

광양제철소의 실시간 경제운용 프로그램 개발

김재철*, 백영식*, 이희춘**
 * 경북대학교 전자전기공학부, ** 광양제철소

The On-Line Economic Load Dispatch Program of KwangYang Steel Works

Jae-Chul Kim*, Young-Sik Baek*, Hee-Choon Lee**
 * Kyungpook National University, ** Kwangyang Steel Works

Abstract - This paper proposes an efficient method of On-Line Economic Load Dispatch(ELD) using Evolutionary Programming(EP) technique at KwangYang steel works. The economic operation of steel works is done by experienced engineer. So far, there is no formulation and algorithm of economic operation of steel works. In this paper, we propose the formulation and On-Line algorithm of economic operation of steel works. The EP technique is the kind of Evolutionary Computation(EC), which has become a candidate for many optimization applications due to its flexibility and efficiency. Based on the EP technique, the proposed algorithm is capable of not only solving the economic problem, but also obtaining the global optimal solutions within reasonable execution time. To validate our proposed approach, the algorithm is demonstrated on many sample systems and compared to actual values of steel works.

1. 서 론

본 논문에서는 광양 제철소 내에서의 경제운용에 관한 실시간 프로그램을 개발하였다. 현재 광양 제철소에서의 경제운용은 8기의 가스 발전, 3기의 LNG 발전, 한국전력으로부터의 수전 전력을 이용하여 부하예측을 통한 부하값에 대해 각각의 단가, 즉, 발전단가, 수전단가, 역송단가 등을 비교하여 수행하고 있다. 따라서 일반적인 경제운용에서 사용하고 있는 비용함수(1-3) 없이 현장 운전자들의 경험치 값을 이용한 경제운용을 수행하고 있기 때문에 실제로 최적의 발전기 출력으로 운용되고 있다고 보기엔 어려운 부분이 없지 않아 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 이러한 단가들의 비교 없이 비용에 관여하는 인자들을 중심으로 비용함수를 제안하여 각각의 발전기들에 대한 최적의 출력과 수전, 역송전력을 이끌어 낼 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 제한한 알고리즘은 최적화 문제에서 많이 제시되고 있는 전역적 탐색 기법인 진화 연산(Evolutionary Computation, EC)(4,5)의 한 종류로써 진화 프로그래밍 기법(Evolutionary Programming, EP)을 이용하여 광양 제철소내의 계통에 대한 경제적운용을 위한 최적의 발전기 배분에 대한 방안을 제시하였다. 또한 DATABASE를 설계하여 본 알고리즘과 연계하여 방대한 양의 데이터를 처리하였으며, Visual Basic을 이용한 MMI를 구현하여 제철소 계통의 현재 상태를 이용하여 사용자가 관심 있는 시간의 경제 운용에 대한 결과를 알 수 있도록 하였다.

2. 본 론

2.1 목적(비용)함수의 구성

제한한 알고리즘에서의 목적함수는 비용에 관여하는 인자들으로써 현재시점에서 경제운용하고자 하는 시점사이에 대한 증감분 비용을 목적함수로 정의하였다. 제철소 내에서 사용되고 있는 발전기의 연료구성을 보면 가스 발전의 경우 일반적인 경제운용의 비용함수(출력에 따른 비용)와는 달리 제철소공정에 따른 부생가스(BFG, COG, LDG)와 중유가 사용되고 있으며, 이들 연료중 실제로 발전기의 출력을 내기 위해 사용되는 비용에 관한 인자로는 중유를 들 수 있다. 따라서 실제 비용함수를 구성하는 경우 제한한 연구에서는 중유에 대한 부분을 비용함수에 삽입하였고, LNG 발전의 경우 출력에 따른 단가 비용함수를 이용하였으며, 수전, 역송전력의 경우에 있어서는 월(Month), 시간대(Normal, Peak, Light Time)에 따른 단가를 이용하여 이를 비용함수에 반영하여 최적의 출력을 구하고자 하였다.

2.2 정식화

$$\text{Minimize } \Delta C_{t+1} \quad (1)$$

$$w \quad h \quad e \quad r \quad e$$

$$\Delta C_{t+1} = \Delta f_{t+1}^G + \Delta f_{t+1}^R - (\Delta f_{t+1}^S) \quad (2)$$

and

$$\Delta f_{t+1}^G = \Delta F_{GAS} + \Delta F_{LNG} \quad (3)$$

$$\Delta F_{GAS} = \sum_{s=1}^{N_G} IC_{AVG}^s \Delta P_{t+1}^s C_{O(t)} \quad (4)$$

where

$$IC_{AVG}^s = \sum_{i=1}^{T_N} \frac{IC_i^s}{N_T} \quad (5)$$

and

$$IC_i^s = \left| \frac{O_{i-1}^s - O_i^s}{P_{i-1}^s - P_i^s} \right| \quad \text{for } i=1, 2, \dots, T_N \quad (6)$$

$$\Delta F_{LNG} = \sum_{i=1}^{N_L} [a_4 \Delta P_{t+1}^{i4} + a_3 \Delta P_{t+1}^{i3} + a_2 \Delta P_{t+1}^{i2} + a_1 \Delta P_{t+1}^{i1} + a_0] \quad (7)$$

and

$$\Delta f_{t+1}^R = \Delta P_{t+1}^R C_R(t) \quad (8)$$

and

$$\Delta f_{t+1}^S = \Delta P_{t+1}^S C_S(t) \quad (9)$$

s.t.

A. 전력수급 평형 제약조건

$$\sum_{s=1}^{N_G} \Delta P_{t+1}^s + \sum_{i=1}^{N_L} \Delta P_{t+1}^{i1} + \Delta P_{t+1}^{i2} - (\Delta P_{t+1}^S) = \Delta PD_{t+1} \quad (10)$$

B. 발전기 상·하한 출력

$$P_{\min}^s \leq P_i^s + \Delta P_{t+1}^s \leq P_{\max}^s \quad (11)$$

C. 수전, 역송량 제약조건

$$-1 \times \Delta P_{\max}^{Kepco} \leq \Delta P_{RS} \leq \sum_{k=1}^{N_{G+L}} [P_{\max}^k - P_i^k] \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{RS} < 0 & \text{ then } \Delta P_{RS} = \text{수전전력} \\ \text{otherwise} & \Delta P_{RS} = \text{역송전력} \end{aligned} \quad (13)$$

표 1 수식 기호 정의

기호	설명
$\dots, t-1, t, t+1$	과거 시점, 현재 시점(t), 경제 배분을 수행하고자 하는 시점($t+1$)
ΔC_{t+1}	t 와 $t+1$ 동안의 총 증감분 비용
$\Delta f_{t+1}^G, \Delta f_{t+1}^R, \Delta f_{t+1}^S$	t 와 $t+1$ 사이의 증감분 발전, 수전, 역송 비용
$\Delta F_{GAS}, \Delta F_{LNG}$	가스, LNG 발전 증감분 비용
N_G, N_L	가스, LNG 발전기 수
T_N	과거 5분을 5초로 나눈 총 시간 개수 - 1 [ex. 300/5 - 1 = 59]
N_T	T_N 중 IC_i^g 가 0이 아닌 시간의 개수
IC_{AVG}^g	g 발전기의 과거 5분 동안 5초 간격의 평균 증감분
IC_i^g	g 발전기의 ($i-1$) 과 i 사이의 출력 증감분에 대한 중유 증감분
P_i^g, O_i^g	g 발전기의 t 시간의 출력값, 사용 중유량
$\Delta P_{t+1}^g, \Delta P_{t+1}^l, \Delta P_{t+1}^R, \Delta P_{t+1}^S$	t 와 $t+1$ 시간동안의 가스, LNG 발전, 수전, 역송 증감량
a_4, a_3, a_2, a_1, a_0	LNG 발전기의 발전단가 비용계수들
$C_R(t), C_S(t), C_O(t)$	월, 시간대에 따른 수전, 역송, 중유 단가
P_{Max}^{Kepco}	15분 수전 전력 최대값
ΔP_{RS}	수전, 역송 전력에 대한 임시 변수
ΔPD_{t+1}	t 와 $t+1$ 동안의 부하 증가량

2.3 제안한 알고리즘

실시간 경제운영에 관한 진화 프로그래밍 알고리즘을 그림 1[4,5]에 제시하였다. 간략하게 설명하면 먼저 구하고자 하는 개체를 각각의 가스, LNG 발전력과 수전 전력으로 하여 백터를 구성하여 초기화 과정을 수행한다. 초기화 과정에서 수전 전력이 음(-)일 경우에는 수전 전력은 역송 전력이 되어 제철소에서 한전으로 보내는 전력을 의미한다. 초기화 과정을 만족한 개체를 부모(조상, 선조)개체(Parent Genes)라고 한다. 다음에는 비용함수(Cost Function)를 이용하여 각각의 개체에 대한 적합도(Fitness, 목적함수의 값)를 구한 다음 돌연변이 연산자(Gaussian Random Variable을 이용한 난수)를 이용하여 부모개체로부터 후손 개체(Offspring Genes)를 발생 시킨 다음 부모 개체와 마찬가지로 비용함수를 이용하여 각각의 개체 적합도 값을 구한다. 그런 후 부모 개체와 후손 개체의 경쟁을 통하여 다음 세대(Generation)의 부모 개체를 선택한 다음 위의 과정을 주어진 최대 세대(Max Generation)까지 반복한다.

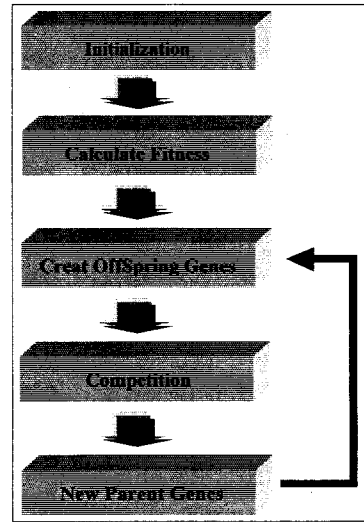


그림 1 EP의 알고리즘

2.4 사용자 인터페이스

사용자 인터페이스는 Visual Basic을 이용하여 그림 2와 같이 나타내었다. 그림에서 현재치는 각각의 발전기의 현재 출력값을 나타내며 사용자가 경제운영을 하고 싶은 시간은 그림에서 현재치 옆의 15분 컨트롤에 사용자가 직접 입력을 하는 방식으로 이루어져 있다. 왼쪽란은 부하 예측의 결과값을 곡선으로 나타내는 부분이며 그 밑에는 제철소내의 발전기의 ON(Red), OFF(Green) 상태와 현재 발전소에서 사용되고 있는 연료, 즉, BFG, COG, LDG, 중유의 현재 실측값을 화면에 보여주고 있는 형태이다. 한편 현재 발전기 출력값과 각각의 사용 연료에 대한 실측값은 실적 데이터베이스와 연계하여 각각의 값을 MMI를 통하여 화면에 표현된다.

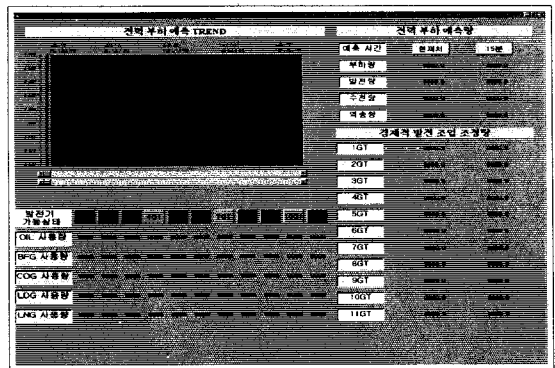


그림 2 MMI 운전화면

2.5 실시간 경제운영의 구성

제철소 계통에 대한 실시간 경제운영을 위한 전체적인 형태는 그림 3과 같다. 제철소 계통의 실측값과 각각의 발전기의 ON, OFF 상태, 발전기 계수, 상하한 출력값 등은 매 5초를 주기로 실적 데이터베이스에 저장되고 예측 데이터베이스에는 부하예측을 통한 부하값이 저장되어진다. 저장되어진 값은 MMI를 통하여 사용자에게 표현이 되어서 이 값을 이용하여 경제운영에 대한 알고리즘이 수행이 되고 그 결과값은 다시 결과 데이터베이스에 저장되어진다.

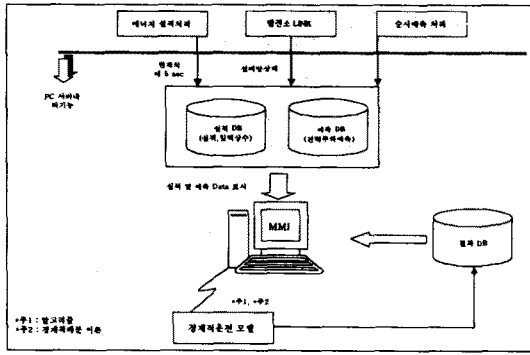


그림 3 경제운영의 구성

2.6 사례 연구

제안한 알고리즘으로써 제철소내의 샘플계통에 대해 시뮬레이션을 수행하여 보았다. 진화 프로그래밍에서 사용된 파라미터 값들을 표 2에 나타내었고 그림 4는 샘플계통에 대해 주어진 알고리즘을 적용하였을 때의 그 수렴 특성을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 270세대(Generation)에서 수렴을 하여 그 이상의 변화가 없다는 것을 보여주고 있으며 수렴하는데 걸리는 시간은 4.36[Sec]이다. 이 시간은 1500세대까지 반복하는데 걸리는 시간을 의미하며 실제 수렴특성에 도달하는 시간은 0.87[Sec]로서 기존의 진화연산의 주된 단점인 시간문제만을 놓고 보았을 때 광양제철소내의 계통에 실시간으로 적용할 경우에 시간적인 면에서 큰 문제가 될 수 없다는 것을 알 수 있다. 참고로 본 연구의 샘플계통(부하를 달리했을 경우)의 평균적인 수렴도달 시간은 0.76~0.97[Sec]이었다.

표 2 진화 프로그래밍 파라미터

개체 수	세대 수	스케일 상수(β)
30	1500	0.005

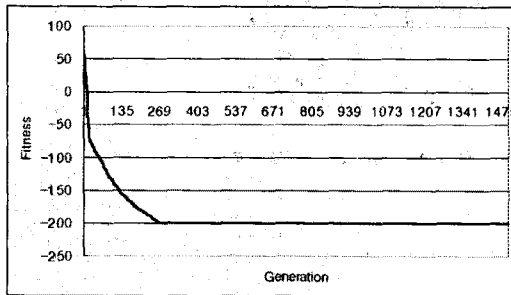


그림 4 수렴 특성 곡선

그림 5에 샘플계통에서 실제로 측정된 부하, 각각의 발전기의 출력값과 수전, 역송 전력과 제안한 알고리즘에 대한 결과값들을 막대그래프를 이용하여 비교해보았다. 가로축의 숫자에 대한 인자는 표 3에 표현하였다. 단, 모든 인자의 값은 현재 시점을 기준으로 경제운영하고자 하는 시점사이의 증감분값을 의미한다.

표 3 그림 5의 가로축의 숫자값의 의미

1	2	3	4	5 ~ 12	13 ~ 15
부하	전체 발전기의 출력의합	수전	역송	가스 발전기의 출력	LNG 발전기의 출력

그림 5에서 알 수 있듯이 현재 제철소내의 계통 운영 실적값과 비교하여 보면 발전기들의 출력은 큰 차이가 없음을 알 수 있지만 3, 4번의 수전, 역송전력이 제안한 알고리즘과 비교하여 보면 바뀌어져 있는 것을 알 수 있다. 이것으로 현재 제철소 내에서의 경험치에 의한 경제적인 운용이 제안한 알고리즘과는 상당한 차이가 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 제안한 알고리즘에서는 현재 제철소 계통에서 역송을 하기보다는 수전 전력을 이용하는 것이 경제적인 면에서 더 낫다고 하는 것을 표현해주고 있다.

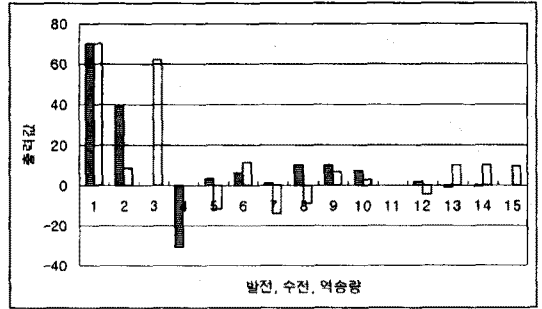


그림 5 제안한 결과와 제철소 실적 비교

3. 결 론

본 논문에서는 광양제철소내의 계통에 대하여 실시간 경제운영 프로그램을 개발하였다. 기존의 경제운영과는 달리 비용함수가 없는 부분에 대하여 실제 비용이 들어가는 인자들으로써 새로운 비용함수를 제안하였다. 현재 제철소내의 경제운영의 측면을 보면 명확한 알고리즘의 구현 없이 운전원들의 경험치값을 이용하여 경제운영을 하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 제철소내의 경제운영에 대한 정식화와 더불어 알고리즘을 제안하여 그 결과를 샘플계통에 대해 적용을 하였고 그 결과 기존의 발전계획을 크게 변형하지 않으면서 경제적인 결과를 도출해낼 수 있었다. 한편, 기존의 진화연산의 단점인 장시간적인 측면에 대해 제안한 알고리즘은 충분히 실시간으로 구현될 수 있을 뿐만 아니라 데이터베이스를 이용하여 시시각각으로 변하는 방대한 양의 데이터를 저장, 처리하였으며, Visual Basic을 이용한 MMI를 통하여 사용자가 쉽게 이용할 수 있는 장점도 가지고 있다. 향후, 구현되는 과정에서 나올 수 있는 문제점의 검토와, 제철소내의 불규칙하게 발생하는 부생가스에 대한 연구를 통해 제안한 알고리즘을 보완할 계획에 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, "Power Generation, Operation, and Control", John Wiley and Sons, New York, 1996.
- [2] IJNAGRATH, DPKOTHARI, "Power System Engineering", Tata McGraw-Hill Publishing Company, 1994, pp. 273-338.
- [3] M. E. El-Hawary and G.S. Christensen, "Optimal Economic Operation of Electric Power Systems", Academic Press, New York, 1979.
- [4] David B. Fogel and Lawrence J. Fogel, "Guest Editorial Evolutionary Computation", IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 5, No. 1, pp. 1-14, January 1994.
- [5] 김재철, 백영식, 김창수, "환경 제약을 고려한 화력계통에서의 경제적 운용", 춘계학술대회 논문집, PP.112-115, 1999. 5.