

CHP의 열거래 메커니즘 개발

김용하*, 이범**, 신형철***, 연준희***, 박정호****, 임현성*
 인천대학교*, 여수대학교**, 인천공항공사***, 한국전력공사****

Development of CHP Heat Exchange Mechanism

Yong-Ha Kim*, Bum Lee**, Hyung-Chul Shin***, Joon-hui Yeon***, Jung-Ho Park****, Hyun-Sung Lim*
 Incheon Univ*, Yeosu Univ**, IIAC***, KEPCO****

Abstract - This paper presents a CHP Heat Exchange Mechanism considering Economic Load Dispatch with Dynamic Programming. It calculates CHP heat generation cost and Heat load pattern. Also It presents CHP optimal operation through appliance of Heat Exchange Mechanism and investigates CHP optimal operation effects about connected two regions

1. 서 론

최근 세계적으로 전력회사간의 계통연계를 통하여 발전기들의 경쟁성 및 유용성을 높이고 저가격, 고품질, 고안정성을 고려한 전력의 생산 및 분배의 효율성을 극대화하고 있다. 우리나라에서도 전기산업에 있어서 경쟁 원리가 도입되고 전력수요가 급증하면서 에너지이용의 합리화에 대한 관심이 증가하고 있다.

이러한 추세에 의하여 CHP의 도입이 증가하고 열배관망이 확대됨에 따라 전력뿐만 아니라 열에 대한 효과적인 이용에 대한 고찰이 필요하다. 이에 본 연구에서는 두 지역의 열부하를 만족하는 동시에 열거래를 통하여 CHP의 최적 운용을 위한 열거래 메커니즘을 제시하고자 한다.

2. 열거래 메커니즘

2.1 열거래 메커니즘의 절차

열거래 메커니즘은 단독운전 중인 두 지역에 대하여 연계를 통한 열거래시 어떠한 이득이 발생하지를 살펴보는 일련의 과정을 의미한다. 본 연구의 열거래 메커니즘 적용시 각 지역의 축열조 출력은 해당지역의 열부하에 공급하고 열배관망의 손실은 무시한다는 가정을 가지고 다음과 같은 절차를 수행하였다.

- 단계 1 : 두 지역의 열부하 및 열원설비의 열출력함수 도출
- 단계 2 : 두 지역의 단독 운전시 경제부하배분을 통한 열출력비용 산출
- 단계 3 : 축열조 출력을 제외한 두 지역의 연계 열부하 산출
- 단계 4 : 두 지역의 연계 운전시 경제부하배분을 통한 열출력비용 산출
- 단계 5 : 연계 운전을 통한 이득 산출 및 분배

2.2 CHP 열출력비용 산정

일반적인 발전기의 출력비용은 다음과 같다.

$$F_T = \sum_{i=1}^{N_g} (c_i + b_i P_{gi} + a_i P_{gi}^2) \quad (1)$$

단, P_{gi} : 발전기 출력 [MW]

여기서 출력비용 함수 $c_i + b_i P_{gi} + a_i P_{gi}^2$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$c_i + b_i P_{gi} + a_i P_{gi}^2 = \frac{p}{h} (\gamma_i + \beta_i P_{gi} + \alpha_i P_{gi}^2) \quad (2)$$

단, p : 연료단가 [원/kg] h : 연료의 kg당 열량 [Kcal/kg]

$\alpha_i + \beta_i P_{gi} + \gamma_i P_{gi}^2$ 는 발전기의 입출력 특성식으로서 단위 시간당 어떤 출력으로 운전하는데 필요한 열을 의미한다.

CHP의 열출력함수를 산정하기 위하여 전기 출력 P [MW]를 열출력 H [Gcal]로 전환하면 다음과 같다.

$$P = \frac{Q}{860 \times Q_{CHP}} H \quad (3)$$

단, Q : 발전기 효율 [%] Q_{CHP} : CHP 효율 [%]

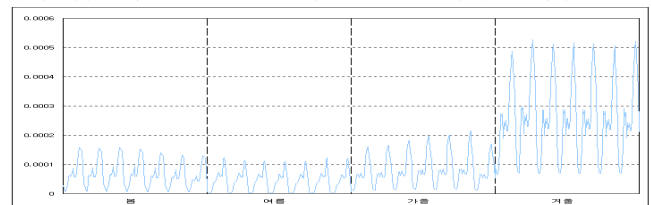
(3) 식을 (2) 식에 대입하여 정리하면 CHP의 열출력함수는 다음과 같다.

$$\frac{p}{h} (\gamma_i + \beta_i P_{gi} + \alpha_i P_{gi}^2) = \frac{p}{h} (\gamma_i + \beta_i' H_{gi} + \alpha_i' H_{gi}^2) \quad (4)$$

단, $\beta_i' = \beta_i \left(\frac{Q}{860 \times Q_{CHP}} \right)$ $\alpha_i' = \alpha_i \left(\frac{Q}{860 \times Q_{CHP}} \right)^2$: 연료비 계수

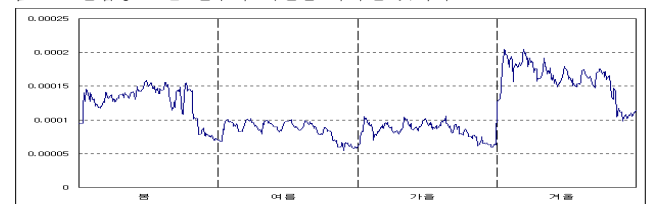
2.3 열부하 패턴 도출

본 연구에서 사용되는 열부하는 크게 일반용과 산업용으로 구분된다. 일반용 열부하 패턴은 한국에너지정보센터에서 취득한 업종별 24시간 열부하 패턴을 근거로 하여 용도별 부하패턴을 도출하였다. 이를 용도별 평균 열관매량의 비중치를 적용하여 일반용 표준 열부하 패턴을 도출하였다. 다음 그림 1은 일반용 열부하 표준 패턴을 나타낸 것이다.



<그림 1> 일반용 표준 열부하 패턴

산업용 표준 열부하패턴은 에너지다소비업체에서 조사된 산업체 열사용량을 근거로 하여 업종별 부하패턴을 도출하였다. 이를 업종별 총에너지의 비중치를 적용하여 산업용 표준 열부하 패턴을 도출하였다. 다음 그림 2는 산업용 표준 열부하 패턴을 나타낸 것이다.



<그림 2> 산업용 표준 열부하 패턴

2.4 축열조를 고려한 경제부하배분

식 (4)에 의해서 열출력에 대한 경제부하배분문제는 다음과 같이 정식화 할 수 있다.

- 목적함수 : $\text{Min } F_T = \sum_{i=1}^{N_g} (c_i + b_i' H_{gi} + a_i' H_{gi}^2)$ (5)

- 제약조건 : $\sum_{i=1}^{N_g} H_{gi} - H_{Load} - H_{Loss} = 0$: 열출력평형식 (6)

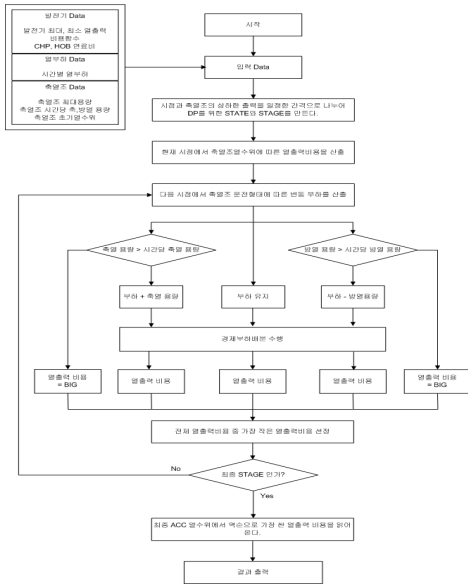
- $H_{gi}^{\min} \leq H_{gi} \leq H_{gi}^{\max}$: CHP 열출력범위 (7)

단, H_{Load} : 계통 총열부하 [Gcal] H_{gi} : CHP 열출력 [Gcal/h]

H_{Loss} : 열손실 [Gcal]

열은 전기와 달리 저장이 가능한 매체로서 열병합발전 열원 설비 중 축열조에 저장을 할 수 있으며 부하의 변동에 따라 축방열운전을 하고 있다. 따라서 축열조의 축방열운전에 따라 열출력비용의 차이가 발생하게 되므로 본 연구에서는 동적계획법(Dynamic Programming)을 이용하여 축열조의 최적운전을 도출하고 축열조 운전을 고려한 경제부하배분을 통하여 CHP의 최적운전을 제시하였다.

다음 그림 3은 축열조를 고려한 경제부하배분의 절차를 나타낸 것이다.



<그림 3> 축열조를 고려한 경제부하배분 절차

3. 사례연구

두지역의 열원설비에 대하여 입력자료는 다음 표 1 ~ 표 3과 같다.

<표 1> 열출력함수 입력자료

구분	항목	연료비 계수		
		a	b	c
1지역	열원설비1	46.0317433	39648.0205	449825.871
	열원설비2	4.456161496	40565.9912	12046.63574
2지역	열원설비1	11.36833766	34568.76257	251757.9185
	열원설비2	3.588782712	31968.51648	9701.514663

<표 2> 열부하 입력자료

시간	1지역열부하 [Gcal]	시간	1지역열부하 [Gcal]	시간	2지역열부하 [Gcal]	시간	2지역열부하 [Gcal]
1	44.57723	13	112.0525	1	110.421	13	168.9343
2	31.30222	14	94.85373	2	110.4976	14	161.3639
3	29.31962	15	95.23975	3	112.5475	15	154.2036
4	29.25505	16	112.4903	4	113.5043	16	162.6237
5	40.62788	17	165.3271	5	116.2189	17	164.6769
6	69.86425	18	176.5386	6	124.3642	18	167.572
7	121.3232	19	205.7809	7	158.4111	19	162.1689
8	117.675	20	216.5973	8	160.0081	20	135.0911
9	122.3425	21	195.6939	9	177.18	21	153.2658
10	84.36277	22	171.8501	10	175.6677	22	153.7123
11	109.6538	23	147.208	11	170.3369	23	158.3347
12	102.4119	24	87.51052	12	170.6065	24	158.0799
	합계		2683.858		합계		3599.791

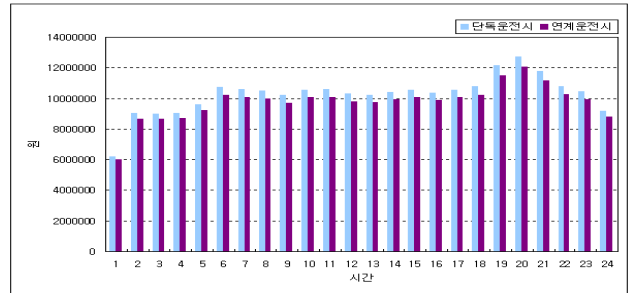
<표 3> 축열조 입력자료

구분	항목	초기열수위 [Gcal]	최대용량 [Gcal]	시간당 축방열용량 [Gcal/h]
1지역		0	1000	50
2지역		0	1000	50

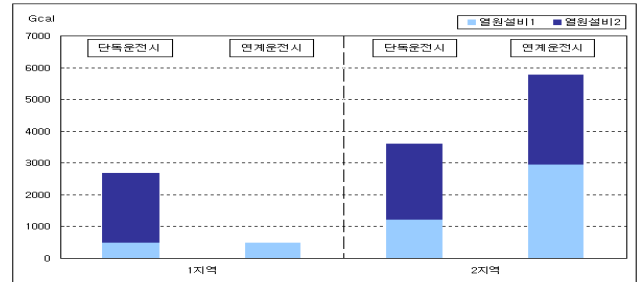
입력자료에 근거하여 열거래 메커니즘을 적용한 결과는 다음과 같다.

<표 4> 열원설비 열출력비용

구분 시간	단독운전시 열출력비용			연계운전시 열출력비용		
	1지역	2지역	합계	1지역	2지역	합계
1	2249391	3949348	6,198,739	1273246	4728996	6,002,242
2	3764356	5251061	9,015,417	1273246	7389259	8,662,505
3	3682156	5316440	8,998,596	1273246	7389259	8,662,505
4	3682156	5349145	9,031,301	1273246	7425908	8,699,154
5	4134704	5447304	9,582,008	1273246	7941384	9,214,630
6	5329255	5381858	10,714,813	1273246	8948100	10,221,346
7	5415868	5185701	10,601,569	1273246	8797911	10,071,157
8	5250079	5251061	10,501,140	1273246	8722353	9,996,199
9	5043033	5153032	10,196,065	1273246	8424030	9,697,276
10	5125821	5414577	10,540,398	1273246	8797911	10,071,157
11	5329255	5251061	10,584,016	1273246	8797911	10,071,157
12	5043033	5251061	10,294,094	1273246	8535955	9,809,201
13	5043033	5185701	10,228,734	1273246	8461316	9,734,562
14	5125821	5283752	10,409,573	1273246	8648086	9,921,332
15	5167238	5381858	10,549,096	1273246	8797911	10,071,157
16	5043033	5316440	10,359,473	1273246	8610686	9,883,932
17	5167238	5381858	10,549,096	1273246	8797911	10,071,157
18	5623307	5153032	10,776,339	1273246	8948100	10,221,346
19	6830475	5316440	12,146,915	1273246	10239395	11,512,641
20	7290156	5414577	12,704,733	1273246	10778744	12,051,990
21	6413432	5349145	11,762,577	1273246	9895024	11,168,270
22	5415868	5349145	10,765,013	1273246	8985704	10,258,950
23	5250079	5185701	10,435,780	1273246	8648086	9,921,332
24	4011168	5185701	9,196,869	1273246	7535992	8,809,238
합계	120,437,355	125,704,999	246,142,354	30,557,904	204,246,532	234,804,436



<그림 4> 열거래메커니즘에 의한 열출력비용 차이



<그림 5> 열원설비의 열출력 차이

4. 결론

열거래 메커니즘을 적용하여 두 지역에 대한 경제부하배분을 수행한 결과 1지역의 열출력은 약 82% 감소하고 2지역의 열출력은 약 61% 증가하였다. 연계시 단독 운전보다 열출력비용은 약 4.6% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 한 지역의 열부하를 다른 지역에서 분담함으로써 전체 열부하에 대한 열원설비의 운영비용을 줄이는 효과를 도모할 수 있다. 따라서 본 연구의 열거래 메커니즘을 통하여 CHP의 효율적인 운영에 대한 방법론을 제시할 수 있다고 사료된다.

[참고 문헌]

- [1] 김용하, 이범, 최상규, 조성린, 정현성, 오석현, “전압 및 과도안정도를 고려한 최적조류계산 알고리즘 개발에 관한 연구”, 2005년도 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, 2005. 11.18- 11.19
- [2] 윤종해, “열병합발전시스템의 에너지 사용패턴분석 및 계통연계 가이드라인 정립에 관한 연구”, 인천대학교, 2005
- [3] “집단지너지사업관련자료집”, 에너지관리공단 2006
- [4] “제 3차 전력수급기본계획”, 산업자원부 2006