

산업체 열병합발전시스템에서 최적운전계획 수립을 위한 진화 알고리즘을 이용한 GUI System 개발

論 文
51A-11-2

A Development of GUI System for Optimal Operational Scheduling on Industrial Cogeneration Systems Using Evolutionary Algorithms

鄭知勳* · 李鍾範**
(Ji-Hoon Jeong · Jong-Beom Lee)

Abstract - This paper describes a strategy of a daily optimal operational scheduling on the industrial cogeneration system. The cogeneration system selected to establish the scheduling consists of three units and several auxiliary devices which include three auxiliary boilers, two waste boilers and three sludge incinerators. One unit generates electrical and thermal energy using the back pressure turbine. The other two units generate the energy using the extraction condensing turbine. Three auxiliary devices operate to supply energy to the loads with three units. The cogeneration system is able to supply enough the thermal energy to the thermal load, however it can not sufficiently supply the electric energy to the electrical load. Therefore the insufficient electric energy is compensated by buying electrical energy from utility. In this paper, the evolutionary algorithms was applied to establish the optimal scheduling for the cogeneration systems. Also the GUI System was developed using established mathematics modeling and evolutionary algorithms in order that non-experts are able to establish operational scheduling. This results reveal that the proposed modeling and strategy can be effectively applied to cogeneration system for paper mill.

Key Words : Cogeneration systems, Optimal operational scheduling, Auxiliary devices, Back pressure turbine, Extraction condensing turbine, Evolutionary algorithms

1. 서 론

일반적으로 기존 화력발전소의 발전효율은 30-40% 정도인데 비해서 열병합발전시스템의 총 에너지 이용효율은 80-85% 정도로 대부분의 에너지 자원을 외국에 의존하는 우리나라의 경우에 열병합발전시스템은 효율적인 에너지 이용 측면 뿐만 아니라 대기 환경문제에 대응하기 위해서 매우 중요한 발전 및 열공급 시스템이라고 할 수 있다.

지금까지의 열병합발전시스템에 관한 연구는 주로 산업용 열병합발전시스템의 모델링이나 최적화기법 및 AI 기법을 이용한 최적운전기법에 관한 연구가 주를 이루고 있으며, 열병합발전시스템의 건설을 고려한 경제적 타당성 검토나 특정 설비의 초기 설치시 용량 선정 등이 주를 이룬다[1]~[5].

그러나 국내 산업체의 열병합발전시스템은 열수요에 따라 공정에 필요한열을 공급하는 동시에 전기출력 및 전력회사로부터의 구매전력을 운전자의 경험에 의해 적절히 조정하여 운전되고 있다. 따라서 보다 저렴한 비용으로 열에너지 및 전기에너지를 얻기 위해서는 일정기간(일간, 주간) 동안의 열출력 및 전기출력을 시간대별로 적절하게 배분시킬 수 있는 열병합발전시스템 운전기법이 절실하게 요구되고 있으며, 공정열의 침투부하와 전력의 침투부하는 시점에서는 열출력 및 전기출력 뿐만 아니라 전력회사로부터의 구매전력까지 고

려하여 적정하게 배분할 수 있는 열병합발전시스템 최적운전 기법이 필요하다[6].

따라서 본 논문에서는 효율적인 에너지 이용을 위해 실제 운전중인 열병합발전시스템을 대상으로 열병합발전시스템 및 각종 보조설비들의 열출력과 전기출력 특성을 고려하여 각 설비들의 수리모델을 수립하였으며, 수리모델이 비선형 특성을 가지고 있으므로 최적운전계획 수립을 위하여 여러 최적화기법중 공간 탐색능력이 뛰어난 진화알고리즘을 이용하였다[7]~[9].

또한 비전문가도 컴퓨터의 그래픽적 지시에 따라 각종 파라미터의 입력만으로 익일의 운전계획이 출력되도록 윈도우 프로그래밍 기법중 GUI(Graphic User Interface) 환경을 갖는 GUI System을 개발하였다[10][11].

본 논문에서 개발한 GUI System은 열병합발전시스템에 대한 아무 지식도 없는 비전문가라도 GUI System에서 제시하는 대로 하기만 하면 간편하게 최적운전계획을 수립할 수 있도록 하였다. 또한 본 논문에서 제안한 열병합발전시스템의 수리모델과 최적운전 기법을 실제 산업현장에 적용할 경우 기존 열병합발전시스템의 운전에 비해 에너지 이용효율 향상에 따른 운전비용의 절감을 가져올 수 있을 것으로 사료된다.

2. 열병합발전시스템

2.1 모델개요

본 논문에서 대상으로 한 열병합발전시스템은 각각 서로 다른 용량과 운전특성을 갖는 1기의 배압터빈과 2기의 추기

* 準 會 員 : (株) 三千里 技術營業팀

** 正 會 員 : 圓光大 電氣電子 및 情報工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2001年 10月 27日

最終完了 : 2002年 10月 2日

2.3.2 전기부하 제약

전기부하는 열병합발전시스템에서 생산된 전기출력과 전력회사로부터 구매전력의 합과 같으며 식 (11)에 나타났다.

$$E_{load}(k) = E_{buy}(k) + \sum_{i=1}^3 E_{coi}(k) \quad (11)$$

2.3.3 전기출력 제약

전기출력은 배압터빈의 경우 식 (12)와 같이 터빈에 유입되는 증기량과 터빈 입출구 증기 엔탈피 차의 곱으로 표현할 수 있다. 추기복수터빈의 경우 생산되는 전기출력은 식 (13)과 같이 고압터빈에서의 전기출력과 저압터빈에서의 전기출력을 합한 값으로 나타낼 수 있다.

(1) $i = 1$: 배압터빈 ($j = 12$)

$$E_{coi}(k) = a_j + b_j \cdot H_{coi}(k) \cdot (h_{co} - h_{pro}) \cdot \frac{1}{860} \quad (12)$$

(2) $i = 2, 3$: 추기복수터빈 ($j = 13, 14$)

$$E_{coi}(k) = a_j + [b_j \cdot H_{coi}(k) \cdot (h_{co} - h_{pro}) + c_j \cdot H_{coni}(k) \cdot (h_{pro} - h_{con})] \cdot \frac{1}{860} \quad (13)$$

2.3.4 출력 상하한 제약

열병합발전시스템 및 보조설비들은 각 설비들의 정격용량 이상으로 출력할 수 없으며 추기복수터빈방식의 2번, 3번 열병합발전시스템의 경우 저압터빈의 날개 부식 및 손상을 방지하기 위하여 저압터빈은 정지하지 않고 항상 최소출력 이상 운전을 하여야 한다.

따라서 열병합발전시스템, 보조보일러, 슬러지 소각로 및 펄열보일러의 열출력 상하한값을 아래 식 (14) ~ 식 (17)에 나타내었으며, 저압터빈으로 보내지는 최소 증기량 제약을 식 (18)과 같이 나타내었다

$$H_{coi}^{\min} \leq H_{coi}(k) \leq H_{coi}^{\max} \quad (14)$$

$$H_{abi}^{\min} \leq H_{abi}(k) \leq H_{abi}^{\max} \quad (15)$$

$$H_{Sfi}^{\min} \leq H_{Sfi}(k) \leq H_{Sfi}^{\max} \quad (16)$$

$$H_{ubi}^{\min} \leq H_{ubi}(k) \leq H_{ubi}^{\max} \quad (17)$$

$$H_{coni}^{\min} \leq H_{coni}(k) \leq H_{coni}^{\max} \quad (18)$$

또한 열병합발전시스템에서 출력할 수 있는 최대 최소량의 전기출력 제약을 식 (19)와 같이 나타내었으며 전력회사로부터 전기의 구매는 가능하지만 판매는 할 수 없도록 식 (20)과 같이 나타내었다.

$$E_{coi}^{\min} \leq E_{coi}(k) \leq E_{coi}^{\max} \quad (19)$$

$$E_{buy}(k) \geq 0 \quad (20)$$

3. 진화 알고리즘

진화알고리즘(Evolutionary Algorithms)은 현재까지 알려진 최적화 알고리즘중 전역탐색 능력이 가장 뛰어난 알고리즘으로 생물은 유전에 의하여 자신을 닮은 자손을 낳는다는 생물학적 유전현상과 환경에 적응하는데 유리한 우성인자를 갖는 개체가 생존력이 더 높다는 자연계의 진화현상에 근거를 두고 있다.

진화알고리즘은 염색체를 표현하는 방법과 연산자의 종류에 따라 크게 유전알고리즘, 진화 프로그래밍 그리고 진화전략으로 나눌 수 있으며 본 논문에서 열병합발전시스템의 최적운영계획 수립을 위해 진화 알고리즘중 진화 프로그래밍을 사용하였다. 수립된 목적함수와 제약조건을 진화 프로그래밍에 적용하기 위해 일반화하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

목적함수 : $\min F(x_i) \quad (i = 1, 2, \dots, pop_size)$

제약조건 : $g_j(x_i) \geq 0 \quad (1 \leq j \leq J)$

여기서, $F: R^n \rightarrow R$, $g_j: R^n \rightarrow R \quad (1 \leq j \leq J)$ 이고 J 는 제약 조건의 수를 나타내며 pop_size 는 개체군의 크기를 나타낸다. 진화알고리즘은 다음과 같은 과정을 수행한다.

3.1 초기화(Initialization)

각 개체는 목적함수의 변수가 된다. 초기화 과정에서는 각 개체가 처음부터 유효영역 내에서 발생하도록 하기 위하여 제약조건 내에서 개체 x_i 를 랜덤하게 산출하였으며, 계산 시간과 정확도를 높이기 위하여 각 개체를 실수코딩 하였다.

3.2 적합도(Fitness)평가

적합도 평가시 가장 적합도가 큰 개체가 다음세대에 선택될 확률이 크도록 하여 우성 개체를 보존시키도록 하였다. 본 논문에서 최적화는 최소화 문제가 되기 때문에 식 (21)과 같이 적합도를 평가하였다.

$$eval(x_i) = \frac{1}{F(x_i)} \quad (21)$$

3.3 선택(Selection)

선택과정은 적합도에 비례하는 룰렛휠 선택(Roulette Wheel Selection)을 사용하였다. 룰렛휠 Selection은 다음과 같이 구성된다.

- 가. 개체집단의 총 적합도를 계산한다.
- 나. 각 개체 x_i 에 대한 선택확률 p_i 를 계산한다.
- 다. 각 개체 x_i 에 대한 누적확률 q_i 를 계산한다.
- 라. 범위 $[0, 1]$ 내에서 난수 r 을 발생한다.
- 마. 만일 $r < p_1$ 이면 첫 번째 염색체를 선택하고 그렇지 않으면 $q_{i-1} < r \leq q_i$ 인 i 번째 개체 $x_i \quad (2 \leq i \leq pop_size)$ 를 선택한다.

3.4 돌연변이(mutation)

돌연변이는 돌연변이 확률만큼 랜덤한 변화를 일으켜 돌연변이로 선택된 개체를 다른 값으로 바꾸는 국소적 랜덤탐색의 일종이다. 돌연변이를 과정을 통하여 집단에서 잃어버린 우수한 개체의 형질을 복구하여 다양성을 유지하기 위한 수단으로 사용된다. 돌연변이 과정은 무작위하게 돌연변이 지점을 선택한 후 지정된 돌연변이 가능성($p_m = 0.03$)에 따라 그 회수만큼 비균등(non-uniform)돌연변이를 하였으며, 돌연변이 실행시 다음세대가 유효영역 밖으로 나가지 못하도록 제약을 두었다. 돌연변이 과정은 다음과 같다.

- 가. 범위 $[0, 1]$ 내에서 난수 r 을 발생한다.
- 나. 만일 $r < p_m$ 이면 그 개체를 돌연변이 한다.
- 다. 돌연변이 된 개체가 유효영역 밖에 있으면 위 과정을 반복한다.

4. 최적운전계획 수립

본 논문에서 대상으로 한 열병합발전시스템은 실제 운전중인 A산업체 열병합발전시스템의 운전실적을 기초로 입력자료를 구성하여 매 시간마다의 운전계획을 수립하였다. 전기 구매단가는 여러 유형의 전기 구매단가중 '산업용 전력 병'을 구매 단가로 사용하였으며 계절은 봄·가을철로 설정하였다.

표 1 열병합발전시스템의 입력 데이터 (1)
Table 1 Input data of cogeneration systems (1)

구매단가 : [천원/MW], 열부하 : [ton/h], 전기부하 : [MW/h]

시간대 (k)	1	2	3	4	5	6	7	8
	24h ~01h	01h ~02h	02h ~03h	03h ~04h	04h ~05h	05h ~06h	06h ~07h	07h ~08h
구매단가	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2
열부하	371	362	365	370	372	370	374	370
전기부하	106.8	108.9	108.8	111.1	109.4	110.1	110.9	110.1
시간대 (k)	9	10	11	12	13	14	15	16
	08h ~09h	09h ~10h	10h ~11h	11h ~12h	12h ~13h	13h ~14h	14h ~15h	15h ~16h
구매단가	45.8	45.8	62.3	62.3	45.8	45.8	62.3	62.3
열부하	388	383	385	381	375	375	380	371
전기부하	114.8	115.2	111.9	109.3	115.3	114.6	111.1	109.9
시간대 (k)	17	18	19	20	21	22	23	24
	16h ~17h	17h ~18h	18h ~19h	19h ~20h	20h ~21h	21h ~22h	22h ~23h	23h ~24h
구매단가	62.3	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8	29.2	29.2
열부하	371	371	366	358	366	365	368	362
전기부하	108.9	108.9	107.1	106.9	107.7	110.2	109.8	105.9

또한 진화 알고리즘을 이용한 운전계획 결과와 실제 산업체 운전 결과를 비교하기 위하여 실제 운전했던 데이터를 열부하와 전기부하로 하였다. 표 1과 표 2는 열병합발전시스템의 입력데이터를 나타낸 것이다.

표 2 열병합발전시스템의 입력데이터 (II)
Table 2 Input data of cogeneration systems (II)

a_1	-128.6	a_2	-228.6	a_3	-67.31	a_4	49.19	a_5	51.78
a_6	41.42	a_7	3.37	a_8	-3.37	a_9	-3.37	a_{10}	-3.88
a_{11}	7.77	a_{12}	0.17	a_{13}	1.96	a_{14}	-2.93	b_1	22.47
b_2	24.21	b_3	20.01	b_4	36.74	b_{11}	34.75	b_6	38.73
b_7	5.96	b_8	6.21	b_9	5.44	b_{10}	4.14	b_5	3.63
b_{12}	0.14	b_{13}	0.13	b_{14}	0.15	c_1	0.05	c_2	-0.04
c_3	-0.01	c_4	0.42	c_5	0.68	c_6	0.27	c_{13}	0.30
c_{14}	0.31	H_{col}^{min}	0	H_{col}^{min}	0	H_{col}^{min}	0	H_{col}^{max}	82
H_{col}^{max}	130	H_{col}^{max}	130	H_{abl}^{min}	0	H_{abl}^{min}	0	H_{abl}^{min}	0
H_{abl}^{max}	50	H_{abl}^{max}	30	H_{abl}^{max}	120	H_{SI}^{min}	0	H_{SI}^{min}	0
H_{SI}^{min}	0	H_{SI}^{max}	15	H_{SI}^{max}	25	H_{SI}^{max}	30	H_{wbl}^{min}	0
H_{wbl}^{min}	0	H_{wbl}^{max}	18	H_{wbl}^{max}	25	H_{con2}^{min}	3	H_{con2}^{min}	20
H_{con2}^{max}	30	H_{con3}^{max}	100	E_{col}^{min}	0	E_{col}^{min}	0	E_{col}^{min}	0
E_{col}^{max}	11.5	E_{col}^{max}	23.2	E_{col}^{max}	32.4	ϵ_{ut}	0.98	h_{co}	802.2
h_{con}	614.5	h_{pro}	658.1	N	24				

4.1.1 최적운전계획 결과 고찰 및 분석

열병합발전시스템의 기본 입력자료를 바탕으로 하여 수립된 수리모형과 제약조건에 진화 알고리즘을 적용하여 시물레이션한 일간 운전계획 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3 열병합발전시스템의 일간 운전계획 결과
Table 3 Daily operation scheduling results of cogeneration systems

시간대 (k)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	24h ~01h	01h ~02h	02h ~03h	03h ~04h	04h ~05h	05h ~06h	06h ~07h	07h ~08h	08h ~09h	09h ~10h	10h ~11h	11h ~12h
H_{col}	82	82	82	82	82	82	82	82	82	80	82	82
H_{col2}	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
H_{col3}	72	62	66	70	72	70	75	70	127	122	126	122
H_{pro2}	125	125	125	125	125	125	125	125	117	122	117	119
H_{pro3}	51	42	45	50	52	50	55	50	76	68	74	68
H_{con2}	5	5	5	5	5	5	5	5	13	8	13	11
H_{con3}	21	20	21	20	20	20	20	20	51	54	52	54
H_{abl}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H_{abl2}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H_{abl3}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H_{SI}	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	15	15
H_{SI2}	25	25	25	25	25	25	24	25	25	25	24	24
H_{SI3}	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
H_{wbl}	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
H_{wbl2}	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
E_{buy}	60	64	63	65	63	64	64	64	48	50	45	43
E_{col}	11.61	11.61	11.61	11.61	11.61	11.61	11.61	11.61	11.61	11.61	11.33	11.61
E_{col2}	20.62	20.62	20.62	20.62	20.62	20.62	20.62	20.62	22.96	21.50	22.96	22.37
E_{col3}	14.52	12.69	13.61	13.91	14.21	13.91	14.67	13.91	32.18	32.35	32.34	32.35

시간대 (k)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	12h ~13h	13h ~14h	14h ~15h	15h ~16h	16h ~17h	17h ~18h	18h ~19h	19h ~20h	20h ~21h	21h ~22h	22h ~23h	23h~ 24h
H_{col}	81	82	82	82	82	82	82	82	82	81	82	82
H_{ca2}	130	130	129	129	130	130	129	130	130	130	130	130
H_{ca3}	116	118	124	117	116	116	114	105	112	109	68	62
H_{pr2}	122	117	115	115	117	117	115	118	118	121	125	125
H_{pr3}	59	63	71	61	59	59	56	45	53	50	48	42
H_{con2}	8	13	14	14	13	13	14	12	12	9	5	5
H_{con3}	57	55	53	56	57	57	58	60	59	59	20	20
H_{abl}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H_{abl2}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H_{abl3}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H_{sl1}	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
H_{sl2}	25	25	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25
H_{sl3}	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
H_{abl}	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
H_{abl2}	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
E_{buy}	50	48	44	43	42	42	40	41	41	45	64	61
E_{col}	11.47	11.61	11.61	11.61	11.61	11.61	11.61	11.61	11.61	11.47	11.61	11.61
E_{ca2}	21.50	22.96	23.12	23.12	22.96	22.96	23.12	22.67	22.67	21.79	20.62	20.62
E_{ca3}	32.37	32.05	32.35	32.21	32.37	32.37	32.37	31.63	32.38	31.92	13.61	12.69

진화알고리즘을 이용하여 시뮬레이션 한 결과 세대를 거치면서 각 시간대마다 목적함수가 최소가 되는 값으로 수렴되는 결과를 얻을 수 있었다. 그중 한 예로 12번째 시간대의 운전비용 수렴과정을 살펴보면 진화알고리즘 시작과 동시에 급격히 수렴되었으며 세대수가 증가할수록 매우 미소한 수렴값의 변화가 나타났다. 그림 2는 전체 세대수 100,000세대 중 10,000번째 세대수까지의 수렴곡선을 나타낸 것이다.

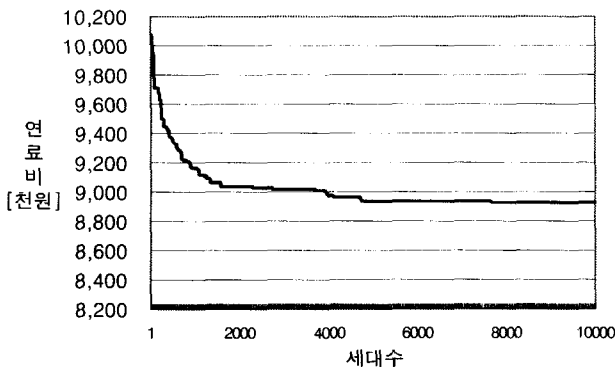


그림 2 진화알고리즘의 수렴과정
Fig. 2 Convergence process of evolutionary algorithms

그림 3은 열병합발전시스템의 열출력 계획을 나타낸 것이며 그림 4는 열병합발전시스템의 전기출력 계획을 나타낸 것이다.

1번 열병합발전시스템과 2번 열병합발전시스템은 거의 최대에 가깝게 운전하여 열부하를 충족하고 난 뒤 모자라는 열부하는 운전비용이 많이 드는 3번 열병합발전시스템에서 공

급하는 것으로 나타났다. 한편 2번 열병합발전설비는 복수기 용량이 작고 3번 발전기에 비해 운전비용이 적게 들기 때문에 열출력 위주로 운전을 하며, 3번 열병합발전설비는 복수기 용량이 크고 2번 발전기에 비해 운전비용이 많이 들기 때문에 전기구매단가가 저렴한 23번~9번 시간대에는 열출력 위주로 운전하고 전기 구매단가가 비싼 9번~22번 시간대에는 최대한 전기를 생산하여 전기출력 및 열출력의 유연성 있는 조절을 하는 것으로 나타났다.

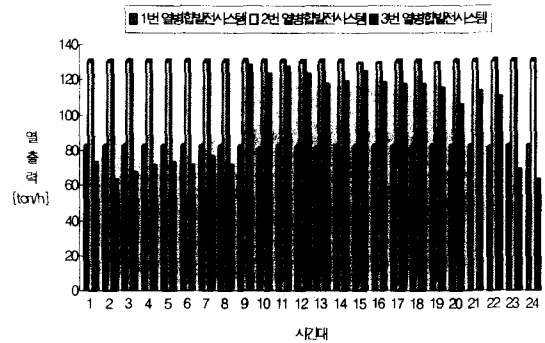


그림 3 열병합발전시스템의 열출력 계획
Fig. 3 Thermal output scheduling of cogeneration systems

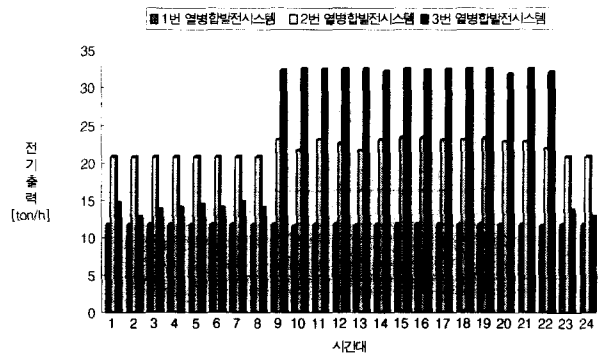


그림 4 열병합발전시스템의 전기출력 계획
Fig. 4 Electrical output scheduling of cogeneration systems

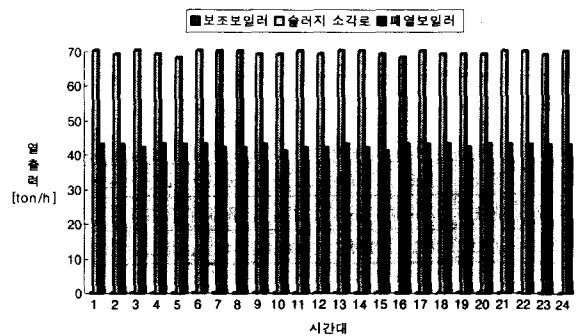


그림 5 각 보조설비들의 열출력 계획
Fig. 5 Thermal output scheduling of auxiliary devices

그림 5는 보조설비들의 열출력 계획을 나타낸 것이다. 운전비용이 적게 드는 슬러지 소각로와 폐열보일러는 모든 시간

대에서 최대 열에너지를 생산하며 보조보일러의 경우 다른 모든 설비들보다 운전비용이 많이 들기 때문에 운전을 하지 않는 것으로 나타났다.

4.1.2 효율평가

본 논문에서는 실제 운전중인 열병합발전시스템을 대상으로 운전 조건을 산업 현장과 동일하게 하여 열병합발전시스템의 최적운전계획을 수립한 결과 열병합발전시스템의 효율이 평균 10.78%로 향상되었다. 표 4는 실제 산업현장의 열병합발전시스템 운전비용과 본 논문에서 시뮬레이션한 열병합발전시스템의 운전비용을 나타낸 것이다.

표 4 실제 현장 운전비용과 시뮬레이션 결과 비교
Table 4 The comparison of actual operation cost with simulation result

시간대 (k)	실제 운전비 [천원]	simulation 결과 [천원]	효율 향상 (%)	시간대 (k)	실제 운전비 [천원]	simulation 결과 [천원]	효율 향상 (%)
1	7,480	6,845	8.46	13	8,763	8,173	6.73
2	7,299	6,732	7.76	14	8,822	8,137	7.80
3	7,432	6,781	8.76	15	9,975	8,775	12.03
4	7,543	6,917	8.30	16	9,732	8,581	11.83
5	7,538	6,897	8.50	17	9,697	7,514	12.19
6	7,466	6,887	7.75	18	8,572	7,821	8.76
7	7,556	6,984	7.57	19	8,444	7,677	9.08
8	7,446	6,887	7.75	20	8,300	7,567	8.83
9	9,012	8,303	7.86	21	8,459	7,700	8.97
10	8,907	8,271	7.14	22	8,462	7,812	7.67
11	10,105	8,890	12.03	23	7,331	6,849	6.58
12	9,853	8,690	11.81	24	7,250	6,643	8.37

5. GUI System

본 논문에서는 열병합발전시스템 분야에 대한 전문적인 지식이 없어도 매우 간편하고 쉽게 일간 최적운전계획을 세울 수 있도록 최적화 알고리즘인 진화알고리즘을 이용하여 열병합발전시스템에 대한 GUI System을 개발하였다. GUI System은 프로그램의 신뢰성, 유지보수의 용이성 등 객체지향기법의 장점을 활용하기 위하여 Visual C++을 이용하였으며 산업현장의 설비 변화에 따른 프로그램의 수정을 보다 용이하게 하기 위하여 입력클래스, 진화알고리즘 구현 클래스, 데이터 출력클래스로 각각 모듈화하여 구성하였다.

5.1 입력화면

입력화면부분은 열병합발전시스템 및 보조설비들의 운전에 필요한 연료비 계수, 출력 상하한값 그리고 전기구매단가 등을 입력하는 여러 대화상자로 구성되어 있다.

그림 6은 보조보일러의 연료비 계수와 출력 상하한값을 입력하는 과정을 나타낸 것이다.

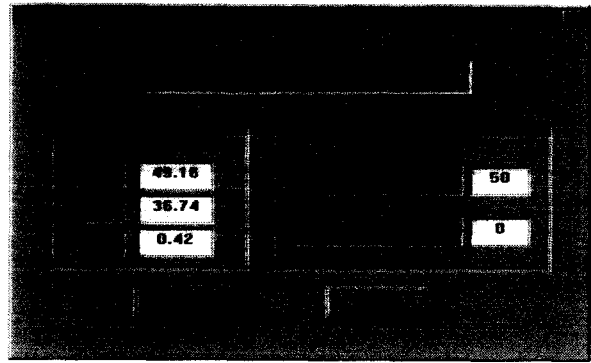


그림 6 입력 대화상자

Fig. 6 Input dialog

5.2 출력화면

GUI System에서 진화알고리즘을 이용하여 수립된 최적운전계획 결과를 출력화면을 통해 나타낼 수 있도록 하였다. 그림 7은 GUI System의 출력화면을 나타낸 것이다.

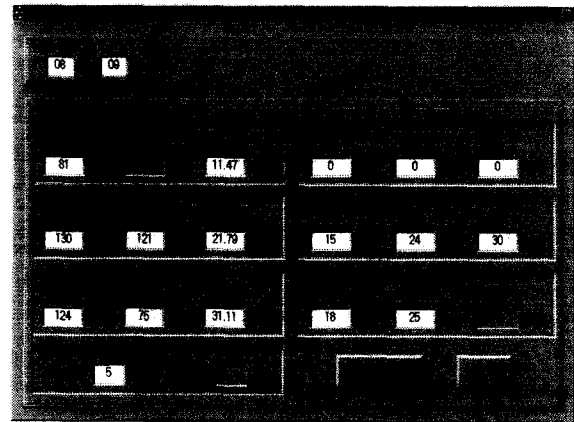


그림 7 GUI System의 출력 대화상자

Fig. 7 Output dialog of GUI System

6. 결론

본 논문에서는 산업체 열병합발전시스템을 대상으로 진화알고리즘을 이용하여 최적운전계획을 수립하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- [1] 열출력에 따라 변화하는 특성을 갖는 열병합발전시스템 및 보조설비들의 수리모델을 수립하였다.
- [2] 비선형 특성을 갖는 수리모델을 바탕으로 최적운전계획 수립을 위하여 비선형 최적화 알고리즘중 가장 수렴특성이 뛰어나며 전역적인 공간탐색능력이 뛰어난 진화알고리즘을 적용하였다.
- [3] 진화알고리즘을 적용한 최적운전 GUI System의 개발 및 적용을 통한 최적운전계획을 수립한 결과 전력회사의 전기구매단가에 따른 열병합발전시스템의 전기출력과 열출력의 운전계획을 세웠다.

- [4] GUI System 개발을 통한 운용기술의 신뢰성과 간편성을 확보하였다.
- [5] 실제 운전데이터를 이용하여 최적운전 계획을 수립한 결과 평균 10.8% 정도의 운전비용 절감효과를 가져올 수 있었다.

본 논문에서 제시한 수리모형과 최적운전계획 및 GUI System은 에너지 흐름 경로를 수정하고 알고리즘의 재 구성을 통하여 이와 유사한 산업용 열병합발전시스템에 적용 가능할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 에너지 관리공단과 원광대학교 교비의 일부지원에 의해 연구됨

수 식 기 호

- $C_{cost}(k)$: 열병합발전시스템과 보조설비들의 운전비용 [천원]
- $C_{buy}(k)$: 전력회사로부터 구매전력 비용 [천원]
- $C_{coi}(k)$: i 번째 열병합발전시스템의 운전비용 [천원]
- $C_{abi}(k)$: i 번째 보조보일러의 운전비용 [천원]
- $C_{Sti}(k)$: i 번째 슬러지 소각로의 운전비용 [천원]
- $C_{ubi}(k)$: i 번째 폐열 보일러의 운전비용 [천원]
- $E_{buy}(k)$: k 번째 시간대에서 구매전력량 [MW/h]
- $E_{coi}(k)$: i 번째 열병합발전시스템의 전기출력 [MW/h]
- $H_{coi}(k)$: i 번째 열병합발전시스템의 열출력 [ton/h]
- $H_{abi}(k)$: i 번째 보조보일러의 열출력 [ton/h]
- $H_{Sti}(k)$: i 번째 슬러지 소각로의 열출력 [ton/h]
- $H_{ubi}(k)$: i 번째 폐열 보일러의 열출력 [ton/h]
- $E_{load}(k)$: k 번째 시간대의 전기부하 [MW/h]
- $H_{load}(k)$: k 번째 시간대의 열부하 [ton/h]
- $H_{proi}(k)$: i 번째 열병합발전시스템의 공정증기량 [ton/h]
- $H_{comi}(k)$: i 번째 열병합발전시스템의 복수증기량 [ton/h]
- $H_{coi}^{max}, H_{coi}^{min}$: i 번째 열병합발전시스템의 최대,최소 열출력 [ton/h]
- $H_{abi}^{max}, H_{abi}^{min}$: i 번째 보조 보일러의 최대,최소 열출력 [ton/h]
- $H_{ubi}^{max}, H_{ubi}^{min}$: i 번째 폐열 보일러의 최대,최소 열출력 [ton/h]
- $H_{Sti}^{max}, H_{Sti}^{min}$: i 번째 슬러지 소각로의 최대,최소 열출력 [ton/h]
- a_j, b_j, c_j : 연료비 계수
- $BUY(k)$: k 번째 시간대의 구매전력 단가 [천원/MW]
- ϵ_{ui} : 송전효율 [p.u]
- N : 시간 구간의 총 수

참 고 문 헌

[1] P. S. Pak and Suzuki, "Derivation of an Index for Evaluating Economics of Cogeneration Systems and Its Applications", International Journal of Energy Research, Vol. 13, pp. 149-156, 1989.

[2] K. Ito, et al, "Optimal Planning of a Super Waste Incineration Cogeneration Plant", Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 119, pp. 903-909, 1997.

[3] 노현극, "부하특성을 고려한 소형 열병합발전 적용 타당성 검토 연구", 공기조화 냉동공학회 동계학술발표회 논문집, pp. 532-537, 1998.

[4] 이종범 외, "열병합발전시스템의 최적운전계획수립을 위한 수리적 모형 수립에 관한 연구", 한국전력공사, 1994.

[5] 이종범, 정창호, "각종 보조설비가 연계된 열병합발전시스템에서 퍼지이론을 적용한 단기운전계획 수립", 대한전기학회논문지, 44권 9호, 1995. 9

[6] Dimitri A. Manolas, et al, "Operation Optimization of an Industrial Cogeneration System by a Genetic Algorithm", Energy Conversation Management, Vol. 38, No. 15-17. pp. 1625-1636, 1997.

[7] Mitsuo Gen, Runwei Cheng, "Genetic Algorithm and Engineering Design", A Wiley-Interscience Publication, 1997.

[8] Zbigniew Michalewicz, "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs", Springer- Verlag, 1992

[9] 진강규, "유전알고리즘과 그 응용", 교우사, 2000

[10] 김용성, "Visual C++ 완벽가이드", 영진출판사, 2000.

[11] 이상엽, "Visual C++ Programming Bible ver 5.0", 영진출판사, 1998

저 자 소 개



정 지 훈 (鄭 知 勳)

1972년 8월 9일생. 1999년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 (주) 삼천리 기술영업팀 근무
Tel : (02)368-3463
E-mail : jeehun@samchully.co.kr



이 종 범 (李 鍾 範)

1955년 7월 12일생. 1981년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1987~1990년 한국 전기연구소 지중송전연구실 실장. 1997~

1998년 미국 Texas A&M University 객원교수, 현재 원광대 공대 전기전자 및 정보공학부 교수
Tel : (063)850-6735
E-mail : ipower@wonkwang.ac.kr