

A Study on the Development of Generator Maintenance Scheduling Program Package

元鍾律* · 尹用範* · 朴時佑** · 南在鉉**

(Jong-Ryul Won · Yong-Beum Yoon · Si-Woo Park · Jae-Hyun Nam)

Abstract - This paper describes development of a package for generator maintenance scheduling program with user-friendly interactive mode. Generator maintenance scheduling is to select desirable maintenance periods of generators in the given interval satisfying reliability or economic criteria. Window-based system for user-friendly mode and Oracle-based database system for efficient data management are established in our package. Reserve rate levelization and LOLP minimization are performed in calculation mode, which is composed of DLL programs. Many graphs and charts are illustrated for the user-analysis. Operation is carried out by day-based unit, not by week. The case study has been conducted with the data of practical KEPCO power system in 1999 and successfully demonstrated its effectiveness.

Key Words : Generator maintenance scheduling, reliability, reserve rate levelization, LOLP, interactive mode package

1. 서 론

전력사업의 목적은 수용가에게 안정적이고 경제적인 전력을 공급하는데 있다. 이러한 목적은 전력계통계획분야 및 계통운용분야의 최적화를 수행하여야만 달성된다. 전력은 그 특성상 생산과 소비가 동시에 이루어지고, 수요가 시시각각 변동하는 특성이 있으며, 전력계통의 운용에 있어서 적정 예비력의 보유는 필수적이다. 전력설비(특히 발전설비)의 예방정비 및 고장보수는 전력계통의 신뢰도와 밀접한 관계가 있고, 전력계통의 경제운용과도 밀접한 관계가 있다. 그러므로 예방정비계획 문제는 항상 신뢰도와 경제성이 함께 고려되어 연구되어 왔다.

발전기의 연간 예방정비계획이란 통상 특정 연도에 있어서 각 발전기의 예방정비 시기 및 기간을 결정하는 것을 의미한다. 이러한 연간 예방정비계획의 목적은 계획연간의 모든 기간(예, 365일 또는 52주)에서 예비율을 평균화시키면서 적절한 예방정비를 통하여, 각 발전기의 성능을 향상시키고 수명을 연장하여, 전력계통 신뢰도 향상과 연간 총 발전비용의 감소에 있다.

지난 20년 동안 전력계통의 계획과 설계, 그리고 운용관리의 관점에서 발전기예방정비계획에 대한 이론적이고 방법론적인 접근 연구가 지속적으로 되어 왔다[1-10]. 연구 측면이나 실제 계통운용 측면에서 볼 때 전력계통의 예방정비계획은 많은 물리적인 제약조건을 가진 동태적 최적화

(Dynamic optimization) 문제이다. 즉, 모든 제약조건을 만족하는 대안 가운데 목적함수 값을 최소로 하는 대안이 최적 예방정비계획안이 된다.

지금까지 세계 각국에서 진행되어 온 예방정비계획 분야의 연구를 살펴보면 다음과 같다. 일반적으로 전력계통 운용에 대한 목적함수는 두 가지가 있는데 하나는 계통운전비용을 최소화하는 것이고 또 하나는 계통신뢰도를 최대화하는 것이다[5,6,8]. 때때로 계통신뢰도는 목적함수가 아니라 어떤 수준 이상으로 되어있어야 한다는 제약조건으로 표시되기도 한다. 목적함수가 비용을 최소화하는 것일 때 그 비용에는 중요한 요소로서 정비비용과 발전비용(연료비) 등이 있다. 신뢰도 목적함수로서 대표적으로 예비력(율)평활화 및 LOLP(Loss of load probability) 최소화 등이 있다. 최적화 방법의 관점에서 보면 전력계통 같은 대용량의 문제를 다루기에는 아직도 컴퓨터의 계산용량문제가 난점으로 남아있다. 따라서 예방정비계획에 관한 문헌의 대부분은 최적화 기법과 더불어 휴리스틱(Heuristic)한 방법을 동시에 적용하고 있다[10]. 예방정비계획문제는 시간이 포함되는 문제이기는 하지만 이산적 성질로 인해 수리계획기법이 적당한 방법이라고 알려져 있다. 이러한 수리계획기법으로는 정수계획법(Integer programming)[7], 동적계획법 (Dynamic programming) [4], 분지한정법(Branch-and-bound method) [3] 등을 들 수 있다. 정수계획법은 널리 사용되어 왔으나 두 가지의 난점이 있는데 하나는 전력계통에 내재하는 불확실성을 고려하기 힘들다는 것과 계산용량이 막대하다는 것이다. 동적계획법은 이론적으로는 타당한 방법이지만 계산용량의 문제인 차원문제(Curse of dimensionality)가 장애가 되고 있다.

우리 나라의 연간 예방정비계획은 각 발전소에서 사전 작성된 기본 예방정비계획안을 기초로 하여, 여러 가지 제약조건 (예를 들면, 발전소별, 지역별, 계절별 운전조건 및 자재

* 正 會 員 : 韓電 電力研究院, 工博

** 正 會 員 : 韓電 電力研究院

接受日字 : 1999年 1月 25日

最終完了 : 1999年 9月 30日

조달능력 등)을 고려하고 기본 단위를 주간으로 하는 예방정비계획 프로그램과 실무자의 전문지식을 결합하여 작성하고 있다. 한편, 우리 나라의 발전계통은 1990년부터 점차 저예비율 시대로 접어들고 있다. 이는 전력계통의 원활한 운영을 제약할 뿐만 아니라 수용가에게 안정적인 전력을 공급하는데 큰 장애를 초래할 수 있어, 연간 전력계통 운용의 대전제가 되는 예방정비계획의 역할은 과거에 비하여 그 중요성이 갈수록 높아지고 있는 실정이다.

따라서, 과거의 주간을 단위로 하는 예방정비계획 방법론은 그 한계에 이르렀으며 보다 정확한 정보를 제공하기 위한 일간 예방정비계획 방법론의 개발 요구가 매우 높아졌다.

지속적인 경제성장과 생활수준 향상에 따른 전력의 안정공급과 고품질 전력에 대한 욕구 증대로 적절한 예비력의 확보, 심야시간대의 조정능력확보, 화력기의 기동정지계획 등을 보다 경제적이고 안정적으로 운용할 필요성이 커지고 있다.

따라서 본 연구는 이러한 상황에서 전력수요와 공급능력이 균형을 이룰 수 있도록 면밀히 분석, 검토하고, 최대한의 적정예비율 수준에서 예측 가능 또는 불가능한 변동요인을 도출하여, 모든 제약 조건을 전제로 발전소 예방정비계획을 수립함으로써 안정적인 전력공급과 효율적인 설비운용을 지원하고자 하는 목적으로 시작되었다.

이러한 관점에서 본 연구는 계통 신뢰도를 만족하면서 경제성도 함께 고려하며, 수학적으로 표현하기 힘든 제약조건들을 고려하기 위하여 전문가의 의사결정을 지원하는 시스템을 개발하고, 실무자 또는 전문가의 업무효율 향상을 위하여 윈도우 환경에서 구동되는 대화형 의사결정지원 프로그램의 개발에 주안점을 두었다. 사용자의 편의를 위하여 그래프 및 차트 등의 그래픽 기능을 강화하고, 오라클 데이터베이스와의 연계를 통하여 방대한 자료관리를 효율적으로 하도록 설계하였다. 따라서 본 프로그램에서는 정비안 별 예방정비계획의 간트차트 표시 및 차트상에서의 수정기능, 각 정비안 별 예비율의 그래프 표시, 최적화 기법에 의한 정비안 도출 및 비교기능, 연간 연료비 및 LOLP 계산이 가능하다. 또한 일별 설비용량, 정비용량, 중감발전력 내역, 최대전력, 예비전력, 예비율, 원별 정비용량 등을 스프레드 상 또는 그래프로 표시하는 다양한 기능을 갖추고 있다. 초기의 단순한 버전[1,2]에서 두 차례의 버전-업을 거쳐, 이와 같이 다양하고 실무에 맞는 프로그램을 개발하게 되었다[11]. 두 차례의 수정과정을 거쳐 현재의 버전이 나온 것으로, 초기 버전은 그래픽 처리가 미숙하고 데이터베이스 기능이 없었으나, 두 번째 버전은 비주얼 베이직의 다양한 그래픽 도구(Tool)를 이용하여 그래픽 기능을 강화하였고, MS-Access를 이용한 데이터 베이스 기능을 추가하였다. 현재의 버전은 이러한 그래픽 기능을 다양화하고 오라클을 이용한 데이터 베이스 기능을 가지고 있다. 이를 1998년에 수립된 1999년 투용자용 정비안에 대해 사례연구를 하여 그 효용성을 입증하였다.

2. 발전기 예방정비계획 알고리즘

2.1 예방정비계획의 정의

연간 예방정비계획이란 주어진 계획기간 동안, 각종 제

약조건을 만족하는 각 발전기의 예방정비 순서 및 시기를 결정하는 동태적 최적화 문제이다. 예방정비계획의 목적함수로 통상 사용되고 있는 것은 크게 신뢰도와 비용이 있다. 신뢰도 지수를 사용하는 방법으로는 공급예비율 평활화, 공급지장확률(LOLP) 최소화 및 평활화, 공급지장에너지(Expected unserved energy) 최소화 등이 있다. 또한, 연간비용에 관련된 목적함수로는 예방정비 및 운전비용(연료비용) 최소화, 공급지장비용과 운전비용의 최소화, 운전비용 최소화가 사용되고 있으나, 통상 운전비용 최소화를 사용하고 있다. 요즘에는 차원이 다른 여러 속성들을 함께 고려하는 다속성 목적함수에 관한 연구도 진행되고 있다[9].

본 연구에서는 공급예비율 평활화 및 공급지장확률 최소화를 목적함수로 채택하였다. 그림 1은 발전기 예방정비계획에 따라 공급예비율이 전력계통에 미치는 영향을 표시한 것이다. 그림 1에서 보는 바와 같이 예방정비계획의 이동에 따라, 연간 계통신뢰도는 직접적인 영향을 받으므로 이를 최적으로 배분하여 연간 공급예비율을 평활화하는 것이 목적이 된다.

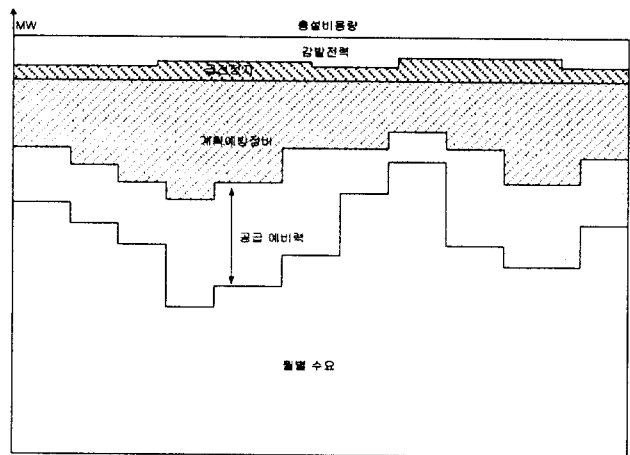


그림 1 공급예비율 개념도

Fig. 1 Reserve diagram

2.2 예방정비계획문제의 정식화

본 절에서는 최적화 부분에서 채택하고 있는 연간 공급예비율 평활화 알고리즘 및 공급지장확률 최소화 알고리즘에 대해서 언급하기로 한다.

2.2.1 공급예비율 평활화 알고리즘

연간 공급예비율 평활화 알고리즘의 목적함수는 다음 식(1)과 같이 정식화된다.

$$Min \sum_{j=1}^I \left[\frac{1}{J} \sum_{k=1}^I \left(\frac{C_k - L_k}{L_k} \right) - \left(\frac{C_j - L_j}{L_j} \right) \right]^2 \quad (1)$$

이 식의 의미를 살펴보면, 일별 공급예비율 분산값을 최소화하는 대안, 즉 연간 공급예비율을 평활화하는 예방정비계획(안)이 최적해가 된다.

여기서,

- J : 검토기간 수 (365일)
- C_j : j 일의 가용설비용량 (설비용량-예방정비물량-수위저하 등)
- L_j : j 일의 최대수요
- $\frac{C_j - L_j}{L_j}$: j 일의 공급예비율

공급예비율 평활화 알고리즘의 장·단점으로는 다음과 같은 것들이 있다.

공급예비율 평활화는 그 특성상 이해하기 쉬우며, 운전비 및 LOLP 계산을 위한 확률적 시뮬레이션 과정을 거치지 않으므로 계산시간이 상대적으로 빨라 일간 예방정비계획의 수립이 가능해 진다는 것이다. 그러나 발전기의 고장정지율 등 전력계통의 확률적 상황을 고려하기가 힘들다는 단점이 있다.

그러나, 계산시간이 LOLP를 대상으로 하는 알고리즘 보다는 상대적으로 빠르다고 하여도, 이상적인 일간 예방정비계획 최적안을 구하는 데에는 상태의 개수가 거의 무한대에 가까워 거의 무한대의 시간이 소요된다. 따라서 최적해는 아니지만 준 최적해를 실시간에서 찾기 위하여, 본 연구에서는 변수완화법 및 분지한정법을 혼용한 알고리즘을 적용하였다. 이에 대하여 간단히 설명하면 다음과 같다.

이 연구에서 제안하는 최적화 기법으로 변수완화법은 다변수 벡터 최적화 기법에서 빠른 해를 근사적으로 구할 때 많이 사용되고 있다. 변수완화법(Relaxation Method)에 대한 수학적 최적화 과정을 표시하면 아래와 같이 된다. 목적함수가 Minimize $f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ 로 주어졌다고 할 때, 풀이 과정은 일반적으로 다음과 같은 과정을 거친다.

- ① X_1 (혹은, X_1, X_2, \dots, X_k) 만큼의 변수는 풀어놓고, 나머지 변수들은 일반적으로 초기치로 둔다.
- ② $f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ 를 최적화하는 X_1 (혹은, X_1, X_2, \dots, X_k)의 값을 구한다.
- ③ 고정된 X_1^* 에 대하여 $f(X_1^*, X_2, \dots, X_N)$ 를 최적화하는 X_2 (혹은 X_2, X_3, \dots, X_{k+1})의 값을 구한다. 이 때, 나머지 변수들은 일반적으로 초기치로 고정하여 둔다.
- ④ 모든 변수에 대하여 ①~③의 과정을 반복한다.
- ⑤ 주어진 반복계산 횟수만큼 ①~④의 과정을 반복한다.

위의 변수완화법에서 변수를 두 개 이상으로 풀어놓고 그 변수만의 최적값을 찾는 경우는, 효율적인 탐색을 위하여 이 연구에서는 분지한정법을 적용하기로 한다. 이러한 Relaxation & Branch-and-Bound 최적화 기법은 이상적인 최적해를 찾는다는 보장은 없지만, 대규모 실계통 최적화 문제 즉, 일간 공급예비율 평활화 문제에서 국부 최적해를 빠른 시간안에 찾을 수 있는 장점이 있다.

2.2.2 공급지장확률(LOLP) 최소화 알고리즘

본 연구에서 채택하고 있는 연간 공급지장확률 최소화 알고리즘의 목적함수는 다음 식 (2)와 같이 정식화된다.

$$\text{Min} \sum_{j=1}^J \text{LOLP}_j \quad (2)$$

- 여기서,
- J : 검토기간 수 (주간 : 52)
- LOLP_j : j 주에서 각 대안의 LOLP 값

이 식의 물리적 의미를 살펴보면, 각 주별 LOLP의 합계를 최소화하여 공급지장확률을 최소화하는 예방정비계획안을 찾고자 하는 것이다. 이 방법론에서는 기본 단위를 주간으로 하고 있으므로, 해 또한 주간 예방정비계획안이 도출된다. 그러나 실무자의 지원을 위해서는 일간 예방정비계획안을 도출하여야 하므로, 이 연구에서는 다음과 같은 절차를 채택하였다.

- 첫째, 공급지장확률 최소화안에서 도출되는 주간 최적해를 기본안으로 한다.
- 둘째, 주간 기본안을 일간으로 변환하여, 이 기간을 포함하는 임의의 일간 예방정비 가능기간을 선정한다.
- 셋째, 주어진 일간 예방정비 가능기간에 대하여 일간 공급예비율 평활화 알고리즘을 수행하여 일간 최적해를 도출한다.
- 넷째, 일간 최적해를 전문가 또는 실무자가 대화형 의사결정지원 시스템 즉 사용자정비안에서 예방정비계획안을 분석한다.

공급지장확률(LOLP) 계산(확률적 시뮬레이션) 방법으로 여러 가지가 있다. 이 가운데에서 큐물런트(Cumulant) 방법을 이용하면 계산시간은 빠르나, LOLP 및 연료비 계산값이 부정확하여 본 프로그램에서는 푸리에급수(Fourier series)를 이용하였다. 공급지장확률 최소화 알고리즘은 앞의 공급예비율 평활화 알고리즘보다는 상대적으로 이해하기가 어려우며 계산시간도 상대적으로 느리다. 그러나 발전기의 고장정지율 등 전력계통의 확률적 상황을 고려할 수 있고, 발전계획 및 전력계통 운용을 위한 많은 정보(예를 들면, 각 발전기의 연간 연료비, 이용율 등)를 제공하여 주는 장점이 있다.

LOLP 계산과정을 요약하면 다음과 같다.

정규화된 부하지속곡선은 5차다항식으로 표현하는 것이 일반적이다. 이렇게 구한 부하지속곡선식 $f(x)$ 를 이용해서 x축, y축의 값을 바꾸면 도치된 부하지속곡선을 얻는다. 푸리에 급수는 주기함수에 대해서 만이 전개 가능하므로 y축에 대칭이 되는 변형된 곡선을 이용한다. 변형된 곡선은 우함수이므로 푸리에급수 전개식 $F(x)$ 는 다음과 같은 형태를 갖는다.

$$F(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^n a_k \cdot \cos\left(\frac{2\pi k}{T} x\right) \quad (3)$$

이 식의 양변에 $\cos\left(\frac{2\pi k}{T} x\right)$ 를 곱하고 0에서 T/2까지의 영역을 적분하면 다음 식들이 얻어진다.

$$a_0 = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} F(x) dx \quad (4)$$

$$a_k = \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} F(x) \cdot \cos\left(\frac{2\pi k}{T} x\right) dx \quad (5)$$

따라서, 푸리에 전개식을 얻기 위해서는 각각의 적분값을 구해야만 한다.

한편, 발전기를 2상태 모델로 본 경우, 즉 발전기가 전 용량으로 발전하든지 아니면 전혀 출력을 내지 못하는 경우로 보는 경우, 발전기의 고장정지를 반영하는 등가 부하지속곡선은 식(6)과 같이 표시된다.

$$f'(x) = p f(x) + q f(x-c) \quad (6)$$

여기서,

- q : 고려할 발전기의 고장정지확률
- p : 고려할 발전기의 가동확률 (p + q = 1)
- f(x) : 고려 대상인 발전기의 고장정지를 고려하기 이전의 등가부하지속곡선
- f'(x) : 고려 대상인 발전기의 고장정지를 고려한 뒤의 등가부하지속곡선
- c : 고려대상인 발전기의 용량

이 때, 상호적분 이전의 등가부하지속곡선 및 상호적분 이후의 등가부하지속곡선의 일반적인 형태는 식(7), (8)과 같다.

$$F(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(\frac{2\pi k}{T} x) + b_k \sin(\frac{2\pi k}{T} x)] \quad (7)$$

$$F'(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} [\alpha_k \cos(\frac{2\pi k}{T} x) + \beta_k \sin(\frac{2\pi k}{T} x)] \quad (8)$$

여기서 원래의 도치된 등가의 부하지속곡선은 코사인항들로만 이루어진 우함수이나 첫번째 발전기의 고장정지확률 밀도함수가 상호적분되고 나면 더 이상 우함수가 아니다. 따라서 사인항이 존재한다.

그러므로 F에서 F'를 구하려면 위의 계수들을 구하여야 한다. 이는 식 (9), (10), (11)과 같다.

$$\alpha = a_0 \quad (9)$$

$$\alpha_k = [p + q \cos(\frac{2\pi kc}{T})] a_k - q b_k \sin(\frac{2\pi kc}{T}) \quad (10)$$

$$= p a_k + (1-p) a_k \cdot \cos(\frac{2\pi kc}{T}) - q b_k \sin(\frac{2\pi kc}{T})$$

$$\beta_k = q a_k \sin(\frac{2\pi kc}{T}) + [p + q \cos(\frac{2\pi kc}{T})] b_k \quad (11)$$

$$= q a_k \sin(\frac{2\pi kc}{T}) + p b_k + q \cos(\frac{2\pi kc}{T}) b_k$$

이를 반복하면 등가부하지속곡선을 계속적으로 얻을 수 있다. LOLP란 부하가 발전량을 초과할 확률이다. 이것은 발전기의 고장정지를 고려한 등가부하지속곡선이 시설용량에서 갖는 값이다. 그러나 등가부하지속곡선을 푸리에 급수 전개식 또는 다른 방법으로 표현하더라도 완벽하지는 못하다. 따라서 이 영향을 감소시키기 위해서는 등가부하지속곡선상의 값을 그대로 쓰는 것보다 소구간 적분을 구간 폭으로 나눈 기대치를 사용하는 것이 바람직하다.

3. 발전기예방정비계획 프로그램의 구현

3.1 발전기 예방정비계획 프로그램의 구조

발전기 예방정비계획 소프트웨어는 그림 2와 같이 프로그램과 데이터베이스 그리고 이들간의 연계 역할을 수행하는 소프트웨어로 구성되어 있다.

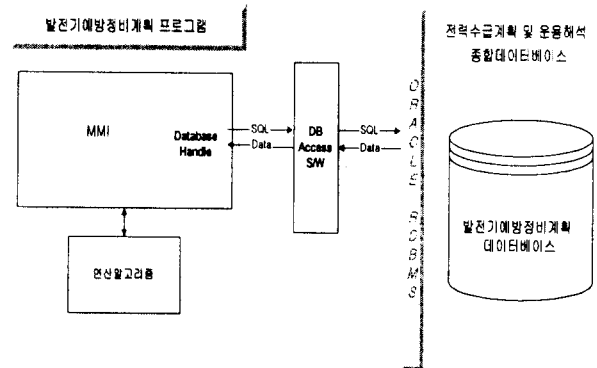


그림 2 발전기 예방정비계획 소프트웨어의 구성
Fig. 2 Basic structure of maintenance scheduling software

프로그램은 MMI(Man Machine Interface) 및 연산알고리즘 모듈로 구성되어 있다. MMI모듈은 사용자와의 인터페이스 부분으로 윈도우화면을 통하여 사용자에게 가시적으로 보여지며, 사용자 조작 시 그 이벤트에 대해 처리를 수행하는 화면과 함수로 구성되어 있다.

MMI모듈 내의 데이터베이스 핸들모듈은 오라클 데이터베이스의 핸들링, 즉 오라클 RDBMS로의 로그인 및 SQL (Structured Query Language)문의 실행을 통한 발전기 예방정비계획 데이터 조작을 수행하는 함수들로 구성되어 있다. 데이터베이스 핸들모듈은 RDO(Remote Data Object)를 이용하여 개발되었으며 ODBC를 통하여 데이터베이스에 접근하도록 되어있다. 즉, MMI모듈은 데이터베이스 핸들모듈을 통하여 발전기 예방정비계획 데이터베이스내의 자료를 취득하며 이 자료를 이용하여 사용자 인터페이스를 구성한다. 연산알고리즘 부분은 최적화기법을 통하여 자동으로 예방정비계획안을 계산하는 부분이다.

이와 같이 발전기 예방정비계획 프로그램은 유지, 보수, 효율성 증대와 성능개선을 위하여 아래와 같이 3부분으로 모듈화 되어 있다.

- MMI 모듈 : 사용자와의 인터페이스
- 데이터베이스 핸들모듈 : 데이터베이스와의 연계
- 연산알고리즘 : DLL 모듈

본 프로그램을 더욱 자세히 분석하면, MMI를 담당하는 윈도우 애플리케이션(MANTES.EXE) 및 최적화 기법을 통하여 연산을 수행하는 3개의 DLL (Dynamic Linking Library)로 구성되어 있다. 발전기 예방정비계획 프로그램의 구조는 그림 3과 같다.

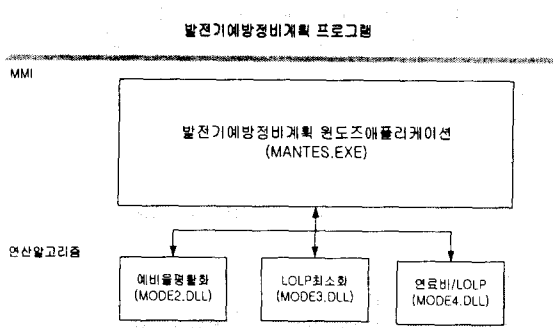


그림 3 발전기 예방정비계획 프로그램 구조
Fig. 3 Main structure of maintenance scheduling program

발전기 예방정비계획 윈도우 애플리케이션은 사용자에게 윈도우 인터페이스를 제공하며 올라클로 구축된 발전기 예방정비계획 데이터베이스를 운용한다. 또한 연산알고리즘부분인 DLL을 실행하며, 이를 통하여 계산된 결과를 데이터베이스에 저장하는 역할을 수행한다. 이러한 MMI 및 데이터베이스 핸들을 담당하는 발전기 예방정비계획 윈도우 애플리케이션은 비주얼 베이직(Visual Basic)언어로 작성 및 컴파일되어 있다.

연산알고리즘부분은 최적화기법을 통하여 자동으로 예방정비계획안을 계산하는 부분으로서 예비율 평활화안 및 LOLP최소화안과 연간 연료비/LOLP를 계산하는 3개의 모드로 구성되어 있으며 이는 사용자가 선택하는 것이다. 이러한 각 모드는 주 실행프로그램인 발전기예방정비계획 윈도우 애플리케이션에서 실행되어 처리된다. 연산알고리즘은 빠른 연산처리속도를 위하여 비주얼 C++를 사용하여 C언어로 작성 및 컴파일 되어 확장자가 DLL인 파일로 생성되어 있다.

3.2 발전기 예방정비계획 프로그램의 실행

개발된 발전기 예방정비계획 프로그램의 기본 운용과정을 살펴보면 다음과 같다.

- Step1) 오라클데이터베이스에 로그인을 수행한다.
- Step2) 예방정비계획을 하고자하는 하나의 작업을 선택한다.
- Step3) 관련된 입력데이터를 수정한다.
 - 발전재원, 원자력기동정지출력특성, 증감발전력, 연료비단가, 고장정지율, 총수요, 시운전발전력, 타사 민간열병합, 구입전력량
- Step4) 연도별정비안 화면에서 수립하고자하는 계획 연도를 선택한다.
- Step5) 주 화면에서 초기 정비안 옵션버튼을 선택한다.
- Step6) 주 화면에서 초기 정비안을 입력한다. 초기 정비안은 관련부서나 사업소에서 요청한 자료의 초안 보관을 목적으로 한다.
- Step7) 초기 정비안을 가능정비기간으로 복사할 수 행한다.

- 초기 정비안을 가능정비기간으로 복사함으로써 가능정비기간의 입력을 손쉽게 수행할 수 있다.

Step8) 가능정비기간을 사용자정비안으로 복사를 수행한다.

- 가능정비기간을 사용자정비안으로 복사함으로써 사용자정비안의 입력을 손쉽게 수행할 수 있을 뿐만 아니라 초기 정비안을 사용자정비안으로 복사를 수행할 수 있다.

Step9) 주 화면에서 사용자정비안 옵션버튼을 선택한다.

- 전문가 및 담당자에 의하여 작성된 초기 예방정비계획(안)을 기준으로 대화형 의사결정 지원 모드인 사용자정비안을 실행한다.

Step10) 가능 및 사용자정비안을 입력, 수정, 삭제한다.

- 사용자정비안의 주목적은 초기 예방정비계획 대안이나 최적화 실행 이후의 예방정비계획안에 대하여, 전문가가 예방정비기간 등을 조정하여 실제 현실에 보다 가까운 예방정비계획 의사 결정을 지원하는데 있다.

Step11) 사용자정비안을 대상으로 예비율평활화를 수행한다. 원하지 않으면 Step13)으로 간다.

Step12) 사용자정비안을 대상으로 LOLP 최소화안을 수행한다. 원하지 않으면 Step13)으로 간다

Step13) 각 정비안에 대하여 일별분석을 수행하여 일별의 공급예비율 및 공급예비력을 볼 수 있다.

- 또한 연료비/LOLP 계산을 수행함으로써 주별 및 연간 LOLP, 발전기별 연료비/이용율/발전량을 분석할 수 있다.

Step14) Step 13)에서 수행된 분석결과에 대하여 도출된 결과가 만족할 경우 정비안을 확정계획안으로 복사를 수행하고 그렇지 못하면 다시 Step 10)으로 되돌아 간다.

Step15) 확정계획안을 선택한 후 관련 정보를 출력하고 작업을 끝낸다.

그림 5는 구현된 발전기 예방정비계획 윈도우애플리케이션의 주 화면이다.

오라클 RDBMS에 연결된 상태에서 작업을 선택한 이후 연도별 정비안에서 연도를 선택한 다음의 발전기 예방정비계획 주 화면으로서 각 발전기별 정비기간을 간트차트 형식으로 보인다. 각 발전기별로 가능정비기간은 적색으로 예방정비안은 청색으로 녹색은 급전정지를 표시한다. 화면상에서 확대, 축소, 스크롤이 가능하며 간트차트상에서 마우스를 드래그하거나 발전소명을 더블클릭함으로써 기간을 바로 수정할 수 있다.

또한 예방정비안 전환을 쉽게 함은 물론, 이를 통하여 사용자는 어떤 달에 어떤 발전기가 정비를 하고 있는가를 쉽게 파악할 수 있도록 개발되었다. 그림 6은 위 주 화면에서 입력된 예방정비일정 및 기간을 인쇄하기 전에 사전에 검토해 볼 수 있는 미리보기 화면이다. 이 외에도 표 형식, 그래프 등으로도 인쇄가 가능하다.

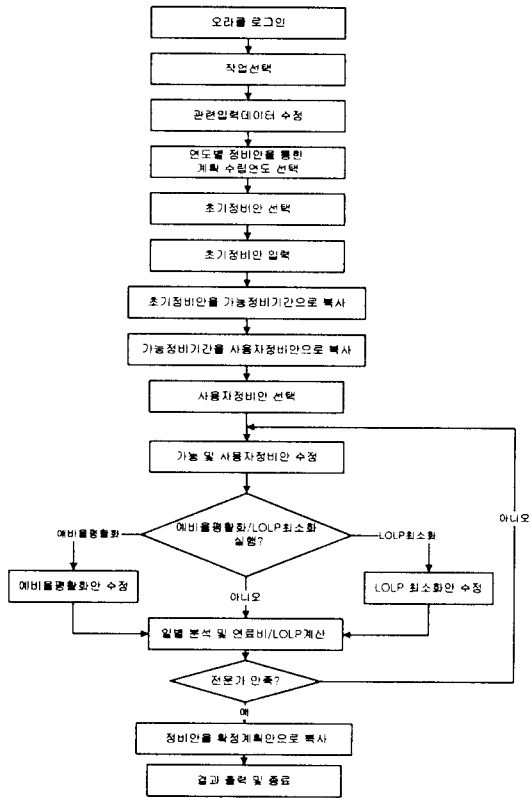


그림 4 프로그램 기본운용과정
Fig. 4 Basic operation of program

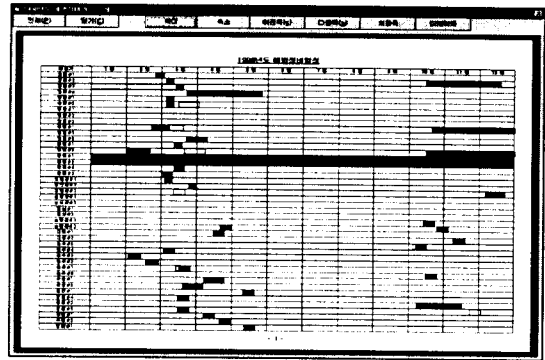


그림 6 예방정비기간 인쇄
Fig. 6 Print of maintenance period

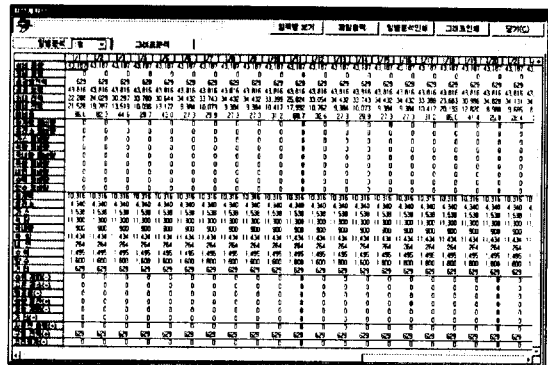


그림 7 일별분석
Fig. 7 Daily analysis

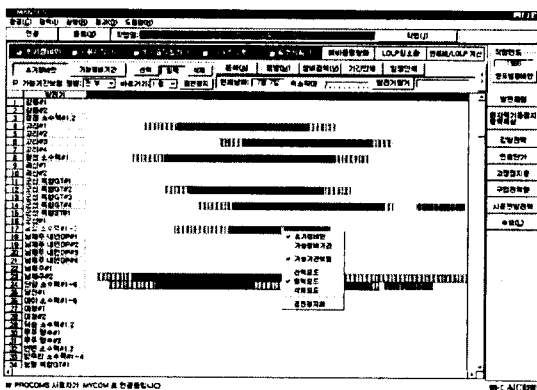


그림 5 발전기 예방정비계획의 주 화면
Fig. 5 Main window of maintenance scheduling program

그림 7은 주 화면에서 선택된 예방정비안에 대한 일별 최대수요의 설비용량, 정비용량, 증감발전력(수위저하, 고온감소, 열공급, 상향운전, 성능저하, 기타), 공급능력, 최대전력, 예비전력, 예비율 등을 분석한 화면이다. 이와 같은 자료는 모두 수정 및 신규입력이 가능하며 매 월별 및 설비별로도 정리가 가능하다.

일별분석을 통하여 계산된 자료는 그림 8(예비율만 예를 들어 표시)과 같이 그래프분석을 통하여 예비율, 예비력, 최대전력, 공급력, 정비용량 등을 다양하게 연간으로 볼 수 있다. 또한 현재 선택된 모드의 분석화면에서 타 모드와의 분석을 같이 수행함으로써 서로 비교·검토를 수행할 수 있도록 되어 있다. 따라서 사용자는 현 시점에 가장 알맞은 최적의 정비안을 마음대로 선택할 수 있다.

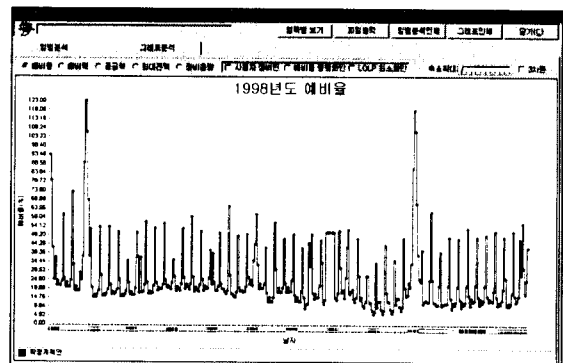


그림 8 일별분석 그래프
Fig. 8 Daily analysis graph

이와 같이 본 프로그램은 그래픽 기능 및 데이터베이스 기능을 최대한 활용하여, 사용자가 가장 편리하게, 그리고 모든 정보를 빠짐없이 처리할 수 있도록 하는 대화식 기능을 강화하였다. 2차래의 수정을 거쳐 개발된 본 프로그램은 실무 부서에 직접 설치되어 운영될 계획이다.

4. 사례 연구

본 프로그램의 효용성을 검증하기 위해 1998년에 수립된 1999년 투용자용 예방정비안을 사용자정비안으로 설정, 이에 대하여 예방정비 가능기간을 확장하여 예비율평활화안 및 LOLP 최소화안을 수행 분석하였다.

예방정비 가능기간은 사용자정비안의 기간이 15일 이하의 경우는 앞으로 15일 뒤로 한달, 15일 초과인 경우는 앞으로 한달 뒤로 두 달로 가능기간을 확장하였으며, 또한 수요는 연 최대수요를 35273MW로 설정하여 예측된 시간별 총수요를 이용하였다. 예비율평활화안을 수행한 결과는 다음과 같다.

표 1 대안별 결과비교

Table 1 Comparison of results

| 정비안 | 최대 예비율 | 최소 예비율 | 평균 예비율 | 분산값 |
|----------|--------|--------|---------|----------|
| 사용자 정비안 | 103.4 | 12.2 | 33.5098 | 590.5337 |
| 예비율 평활화안 | 99.7 | 13.9 | 33.7679 | 556.0136 |

사용자정비안에 대해 LOLP 최소화안을 수행한 결과, 사용자정비안의 연간 LOLP값은 0.070567545이었던 것에 비해 최적화된 LOLP 최소화안의 연간 LOLP값은 0.067404064로 감소되었다.

그림 9는 이와 같은 최적화수행 이후의 사용자정비안, 예비율평활화안 및 LOLP 최소화안에 대한 일별분석을 수행하여 예비율 그래프를 중첩시킨 결과화면이다. 이를 통해 각 사용자는 각 최적화 모드 실행 이후의 변화를 쉽게 파악할 수 있다.

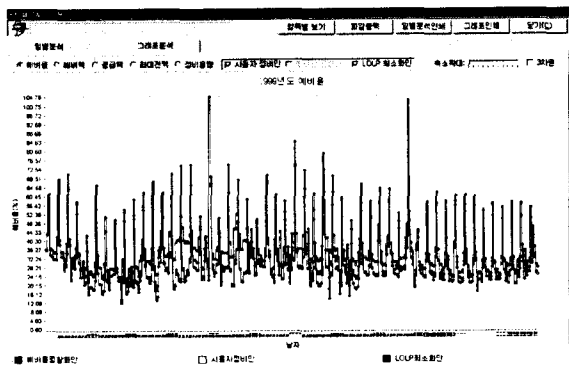


그림 9 예비율 비교 그래프

Fig. 9 Graph of reserve rate comparison

사용자정비안과 LOLP 최소화안의 LOLP 결과값은 다음 표 2와 같다.

표 2 사용자정비안과 LOLP 최소화안에 대한 LOLP값
Table 2 LOLP value of user-Made schedule and LOLP minimization schedule

| 주 | 사용자정비안 LOLP(일) | LOLP최소화안 LOLP(일) |
|-----|----------------|------------------|
| 1주 | 0.001222039 | 0.001147828 |
| 2주 | 0.001433082 | 0.001400080 |
| 3주 | 0.001486275 | 0.001480735 |
| 4주 | 0.001306507 | 0.001274721 |
| 5주 | 0.001184835 | 0.001110896 |
| ... | ... | ... |
| 21주 | 0.001383004 | 0.001210830 |
| 22주 | 0.001361831 | 0.000943713 |
| 23주 | 0.001136593 | 0.000943069 |
| 24주 | 0.001569836 | 0.001573161 |
| 25주 | 0.001470990 | 0.001455794 |
| 26주 | 0.001420250 | 0.001411741 |
| 27주 | 0.001505567 | 0.001509713 |
| ... | ... | ... |
| 45주 | 0.001504244 | 0.001334444 |
| 46주 | 0.001480950 | 0.001478513 |
| 47주 | 0.001361272 | 0.001315601 |
| 48주 | 0.001314613 | 0.001335469 |
| 49주 | 0.001399683 | 0.001340897 |
| 50주 | 0.001348265 | 0.001358439 |
| 51주 | 0.001383496 | 0.001342237 |
| 52주 | 0.001267636 | 0.001252010 |
| 연간 | 0.070567545 | 0.067404064 |

5. 결론

본 연구에서는 계통 신뢰도와 경제성을 함께 고려하며, 수학적으로 표현하기 힘든 제약조건들을 고려하기 위하여 전문가의 의사결정을 지원하는 시스템을 개발하였다. 본 프로그램은 실무자의 업무효율 향상을 위하여 윈도우 환경에서 구동되는 대화형 의사결정지원 소프트웨어로서, 사용자의 편의를 위하여 그래프 및 차트 등의 그래픽 기능을 강화하고, 오라클 데이터베이스와의 연계를 통하여 방대한 자료관리를 효율적으로 하도록 설계하였다. 예비율평활화, 공급지장확률 최소화 및 연료비/이용률/LOLP 등을 계산하는 알고리즘을 DLL로 구성하고, MMI는 윈도우즈 환경으로 구축하여 그래프, 차트, 스프레드시트 등으로 자료를 표현하고 수정이 가능하도록 하여 사용자의 편의성을 극대화하였다. 이를 1998년에 수립된 1999년 정비안에 대해 사례연구를 하여 그 효용성을 입증하였다.

참고 문헌

[1] Young-Moon Park, Jong-Bae Park, Jong-Ryul Won, Man-Ho Jhong, Jin-Ho Kim, Jin-Boo Choo and Dong-Hoon Jeon, "A windows based decision making support software for yearly preventive maintenance scheduling", ICEE, 1996.
 [2] 박영문, 박종배, 원종률, 정만호, 김진호, 추진부, 전동훈, "Window환경에 기초한 발전기 예방정비계획 프로그램 개발", '96 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1996.

[3] 정정원, "분지한정법을 이용한 보수계획 수립에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol. 44, No. 7, 1995, 7, pp. 829-835.

[4] H. H. Zun and V. H. Quintana, "Generator maintenance scheduling via successive approximation dynamic programming", IEEE Trans. on PAS, Vol.PAS-94, No. 2, March, 1975, pp. 665-671.

[5] Zia A. Yamayee, "Maintenance scheduling : description, literature survey and interface with overall operations scheduling", IEEE Trans. on PAS, August, 1982, pp. 2770-2779.

[6] Rana Mukerji, et al., "Power plant maintenance scheduling : optimizing economics and reliability", IEEE Trans. on Power systems, May, 1991, pp. 476-484.

[7] J.F. Dopazo and H. M. Merrill, "Optimal generator maintenance scheduling using integer programming", IEEE Trans. on PAS, VOL.PAS-94, No. 5, Sep. 1975, pp. 1537-1545.

[8] J. Yellen, T.M. Al-Khamis et al., "A decomposition approach to unit maintenance scheduling", IEEE Trans. on Power systems, 1992. pp. 908-913.

[9] B. Kralj and N. Rajakovic, "Multiobjective programming in power system optimization: new approach to generator maintenance scheduling", Electrical Power & Energy Systems, Vol. 16, No. 4, 1994, pp. 211-220.

[10] T. Satoh and K. Nara, "Maintenance scheduling by using simulated annealing method", IEEE Trans. on Power systems, 1991, pp. 850-857.

[11] 한국전력공사 전력연구원 보고서, "발전기 예방정비 수립에 관한 연구", 1998



윤용범(尹用範)

1958년 9월 28일 생. 1984년 부산대 전기공학과 졸업. 1986년 서울대 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996년 미국 MIT Visiting Scientist로 근무. 현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원
Tel : (042) 865-5851
E-mail : ybyoon@kepri.re.kr



박시우(朴時佑)

1972년 1월 2일 생. 1994년 경원대 전기공학과 졸업. 1996년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 선임보조연구원
Tel : (042) 865-5836
E-mail : swpark@kepri.re.kr



남재현(南在鉉)

1959년 9월 30일 생. 1984년 충남대 전기공학과 졸업. 현재 한국전력공사 계통운용처 전력거래소 발족준비팀.
Tel : (02) 3456-6024
E-mail : njh6@dava.kepco.co.kr

저 자 소 개



원종률(元鍾律)

1969년 7월 21일 생. 1993년 서울대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1998년~현재 한국전력공사 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원

Tel : (042) 865-5857
E-mail : jrwon@dava.kepco.co.kr