

CES 발전소의 최적운영 알고리즘 개발

(Development of Optimal Operation Algorithm about CES Power Plant)

김용하* · 박화용 · 김의경 · 우성민 · 이원구**

(Yong-Ha Kim · Hwa-Yong Park · Eui-Gyeong Kim · Sung-Min Woo · Won-Ku Lee)

Abstract

Recently due to the increasing of the importance on the green energy is getting higher by implementing EERS(Energy Efficiency Resource Standards) and NA(Negotiated Agreement) such as lacks of natural resources and The United Nations Framework Convention on Climate Change. And the most practical solution is CHP(Combined Heat and Power) which performs the best energy efficiency.

This paper developed optimal operation mechanism of CES(Community Energy System) for enhancement of energy efficiency using CHP(Combined Heat and Power), PLB(Peak Load Boiler) and ACC(ACCumulator) capacities. This method optimally operated these capacities calculated the maximum profits by Dynamic Programing. Through the case studies, it is verified that the proposed algorithm of can evaluate availability.

Key Words : CHP(Combined Heat and Power), PLB(Peak Load Boiler), ACC(ACCumulator), EHLD(Economic Heat Load Dispatch), DP(Dynamic Programming)

1. 서 론

1997년 UNDP(United Nations Development Program) 기술지원 프로젝트의 일환으로 국내에 처음 도입된 구역형 집단에너지(CES : Community Energy System)사업은 집중된 에너지 생산시설에서 난방, 냉방, 전기 등 두 가지 이상의 2차 에너지를 생산하여 주택을 비롯한 도심상가, 호텔, 백화점 등 에너

지 다소비 건물이 밀집된 지역을 대상으로 일괄 공급하는 에너지 사업으로 정의된다[1-3].

즉 열병합발전을 이용하여 수용가에게 전기와 열을 공급하는 사업이다.

최근 집단에너지사업에 의한 열병합발전의 도입이 증가하고 열배관망이 확대됨에 따라 전력뿐만 아니라 열에 대한 효과적인 이용에 대한 연구가 증가되고 있는 실정이다[4-8].

그러나 CES사업은 집단에너지와 운영목적 및 구조가 다름에 따라 열 부하 및 전기부하의 운영방법이 다르다. CES의 운용은 가스요금, 전기요금, 열요금, 초기투자비 및 수요포화의 지연 등으로 많은 어려움을 겪고 있으나, CES의 효과적인 운영에 관한 연구는 미

* 주저자 : 인천대학교 전기공학과 교수
** 교신저자 : 포스코파워 수석연구원
Tel : 032-835-8434, Fax : 032-835-0773
E-mail : siren219@poscopower.co.kr
접수일자 : 2011년 12월 12일
1차심사 : 2011년 12월 22일, 2차심사 : 2012년 1월 19일
심사완료 : 2012년 1월 27일

흡한 실정이다[9].

이에 본 연구에서는 CES의 열병합발전설비인 CHP(Combined Heat and Power), PLB(Peak Load Boiler), ACC(ACCumulator)설비를 시점과 시간을 고려하여 CES 발전소의 최적운용 알고리즘 방법론을 개발하였다[10-12].

특히 시간을 고려한 최적운전 방법론은 ACC운전을 고려하였는데, 대상기간 동안에 ACC가 축·방열을 하면 CHP와 PLB의 열출력이 변하게 된다. 그러면 CHP와 PLB의 연료비용이 변하게 된다. 즉 ACC를 최적으로 운전하면 CES 수익구조에 영향을 미치게 된다.

따라서 시간을 고려한 최적운전을 가장 잘 표현하기 위하여 본 연구에서는 동적계획법(DP : Dynamic Programming)을 사용하였다.

또한, 개발된 알고리즘은 Fortran 프로그램으로 코딩하였으며 이를 통하여 현재 CES 사업의 효과와 향후 발전 가능성에 대하여 정량적으로 분석하고자 한다.

2. CES 발전소의 최적운용 알고리즘

2.1 CES 최적운용을 위한 발전소 모델링

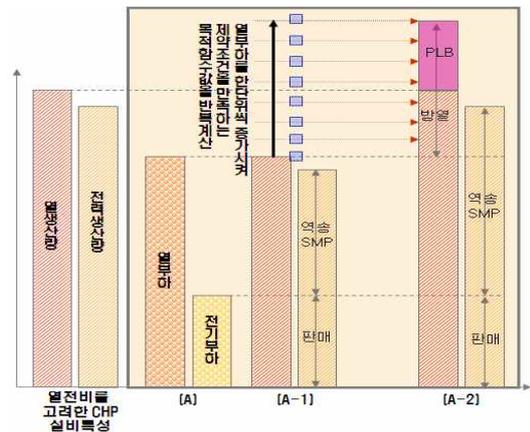
CES사업 운용을 위한 본 연구에서의 발전소 모델링의 전제조건은 다음 항목과 같다.

- 수익 최대화.
- 열부하는 반드시 만족시켜야 함.
- 열부하 추종운전을 수행.
- 열부하 추종운전으로 생산한 전력을 전기부하에 공급하고 잉여전력은 역송하며, 부족전력은 수전.
- 열부하 추종운전으로 생산한 전력은 열을 버리더라도 전력의 역송단가가 높으면 열생산을 증가.
- Enumeration 방법으로 수익이 최대화 되는 최적해를 찾음.

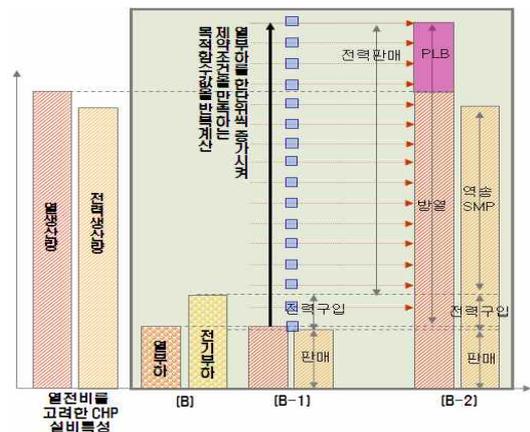
이때, 발전소 설비(CHP, PLB, ACC)에 따른 열 추종 운전은 크게 4가지로 구분할 수 있다.

- ① 열부하 > CHP, PLB, ACC의 상한치의 합
- ② CHP, PLB의 상한치의 합 < 열부하 ≤ CHP, PLB, ACC의 열출력 상한치 합
- ③ CHP, PLB, ACC의 열출력 하한치 합 ≤ 열부하 ≤ CHP, PLB의 상한치의 합
- ④ 열부하 < CHP, PLB의 하한치의 합

열부하가 CHP, PLB, ACC의 상한치 보다 큰 경우 (①)는 하드웨어적인 측면에서 제약조건을 위반하므로 제외하였으며, 그림 1은 열부하가 전기부하보다 큰 경우와 열부하보다 전기부하가 큰 경우에 대한 CES 발전소 모델링을 한 것이다.



(a) 열부하가 전기부하보다 큰 경우



(b) 열부하보다 전기부하가 큰 경우

그림 1. CES 최적운용을 위한 발전소 모델링
Fig. 1. CES Modeling for optimal operation

그림 1에서 (A)와 (B)는 수용가의 열부하 및 전기부하이며, 이러한 (A)와 (B)부하를 만족하는 열병합발전의 설비출력이 (A-1)과 (B-1)과 같이 산정된다.

(A-1)의 경우 열부하는 만족하고 생산된 전력량은 남으므로 잉여전력은 역송한다. 반면에 (B-1)의 경우 열부하는 만족하고 전기부하는 부족하므로 전력량을 구매한다.

(A)와 (B)의 열 부하를 한 단위씩 증가시키면서 열병합발전의 설비출력을 반복계산하면 최종 (A-2)과 (B-2)와 같은 설비출력까지 계산되게 된다.

따라서 각각의 설비출력에 대해서 수익을 계산하고 이중 수익이 최대화되는 열병합발전의 설비출력을 최적해로 하였다.

2.2 CES 발전소 내 CHP와 PLB의 최적비용 알고리즘

본 연구에서는 열부하 추종운전을 수행하기 위해서 열부하를 만족시키고 각 열원설비의 열출력비용을 최소화 할 수 있는 문제로 열원설비의 열출력을 결정하는 비선형계획법의 문제해결방법인 경제열부하배분(EHLD : Economic Heat Load Dispatch)을 수행하였다. 이를 바탕으로 Enumeration 방법으로서 열 부하를 한 단위씩 증가시켜 부하증가에 따른 각 열원설비의 열출력과 열전비에 의한 전기출력을 도출하고 각각의 경제열부하배분 중에서 최종적으로 수익이 최대화가 되는 열원설비의 출력을 결정하도록 하였다.

2.2.1 목적함수

총 수익을 계산하기 위한 요소로는 식 (1)과 같이 연료지불비용, 한전 역송 수익비용, 한전 전력 구매 지불비용, 수용가 열판매 수익비용, 수용가 전기판매 수익비용으로 구성하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{Max } P = & - \sum_{i=1}^{N_c} P(H_{CHP}^i) - \sum_{i=1}^{N_p} P(H_{PLB}^i) \\
 & + \sum_{j=1}^{N_j} P(D_{Heat}^j) + \sum_{j=1}^{N_j} P(D_{Elec}^j) \\
 & + P(S_{PI}) - P(S_{PR})
 \end{aligned} \quad (1)$$

단 H_{CHP}^i : CHP의 열출력비용[원]

H_{PLB}^i : PLB의 열출력비용[원]

N_c : CHP열원설비 수 ($i=1 \dots N_c$)

N_p : PLB열원설비 수 ($i=1 \dots N_p$)

$P(D_{Heat}^j)$: 수용가 열 판매비용[원]

$P(D_{Elec}^j)$: 수용가 전기 판매비용[원]

N_j : 수용가 수 ($j=1 \dots N_j$)

S_{PI} : 역송전력수입(전력판매수입)[원]

S_{PR} : 수전전력비용[원]

2.2.2 열수급 제약조건

시시각각으로 변화하는 열 부하를 만족시키기 위하여 각 열원설비들은 적절한 출력으로 운전되어야 한다. 등호제약조건인 열 수급제약조건을 열원설비들의 열 출력으로 나타내면 식 (2)와 같다. 단 본 연구에서는 열손실은 고려하지 않는 것으로 하였다.

$$H_{Load} = \sum_{i=1}^{N_c} H_{CHP,i} + \sum_{i=1}^{N_p} H_{PLB,i} + \sum_{i=1}^{N_A} H_{ACC,i} \quad (2)$$

단 H_{Load} : 전체 열부하[Gcal]

H_{CHP} : CHP 열출력[Gcal]

H_{PLB} : PLB 열출력[Gcal]

H_{ACC} : ACC 열출력[Gcal]

N_A : ACC 열원설비 수 ($i=1 \dots N_A$)

2.2.3 CHP의 제약조건

CHP가 낼 수 있는 열출력에는 상한치와 하한치의 제약이 있어 식 (3)과 같은 제약 내에서만 열출력이 가능하다.

$$H_{CHP,i}^{Min} \leq H_{CHP,i} \leq H_{CHP,i}^{Max} \quad (3)$$

단 $H_{CHP,i}^{Min}$: i CHP의 최소 열출력[Gcal]

$H_{CHP,i}^{Max}$: i CHP의 최대 열출력[Gcal]

2.2.4 PLB의 제약조건

PLB도 마찬가지로 PLB가 낼 수 있는 열출력의 상

한치와 하한치의 제약이 있어 식 (4)와 같은 제약 내에서만 열출력이 가능하다.

$$H_{PLB,i}^{Min} \leq H_{PLB,i} \leq H_{PLB,i}^{Max} \quad (4)$$

단 $H_{PLB,i}^{Min}$: i PLB의 최소 열출력[Gcal]
 $H_{PLB,i}^{Max}$: i PLB의 최대 열출력[Gcal]

2.2.5 단위시간당 축·방열 용량의 제약

ACC는 단위시간 당 일정한 열 출력한도 내에서만 열을 축·방열을 할 수 있다. 즉 한 시간에 얼마나 열 출력을 증가시키거나 감소시킬 수 있는가 하는 제약이 있는데 이는 식 (5)와 같다.

$$H_{ACC}^{t-1} - \Delta H_{ACC}^{Max} \leq H_{ACC}^t \leq H_{ACC}^{t-1} + \Delta H_{ACC}^{Max} \quad (5)$$

단 ΔH_{ACC} : ACC의 단위시간당 축·방열 용량 [Gcal/h]
 t : 현재시간[hour]

2.2.6 ACC 열수위의 제약

ACC 열수위는 식 (6)과 같이 초기 Stage와 최종 Stage의 ACC 열수위는 항상 같은 것으로 한다.

$$H_{ACC}^{Initial} = H_{ACC}^{Final} \quad (6)$$

단 $H_{ACC}^{Initial}$: ACC의 초기 열수위 [Gcal]
 H_{ACC}^{Final} : ACC의 최종 열수위 [Gcal]

2.3 ACC를 고려한 CES 발전소의 최적운용 알고리즘

2.3.1 기간을 고려한 ACC 최적운전

본 연구에서는 ACC를 최적으로 운전하기 위해서 기간최적화 기법인 동적계획법을 사용하였다. 이를 위한 Stage는 시간(t)으로 하였으며, State는 ACC 열수위로 하였다. 단 동적계획법에 적용하기 위해 ACC는 설비 수는 1개로 축약하여 모델링하였다[13].

2.3.2 단계 1

시간대 t=1의 ACC의 초기 열수위 상태인 (1,S)로부터 S(그림 2 : S=5)의 열수위를 정하고 시간대 t=2의 상태인 (2,S)로 천이하는데 변동하는 열부하를 산정한다.

$$H_{Load}^{(2,S)} = H_{ACC}^{Initial} \pm \Delta H_{ACC} \quad (7)$$

단 $H_{Load}^{(2,S)}$: (2,S)상태의 열부하[Gcal]

ΔH_{ACC} : ACC 시간당 축방열 용량[Gcal]
 S : State의 수

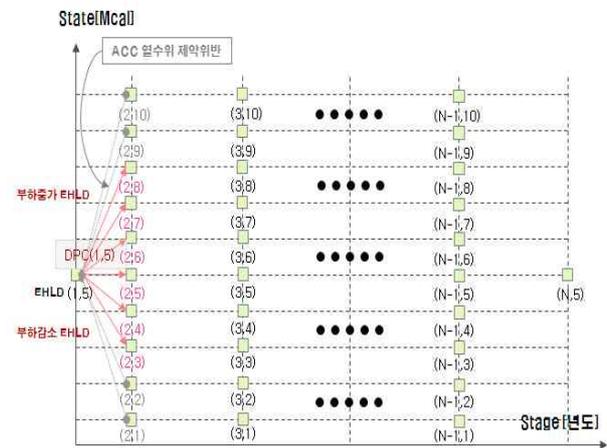


그림 2. DP에 의한 CES 수익계산(1)
 Fig. 2. CES profit calculated by DP(1)

시간대 t=2로 천이되는 각 열부하의 변화(부하증가 or 감소)로부터 2.2절에서 CHP와 PLB의 최적운전을 수행하여 CHP와 PLB의 열출력을 산정한다. 단 각 열부하에서 천이 된 열부하만큼이 축열조의 열출력이다.

2.3.3 단계 2

단계 1로부터 그림 3과 같이 (1,S)로에서 (2,S)로 천이되는 각 State의 초기수익을 계산하고 (2,S)에서 (3,S)로 천이되는 경로 중에서 총 수익이 가장 큰 State값 만을 기억한다.

따라서 식 (8)과 같이 최종 시점(t=N)까지 ACC 열수위에 의한 각 수익을 계산한다.

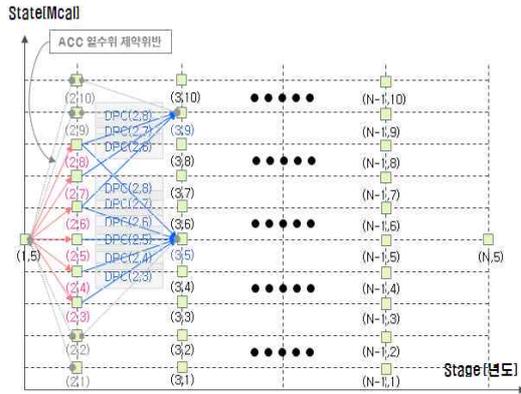


그림 3. DP에 의한 CES 수익계산(2)
Fig. 3. CES profit calculated by DP(2)

$$TR(K, J) = DC(I, J) + DPC(I-1, K) \quad (8)$$

단 TR : 현재시간까지 계산된 누적수익
 DC : 현재시간 Stage의 State에서 계산된 수익
 DPC : 전 시간 Stage의 State까지 계산된 누적 최대수익

그림 4와 같이 단계 2에서 최종적으로 계산된 수익 경로 중 수익최대화인 경로를 Backward로 탐색하여 가장 경제적인 경로를 구한다. 산정된 최적경로로부터 수익이 최대화되는 CES 발전소의 CHP, PLB, ACC의 최적운용 결과를 도출한다.

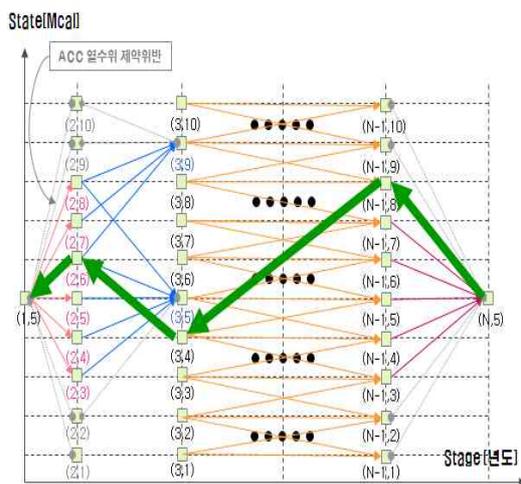


그림 4. 최적경로 탐색
Fig. 4. The optimal path search

따라서 ACC를 고려한 CES 발전소의 최적운용 흐름도를 정리하면 그림 5와 같다.

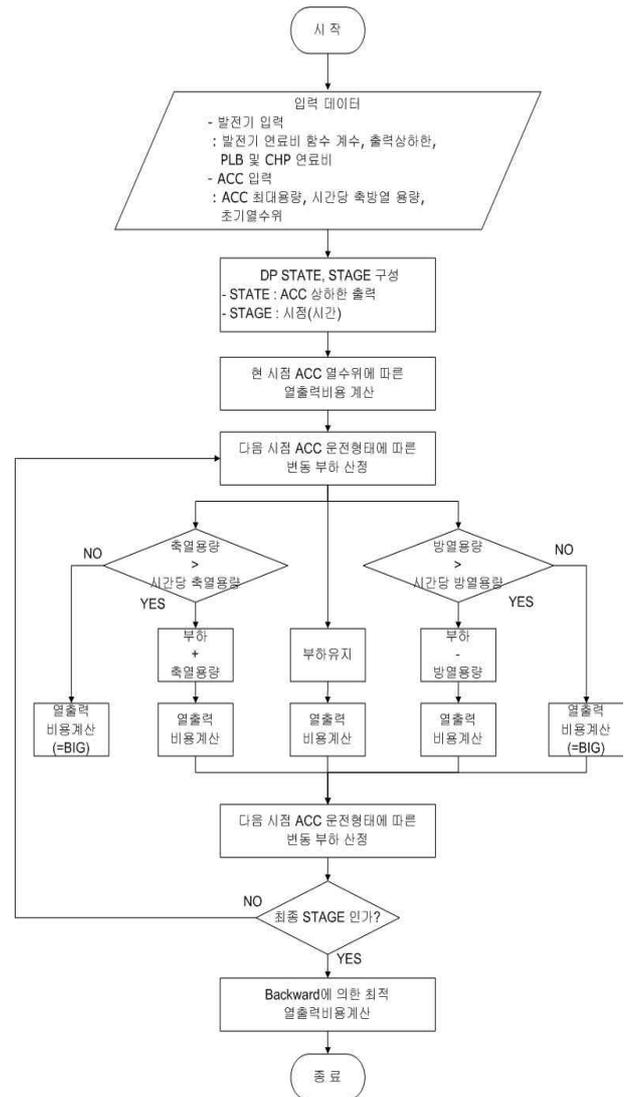


그림 5. ACC를 고려한 CES 발전소의 최적운용 흐름도
Fig. 5. A concept of flow chart for CES optimal operation considering ACC

3. 사례연구

3.1 CES 발전소의 입력데이터

A발전소의 입력데이터는 모두 실제데이터를 근거로 입력하였다.

CES 발전소의 최적운용 알고리즘 개발

3.1.1 설비데이터

CES 발전소의 열원설비는 CHP 1대, PLB 2대, ACC 1대로 구성하였다. CHP의 연료비 계수, 발전기 열출력 상·하한치, 열전비 계수, 축열조 최대용량 및 초기열수위, 단위시간당 축·방열 용량의 제약 등의 입력데이터는 표 1 및 표 2와 같다.

표 1. CHP 및 PLB 입력데이터
Table 1. CHP and PLB input data

| 종 류 | 연료비 계수 | | | 열출력 하한치 [Gcal] | 열출력 상한치 [Gcal] |
|-------|---------|--------|----------|----------------------|----------------------|
| | a | b | c | | |
| CHP | 0.00977 | 52.201 | -41.7372 | 10 | 68 |
| PLB a | 0.0229 | 53.494 | 495.41 | 17 | 68 |
| PLB b | 0.0229 | 53.494 | 495.41 | 8.5 | 34 |
| 종 류 | 열전비 계수 | | | | |
| | a | b | c | | |
| CHP | 0.0004 | 1.0102 | -0.766 | | |

표 2. 축열조 입력데이터
Table 2. ACC input data

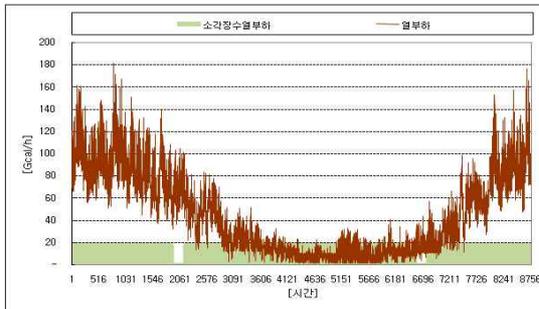
| 축열조 용량[Gcal] | 단위시간당 축·방열 용량의 제약[Gcal] | 초기 열수위[Gcal] |
|-----------------|----------------------------|-----------------|
| 560 | 56 | 0 |

3.1.2 부하데이터

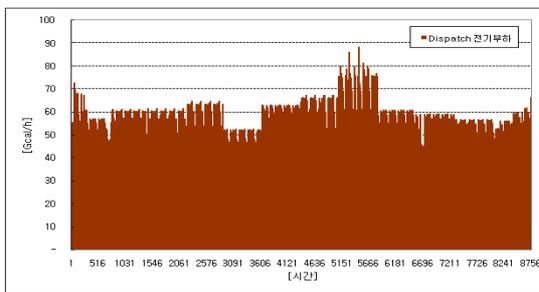
CES 발전소의 연간(8760시간) 열 부하 및 전기부하는 그림 6과 같다. 단 실제 열부하크기는 열부하에서 소각장수열부하의 제외한 양이다.

3.1.3 역송가격 및 수전가격

CES 발전소의 연간(8760시간) 역송가격 및 수전가격은 그림 7과 같다.

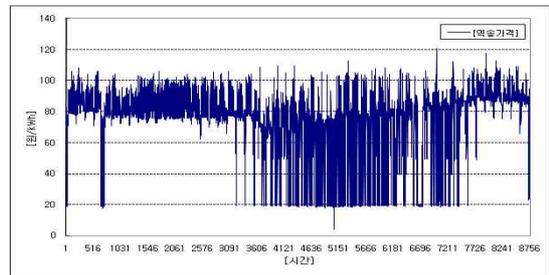


(a) 수용가 열 부하 및 소각로 수열부하

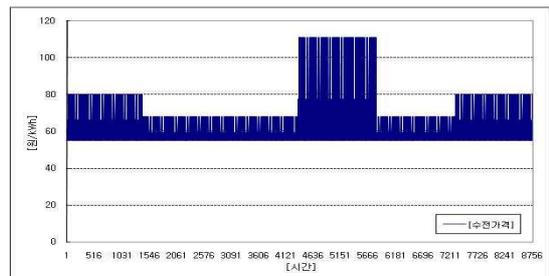


(b) 전기부하

그림 6. 연간 부하데이터
Fig. 6. yearly load variation curve data



(a) 역송가격



(b) 수전가격

그림 7. 역송가격 및 수전가격
Fig. 7. Reverse and buying power price

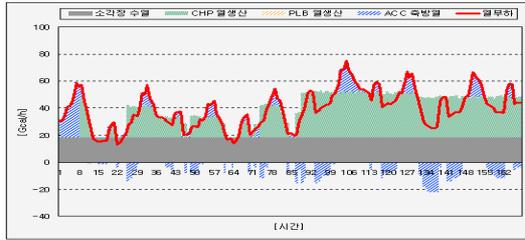
3.2 CES 발전소의 계절별 설비 출력 결과

CES 발전소의 결과는 주별로 시뮬레이션을 수행하였으며, 계절별로 구분하기 위해 봄(10주~22주), 여름(23주~35주), 가을(36주~47주), 겨울(48주~52주, 1

주~9주)로 구분하여 결과를 도출하였다.

3.2.1 계절별 열원설비의 출력

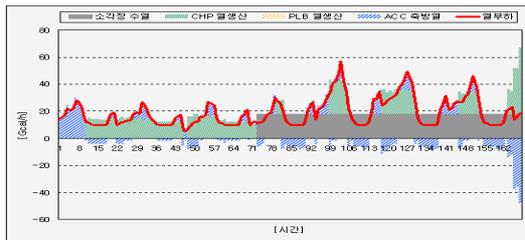
CES 발전소의 계절별 열원설비의 출력은 그림 8과 같다. 단 각 계절 중에서 대표성을 갖는 1주(168시간)만을 표현하였다.



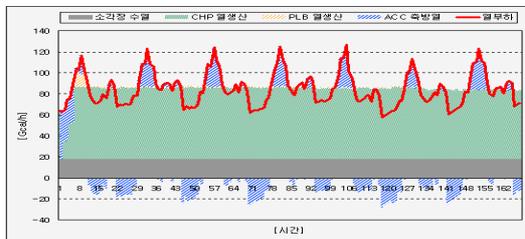
(a) 봄(15주)



(b) 여름(28주)



(c) 가을(41주)



(d) 겨울(3주)

그림 8. 계절별 열원설비출력
Fig. 8. Thermal output of capacities results by season

그림 8을 정리하면 표 3과 같이 계절별 열특성으로 요약할 수 있다.

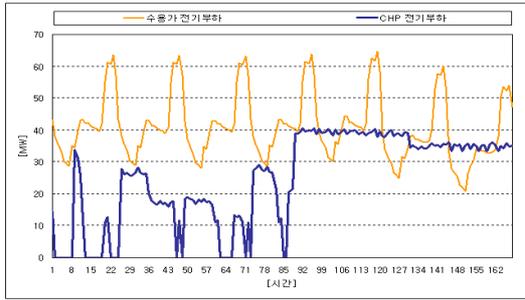
표 3. 계절별 열특성
Table 3. Thermal characteristics by season

| 계절 | 수용가 요구 열부하량 [Gcal] | 소각로 수열 열부하량 [Gcal] | 열 부하 요구 열량 [Gcal] |
|----|--------------------|--------------------|-------------------|
| 봄 | 93,322 | 34,992 | 58,330 |
| 여름 | 21,972 | 39,312 | -17,340 |
| 가을 | 54,631 | 31,968 | 22,663 |
| 겨울 | 208,000 | 42,336 | 165,664 |
| 계절 | CHP의 총 열생산량 [Gcal] | PLB의 총 열생산량 [Gcal] | 잉여 열량 [Gcal] |
| 봄 | 57,979 | 1,180 | 829 |
| 여름 | 0 | 0 | 17,340 |
| 가을 | 27,380 | 51 | 4,767 |
| 겨울 | 147,242 | 18,305 | 12 |

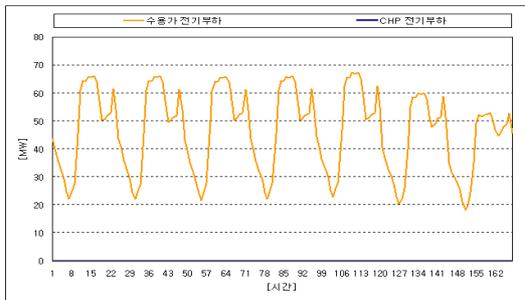
수용가 요구 열부하량[Gcal]을 만족시키기 위한 merit order를 정하였다. 즉 연료비가 싼 소각열이 먼저 투입되었으며, 증분연료비를 계산하면 CHP, PLB 순으로 투입이 되었다. 원칙적으로는 잉여열량은 ACC에 축열을 하고 남은 열은 냉각탑을 통해 버려지는 열이나 본 연구의 ACC 모델링에 의해 초기 열수위와 최종 열수위의 값이 같아야 하므로 축·방열의 합은 0이므로 잉여열량은 모두 버려지게 된다. 겨울철에는 열부하가 크기 때문에 증분연료비가 싼 CHP의 가동율이 크게 산정되었다. 여름철에는 CHP 및 PLB로 운전하는 것 보다는 ACC로 운전하는 이유는 남은 소각열을 ACC에 저장해두었다가 소각열이 열부하보다 작을경우 ACC로부터 공급하는 시스템이 수익이 더 많이 나기 때문인 것으로 분석되었다. 여름철은 열부하가 작기 때문에 상대적으로 버려지는 열원이 많은 것으로 분석되었다.

3.2.2 계절별 전기설비의 출력

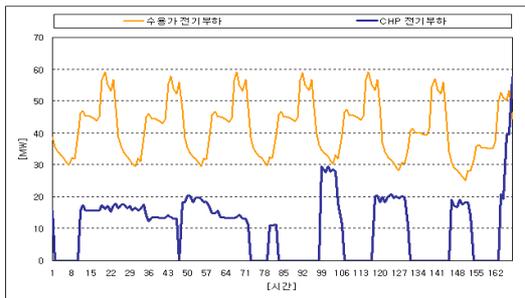
CES 발전소의 계절별 전기설비의 출력은 그림 9와 같다.



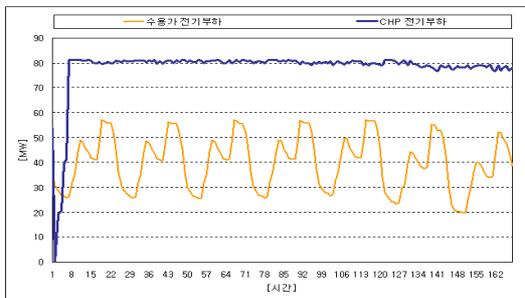
(a) 봄(15주)



(b) 여름(28주)



(c) 가을(41주)



(d) 겨울(3주)

그림 9. 계절별 전기설비출력
Fig. 9. Power output of capacities results by season

그림 9를 정리하면 표 4와 같이 계절별 전기특성으로 요약할 수 있다.

표 4. 계절별 전기특성
Table 4. Electric characteristics by season

| 계절 | 수용가 요구 전기부하량 [MWh] | CHP 전기생산량 [MWh] | 역송 전력량 [MWh] | 수전 전력량 [MWh] |
|----|--------------------|-----------------|--------------|--------------|
| 봄 | 89,397 | 68,109 | 18,868 | 40,156 |
| 여름 | 105,958 | 0 | 0 | 105,958 |
| 가을 | 83,691 | 31,755 | 4,923 | 56,859 |
| 겨울 | 96,301 | 175,305 | 80,240 | 1,236 |

CHP의 전기부하가 수용가 요구 전기부하량[MWh]보다 많이 생산되면 수용가에 전기를 공급하고 남은 전기는 역송을 하고 적게 생산되면 수전을 받아서 전기부하를 만족시키게 된다.

여름철에는 CHP와 PLB가 가동되지 않으므로 수용가의 전기부하를 만족하기 위해서 모두 수전하는 것으로 계산되었다.

겨울철에는 열부하가 크기 때문에 CHP를 가동했으며, 열전비에 의한 CHP의 전기생산량이 수용가 전기부하보다 크게 산정되었다.

3.2.3 계절별 수익결과

CES 발전소의 계절별 수익결과는 ACC를 제외하고 CES발전소를 최적운전하였을때 수익과 ACC를 고려한 CES발전소 최적운전 시 수익을 표 5와 같이 계산되었다.

단 CES 발전소 최적운전에 의해 계산된 계절별 수익에서 수용가의 열 판매 수익비용과 수용가 전기판매 수익비용은 Enumeration에 의해 열부하가 변해도 연료비용, 역송전력수입(전력판매수입), 수전비용은 변하나, 전기 및 열 판매비용은 부하가 변하지 않는 이상 일정하기 때문에 총 수익변화에 영향을 미치지 Factor가 아니므로 제외하였다.

ACC는 열부하가 낮거나 전력판매가격이 높은 시간에 생산된 잉여열을 저장하였다가 열부하가 높은 시

간에 저장열을 방출함으로써 일일 첨두부하를 담당하는 열저장 탱크로서 열원공급설비의 부하를 일부 경감하거나 비상시 열공급을 하기 위한 목적으로 운전하고 있다[14].

표 5. 계절별 CES발전소 수익특성
Table 5. CES Profit result by season

| ACC를 미고려한 CES발전소 최적운전 | | | | |
|-----------------------|-------------|----------------|-------------|--------------|
| 계절 | 연료비 [천원] | 역송전력 수입[천원] | 수전비 [천원] | 총 수익 [천원] |
| 봄 | -3,939,847 | 1,560,185 | -2,367,121 | -4,746,784 |
| 여름 | -140,181 | 0 | -7,526,531 | -7,666,710 |
| 가을 | -1,815,321 | 497,814 | -3,395,881 | -4,713,387 |
| 겨울 | -10,930,103 | 6,063,427 | -74,732 | -4,941,407 |
| 합계 | -16,825,452 | 8,121,426 | -13,364,265 | -22,068,288 |
| ACC를 고려한 CES발전소 최적운전 | | | | |
| 계절 | 연료비 [천원] | 역송전력 수입[천원] | 수전비 [천원] | 총 수익 [천원] |
| 봄 | -3,606,380 | 1,551,480 | -2,431,686 | -4,486,585 |
| 여름 | 0 | 0 | -7,759,505 | -7,759,505 |
| 가을 | -1,575,774 | 411,152 | -3,475,852 | -4,640,474 |
| 겨울 | -10,803,114 | 6,642,921 | -77,305 | -4,237,498 |
| 합계 | -15,985,268 | 8,605,553 | -13,744,348 | -21,124,062 |

그러나 ACC를 최적으로 운영하므로써 ACC를 효율적으로 사용할 뿐아니라 CHP와 PLB만을 운전하였을 경우보다 총 수익이 944,226[천원]인 약 4.28[%]정도 절감되는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구를 통하여 CES 사업자의 수익구조개선에 도움이 될 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 열부하 및 전기부하를 만족하는 수익을 최대화 할 수 있는 관점에서 CHP, PLB설비의 최적운전 알고리즘을 개발하였다.

둘째, 일반적인 ACC운전이 아니라 동적계획법을 적용하여 기간을 고려한 ACC 최적운전으로부터 수익을 최대화할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 따라서 CES발전의 이용률을 증대시키기 때문에 본 연구에서 개발된 알고리즘을 적용하면 CES발전소 건설 시 초기투자비용을 줄일 수 있다.

셋째, 최근 연료(LNG) 가격이 크게 상승하면서 수익성 악화로 CES 사업포기 사례가 발생하는 가운데 본 연구의 알고리즘에 의해 CES의 운영수익을 개선할 수 있다.

넷째, 특히 여름철의 열부하에 의해서 수익이 적은 실정이므로, 여름철에 열부하를 활용하여 냉방부하를 창출한다면 CES의 이용률을 더욱 증대시킬뿐만 아니라 수익개선도 더 많이 날 것으로 판단된다.

다섯째, 에너지효율향상에 기여하는 열병합발전을 사용하는 CES사업은 현재 제도적 문제점으로 인하여 위기상황이다. 이에 CES발전에 적합한 부하형태를 개발하여 본 연구와 접목한다면 CES사업의 보급활성화에 기여할 것으로 판단된다.

References

- [1] 김승태, 구역형 집단에너지사업현황 및 활성화 방안, 대한전기협회, 전기저널 제 367호, 2007. 7, pp.39-44.
- [2] 김현규, 구역형집단에너지시설의 보급전망, 대한전기학회, 전기의 세계 56(2), 2007.
- [3] 유동환, 구역형집단에너지와 구역전기사업, 조명전기설비학회지, 2008. 6, 제 22권 제 3호.
- [4] 이종범, 다양한 보조운전설비가 연계된 다기 열병합발전 시스템에서 유전알고리즘을 이용한 최적운전계획 수립.
- [5] 권영한, 산업체 열병합발전 최적 운용 모형 연구, 한국전기연구원, 2001.
- [6] 김용하, 산업체열병합발전의 실태분석, 에너지관리공단, 2007.
- [7] 심상렬, 에너지산업 구조개편에 따른 열병합발전의 경제성 평가, 에너지경제연구원, 2005.
- [8] 최병렬, 최적화모형을 통한 지역냉난방열의 잠재비용 추정에 관한 연구, 에너지경제연구원, 2005.
- [9] 이근대, 구역형 집단에너지(CES) 기본계획 수립 연구, 에너지경제연구원, 2005.
- [10] F.J. Rooijers, R. Amerongen, Static economic dispatch for cogeneration systems, IEEE Trans. Power Systems, 9, no. 3, 1994.
- [11] T. Guo, Ml. Henwood, M. Ooijen, An algorithm for combined heat and power economic dispatch, IEEE Winter Meeting, Baltimore, 96 WM 192-195 PWRS.

- [12] Y.H. Song, C.S. Chou, T.J. Stonham, Combined heat and power economic dispatch by improved ant colony search algorithm, *Electric Power Systems Research*, 1999 115-121.
- [13] Allen J. Wood, *Power Generation, Operation, and Control*, John Wiley&Sone, Inc, 1996.
- [14] 구자훈, 가스엔진 열병합발전의 계절별 열전비 조정, *한국플랜트학회*, 2006. 5, 제7권 제1호.

◇ 저자소개 ◇



김용하(金龍河)

1959년 5월 16일생. 1982년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1987년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년 ~ 현재 인천대학교 전기공학과 교수.



박화용(朴華庸)

1958년 8월 20일생. 1990년 연세대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 2009년 인천대학교 대학원 전기공학과 재학(박사). 2006년 ~ 현재 포스코건설.



김의경(金義慶)

1962년 12월 9일생. 인하대학교 기계공학과 졸업. 2006년 인천대학교 대학원 전기공학과 재학(석사). 1991년 ~ 현재 에너지관리공단.



우성민(禹成玟)

1980년 11월 1일생. 2006년 인천대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 전기공학과 수료(박사). 2010년 ~ 현재 동대학교 공학기술연구소 선임연구원.



이원구(李元九)

1967년 4월 7일생. 1994년 중앙대학교 전기공학과 졸업. 2008년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2010년 아주대학교 대학원 에너지공학과 수료(박사). 2011년 ~ 현재 포스코파워 수석연구원.