

열병합발전시스템에서 가능성 퍼지이론을 적용한 단기운전계획수립

김성일 · 정창호* · 이종범

원광대학교, *전력연구원

Short-term Operation Scheduling Using Possibility Fuzzy Theory on Cogeneration System Connected with Auxiliary Devices

Sung Il Kim, Chang Ho Jung* and Jong Beom Lee

Wonkwang University, *KEPRI

요 약

본 논문은 각종 보조설비가 연계된 열병합발전시스템에서 가능성 퍼지이론을 이용한 단기운전계획 수립을 나타내고 있다. 가능성 퍼지이론은 계수에 퍼지성을 부여하여 해의 가능성의 범위를 구하는 이론으로서 논문에서는 열출력의 최대값에 퍼지성을 부여하였다. 시뮬레이션은 각 시간대별 열출력의 운전가능범위를 구하는 방향으로 수행되어졌으며 그 결과로서 유연한 운전범위 값을 얻었으며 효과적인 운전계획이 수립되었다.

Abstract— This paper presents the short-term operation scheduling on cogeneration system connected with auxiliary equipment by using the possibility fuzzy theory. The possibility fuzzy theory is a method to obtain the possibility boundary of the solution from the fuzzification of coefficients. Simulation is carried out to obtain the boundary of heat production in each time interval. Simulation results show the flexible operation boundary to establish effectively operation scheduling.

1. 서 론

열병합발전시스템은 기존의 화력발전시스템과는 달리 입력된 연료로부터 전기에너지와 열에너지를 동시에 발생하여 각각의 부하에 공급할 수 있는 종합 에너지 시스템이다. 따라서 약 40%에 머무르고 있는 기존 발전소의 효율에 비해 열병합발전시스템은 약 60% 내지 70% 이상도 될 수 있는 높은 에너지 이용률을 보이고 있다. 그러므로 일찌기 해외의 선진국은 물론 국내에서도 열병합발전시스템의 건설이 이루어졌으며 특히 최근 국내에서는 전국적으로 대형 산업공단이 고루 조성되고 있어 이곳에서 사용될 산업체 열병합발전시스템의 건설 및 계획이 급증하고 있는 추세이다. 또한 분당, 일산 등 한국전력공사의 열병합발전시스템과 한국지역난방공사의 보조설비들이 상호 연계되어 전기 및 열에너지를 일반 수용가에 공급하는 민간용 열병합발전시스템도 계속

건설되고 있다^{1,2)}. 그러나, 열병합발전시스템은 증대되는 건설추세에 비해 운전모형의 개발이 상대적으로 연구가 뒤져있다. 그 이유는 용도별로 여러 형태의 열병합발전시스템이 있고 각각의 운전형식도 다르기 때문이라고 사료된다. 이러한 열병합발전시스템을 크게 구분하면 먼저 토폭사이클방식과 버터밍사이클 방식으로 구분할 수 있고, 용도별로 산업체와 민간용 및 전력회사용 등 다양하게 구분할 수 있다³⁾.

본 논문에서는 이러한 다양한 종류 가운데에서 버터밍사이클 방식으로 운전되는 산업체용 열병합발전시스템을 연구의 대상으로 하였다. 즉, 열병합발전시스템은 열 에너지를 보조설비들과 연계하여 열부하에 우선적으로 공급하며 전기부하에는 열에너지 생산에 따라 생산된 전기에너지와 전력회사로부터의 전기에너지를 적절히 구입하여 전기부하에 공급하는 시스템이다.

열병합발전시스템에 관련된 최근의 연구를 보면 열병

합발전시스템 모델링^{4,9}과 경제급전 및 계획^{6,8} 그리고 보조설비들이 연계하여 운전될 때의 최적운전계획수립에 관한 것들이 있다. 또한 어떠한 수립과정을 보면 선형계획법, 동적계획법 및 퍼지선형계획법을 포함한 퍼지이론을 도입하여 최적해를 얻고 있다^{8,11}.

그러나 퍼지선형계획법을 이용한 운전계획 수립을 보면 결과적으로 선형적 운전에 귀착되고 있으므로 현장 운전방식에 가까운 운전계획을 수립하는 것은 어렵다고 본다.

따라서 본 논문에서는 보조보일러, 축열조, 전기저장장치 및 독립발전기 등 여러개의 보조설비들이 연계된 열병합발전시스템에서 보조설비의 운전특성을 파악하며 모델링의 효용성을 검토하고 운전비용을 가능한 범위까지 변화시켜 가면서 운전가능의 구간을 설정하는데 그 목적이 있다. 또한 총 운전비용을 최소화 시키는 차원에서 시간대별로 전기부하와 열부하를 만족시키면서 보조설비들이 운전될 때 운전이 가능한 범위를 설정하기 위해 본 논문에서는 가능성 퍼지이론¹²을 도입하여 실제 운전에 가까운 운전계획을 수립하는 기법을 제안하였다.

2. 보조설비가 연계된 열병합발전시스템의 수리모델

열병합발전시스템의 열출력과 전기출력을 열모선과 전기모선으로 처리한 열병합발전시스템의 에너지 흐름도를 Fig. 1에 나타내었다. 여기서 열모선은 열부하, 축열조, 보조보일러, 회수열, 폐열과 연결되어 있고 전기모선은 전기부하, 전기저장장치, 독립발전기, 전력회사와 서로 연계된 것으로 모델링하였다. 또한 표시된 번호는 에너지 선로의 번호를 나타내었으며 운전계획을 수립하기 위해 사용된 기호는 Table 1과 같다.

목적함수는 식 (1)과 같으며, 여기서 평가함수 J는 열

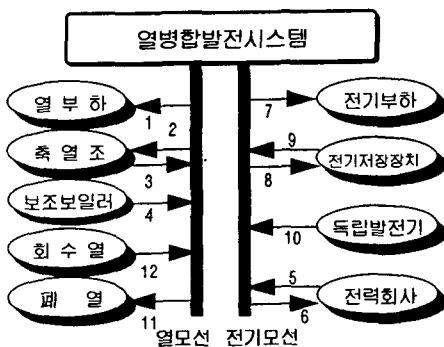


Fig. 1. Energy flow of cogeneration system connected with auxiliary devices.

생산의 가능 범위값의 합을 나타내는 함수이고 각 시간대별 열생산 가능성 폭을 최대로 하는 함수이다.

목적함수

$$J = k_1 c_1 + \dots + k_n c_n \quad (1)$$

여기서, $c_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 는 각 시간대별 열생산 가능 구간을 나타내는 변수이고 k_i 는 상수이다.

본 연구의 시뮬레이션 과정에서는 $k_i = 1$ 로 상정하고 해의 범위를 구했으며 제약조건은 운전비용을 최소로 하는 방향으로 설정하였다. 또한 선형계획법의 목적함수를 다른 제약조건과 동일하게 취급하여 구성하였다.

제약조건

(운전비용 제약)

$$\sum_{j=1}^N [\{ (\text{BUY}_j \cdot \frac{1}{\gamma} \cdot Y_{5j} - \text{SELL}_j \cdot \gamma \cdot Y_{6j}) + (F_c \cdot \frac{1}{\eta_c} \cdot (Y_{1j} + Y_{2j} - Y_{3j} - Y_{4j} + Y_{11j} - Y_{12j})) + (F_g \cdot \frac{1}{\eta_g} \cdot Y_{10j} + F_a \cdot \frac{1}{\eta_a} \cdot Y_{4j}) \} \cdot \text{TIME}] \leq \text{COST}_{\text{MAX}} \quad (2)$$

여기서 첫번째 항은 전력회사로 부터의 전기구매 및 판매비용이며, 둘째항은 열병합발전시스템의 연료비용이다. 그리고 셋째항은 독립발전기의 연료비용과 보조보일러의 연료비용을 나타낸 것이다. 아울러 각 선로에서의 에너지 크기 및 흐름제약 조건식들은 다음과 같다.

(에너지 방향제약)

$$Y_{ki} \geq 0 \quad (3)$$

(열병합발전시스템의 열출력 상한한 제약.)

$$\text{COT}_L \leq (Y_{1j} + Y_{2j} - Y_{3j} - Y_{4j} + Y_{11j} - Y_{12j}) \leq \text{COT}_H \quad (4)$$

(열병합발전시스템의 전기출력의 상한한 제약)

$$(-Y_{5j} + Y_j + Y_{7j} + Y_{8j} - Y_{9j} - Y_{10j}) \leq \text{SE}_H \cdot (Y_{1j} + Y_{2j} - Y_{3j} - Y_{4j} + Y_{11j} - Y_{12j}) \quad (5)$$

$$\text{SE}_L \cdot (Y_{1j} + Y_{2j} - Y_{3j} - Y_{4j} + Y_{11j} - Y_{12j}) \leq (-Y_{5j} + Y_{6j} + Y_{7j} + Y_{8j} - Y_{9j} - Y_{10j}) \quad (6)$$

(독립발전기의 전기출력과 보조보일러의 열출력 상한 제약)

$$Y_{10j} \leq \text{IG}'_H \quad (7)$$

$$(Y_{4j} / \delta_j) \leq \text{AB}_H \quad (8)$$

(전기저장장치 내부전지의 최대 충·방전 제약)

Table 1. Notation used for numerical modeling.

γ	:	전력회사와 산업체 사이의 송전효율 [P.U.]
N	:	계산구간의 총수
Y_{kj}	:	k선로에서의 j계산구간 동안의 에너지흐름 [MW]
μ_E	:	전기저장장치 단위시간당 전기저장 손실을 [P.U.]
μ_T	:	축열조의 단위 시간당 열저장 손실을 [P.U.]
η_c	:	열병합발전시스템의 효율 [P.U.]
F_c	:	열병합발전시스템의 연료단가 [원/MWh]
SE_L	:	열병합발전시스템의 최소 열전비 [P.U.]
SE_H	:	열병합발전시스템의 최대 열전비 [P.U.]
ES_L	:	전기저장장치최소에너지 저장량 [MWh]
ES_H	:	전기저장장치 최대 에너지 저장량 [MWh]
ES_j	:	전기저장장치 j 구간말기 에너지 저장량 [MWh]
TS_j	:	축열조의 j 구간 말기 에너지 저장량 [MWh]
IG_H	:	독립발전기, 최대출력[MW]
AB_H	:	보조보일러 최대출력 [MW]
F_g, F_s	:	독립발전기, 보조보일러 연료단가 [원/MWh]
TIME	:	계산구간의 시간대수
BUY _j	:	전력회사로부터 구매하는 전기의 단가 [원/MWh]
SEL _{Lj}	:	전력회사에 판매하는 전기의 단가 [원/MWh]
COT _L	:	열병합발전시스템의 최소 열출력 [MW]
COT _H	:	열병합발전시스템의 최대 열출력 [MW]
ES _{CHG}	:	전기저장장치 내부전지 최대 충전율 [MW]
ES _{DSC}	:	전기저장장치 내부전지 최대 방전율 [MW]
ES _{E-}	:	전기저장장치 충전효율 [P.U.]
CHG	:	전기저장장치 방전효율 [P.U.]
ES _{E-DSC}	:	충열관 (1, 2, 3, 4선로) 열전송 효율 [P.U.]
$\delta_1 \sim \delta_4$:	축열조의 최소, 최대 에너지저장량 [MWh]
TS _L	:	독립발전기, 보조보일러 효율 [P.U.]
TS _H	:	폐열상수, 회수열상수
η_g, η_a	:	최대 운전비
η_{we}, η_{rt}	:	각 시간대별 열생산 가능범위 값의 총합

$$Y_{sj} \leq (ES_{CHG} / ES_{E-CHG}) \quad (9)$$

$$Y_{sj} \leq (ES_{DSC} \cdot ES_{E-DSC}) \quad (10)$$

(전기저장장치 에너지저장량 상하한 제약)

$$ES_L \leq (Y_{sj} \cdot ES_{E-CHG} - Y_{sj} / ES_{E-DSC}) \cdot TIME + ES_{j-1} \cdot (1 - \mu_E)^{TIME} \leq ES_H \quad (11)$$

(축열조 에너지의 저장량 상하한 제약)

$$TS_L \leq (Y_{2j} \cdot \delta_2 - Y_{3j} / \delta_3) \cdot TIME + TS_{j-1} \cdot (1 - \mu_T)^{TIME} \leq TS_H \quad (12)$$

(전기부하 제약과 열부하 제약)

$$Y_{7j} = \text{전기부하}_j \quad (13)$$

$$Y_{1j} \cdot \delta_1 = \text{열부하}_j \quad (14)$$

(폐열 제약과 회수열 제약)

$$(Y_{1j} + Y_{2j} - Y_{3j} - Y_{4j} - Y_{12j}) \cdot \eta_{we} - Y_{11j} \leq 0 \quad (15)$$

$$(Y_{1j} + Y_{2j} - Y_{3j} - Y_{4j} + Y_{11j}) \cdot \eta_n - Y_{12j} \leq 0 \quad (16)$$

3. 가능성 퍼지이론의 적용

가능성 퍼지계획의 문제는 계수가 정확히 규정되어 있지 않은 경우에 계수의 모호함을 퍼지수로 간주하고 있다. 여기서 퍼지수는 전문가의 지식에 의해 고려되고 있으며 퍼지수를 가능성분포로 생각하면 다음과 같은 퍼지부등식으로 표현할 수 있다.

$$A_{11}x_1 + A_{12}x_2 \cdots A_{1n}x_n \geq B_1 (\text{퍼지 목적})$$

$$A_{21}x_1 + A_{22}x_2 \cdots A_{2n}x_n \geq B_2 (\text{퍼지 제약}) \quad (17)$$

...

$$A_{m1}x_1 + A_{m2}x_2 \cdots A_{mn}x_n \leq B_m (\text{퍼지 제약})$$

목적함수와 제약조건을 고려하지 않고 통일적으로 표시하면 식 (18)과 같으며 이 식을 가능성 선형시스템으로 고려하여 퍼지계수를 대칭적인 L형 퍼지수로 표현하면 Y_i 의 멤버쉽 함수는 식 (19)와 같이 된다.

$$Y_i = A_{i0}x_0 + A_{i1}x_1 + \cdots A_{in}x_n \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (18)$$

단, $A_{i0} = B_i, x_0 = 1$

$$\mu_Y(y) = L((y - \hat{x})/\alpha) / c' | \hat{x} | \quad (19)$$

단, 퍼지계수는 $A_i = (\alpha_i, c_i)_L$

$$| \hat{x} | = (| x_1 |, \dots, | x_n |)'$$

또한 $Y_i \geq 0$ 의 의미를 간단하게 표현하면 식 (20)와 같이 정의 할 수 있고 그림으로 표현하면 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_i \geq 0 \leftrightarrow \mu_{Y_i}(0) \leq 1 - h, \quad \alpha \hat{x} \geq 0 \quad (20)$$

단, h 는 $Y_i \geq 0$ 의 정도로 표시되고 h 가 클수록 양(+)의 의미는 강해진다.

따라서 식 (17)에서 B_i 의 항에만 모호성을 갖게 하면 해의 가능성을 퍼지수 X_i 로서 구하는 문제를 생각할 수 있다.

즉,

$$Y_i = B_i + \alpha_{i1}X_1 + \dots + \alpha_{in}X_n \geq 0 \quad (i=1 \dots m) \quad (21)$$

단, $X_i = (x_i, c_i), B_i = (b_i, d_i)$,

여기서 X_i 는 퍼지해이며, 이 때 퍼지수 X_i, B_i 는 삼각형 모양이 된다.

또한 $Y_i \geq 0$ 라고 하는 정도 h 를 고려하면 퍼지 부등식

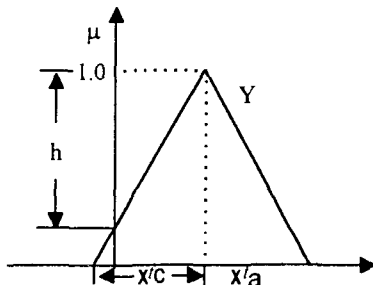


Fig. 2. Inequal sign of fuzzy ($Y_i \geq 0$).

은 다음과 같이 변환이 가능하다.

$$\sum_j (\alpha_{ij}x_j - h | \alpha_{ij} | c_j) + b_i - d_i h \geq 0 \quad (22)$$

여기서, 해의 가능성의 측도는 식 (23)과 같이 평가함수를 도입하여 나타낼 수 있다.

$$J = k_1c_1 + \dots + k_n c_n \quad (23)$$

단, k : 상수 c : 변수

따라서 퍼지해 $X=(\hat{x}, \hat{c})$ 는 식 (22)의 제약을 갖고 식 (23)의 J 를 최대값을 얻는 방향으로 구할 수 있다.

4. 사례연구

사례연구를 위해 사용된 기본 입력자료는 하절기를 기준으로 폐열, 회수열, 효율 및 전력요금의 차이 등을 실제 열병합발전시스템의 운전실적 자료를 일부 근거로 하여 구성하였으며 Table 2와 같다. 여기에서 1시간대는 3시간을 의미하며 3시간 동안에는 운전 조건이 변하지 않는다고 가정하였다.

Table 2의 기본 입력자료를 토대로 본 연구에서는 열 생산 운전 가능한 구간을 설정하기 위해 4가지의 Case를 구성하여 사례연구를 실시하였다.

가능성 퍼지이론을 적용할 경우는 선형계획법에서 목적함수로 취급된 운전비를 어느 정도까지 확대해 주느냐에 따라 운전 가능 범위가 결정되며 이를 바탕으로 운전을 계획할 수 있다. 그러나 운전비의 범위를 무조건적으로 증가시킨다는 것은 불합리하므로 본 연구에서는 가능성 퍼지이론을 적용하지 않았을 경우의 운전비용을 기준으로하여 운전비를 점점 증가시켜가며 Table 3과

Table 3. Case formation.

Case	COST _{MAX} [원]	운전비의 증가 [원]
A (기준)	45,753	
B	48,400	2,647
C	50,400	4,647
D	53,400	7,647

Table 2. Basic input data.

시 간 대 →		1	2	3	4	5	6	7	8
전력요금	BUY	100	100	100	200	200	200	150	100
[원/MWh]	SELL'								
COT _H	25	ES _H	5	TS _L	1	F _L	80	F _C	80
COT _L	5	AB _H	5	ES _L	1	F _g	80	γ	0.99
TS _H	6	SE _H	1.3	ES _O	1	μ _E	0.001	η _c	0.6
δ ₁	0.98	SE _L	0.8	TS _O	1	μ _T	0.001	η _a	0.7
δ ₂ , δ ₃ , δ ₄	1	IG _H	5	η _n	0.1	η _{we}	0.3		
ES _{CHG}	3.0	ES _{DSC}	3.0	ES _{E-DSC}	0.9	ES _{E-CHG}	0.9	η _g	0.4

같은 Case를 구성하여 사례연구를 실시하였다.

Table 3에서 A Case는 일반 선형계획법을 이용하여 운전계획을 수립한 결과 계산된 운전비를 나타낸 것이며 B, C, D Case는 A Case를 기준으로 약간씩 최대운전비를 증가시켜가며 Case를 구성한 것이다.

또한, 가능성 퍼지이론을 적용하기 위해 본 연구에서는 열병합발전시스템에서 가장 중요한 요소인 최대 열출력에 가능성 퍼지이론을 도입하여 실제 운전시 여유 있는 운전을 할 수 있도록 하였다. Fig. 3은 최대 열출력에 가능성 퍼지이론을 적용하였을 때를 그림으로 표현한 것이며 여기서 $h=0.85$, $d=0.824$ 로 상정할 경우 멤버쉽함수를 보여주고 있다.

Fig. 4를 기초로 각 Case별 운전계획수립의 결과는

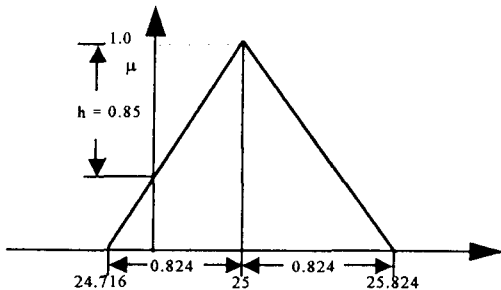


Fig. 3. Membership function which has possibility.

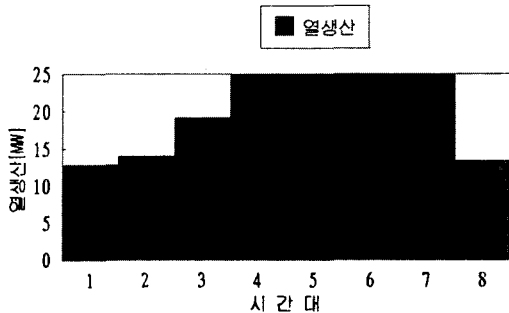


Fig. 4. Heat production scheduling in basic A Case.

Table 4-6에 나타내었다. 여기서 Fig. 4는 가능성 퍼지이론을 적용하지 않은 경우의 운전계획수립 결과를 나타낸 것이다. 열부하가 많은 4-6시간대에서 열생산을 최대로 하여 운전계획이 수립되었고 각종 보조설비들은 운전비가 최소가 되도록 시간대별로 적절하게 운전되고 있다.

Table 4는 운전비의 최대값을 48,400 [원]으로 할 경우의 운전계획수립 결과이며, 여기서 4번 시간대에서 열생산 가능 범위가 1.64 [MW]로 산출되었다. 기존 퍼지선형계획법으로 해석한다면 4번 시간대에는 정확히 22.91 [MW]의 열을 생산해야 하지만 가능성 퍼지를 부여한 경우 22.91 [MW]를 기준으로 최소 21.27 [MW], 최대 24.55 [MW]의 열생산 운전범위 안에서 운전할 수 있고 이것을

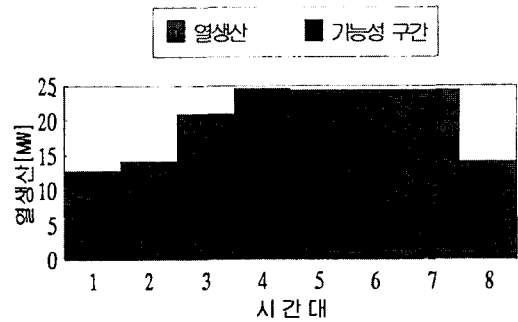


Fig. 5. Heat production scheduling in B Case.

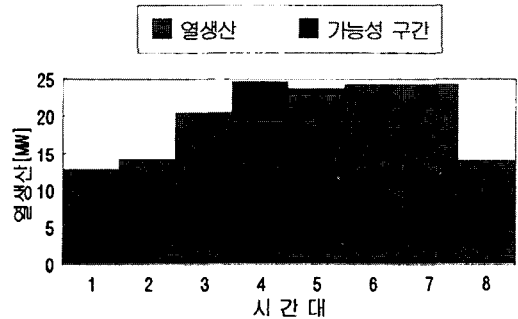


Fig. 6. Heat production scheduling in C Case.

Table 4. Operation scheduling in B Case.

COST _{MAX} [원]	시간대	열부하	축열조		보조보 일러	전력회사		전기 부하	전기저장장치		독립 발전기	열생산	열생산 가능 범위값
			축열	방열		판매	구매		충전	방전			
48,400	1	10.2	0	0	0	0	6.58	10	0	0	0	12.76	0
	2	11.22	0.09	0	0	0	7.34	11	0.05	0	0	14.15	0
	3	15.31	1.46	0	0	0	11.94	14	1.3	0	0	20.96	0
	4	18.37	0	0.04	0	0	7.96	20	0	0	0	22.91	1.64
	5	19.39	0.05	0	0	0	2.59	29	0	0	0	24.3	0
	6	26.53	0	1.45	5	1.37	0	39	0	1.04	5	24.3	0
	7	19.39	0	0	0	0	8.59	23	0	0	0	24.3	0
	8	11.22	0	0	0	0	8.24	10	0	0	0	14.03	0

Table 5. Operation scheduling in C Case.

COST _{MAX} [원]	시간대	열부하	축열조		보조보일러	전력회사		전기부하	전기저장장치		독립발전기	열생산	열생산가능범위값
			축열	방열		판매	구매		충전	방전			
50,400	1	10.2	0	0	0	0	6.58	10	0.01	0	0	12.76	0
	2	11.22	0.09	0	0	0	6.16	11	0.7	0	0	14.15	0
	3	15.31	0.73	0	0	0	12.566	14	0	0	0	20.43	0
	4	18.37	0	0.72	0	0	5.75	20	0	0	0	22.05	2.64
	5	19.39	1.46	0	1.52	0	1.56	29	0.66	0	0	24.16	0.17
	6	26.53	0	1.45	5	1.36	0	39	0	1.05	5	24.3	0
	7	19.39	0.04	0	0	0	8.59	23	0	0	0	24.3	0
	8	11.22	0	0	0	0	8.18	10	0	0	0	13.99	0

Table 6. Operation scheduling in D Case.

COST _{MAX} [원]	시간대	열부하	축열조		보조보일러	전력회사		전기부하	전기저장장치		독립발전기	열생산	열생산가능범위값
			축열	방열		판매	구매		충전	방전			
53,400	1	10.2	0	0	0	3.5	0	10	0	0	0	12.76	9.125
	2	11.22	0.09	0	0	0	7.34	11	0.05	0	0	14.15	0
	3	15.31	1.46	0	0	0	13.24	14	0	0	0	20.96	0
	4	18.37	0	0.72	0	0	8.4	20	0	0.34	0	22.97	1.57
	5	19.39	0	0	0	0	5.48	29	1.96	0	5	24.24	0.07
	6	26.53	0	1.45	5	1.36	0	39	0	1.05	5	24.3	0
	7	19.39	0	0	0	0	8.43	23	0	0	0	24.24	0.07
	8	11.22	0	0	0	0	3.89	10	0	0	0	14.03	3.93

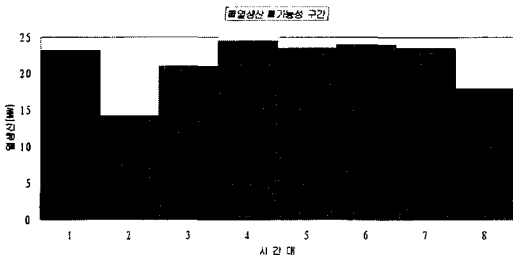


Fig. 7. Heat production scheduling in D Case.

그림으로 나타내면 Fig. 5와 같다.

다음 Table 5는 운전비의 최대값이 50,400 [원]인 경우(C Case)의 운전계획으로 4, 5번 시간대에서 각각 2.64 [MW], 0.17 [MW] 정도의 열생산 가능 범위를 갖고 있음을 알 수 있었다. 기존 퍼지선형계획법으로 4, 5번 시간대는 각각 22.05 [MW], 24.16 [MW]를 생산해야 하지만 가능성 퍼지성을 부여한 경우에는 4번 시간대에서 19.41~24.69 [MW] 그리고 5번 시간대에서는 23.99~24.33 [MW]에서 운전이 가능하다. Fig. 6은 이 C Case의 시간대별 운전계획을 나타낸 것이다.

Table 6은 운전비의 최대값을 53,400 [원]으로 상정할 경우(D Case)의 운전계획수립 결과를 보이고 있다. 여기서는 1번, 4번, 5번, 7번, 8번 시간대에서 열생산 가능구간이 있음을 알 수 있으며 선형계획법의 경우 1번, 4번,

5번, 7번, 8번 시간대에 각각 12.76 [MW], 22.97 [MW], 24.24 [MW], 24.24 [MW], 14.03 [MW]의 열을 생산해야 하지만 가능성을 부여한 경우에는 각각 5~21.885 [MW], 21.4~24.54 [MW], 24.17~24.31 [MW], 24.17~24.31 [MW], 10.1~17.96 [MW]의 가능한 범위안에서 운전을 여유있게 할 수 있다. Fig. 7은 이 운전계획을 표현한 것이다.

이상으로 Case별 운전계획을 요약하면 Fig. 5의 B Case의 경우 운전비의 범위를 기준 A Case보다 약간 증가시키므로서 운전계획은 거의 비슷하게 수립되었으나 운전 가능성 구간이 1회 나타났고 Fig. 6의 C Case의 경우는 2회 그리고 Fig. 7의 D Case는 5회 나타났다. 따라서 운전비의 최대값을 증가시킬 수록 가능성 운전구간의 횟수와 범위가 증가하여 유연한 운전계획을 수립할 수가 있음을 확인하였다. 또한 열부하가 큰 3~5번 시간대에 대체적으로 열생산 가능 운전범위가 감소함을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구는 다양한 보조설비가 연계된 버터밍사이클 열병합발전시스템의 모델을 수립하였고 이 수립된 모델에 가능성 퍼지이론을 도입한 열병합발전시스템의 운전계획을 수립하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 여러 가지 보조설비들이 연계된 열병합발전시스템

의 일간운전계획을 수립하는 기법을 제안하면서 동시에 모델링의 효용성을 검토하였다.

2) 가능성 퍼지이론은 계수의 퍼지성으로부터 해의 가능성 구간을 구하는 이론으로서 여기서는 열출력의 상한값에 퍼지성을 부여하고 각 시간대의 열출력의 운전범위를 구하는데 목적을 두었으며 이를 통하여 적절한 일간운전계획이 수립됨을 알 수 있었다.

3) 기존의 운전계획은 수립시 운전의 유연성을 전혀 고려하지 않고 수립함으로써 운전계획을 실제 현장에 적용시키기에는 경제치 부근의 운전이 어려움이 있으나 본 연구에서는 제시한 모델링으로 운전계획을 수립할 경우 운전 가능범위를 제공해 줌으로써 유연성 있는 운전이 가능할 수 있도록 하였다.

참고문헌

1. 이종범, 류승헌: "열병합발전시스템의 국내외 현황과 과제 및 전망", 대한전기학회지, (1994).
2. 이종범, 류승헌: "국내 열병합발전시스템의 보급확대를 위한 과제 및 대안", 대한전기학회지, (1995).
3. H.B. Puttgen and *et al.*: "Optimum Scheduling Procedure for Cogenerating Small Power Producing Facilities", IEEE Trans. on Power System, **4**(3), 957-964 (1989).
4. Atsushi Akisawa, Yoichi Kaya: "Model Analysis on the Behavior of Co-generation with Wheeling", T. IEE Japan, **114-B**(10), (1994).
5. F.J. Rooijers, *et al.*: "Static Economic Dispatch for Cogeneration System", IEEE Trans. on Power System, **9**(3), (1994).
6. S.M. Wang, C.C. Liu and S. Luu: "A Negotiation Methodology and Its Application to Cogeneration Planning", IEEE Trans. on Power System, **9**(2), May (1994).
7. S. Horii, *et al.*: "Optimal Planning of Gas Turbine Cogeneration Plants based on Mixed-integer Linear Programming", Int'l Journal of Energy Research, **11**, (1987).
8. M.L Baughman and *et al.*: "Optimizing Combined Cogeneration and Thermal Storage Systems: An Engineering Economics Approach", IEEE Trans. on Power System, **4**(3), Aug. (1989).
9. 이종범, 류승헌, 김준현: "A Daily Operation Scheduling on Cogeneration System with Thermal Storage Tank", 일본전기학회 논문지, **114-B**, 1295-1302, (1994).
10. 이종범, 정창호: "각종 보조설비와 연계된 열병합발전시스템에서 퍼지이론을 적용한 단기운전계획 수립", 대한전기학회 논문지, **44**(9), 1119-1125 (1995).
11. Zhiyong Miao, Keiichiro Yasuda, Ryuichi Yokoyama: "Dynamic Load Dispatching Considering Parameters Fuzziness and Multi-Objectivity", T.IEE Japan, **114-B**(1), (1994).
12. 寺野壽郎, 菅野道夫, 淺居喜代治 "ファジイシステム入門", オム社, (1987).