발전원별로 구분하여 수립할 수 있도록 설계되었다.

개발된 예방정비계획 프로그램은 실무자의 전문적 지식을 활용한 사용자 정비안, 최적화기법에 의한 정비안을 활용하여 예방정비계획을 수립하는 과정에서 상황변화에 능동적으로 대처할 수 있는 유연성을 부여하여, 결과적으로 적절한 계획기간에 해당하는 예방정비계획의 수립에 기여할 수 있을 것이다. 또한 종합시스템과의 연계로 인하여 전력수급계획을 수립하는데 있어서 전산화를 통하여 업무의 효율성에 기여할 것이다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] X. Wang and J. R. McDonald, Modern Power System Planning, McGraw-Hill Book Company, 1994
- [2] H. G. Stoll, Least-Cost Electric Utility Planning, John Wiley&Sons, 1989.
- [3] D. Chattopadhyay, K. Bhattacharya, and J. Parikh, "A systems approach to least-cost maintenance scheduling for an interconnected power system", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 10. No. 4, pp. 2002-2007, Nov. 1995.
- [4] B. Kralj and N. Rajakovic, "Multiobjective programming in power system optimization: new approach to generator maintenance scheduling", International Journal of Electric Power and Energy Systems, Vol. 16, No. 4, pp. 211-220, 1994.