

제지공장용 열병합발전시스템의 운용비용절감을 위한 합리적 운전계획수립에 관한 연구

최광범 · 이종범
원광대학교 전기·전자공학부

A Rational Operation Scheduling for Operational Cost Saving in Cogeneration System for Paper Mill

Kwang-Beom Choi and Jong-Beom Lee

School of Electrical and Electronic Engineering, Wonkwang University

요 약

본 논문은 각종 보조운전설비가 연계된 제지공장용 열병합발전시스템의 합리적인 운전계획을 수립하는 기법을 제시하였다. 보조운전설비로서는 보조보일러, 폐열보일러 및 슬러지 소각로가 있으며, 이 설비들이 다기 열병합발전시스템과 연계하여 운전되고 있다. 최적운전계획은 특히 환경을 고려하기 위해 목적함수에 환경요소를 추가하여 수립하였다. 전력은 구매할 수 있도록 전력회사와 연계되어 운전된다. 본 논문에서 제시한 최적운전계획기법은 제지공장의 에너지 이용률을 향상시키는데 기여할 것으로 사료된다.

Abstract— This paper proposed the optimal operational scheduling of cogeneration system for paper mill connected with several auxiliary devices. Auxiliary devices that include auxiliary boilers, waste heat boilers and sludge incinerators operate with multi-cogeneration systems. Especially environment element was considered in objective function to solve environment problem. Electricity can be purchased through power system from utility. The proposed operational strategy on cogeneration system for paper mill to increase energy efficiency can be applied to the similar cogeneration system in industrial field.

1. 서 론

열병합발전시스템은 하나의 에너지원에서 열과 전기 에너지를 동시에 생산하는 종합에너지시스템으로서 높은 에너지 이용률 때문에 국내외에서 열병합발전시스템의 이용이 점점 증대되고 있다. 열병합발전시스템은 용도에 따라 일반적으로 건물용, 집단에너지 및 산업체용으로 구분되며, 산업체용으로는 단단위 공단용이나 개별 공장용으로 구분될 수 있다. 우리 나라도 건물용 열병합발전시스템은 물론이고 전국의 여러 공단에서 산업체 열병합발전시스템의 건설이 계획되고 있다^[1]. 이러한 열병합발전시스템은 에너지 이용률 증대를 위해 건설하는 것도 중요하지만 합리적인 운전계획을 수립하여 운

전하는 기법을 확보하는 것은 장기적인 에너지 절약 측면에서 매우 중요하다고 하겠다. 지금까지 열병합발전시스템에 관련된 논문은 주로 설비의 특성개선이나 개발, 투자규모산정 및 경제성 파악에 관련된 것이 많았고 일부 보조설비와 연계된 산업체 열병합발전시스템에서의 운전계획수립이 대부분이었다^[2,3]. 산업체 열병합발전시스템은 대부분 대용량이어서 최적운전기법에 근거하여 운전된다면 상당한 에너지 절약을 이룩할 것으로 판단된다.

본 논문에서는 이러한 산업체 열병합발전시스템 가운데 특별히 국내의 제지공장에 건설되어 현재 운전되고 있는 제지공장용 열병합발전시스템을 대상으로 하였고 이에 대한 최적운전계획을 수립하였다. 이 열병합발전시스템은 다기시스템을 보유하고 있으며, 보조설비인 보조보일러, 폐열보일러 및 슬러지 소각로 등과 함께 전기 부하와 열부하에 각각의 에너지를 공급해 주고 있으며 자체 전기출력이 부족한 경우에는 전력회사로부터 전력

이 논문은 1999년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 연구됨.

을 구매하기도 한다. 특별히 본 논문에서의 최적운전계획에서는 1997년 12월 기후변화협약 제 3차 당사국총회(일명 교토회의)에서 90년을 기준으로 미국 7%, 일본 6%, 유럽연합 8%를 포함하여 선진국은 평균 5.2%의 온실가스 배출 감축목표를 골자로 하는 ‘교토의정서’를 채택하여 환경친화적인 문명의 건설을 위한 구체적인 합의에 이르고 있음에 의거하여 환경선언이 곧 우리나라에도 영향을 미칠 것으로 예상되어 환경행목을 목적함수에 추가하여 운전계획을 수립하였다^{[4][9]}. 최적운전계획을 수립하는 최적화 기법은 선형계획법을 이용하였으며 해의 신뢰성을 위해 시카고대학의 ‘Linus schrage’가 개발한 상업용 선형계획법 패키지인 LINDO를 이용하였다.

2. 제지공장용 열병합발전시스템의 수리모델

제지공장용 열병합발전시스템은 여러 unit와 보조보일러, 폐열보일러, 슬러지 소각로 등 다양한 보조설비들과 함께 운전되고 있다. 이 가운데 특히 폐열보일러, 슬러지 소각로 등은 열부하량이나 제품의 생산량에 의해서 출력량이 제한을 받을 수 있는 보조설비들이다. 또한 열병합발전시스템의 방식은 톱핑사이클(Topping Cycle) 방식이며 열부하는 초지공정을 위한 일정한 압력의 열에너지만을 필요로 하는 부하이다. 한편 사용연료의 종류는 두가지인데 소각로에 투입되는 슬러지형태의 연료와 열병합발전시스템, 보조보일러, 폐열보일러등에서 사용되는 B-C유 등이다 전력회사로부터는 전기를 구매하며 판매하지는 않도록 전기적으로 연계되어 있다. Fig. 1은 제지공장용 열병합발전시스템과 각종 보조설비들이 연계된 상태에서의 에너지 흐름도를 나타낸 것이다. 여기서 전기와 열의 유출입은 모두 연결되어 있으므로 모

선처리하였다.

운전계획수립을 위하여 열병합발전시스템과 보조설비의 모델링에 사용된 기호들은 부록에 정의하였다.

최적운전계획을 수립하기 위하여서는 목적함수와 제약조건을 수립해야 하는데 먼저 목적함수는 열병합발전시스템에서 사용되는 연료비용과 전기의 구매비용의 합을 최소화시키는 것으로 하였으며, 또한 환경적인 규제에 대응하여 SO₂의 환경요소를 고려하였다. 목적함수의 구성요소는 다음과 같다.

- (1) 구매전력 비용

$$C_{BUY}(k) = BUY(k) \cdot \frac{1}{\epsilon} \cdot E_{tot}(k) \tag{1}$$

- (2) 열병합발전시스템의 운전비용

$$C_{co}(k) = F_{co} \cdot H_{co}(k) \tag{2}$$

- (3) 각종 보조설비들의 운전비용

$$C_{aux}(k) = F_{th} \cdot H_{th}(k) + F_{wh} \cdot H_{wh}(k) + F_{sh} \cdot H_{sh}(k) \tag{3}$$

- (4) 환경처리비용

$$C_{env}(k) = \beta_{co} \gamma_1 H_{co}(k) + \beta_{th} \gamma_1 H_{th}(k) + \beta_{wh} \gamma_1 H_{wh}(k) + \beta_{sh} \gamma_2 H_{sh}(k) \tag{4}$$

위와 같은 함수들은 각 시간대에서의 비용이므로 이 비용들을 시간대별의 합으로 하여 일간의 테이터를 구하는 것을 목적함수로 구성하였다 따라서 목적함수는 식 (5)와 같이 된다.

$$\text{Min} \sum_{k=1}^N t \cdot (C_{BUY}(k) + C_{co}(k) + C_{aux}(k) + C_{env}(k)) \tag{5}$$

또한 각 선로에서 에너지 흐름에 관한 제약조건은 다

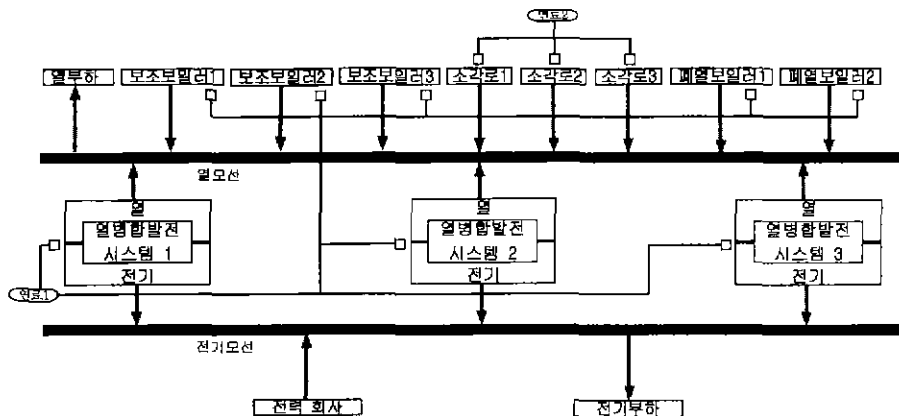


Fig. 1. Electricity and thermal energy flow in cogeneration systems for paper mill.

음과 같이 된다.

· 열부하 제약

$$H_{load}(k) = \sum_{i=1}^3 H_{cor}(k) + \sum_{i=1}^3 H_{abi}(k) + \sum_{i=1}^3 H_{Sli}(k) + \sum_{i=1}^2 H_{whbi}(k) \quad (6)$$

$$H_L(k) = H_{load}(k) \delta_{rHload}(k) \quad (7)$$

· 전기부하 제약

$$E_{load}(k) = E_{cu}(k) + \sum_{i=1}^3 E_{coi}(k) \quad (8)$$

$$E_L(k) = E_{load}(k) \cdot \delta_{Eload}(k) \quad (9)$$

· 열병합발전시스템의 열과 전기출력 상하한 제약

열병합발전시스템은 시스템이 낼 수 있는 열출력과 전기출력의 최대값을 가지고 있고, 시스템의 지속운전을 위한 최소값도 있다. 전기출력의 상하한 제약은 열출력의 각각 최대값과 최소값에 열과 전기의 비율인 열전비의 최대값과 최소값을 곱하여 얻을 수 있다.

$$H_{coi}^{min} \leq H_{coi}(k) \leq H_{coi}^{max} \quad (10)$$

$$R_{sel} H_{coi}(k) \leq E_{coi}(k) \leq R_{sel} H_{coi}(k) \quad (11)$$

· 각종 보조설비들의 출력 상하한 제약

보조보일러와 폐열보일러 그리고 슬러지 소각로등의 설비들은 각각의 정격용량으로 말할수 있는 최대 출력 제약과 설비가 정지하지 않기 위한 최소한의 제약을 가지고 있다. 이것을 식으로 표현하면 식(12)-(14)와 같이 된다.

$$\delta_{abi} \cdot H_{abi}^{min} \leq H_{abi}(k) \leq \delta_{abi} \cdot H_{abi}^{max} \quad (12)$$

$$\delta_{whbi} \cdot H_{whbi}^{min} \leq H_{whbi}(k) \leq \delta_{whbi} \cdot H_{whbi}^{max} \quad (13)$$

$$\delta_{Sli} \cdot H_{Sli}^{min} \leq H_{Sli}(k) \leq \delta_{Sli} \cdot H_{Sli}^{max} \quad (14)$$

· 폐열제약

폐열보일러의 열출력량은 열부하량에 따라 즉, 회수되는 폐열량에 따라 제약이 발생된다. 열부하량이 아주 적은 경우에는 회수열도 적어져서 폐열보일러를 충분히 가동시키지 못하는 결과를 낼 수도 있다. 이와 유사한 경우로서 슬러지 소각로 또한 제지공정에서 충분한 양의 종이 생산되지 않을 경우 슬러지 재고량 확보의 어려움 때문에 슬러지 소각로를 정격출력만큼 운용할 수 없는 결과를 낼 수 있다. 따라서 폐열량에 따른 제약을 식(16)과 같이 정식화하였다. 그러나 정상적인 제지공정 운영시에 슬러지 부족으로 인한 슬러지소각로의 운전장애가 없었으므로 슬러지량에 따른 운전제약은 고려하지 않았다

$$H_{whb}(k) \leq \alpha_i WH(k) \quad (15)$$

$$WH(k) = \eta_{wh} \cdot H_{load}(k) \quad (16)$$

이와 같은 제약조건하에서 목적함수를 풀기 위해서는 세가지의 가정이 필요한데, 첫째 대상기간의 열부하와 전기부하는 미리 주어지고, 둘째 열병합발전시스템은 계속 운전중이어야 하며 세째 보조보일러, 폐열보일러, 슬러지 소각로등 보조설비들의 효율은 출력에 관계없이 일정해야 한다는 것이다. 이때 각 열병합발전시스템을 비롯한 다양한 설비들은 모두 상시 운전이므로 기동 및 정지에 따른 비용을 배제하였다. 또한 식(10)-(14)에서 보여진 출력상하한 제약에서 최소값은 설비가 정지하지 않기 위한 최소한의 운전량이며, 최대값은 설비의 정격용량이다.

3. 사례연구

본 논문에서는 실제 운전중인 A제지공장용 열병합발전시스템의 운전실적을 기초로 하였다. 또한 춘계시의 자료를 기준으로 전력요금의 시간대 구분, 효율 등의 입력자료를 구성하였다. 사례연구를 위해 사용된 입력자료는 Table 1과 같다 여기서 각 시간대는 계산구간으로서 2시간을 하나의 시간대로 나타낸 것이다. 따라서 1일간의 운전계획은 12개의 시간대로 나눈것이다.

Table 2는 최적운전계획수립을 위해 필요한 효율과 연료단가 등 열병합발전시스템의 각종 제반운전자료이다. 각종 효율은 소숫점 둘째자리까지 반올림한 근사적인 데이터이며, 열전비의 값은 정상상태에서의 최대와 최소값이다. 연료비 계수 산출 기준은 다음과 같다.

$$k\text{설비의 연료비계수} [\text{₩}/\text{MWh}] = \text{연료단가} [\text{₩}/\text{L}] \times k\text{설비의 출력당 연료량} [\text{L}/\text{MWh}]$$

Table 3은 열병합발전시스템을 비롯한 각종 보조설비

Table 1. Electricity and thermal input data.

시간대 (k)	열부하 [MW]	전기부하 [MW]	전기구매단가 [₩/MW]
1	294.00	36	29,280
2	300.86	36	29,280
3	298.80	40	29,280
4	297.92	41	29,280
5	372.40	60	48,000
6	411.60	70	66,600
7	408.66	71	66,600
8	441.00	75	66,600
9	436.10	73	66,600
10	392.00	57	48,000
11	354.76	50	48,000
12	326.34	40	48,000

Table 2. General operation data.

δ_{ab}	0.98	γ_1	6
δ_{St}	0.98	γ_2	1.000
δ_{Whb}	0.98	β_{co}	216.7
δ_{Hbond}	0.98	β_{ab}	232.1
δ_{Eload}	0.98	β_{St}	18.67
R_{whr}	0.9	β_{Whb}	79.14
R_{cst}	0.7	F_{st}	46.424
ϵ	0.98	F_{st}	43.330
α_1	0.7	F_{St}	37.338
$\eta_{s,h}$	0.05	F_{wt}	15.988

들의 용량을 나타낸 것이다.

4. 결과 및 분석

본 논문에서 연구된 제지공장용 열병합발전시스템은 여러 가지 보조설비들과 함께 운전되고 있다. 이 가운데 특히 폐열보일러와 슬러지 소각로는 열병합발전시스템의 운용비용을 절감하기 위해 큰 역할을 하는 설비이다. 그러므로 설비운영에 지장이 없는 한도내에서는 가능한 한 최대의 설비용량을 가진다면 운용비용 절감에

더욱 유리하게 작용될 것으로 사료된다. 이러한 보조설비들과 열병합발전시스템을 전술한 기본 입력데이터를 바탕으로 수립된 목적함수와 제약조건에 선형계획법을 적용하여 시뮬레이션한 결과 Table 4 및 Table 5와 같은 설비별 운전계획이 수립되었다.

Table 4에서 보여주는 결과들을 세부적으로 살펴보면 먼저 Fig. 2와 Fig. 3에 보여지는 바와 같이 폐열보일러와 슬러지 소각로는 항상 최대출력으로 운전을 하고 있다. 그 이유는 폐열보일러에 사용되는 단위 출력당 연료비가 여타 설비에 비하여 월등히 적기 때문이다. 또한 슬러지 소각로에 사용되는 슬러지는 제지공정에서 발생하는 찌꺼기를 원료로 사용하기 때문에 원료비가 거의 소모되지 않는다. 단지 슬러지를 고형화 시키고, 또한 연료화 시키기 위한 약간의 비용만이 들기 때문에 출력당 연료비가 다른 설비에서 사용되는 연료비에 비해 매우 싸다. 따라서 슬러지 소각로는 연료로서 사용되는 슬러지 생산량에 구애를 받지 않는 한 최대출력으로 상시운전하는 것이 운용비용 절감에 유리하기 때문이다. 본 논문의 대상인 제지공장은 슬러지 생산량이 슬러지 수요에 차질이 없을 정도의 가공능력을 갖추고 있고 상시 운전시에 슬러지 부족으로 인한 슬러지 소각로의 감축

Table 3. The capacity of each equipment.

설비명	보일러용량 [T/H]	터빈용량 [MW]	설비명	용량 [T/H]
열병합발전시스템 1	82	11.5	슬러지 소각로 1	15
열병합발전시스템 2	130	23.2	슬러지 소각로 2	25
열병합발전시스템 3	130	32.4	슬러지 소각로 3	30
보조 보일러 1	50	-	폐열 보일러 1	18
보조 보일러 2	30	-	폐열 보일러 2	25
보조 보일러 3	120	-	-	-

Table 4. Operation scheduling result of cogeneration facility for paper mill.

단위 : [MW]

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H_{co1}	62.8	62.8	62.8	62.8	62.8	62.8	62.8	62.8	62.8	62.8	62.8	62.8
H_{co2}	30	31.9	30	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	57.9
H_{co3}	94.5	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6	99.6
H_{wb1}	8	8	8	8	8	8	8	8	38.3	33.3	8	8
H_{wb2}	6	6	6	6	11.3	23	6	23	23	6	6	6
H_{wb3}	12	12	12	12	12	40.3	54.3	70.3	35	12	12	12
H_{whb1}	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8
H_{whb2}	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2
H_{St1}	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
H_{St2}	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2
H_{St3}	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
E_{co1}	4	4	4	4	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	4
E_{co2}	8	8	8	8	17.32	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	8
E_{co3}	24.73	24.73	28.82	29.84	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	23.46	16.32	28.82
E_{bo}	0	0	0	0	0	4.33	5.35	9.43	7.39	0	0	0

Table 5. The result of operation cost simulation.

시간대	운전비용 [₩]	시간대	운전비용 [₩]
1	24,994,571	7	37,175,746
2	25,603,080	8	39,741,107
3	25,437,857	9	39,007,245
4	31,488,169	10	33,844,565
5	31,981,802	11	30,383,172
6	36,276,533	12	27,863,233
총운전비용 [₩]		383,797,080	

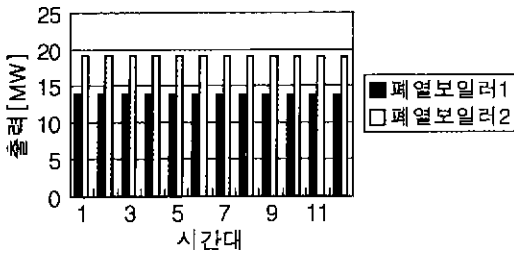


Fig. 2. Operation scheduling results of each waste heat boiler.

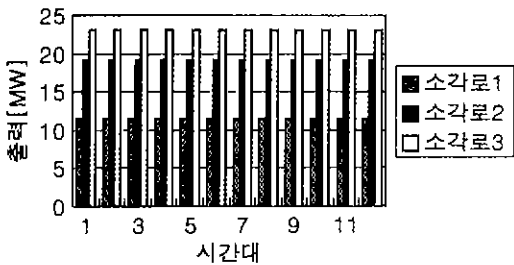


Fig. 3. Operation scheduling results of each sludge incinerator.

운전 같은 현상은 없다고 전술한 바 있다. 따라서 연료비가 다른 설비에 비하여 싸고 환경처리비용 또한 저렴한 슬러지 소각로는 항상 최대출력을 내고 있는 운전결과가 나왔음을 알 수 있다.

Fig. 4는 열병합발전시스템들의 운전계획을 나타낸 것이며, Fig. 5는 보조보일러의 운전계획을 나타낸 것이다.

Fig. 4와 Fig. 5에서 알 수 있듯이 열병합발전설비는 전 시간대에 걸쳐 폐열보일러와 슬러지 소각로가 담당하는 부하량의 나머지 부하량을 충족시키기 위해서 가장 높은 출력을 내려고 하고 있다. 그리고 보조보일러가 최소출력량 이상의 출력을 내는 6번에서 10번 시간대는 슬러지 소각로, 폐열보일러, 열병합발전설비 등이 모두 최대출력을 내고 있는 시간대임을 알 수 있다. 이로써 제지공장용 열병합발전시스템의 보조보일러는 침두부하를

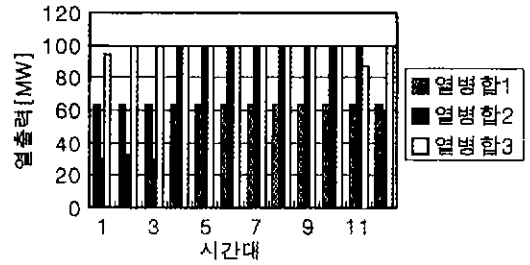


Fig. 4. Thermal output scheduling results of each cogeneration system.

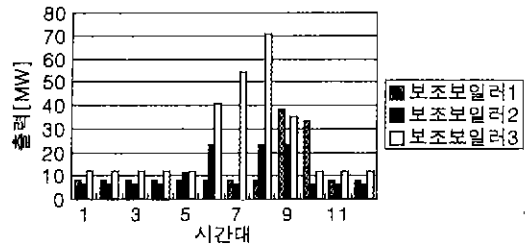


Fig. 5. Operation scheduling results of each auxiliary boiler.

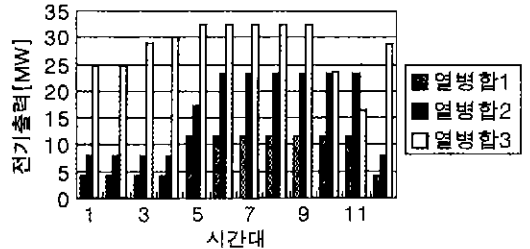


Fig. 6. Electricity output scheduling results of each cogeneration system.

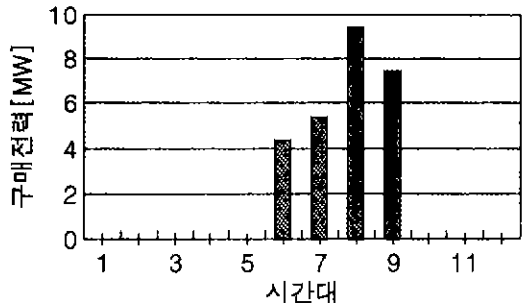


Fig. 7. Electricity buying scheduling.

위한 설비로 사용되어야 합리적인 운용이 되어 전체적인 운전효율을 높일 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 6과 Fig. 7는 열병합발전설비의 전기출력과 전력

회사로부터의 전기구매계획을 나타내고 있다. 전기출력은 열병합발전설비가 모두 부담하는 방향으로 운전계획이 수립되었으며 전기출력이 부하량을 모두 감당하지 못하는 시간대인 6년부터 9년 시간대까지는 전력회사로부터 전기를 구매할 계획이 세워져 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

각종 보조운전설비와 연계되어 운전중인 제지공장용 열병합발전시스템의 최적운전계획을 수립하는 과정에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 제지공장용이라는 특수한 열병합발전시스템에서의 최적운전계획수립을 위한 수리적 모델을 수립하였다.
- (2) 시간대별로 주 시스템과 각종 보조설비 및 전기 에너지의 구매에 이르기까지 운전비용을 최소화시키는 입장에서 운전계획을 수립하였다.
- (3) 환경적 요소를 목적함수에 고려하였다.
- (4) 각종 설비의 특징 및 기능에 비추어 수립된 운전계획을 분석해 볼 때 합리적인 운전계획이 수립되었음을 알 수 있었다

제지공장용 열병합발전시스템과 마찬가지로 다른 산업체용 열병합발전시스템은 각각 필요에 맞도록 많은 보조설비들이 연계되어 있다. 본 논문에서 수립한 제지공장용 열병합발전시스템의 최적운전계획수립 기법은 설비의 위치변화와 에너지의 흐름경로를 수정하고, 알고리즘을 재구성하는 방법을 통하여 타 제지공장이나 이와 유사한 산업체용 열병합발전시스템에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

사용기호

- BUY : 전기구매단가[$\$/\text{MW}$]
- E_L : 전기부하[MW]
- E_{con} : 열병합발전시스템의 전기출력[$\$/\text{MW}$]
- E_{bu} : 전력회사로부터의 구매전력[MW]
- F_{in} : 보조보일러의 연료비[$\$/\text{MW}$]
- F_{st} : 출력당 슬러지의 가공비용[$\$/\text{MW}$]
- F_{ct} : 열병합발전시스템의 연료비[$\$/\text{MW}$]
- F_{st} : 폐열보일러의 연료비[$\$/\text{MW}$]
- H_{con} : 열병합발전시스템의 열출력[MW]
- H_{load} : 열부하로의 공급량[MW]
- H_i : 열부하[MW]
- H_{bb} : 보조보일러 열출력[MW]
- H_{wbb} : 폐열보일러 열출력[MW]
- H_{st} : 슬러지소각로의 열출력[MW]

- k : 시간대
- R_{sel} : 최소 열전비
- R_{sel} : 최대 열전비
- t : 한시간대의 시간수
- WH : 열병합발전시스템의 폐열
- α_i : 열병합발전시스템의 폐열당 열출력생산 효율
- β_{co} : 열병합발전시스템의 출력당 소비연료량[l/MW]
- β_{ab} : 보조보일러의 출력당 소비연료량[l/MW]
- β_{st} : 슬러지 소각로의 출력당 소비연료량[l/MW]
- β_{wbb} : 폐열보일러의 출력당 소비연료량[l/MW]
- γ_i : i 형태 연료에 대한 환경처리비용 상수
- δ_{load} : 열전송효율
- δ_{bb} : 보조보일러 열전송 효율
- δ_{wbb} : 폐열보일러 열전송 효율
- δ_{load} : 전기부하로 송전 효율
- δ_{st} : 슬러지 소각로의 열전송 효율
- ϵ : 송전효율
- η_{wh} : 폐열상수

참고문헌

1. 이종범, 류승헌: "열병합발전시스템운용의 국내외 현황과 과제 및 전망", 대한전기학회논문지, 제 42권 5호, pp.49-64 (1994).
2. Lau, L.L., Ma, J.T. and Lee, J.B.: "Multi-Time Interval Scheduling for Daily Operation of a Two-Cogeneration System with Evolutionary Programming", International Journal of Electrical Power & Energy System, Vol. 20, No. 5 UK, pp. 305-311 (1998).
3. 이종범, 정창호: "소유권이 서로 다른 각종 보조설비가 연계된 종합 열병합발전시스템의 일간운전계획수립", 한국에너지공학회 논문지, 제 7권 제 1호, pp. 232-238 (1995).
4. Xu, J.X., Chang, C.S and Wang, X.W: "Constrained Multiobjective Global Optimization of Longitudinal Interconnected Power System by Genetic Algorithm", IEE Trans. on Dispatch, Vol. 143, No. 5, pp. 435-446 (1996).
5. Moslehi, K. and *et al.*: "Optimization of Multipiant Cogeneration System Operation Including Electric and Steam Networks", IEEE Trans on Power System, pp. 484-490 (1991).
6. Boddu N Venkatesh, Vira Chankong, "Decision Models for Management of Cogeneration Plants", IEEE trans. on Power System, Vol 10, No 3, pp. 1250-1256 (1994).
7. Ito, K and *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).

8. “98열병합발전 기술교육”, 한국열병합발전협회 (1998).
9. 伊東弘一, 構山良平, "コージェネレーションの最適計画", 産業 図書.