

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

金宰徹* · 白榮植** · 李喜春***

(Jae-Chul Kim · Young-Sik Baek · Hee-Choon Lee)

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.

Key Words : Gas generator, importing power, exporting power, B.F.G · C.O.G · L.D.G, LNG

1. 서 론

본 논문에서는 광양 제철소 내에서의 경제운용에 관한 실시간 프로그램을 개발하였다. 제철소 전력계통의 특성에 대해서 살펴보면 한전으로부터 154[KV] 송전라인과 사용전압 154[KV], 22[KV], 6.6[KV]의 배전 선로로 구성되어 수전, 제선, 압연, 해안 그리고 서부의 5개 변전 설비와 118[MVA]급 8기의 가스 발전설비, 243[MVA]급 3기의 LNG 발전설비로 이루어져 있다. 그리고 현재 한전 수전선로에 대한 345[KV]의 수전 라인의 작업이 현재 진행중에 있다. 제철소의 부하 특성을 살펴보면 크게 가변 부하와 고정부하로 분류되고, 고정부하로서는 고로, 코크스 설비등의 선강지역 부하와 열연, 미니밀 등의 압연지역 가변부하가 있다. 현 시점까지의 제철소 전력계통 운영의 특징은 생산물의 연속적인 출하를 위한 계통의 안정성 측면을 강조하여 왔으나 최근 들어서 안정적 운전의 개념에서 경제적 운전으로 그 운영방침이 변화하고 있는 실정이다. 현재 제철소에서 시행되고 있는 경제운용을 간략하게 보면 8기의 가스 발전, 3기의 LNG 발전, 한국전력으로부터의 수전 전력 그리고 광양 제철소에서 한국전력으로 보내는 역송전력의 발수전 설비를

이용하여 부하예측을 통한 부하값에 대해 각각의 단가, 즉, 발전단가, 수전단가, 역송단가 등을 비교하여 수행하고 있다. 각각의 단가들은 계절별, 시간대별에 따라서 각기 다른값을 가지며 주어진 부하에 따라 단지 단가값의 비교에 의해 수행이 되고 있는 실정이다. 따라서 일반적인 경제운용에서 사용하고 있는 화력 발전기의 연료비용함수 등과 같은 비용함수가 없이 단가 비교, 현장 운전원들의 경험치 값을 이용한 경제운용을 수행하고 있기 때문에 최적의 발전기 출력으로 운용되고 있다고 보기엔 어려운 부분이 없지 않아 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 이러한 현장의 경험치나 단가비교 없이 비용에 관여하는 인자들을 이용하여 비용함수를 제안하여 각각의 발전기들에 대한 최적의 출력과 수전, 역송전력을 정식화과정에 의거한 수식을 이용하여 경제적인 출력을 낼 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 제안한 알고리즘은 최적화 문제에서 많이 제시되고 있는 전역적 탐색 기법인 진화 연산(Evolutionary Computation, EC)[1-4]의 한 종류로써 진화 프로그래밍 기법(Evolutionary Programming, EP)[1-4]을 이용하여 광양 제철소내의 계통에 대한 경제적인운용을 위한 최적의 발전기 배분에 대한 방안을 제시하였다. 또한 DATABASE를 설계하여 본 알고리즘과 연계하여 시시각각으로 변하는 방대한 양의 데이터를 처리하였으며, Visual Basic을 이용한 MMI를 구현하여 제철소내 계통의 현재 상태를 이용하여 사용자가 관심있는 시간의 경제 운용에 대한 결과를 알 수 있도록 하였다.

* 正 會 員 : 慶北大 工大 代表學科 博士課程

** 正 會 員 : 慶北大 工大 電子電氣工學部 教授 · 工博

*** 正 會 員 : 恆勤 製鐵所 善綱制御部

接受日字 : 2001年 1月 31日

最終完了 : 2001年 6月 19日

2. 본 론

2.1 발전소의 연료 구성

제철소 내에서 사용되고 있는 발전소의 연료구성을 보면 가스 발전의 경우 일반적인 경제운용의 연료비용합수[5-7]와는 달리 제철소공정에 따라 고로에서 발생하는 부생가스(BFG, COG, LDG)와 중유[8]가 사용되고 있다. BFG, COG의 경우 고로(용광로)에서 철광석을 녹이는 과정에서 산소와 결합하여 발생하는 가스로써 제선, 제강, 압연 공정 그리고 발전소에서 사용하기 위하여 제철소내 모든 공장을 배관으로 연결하여 이들 가스를 사용하고 있으며 각각에 가스에 대한 가스 저장소(가스 홀더)도 2기씩 설치가 되어 있다. BFG, COG의 경우 끊임없이 일정량을 발생이 되는데 비해 LDG의 경우 제강공정의 취련 과정에서 시간당 14분 정도 취득이 되고 있다. BFG, COG가 제철소 내 모든 공정에서 연료로써 이용되는데 비하여 LDG는 인체에 유해한 가스이기 때문에 전량을 발전소에서 사용을 하고 있다. COG의 경우 열량이 높기 때문에(4400Kcal) 제철소 내 모든 공장에서 BFG와 더불어 연료로 사용이 되고 있다. 가스와 달리 중유의 경우 전량을 수입에 의존하기 때문에 현재 제철소 내에서의 사용은 부생가스를 사용한 후 중유를 투입하고 있는 실정이다. LNG 발전소의 연료 구성은 LNG와 경유를 사용하고 있으며 현재 LNG 발전의 경우 시험 운영중에 있다.

2.2 목적(비용)함수의 구성

제안한 알고리즘에서의 목적함수는 비용에 관여하는 인자들으로써 현재시점(t)에서 경제운용하고자 하는 시점(사용자가 관심있는 시간, t+1)사이 에 대한 증감분 비용을 목적함수로 정의하였다. 위에서 언급한 연료 중 부생가스의 경우 고로에서, 제강공정에서 자연히 발생되므로 실제로 발전기의 출력을 내기 위해 사용되는 비용에 관여한 인자로는 중유를 들 수 있다. 따라서 실제 비용함수를 구성하는 경우 제안한 연구에서는 중유에 대한 부분을 비용함수에 삽입하였고, LNG 발전의 경우 발전기 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.

2.3 정식화

언급한 바와 같이 현재 시점(t)에서 경제 운용하고자 하는 시점(t+1)사이 에 대해 비용함수의 증감분을 목적함수로 정하고 목적함수의 구성은 발전(가스, LNG) 비용과 수전, 역송 비용으로 구성하였다. 여기서 한전으로부터의 수전 비용이 존재할 경우 제철소에서 한전으로의 역송 비용은 0가 되며 그 반대의 경우에도 성립을 하며, 대체적으로 수전을 받는 경우가 역송을 하는 경우에 비해 현저히 많으므로 정식화 과정에서 역송의 경우 ()를 취하였으며, 또한 역송의 경우는 제철소에서 한전으로 보내는 전력이기 때문에 비용 측면에서는 플러스요인이므로 비용함수의 구성에서 (-)를 취하였다.

$$\text{Minimize } \Delta C_{t+1} \tag{1}$$

where

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

and

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

가스 발전의 경우 현재 시점에서 과거 5분간 매 5초 마다의 출력과 중유의 실적율 토대로 하여 중유 단가와 함께 비용함수의 일부로 제안하였다. 즉, 가스 발전 비용은 단위 출력에 대한 중유 증감분을 과거의 실적에서 구한 후, 중유 단가와 함께 현재 시점에서 경제 운용하고자 하는 시점사이의 출력 증감분을 이용하여 구하였다.

$$\Delta F_{GAS} = \sum_{t=1}^{N_t} IC_{AVG}^G \Delta P_{t+1}^G C_O(t) \tag{4}$$

where

$$IC_{AVG}^G = \sum_{i=1}^{T_N} \frac{IC_i^G}{N_T} \tag{5}$$

and

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

여기서 첨자 i는 현재 시점에서 과거 5분을 5초 간격으로 나는 어느 시점을 의미한다.

LNG 발전의 경우 출력에 따른 단가 비용함수를 이용하였으며 식 (7)과 같다.

$$\Delta F_{LNG} = \sum_{t=1}^{N_t} [a_4 \Delta P_{t+1}^{LNG 4} + a_3 \Delta P_{t+1}^{LNG 3} + a_2 \Delta P_{t+1}^{LNG 2} + a_1 \Delta P_{t+1}^{LNG} + a_0] \tag{7}$$

수전, 역송 전력의 경우 월, 시간대에 따른 단가를 이용하여 구할 수 있다.

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

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

각각의 비용함수를 이용하여 목적함수를 제안을 하였으며 여기에 따르는 제약조건들은 다음과 같다.

A. 전력수급 평형 제약조건

$$\sum_{t=1}^{N_t} \Delta P_{t+1}^G + \sum_{t=1}^{N_t} \Delta P_{t+1}^L + \Delta P_{t+1}^R - (\Delta P_{t+1}^S) = \Delta PD_{t+1} \tag{10}$$

B. 발전기 상·하한 출력

$$P_{\min}^G \leq P_t^G + \Delta P_{t+1}^G \leq P_{\max}^G \tag{11}$$

C. 수전 전력 제약조건

$$\Delta P_{RS} \leq \Delta P_{Max}^{Kepto} \tag{12}$$

where

$$\Delta P_{RS} > 0 \text{ then } \Delta P_{RS} = \text{수전전력} \tag{13}$$

$$\text{otherwise } \Delta P_{RS} = \text{역송전력}$$

표 1 수식 기호 정의

Table 1 The definition of equation symbol

기호	설명
$t, t+1$	현재 시점, 경제 운용을 수행하고자 하는 시점
ΔC_{t+1}	t와 t+1동안의 총 증감분 비용
$\Delta f_{t+1}^G, \Delta f_{t+1}^R, \Delta f_{t+1}^S$	t와 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 총시간 개수-1
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}^{Kepeco}	15분 수전 전력 최대값
ΔP_{RS}	수전, 역송 전력에 대한 임시 변수
$\Delta Load_{t+1}$	t 와 t+1 동안의 부하 증가량

2.4 제안한 알고리즘

실시간 경제운용에 관한 진화 프로그래밍 알고리즘을 그림 1에 제시하였다. 간략하게 설명하면 먼저 구하고자 하는 개체를 각각의 가스, LNG 발전력과 수전(역송)전력으로 하여 벡터를 구성하여 초기화 과정을 수행한다. 초기화 과정에서 수전전력이 음(-)일 경우에는 수전전력은 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 시킨다음 부모 개체와 마찬가지로 비용함수를 이용하여 각각의 개체 적합도 값을 구한다. 그런후 부모 개체와 후손 개체와의 경쟁을 통하여 다음 세대(Generation)의 부모 개체를 선택한다음 위의 과정을 주어진 최대 세대(Max Generation)까지 반복한다. 세부적인 사항을 단계별로 언급하였다.

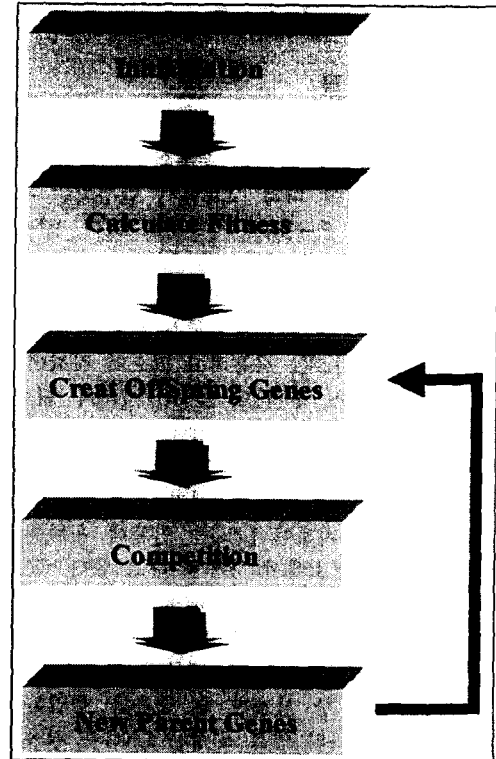


그림 1 EP의 알고리즘
Fig. 1 The Algorithm of EP

STEP1. Initialization(초기화 과정)

구하고자 하는 변수, 즉, GAS, LNG, ST(LNG 발전기의 일종) 발전기들의 출력과 수전(or 역송 전력)을 개체로 표현한 다음 각각의 개체에 주어지는 상·하한 제약조건 내에서 식 (14)과 같이 임의로 초기화 한다.

$$P = P_{Min} + R \times (P_{Max} - P_{Min}) \quad (14)$$

초기화가 실행 후의 개체의 형태는 그림 2와 같고 수전(역송전력)은 전력 수급 균형 제약조건에 의해 주어진 부하에서 배분된 발전기들의 출력의 합을 뺀 양으로 한다.

GT1 ~ GT8	LNG1, LNG2	ST	KEPCO (SEND)
Gas 발전기 출력	LNG 발전기 출력	ST 발전기 출력	수전(역송 전력)

그림 2 개체의 구현
Fig. 2 The implement of gene

초기화 과정이 만족된 해를 부모 개체(Parents Genes)라 하며 위의 개체수를 해의 집단(Popsize)만큼 발생을 시킨다.

STEP2. Calculate Fitness(적합도 계산 과정)

적합도(Fitness)는 목적(비용)함수의 값을 의미하며 정식화 과정에서의 수식들을 이용하여 초기화된 개체의 비용함수의 값을 구한다.

STEP3 Creat OffSpring Genes(후손 개체 생성 과정)

각각의 부모개체에 Gaussian Random Variable 값을 더하여 후손 개체를 생성한다. $N(0, \sigma^2)$ 은 평균값이 0 이고 표준편차값이 σ 인 확률 분포곡선을 의미한다.

$$P^{Off} = P^{Pa} + N(0, \sigma^2) \quad (15)$$

$$\sigma_s = \beta \times \frac{f_s}{f_{min}} (P_{s,Max} - P_{s,Min}) \quad (16)$$

초기화 과정과 마찬가지로 부모 개체 생성(Initialization) 시의 동일 제약조건들을 만족해야 하며 Popsiz에 만큼의 후손 개체를 생성한다. 역시 생성된 후손 개체들에 대해서도 적합도를 계산하여야 한다.

STEP4 Competition(개체간의 경쟁), New Parents Genes(새로운 부모 개체)

2 * Popsiz 개체의 부모, 후손 개체들 중에서 서로간의 경쟁을 통하여 개체 각각에 대하여 점수 부여하여 부여된 점수가 높은 Popsiz 개체의 개체가 다음 세대의 부모 개체로 되고 STEP 3, 4 과정을 주어진 세대수만큼 반복한다. 그림 3과 같이 각 개체의 점수 부여는 각각의 개체의 계산된 비용함수값으로써 경쟁을 하며 비용이 작은 개체가 비용이 큰 개체와 경쟁했을 때 비용이 작은 개체에 점수를 +1을부여하는 방식으로 되어 있으며 이 과정을 부모, 후손 전 개체에 대하여 실행한다.

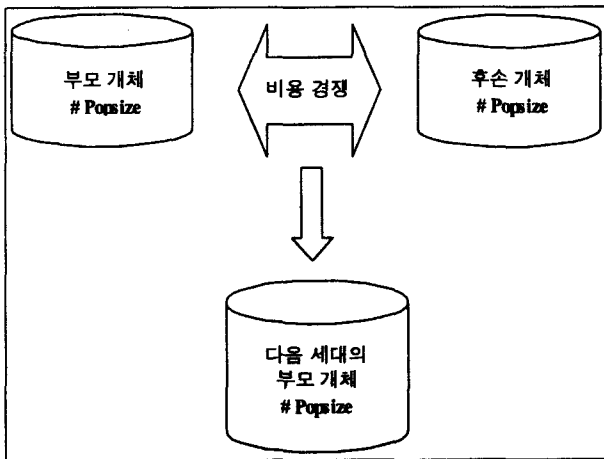


그림 3 개체간의 경쟁
Fig. 3 The competition of genes

2.5 사용자 인터페이스

사용자 인터페이스는 Visual Basic을 이용하여 그림 2와 같이 나타내었다. 그림에서 현재치는 각각의 발전기의 현재 출력 값을 나타내며 사용자가 경제운용을 하고 싶은 시간은 그림에서 현재치 옆의 15분 컨트롤 란에 사용자가 직접 입력을 하는 방식으로 이루어져 있다. 왼쪽 란은 부하 예측의 결과 값을 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 현재의 발

전기 출력값과 각각의 사용연료에 대한 실측값은 실적 데이터베이스와 연계하여 각각의 값을 MMI를 통하여 화면에 표현된다. 언급한 화면에서의 실측값과 제안한 알고리즘의 수행결과 값은 매 1분을 주기로 업데이트가 되는 것으로 하였다.

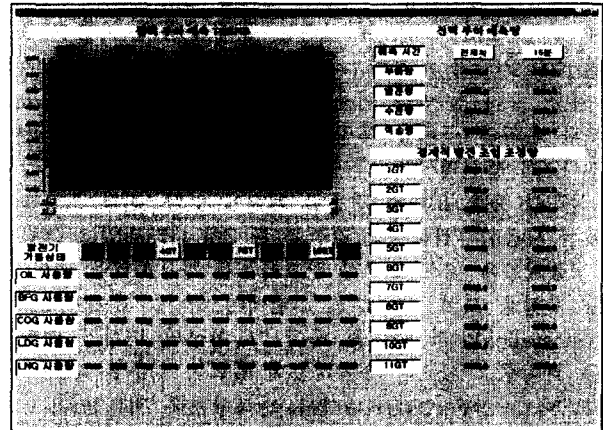


그림 4 MMI 운전화면
Fig. 4 The MMI Operation Monitor

2.6 실시간 경제운용의 구성

제철소 계통에 대한 실시간 경제운용을 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 되어지고 이 값을 이용하여 경제운용에 대한 알고리즘이 수행이 되고 그 결과값은 다시 결과 데이터베이스에 저장되어 최종적으로 위에서 언급한 MMI 화면에 표현이 된다.

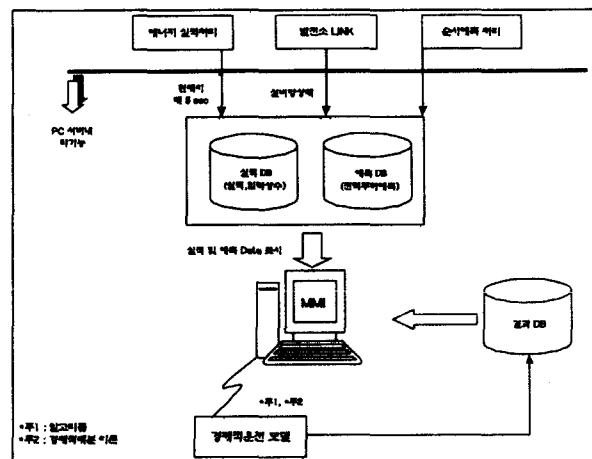


그림 5 경제운용의 구성
Fig. 5 The Components of Economic Operation

3. 사례 연구

제안한 알고리즘으로써 제철소내의 샘플계통에 대해 시뮬레이션을 수행하여 보았다. 현재 제철소의 모든 실측값의 데이터베이스 작업이 완성되는 대로 정확한 실측값을 이용하여 제안한 알고리즘을 이용한 결과를 정확하게 비교할 계획에 있다. 우선 사례 연구에서는 경제 운용에 대한 제철소내의 실측값(중유 사용량, 가스 발전기의 정격, LNG 발전기의 계수, 부하 등)만을 이용하여 제안한 알고리즘의 수렴성 여부와 온라인 구현에 대한 시간적인 측면을 보고자 한다. 향후 LNG 발전의 정상 운전 상황, 수전, 역송 전력의 정확한 실측값 등을 토대로 검증할 계획에 있다. 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 없고 온라인 구현에 충분히 적합하다는 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

Table 2 The parameters of EP

개체 수	세대 수	스케일 상수 (β)
30	1500	0.005

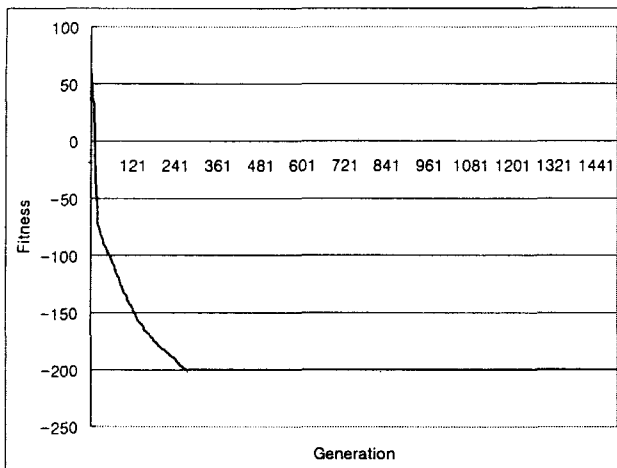


그림 6 수렴 특성 곡선
Fig. 6 The Convergence Characteristic Curve

그림 5에 샘플계통에서 실제로 측정된 부하, 각각의 발전기의 출력값과 수전, 역송 전력과 제안한 알고리즘에 대한 결과값들을 막대그래프를 이용하여 비교해보았다. 가로축의

숫자에 대한 인자는 표 3과 같다. 단, 모든 인자의 값은 현재 시점을 기준으로 경제운용하고자 하는 시점사이의 증감분값을 의미한다.

표 3 그림 5의 가로축의 숫자값의 의미

Table 3 The meaning of horizontal axis of Fig. 5

1	2	3	4	5 ~ 12	13 ~ 15
부하	전체 발전기의 출력의 합	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 경제적 운용인 단가비교와 경험치에 의한 경제적인 운용이 제안한 알고리즘과는 차이가 있다는 것을 알 수 있다.

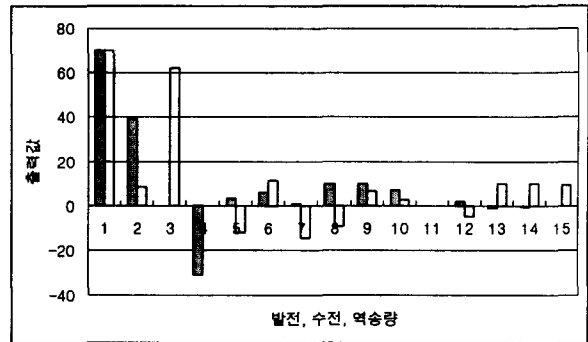


그림 7 제안한 결과와 제철소 실적 비교
Fig. 7 The Comparison Between Proposed Algorithm and Steel Works's Achievement

4. 결론

본 논문에서는 광양제철소내의 계통에 대하여 실시간 경제 운용 프로그램을 개발하였다. 기존의 경제운용과는 달리 비용함수가 없는 부분에 대하여 실제 비용이 들어가는 인자들으로써 새로운 비용함수를 제안하였다. 또한, 제철소내의 경제운용에 대한 정식화와 더불어 알고리즘을 제안하여 그 결과를 샘플계통에 대해 적용을 하였고 그 결과 기존의 발전계획을 크게 변형하지 않으면서 결과를 도출해 낼 수 있었다. 한편, 기존의 진화연산의 단점인 장 시간적인 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 이용할수 있는 장점도 가지고 있다. 중유 사용량을 토대로 한 알고리즘과 결과를 토대로 향후, 실제로 구현되는 과정에서 나올 수 있는 문제점의 검토와 제철소내의 불규칙하게 발생하는 부생가스, LNG 발전에 대한 연구를 통해 제안한 알고리즘을 보완할 계획에 있다.

참 고 문 헌

- [1] David B. Fogel and Lawrence J. Fogel, "Guest Editorial Evolutionary Computation", IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 5, No. 1, pp. 1-14, January 1994.
- [2] David B. Fogel, "An Introduction to Simulated Evolutionary Optimization", IEEE TNN, Vol. 5, No. 1, pp. 3-11, 199
- [3] Zbigniew Michalewicz, "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs", Springer-Verlag, Third. Revised and Extended Edition. 1995.
- [4] Baeck, Thomas, "Evolutionary Algorithms in Theory and practice : Evolution Strategise, Evolutionary Programming", Madison Avenue, NY, 1996
- [5] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, "Power Generation, Operation, and Control", John Wiley and Sons, New York, 1996.
- [6] IJNAGRATH, DPKOTHARI, "Power System Engineering", Tata McGraw-Hill Publishing Company, 1994, pp. 273-338.
- [7] M. E. El-Hawary and G.S. Christensen, "Optimal Economic Operation of Electric Power Systems", Academic Press, New York, 1979.
- [8] 포항종합제철주식회사, 광양제철소, "발전송풍 운전교재", 1986. 11.

저 자 소 개



김재철 (金宰徹)
 1972년 1월 2일 생. 1995년 경북대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사) 1997년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정
 Tel : 053-950-5602, Fax : 053-950-6600
 E-mail : kjc@palgong.knu.ac.kr



백영식 (白榮植)
 1950년 7월 8일 생. 1974년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1977년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1977년 명지대 공대 전기공학과 조교수. 현재 경북대 전자전기공학부 교수.
 Tel : 053-950-5602
 E-mail : ysbaek@bh.kyungpook.ac.kr



이희준 (李喜春)
 1989년 2월 영남대 전기공학과 졸업. 1989년 1월 포항제철 광양제철소 입사. 1989년 3월~1997년 1월 광양제철 전기제어설비부내 에너지제어 시스템 개발 및 운영. 1997년 1월~1999년 1월 영국 strathclyde 대학 전기공학과 졸업(MPhil). 1999년 1월~현재 광양제철 전기제어설비부내 에너지제어 시스템 개발 및 운영.