

마이크로 에너지 네트워크의 중앙집중형 최적 운영 모델

An Optimal Operation Model of A Centralized Micro-Energy Network

이 지 혜* · 김 학 만[†] · 임 용 훈** · 이 재 용**
(Ji-Hye Lee · Hak-Man Kim · Young Hoon Im · Jae Yong Lee)

Abstract - Recently, new concept of energy systems such as microgrid, smart grid, supergrid, and energy network has been introducing. In this paper, the concept of the centralized micro-energy network, which is an energy community of a building group without district heating system, is introduced. In addition, a mathematical model for optimal operation of the micro-energy network as a main function of an energy management system (EMS) for the micro-energy network is proposed. In order to show the validation, the proposed model is tested through the simulation and analyzed.

Key Words : Micro-energy network, Centralized micro-energy network, Optimal operation, Mathematical operation model

1. 서 론

최근 기후변화 문제와 에너지의 효율적 이용에 대한 관심이 높아지고, 이와 관련하여 전력 분야에서는 스마트 그리드, 마이크로그리드, 수퍼 그리드 등 다양한 전기에너지 네트워크에서 다각적으로 상용화를 위한 연구가 진행되고 있다[1,2].

열에너지 분야에서는 유럽, 미국을 중심으로 IT 기반의 도시 내 열에너지 자원의 통합 운영을 통하여 에너지의 효율성을 제고하는 에너지 네트워크에 대한 관심이 고조되고 있고, 이를 위한 에너지 네트워크 설계 및 타당성 평가에 대한 기초 연구가 추진되고 있고 중장기적인 기술개발 및 상용화를 위한 로드맵을 작성하여 추진하고 있다[3,4].

또한 전력과 열에너지의 통합 운영과 관련하여 빌딩 내의 전력 및 열에너지의 통합 운영을 위한 BEMS(building energy management system)에 대한 연구가 진행 중에 있고[5-7], 지역난방과 열병합발전의 효율적인 운영을 위한 연구가 진행되고 있다[8,9].

이와 같이 전력, 열에너지, 전력과 열에너지의 효율적인 통합 운영을 위한 다각적인 연구들이 진행되고 있는데, 본 논문에서는 집단 에너지 시스템과 연결되어 있지 않는 빌딩 군들의 열에너지와 전력을 경제적으로 통합 운영하는 시스템인 중앙집중형 마이크로 에너지 네트워크의 경제적인 운영을 위한 수리적 모델을 제시하고자 한다. 또한, 시뮬레이션을 통하여 제안된 수리적 모델의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 마이크로 에너지 네트워크

마이크로 에너지 네트워크란 집단에너지 시스템과 연결이 없는 특정 빌딩군의 전력 및 열에너지를 통합적으로 운용하여 빌딩군내의 빌딩들의 전력 및 열에너지를 효율적으로 관리하는 시스템이다.

열에너지의 경우, 단일 빌딩에서 요구되는 열수요를 충족하기 위해서는 열수요의 피크치만큼 열에너지 원을 갖추어야 하지만 타 빌딩 간의 열에너지 협력에 의해서 요구되는 열에너지 설비의 규모를 줄일 수 있다.

전력의 경우는 단일 빌딩이 전력시장과의 전력거래에서 발생하는 상대적으로 높은 구입가격과 상대적으로 낮은 판매가격의 차이를 빌딩군내 타 빌딩들과의 우선적인 전력거래로 안정된 가격으로 잉여 또는 부족 전력을 거래할 수 있는 장점이 있다. 즉, 전력구입의 경우 타 빌딩으로부터 상대적으로 낮은 가격에 구입할 수 있고 전력판매의 경우 타 빌딩으로 상대적으로 높은 가격에 판매할 수 있다.

이런 이유로 마이크로 에너지 네트워크는 해당 빌딩군내의 에너지자원의 활용을 극대화할 수 있을 뿐 아니라 예비율을 최소화할 수 있는 장점이 있다.

특히, 마이크로 에너지 네트워크의 활용성을 극대화하기 위해서는 부하패턴이 다른 빌딩들로 구성하는 것이 효과적이다. 그림 1은 마이크로 에너지 네트워크의 구성 개념도를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 최적운영은 마이크로 에너지 네트워크의 EMS(이하 μ EMS)에 의해서 실현된다.

운영측면에서 마이크로 에너지 네트워크는 각 빌딩의 BEMS 운영의 자율성을 보장하는 분산형과 중앙에서 관리하는 최적화에 기반의 중앙집중형의 두 종류로 나누어진다. 중앙집중형의 경우, 모든 빌딩 내부 에너지 수요에 관여할 수 있어 분산형보다 최적해가 보장된다는 장점이 있다. 본 연구에서 마이크로 에너지 네트워크의 중앙집중형 운영에 초점을 두고 있으며, 중앙집중형 마이크로 에너지 네트워크의 μ EMS의 핵심기술인 최적운영 수리적 모델을 다룬다.

* Dept. of Electrical Eng., Incheon National Univ., Korea

** Korea Institute of Energy Research, Korea

[†] Corresponding Author : Dept. of Electrical Eng., Incheon National Univ., Korea

E-mail : hmkim@incheon.ac.kr

Received : August 26, 2013; Accepted : September 24, 2013

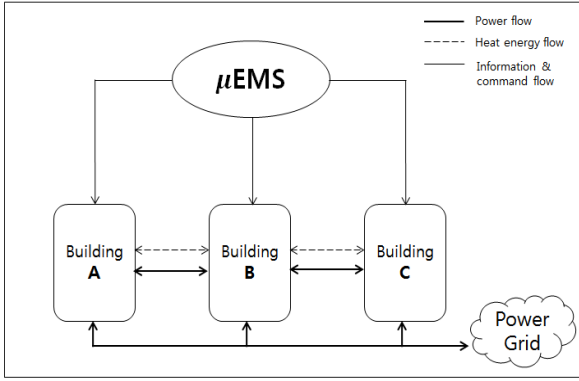


그림 1 마이크로 에너지 네트워크 구성 개념도
Fig. 1 Concept of the micro energy network

3. 최적운영 수리적 모델

3.1 목적 함수

마이크로 에너지 네트워크의 최적 운용을 위한 수리적 모델은 식 (1)과 같이 정식화하였다. 열병합(combined heat and power; CHP) 발전기의 열에너지 생산 비용의 경우는 전력을 생산하는 과정에서 배출되는 열을 회수하여 수용가에 공급할 수 있기 때문에 생산 단가 측면에서 비용이 발생하지 않으므로 목적함수에 포함되지 않고 전력의 발전 단가만 고려하였다[10,11]. 또한, 마이크로 에너지 네트워크 내의 전력망은 전력 계통과 연계되어 있기 때문에 상황에 따라서 계통과 거래가 가능하다. 반면에, 열에너지의 경우에는 외부의 집단 에너지 시스템과 연계가 없기 때문에 열수요에 따라 필요시 전용보일러(heat only boiler; HOB)로 열에너지를 공급할 수 있도록 고려하였다.

$$Min C = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \left\{ \sum_{m=1}^M C_{chp_{k,m}} \cdot P_{chp_{k,m}}(t) + \sum_{n=1}^N C_{hob_{k,n}} \cdot H_{hob_{k,n}}(t) \right\} + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \{ PR_{buy_k}(t) \cdot P_{buy_k}(t) + PR_{sell_k}(t) \cdot P_{sell_k}(t) \}$$

(1)

여기서,

t = 일일 운용 구간을 나타내는 식별자

T = 일일 운용 구간의 수

k = 빌딩을 나타내는 식별자

K = 마이크로 네트워크 내 빌딩의 수

m = 열병합 발전기를 나타내는 식별자

M = 열병합 발전기의 수

n = 전용보일러를 나타내는 식별자

N = 전용 보일러의 수

$C_{chp_{k,m}}$ = k 번째 빌딩의 m 번째 열병합 발전기의 발전 단가 [원/kWh]

$P_{chp_{k,m}}(t)$ = t 번째 구간에서 k 번째 빌딩의 m 번째 열병합 발전기의 발전량[kWh]

$C_{hob_{k,n}}$ = k 번째 빌딩의 n 번째 전용보일러의 열 생산 단가 [원/kWh]

$H_{hob_{k,n}}(t)$ = t 번째 구간에서 k 번째 빌딩의 n 번째 전용보일러의 열 생산량[kWh]

$PR_{buy_k}(t)$ = t 번째 구간에서 k 번째 빌딩의 전력구입 가격 [원/kWh]

$P_{buy_k}(t)$ = t 번째 구간에서 k 번째 빌딩의 전력구입량 [kWh]

$PR_{sell_k}(t)$ = t 번째 구간에서 k 번째 빌딩의 전력판매 가격 [원/kWh]

$P_{sell_k}(t)$ = t 번째 구간에서 k 번째 빌딩의 전력판매량[kWh]

3.2 제약 조건

제약 조건은 다음과 같이 정식화하였다. 마이크로 에너지 네트워크 내의 에너지원들은 식 (2), (3)과 같이 최소와 최대 출력 범위 내에서 운전되어야 한다[12].

열병합 발전기의 출력 범위:

$$P_{chp_{k,m}}^{MIN} \leq P_{chp_{k,m}} \leq P_{chp_{k,m}}^{MAX}$$

(2)

전용 보일러의 출력 범위:

$$H_{hob_{k,n}}^{MIN} \leq H_{hob_{k,n}} \leq H_{hob_{k,n}}^{MAX}$$

(3)

여기서,

$P_{chp_{k,m}}^{MIN}$ = k 번째 빌딩의 m 번째 열병합 발전기의 최소 출력량[kWh]

$P_{chp_{k,m}}^{MAX}$ = k 번째 빌딩의 m 번째 열병합 발전기의 최대 출력량[kWh]

$H_{hob_{k,n}}^{MIN}$ = k 번째 빌딩의 n 번째 전용 보일러의 최소 열 생산량[kWh]

$H_{hob_{k,n}}^{MAX}$ = k 번째 빌딩의 n 번째 전용 보일러의 최대 열 생산량[kWh]

식 (4)는 마이크로 에너지 네트워크 내의 각 빌딩의 전력 공급 및 수요의 관계에 대한 제약식이다. 빌딩 내 전력수요량은 전력계통과의 거래뿐만 아니라 빌딩 간의 전력 거래를 통하여 만족시킬 수 있다.

$$\sum_{k=1}^K \left(\sum_{m=1}^M P_{chp_{k,m}}(t) + \sum_{l=1}^L P_{pv_{k,l}}(t) + \sum_{p=1}^P P_{wind_{k,p}}(t) + P_{buy_k}(t) - P_{sell_k}(t) \right) + \sum_{k=1}^K (P_{rec_k}(t) - P_{send_k}(t) + B_{disch_k}(t) - B_{ch_k}(t) - P_{load_k}(t)) = 0$$

(4)

여기서,

l = 태양광 발전을 나타내는 식별자

L = 태양광 발전의 수

p = 풍력 발전을 나타내는 식별자

P = 풍력 발전의 수

$P_{rec_k}(t)$ = t 번째 구간에서 k 번째 빌딩이 다른 빌딩으로부터 수전하는 전력량[kWh]

$$\begin{aligned}
 P_{send_k}(t) &= t\text{번째 구간의 } k\text{번째 빌딩에서 다른 빌딩으로} \\
 &\text{송전하는 전력량[kWh]} \\
 B_{disch_k}(t) &= t\text{번째 구간에서 } k\text{번째 빌딩으로 전력저장장치} \\
 &\text{에서 방전된 전력량[kWh]} \\
 B_{ch_k}(t) &= t\text{번째 구간의 } k\text{번째 빌딩에서 전력저장장치로} \\
 &\text{충전된 전력량[kWh]} \\
 P_{load_k}(t) &= t\text{번째 구간에서 } k\text{번째 빌딩의 전력 수요량} \\
 &\text{[kWh]}
 \end{aligned}$$

각 빌딩에서 소유하고 있는 열병합 발전기에서 발생한 열은 식 (5)에 의하여 발생 전력과 일정한 비율(열전비)로 생산이 가능하다[13].

$$H_{chp_{km}}(t) = (1/k_{k,m}) \cdot P_{chp_{km}}(t) \quad (5)$$

여기서,
 $H_{chp_{km}}(t)$ = t번째 구간에서 k번째 빌딩의 m번째 열병합 발전기의 열 생산량[kWh]
 $k_{k,m}$ = m번째 열병합 발전기의 1kWh의 발전량에 대한 열생산량의 비율

마이크로 에너지 네트워크 내의 열에너지의 경우, 식 (6)과 같이 빌딩 간의 열 네트워크를 통하여 열에너지 수요를 만족시켜야 한다.

$$\begin{aligned}
 \sum_{k=1}^K \left(\sum_{m=1}^M H_{chp_{km}}(t) + \sum_{n=1}^N H_{hob_{kn}}(t) + \sum_{q=1}^Q H_{shk_q}(t) + H_{rec_k}(t) \right) \\
 - H_{send_k}(t) - H_{load_k}(t) = 0 \quad (6)
 \end{aligned}$$

여기서,
 $H_{hob_{kn}}(t)$ = t번째 구간에서 k번째 빌딩의 n번째 전용 보일러의 열 생산량[kWh]
 q = 태양열 발전을 나타내는 식별자
 Q = 태양열 발전의 수
 $H_{rec_k}(t)$ = t번째 구간에서 k번째 빌딩이 다른 빌딩으로부터 받는 열 에너지량[kWh]
 $H_{send_k}(t)$ = t번째 구간의 k번째 빌딩에서 다른 빌딩으로 보내는 열 에너지량[kWh]
 $H_{shk_q}(t)$ = t번째 구간에서 k번째 빌딩의 q번째 태양열 발전의 열 생산량[kWh]
 $H_{load_k}(t)$ = t번째 구간에서 k번째 빌딩의 열 수요량 [kWh]

전력저장장치에서 방전 가능한 전력은 전력저장장치에 남아있는 전력량 내에서 방전이 가능하며 이는 제약조건 (7)과 같다[12].

$$0 \leq \sum_{k=1}^K B_{disch_k}(t) \leq B(t-1) \quad (7)$$

여기서,

$$B(t-1) = \text{전력저장장치에 남아있는 전력량[kWh]}$$

전력저장장치에서 충전 가능한 전력은 현재 충전되어 있는 전력량을 제외한 여유 범위 내에서 충전이 가능하며 이는 제약조건 (8)과 같다.

$$0 \leq \sum_{k=1}^K B_{ch_k}(t) \leq B^{MAX} - B(t-1) \quad (8)$$

여기서,

$$B^{MAX} = \text{전력저장장치의 최대용량[kWh]}$$

전력저장장치는 식 (9)와 같이 최소 용량, 최대 용량 범위 내에서 충·방전이 가능하며, 최종 충전상태는 손실률을 고려하여 제약 조건 (10)과 같이 나타낸다.

$$B^{MIN} \leq B(t) \leq B^{MAX} \quad (9)$$

$$B(t) = B(t-1) - \sum_{k=1}^K B_{disch_k}(t)/(1-L_d) + \sum_{k=1}^K B_{ch_k}(t) \cdot (1-L_c) \quad (10)$$

여기서,

$$B^{MIN} = \text{전력저장장치의 최소 용량[kWh]}$$

$$B(t) = t\text{번째 구간의 전력저장장치의 충전상태[kWh]}$$

$$L_d = \text{전력저장장치의 방전 손실률[\%]}$$

$$L_c = \text{전력저장장치의 충전 손실률[\%]}$$

4. 시뮬레이션

4.1 운용 조건

본 논문에서는 제시한 마이크로 에너지 네트워크의 최적 운용 수리적 모델의 타당성 검토를 위한 마이크로 에너지 네트워크를 구성으로 각 빌딩은 열과 전력을 동시에 생산하는 열병합 발전을 각 한 대씩 소유하고 있으며, 신재생 전원을 포함하고 있다. 전력의 경우에는 계통과 연계되어 있어 상황에 따라 계통과 거래가 가능하지만, 열에너지의 경우 외부 시스템이 없기 때문에 전용 열원으로서 전용 보일러를 각 한 대씩 고려하였다.

빌딩(A) : 열병합발전, 태양광발전, 전용보일러

빌딩(B) : 열병합발전, 태양열발전, 전용보일러

빌딩(C) : 열병합발전, 풍력발전, 전용보일러

여기서, 신재생 전원은 시간, 장소에 따라 출력량이 일정하지 않기 때문에 구간별 발전량을 실시간으로 예측하기에는 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 특정 단지의 과거 실적 등을 고려한 통계 모델을 활용하여 입력데이터로 사용하였으며 예측이 가능한 것으로 가정한다.

표 1과 표 2는 각각 각 빌딩의 열병합발전과 전용보일러의 입력데이터와 전력저장장치의 입력데이터를 나타낸 것이고 그림 2는 매 구간별 전력거래 가격을 나타낸 것이다.

표 1 에너지원별 입력데이터

Table 1 Input data of energy sources

Item	Building A		Building B		Building C	
	CHP	HOB	CHP	HOB	CHP	HOB
Cost (₩/kWh)	140	160	156	170	160	165
Min. Capacity (kWh)	0	0	0	5	7	10
Max. Capacity (kWh)	450	500	350	200	250	200
Heat rate	1.25	1.11	0.8	-	-	-

표 2 전력저장장치의 데이터

Table 2 Data of battery energy storage system (BESS)

Initial capacity (kWh)	Min. capacity (kWh)	Max. capacity (kWh)	Loss rate (%)
30	10	100	0.05

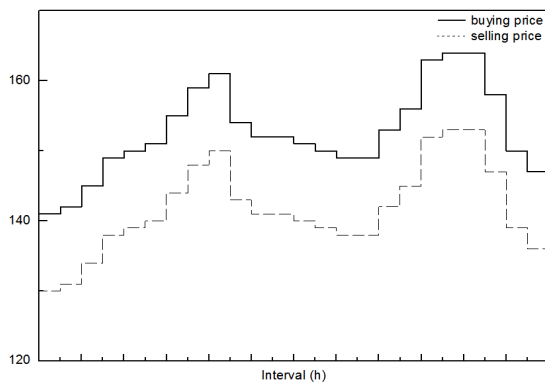


그림 2 전력 거래 가격

Fig. 2 Power trading prices

마이크로 에너지 네트워크의 운영 계획 수립의 타당성 및 추후 실시스템에 대한 실행가능성을 검토하기 위하여 부하량 패턴이 서로 다른 병원, 주택, 복합 상가 빌딩을 고려하였다. 각 빌딩의 전력과 열 부하량은 특정 연도의 일일 부하량을 통계 내어 부하 패턴을 추출하였으며 이는 그림 3, 그림 4에 각각 나타내었다.

4.2 최적 운용 결과

그림 5 - 그림 7은 각 빌딩 내 전기 에너지의 최적 결과를 나타낸 것이다. 발전기 단가가 가장 낮은 열병합 발전기를 가지고 있는 빌딩 A의 경우 그림 5와 같이 발전기 용량보다 부하량이 높은 구간을 제외하고는 다른 빌딩에 전력을 공급하기 위하여 더 많은 전력을 발전하고 있다. 또한, 전력 거래 가격이 가장 낮은 구간 1에서는 잉여 전력을 전력저장장치로 충전하는 것을 볼 수 있다.

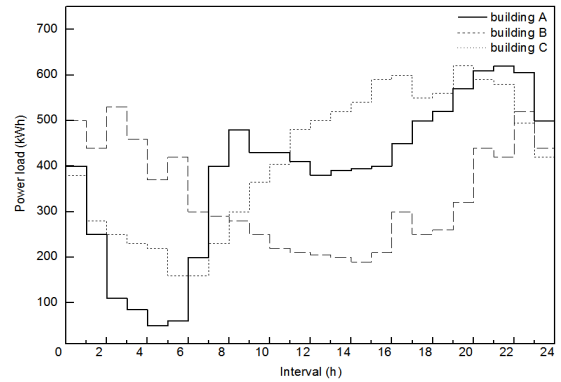


그림 3 빌딩 내 전력 부하 패턴

Fig. 3 Pattern of power load in building

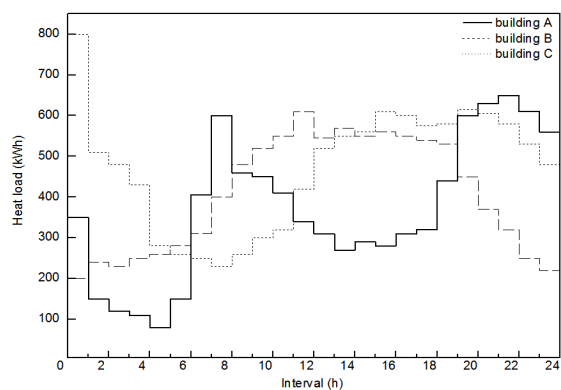


그림 4 빌딩 내 열 부하 패턴

Fig. 4 Pattern of thermal load in building

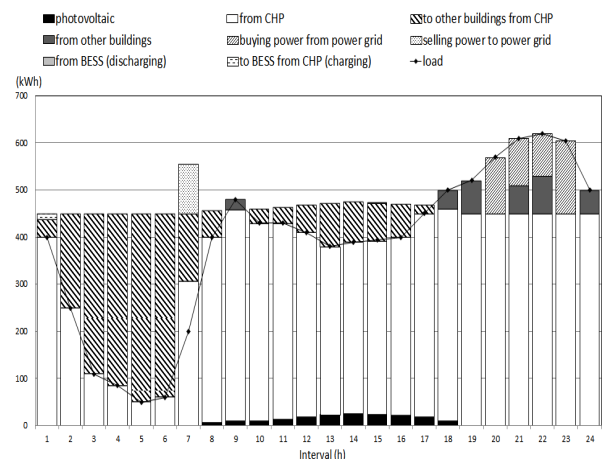


그림 5 빌딩 A의 전기 에너지

Fig. 5 Electrical energy of building A

그림 6은 빌딩 B의 전력 부분을 나타낸다. 빌딩 B의 열병합 발전기는 발전기 단가보다 거래 가격이 높은 구간에는 빌딩 내 열 수요량만을 충족시킬 수 있도록 열전비 내에서 최소한의 전력만 발전시키고 있으며, 부족한 전력 부하량은 다른 빌딩으로부터 수전받거나, 계통으로부터 구입하여 수요를 충족시키고 있다. 그 외의 구간에서는 발전 단가가 가장 높은 열병합 발전기를 가지고 있는 빌딩 C를 위하여 내부

부하량보다 더 많은 전력을 발전하고 있다. 특히, 운용 구간 8-18의 경우, 높은 열 수요량을 충족시키기 위하여 빌딩 B의 열병합 발전기가 최대로 운전하고 있다. 그에 따라서 잉여 전력을 다른 빌딩으로 송전하거나 계통으로 판매하여 이익을 얻고 있음을 확인할 수 있다. 전력의 경우에는 계통과 연결되어 있기 때문에 잉여 전력을 판매하여 이익을 얻을 수 있으며 판매 이익이 없거나, 부하량이 높으면서 거래 가격이 높은 구간을 위하여 그림 6의 구간 15와 같이 전력저장장치로 잉여 전력을 충전하고 있다.

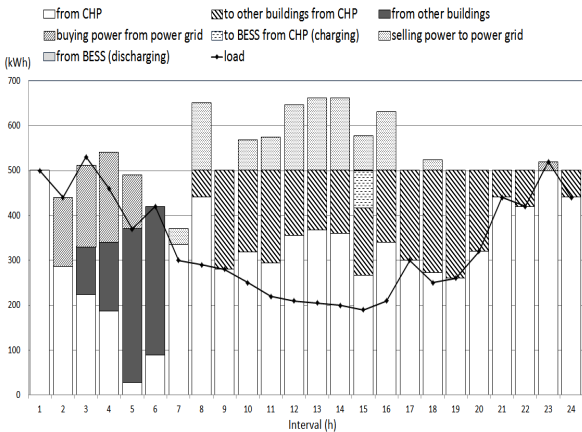


그림 6 빌딩 B의 전기 에너지
Fig. 6 Electrical energy of building B

그림 7의 구간 9, 20에서는 계통과의 전력 구매 가격이 높기 때문에 저장되어 있던 전력을 방전하여 수요를 충족시키고 있다. 특히, 전력과 열 부하량 모두 높은 구간 21에서는 많은 양의 전력을 방전하여 수요를 만족시키고 있으며, 이는 발전기 단가가 가장 높은 빌딩 C도 다른 빌딩과 마찬가지로 경제적으로 운전하고 있음을 알 수 있다.

그림 8 - 그림 10은 수요공급의 법칙에 따라 열에너지를 생산하는 설비들의 출력량을 나타낸 것이다. 본 논문에서는 열병합 발전기의 경우 전력을 생산하는 과정에서 배출되는 열을 회수하여 수용가에 공급한다는 점을 중점으로 두어 운

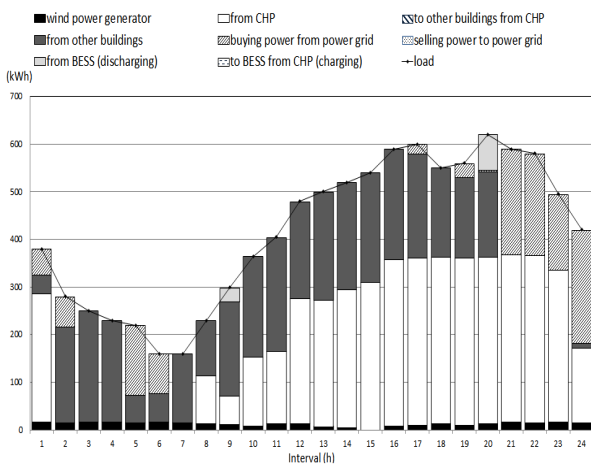


그림 7 빌딩 C의 전기 에너지
Fig. 7 Electrical energy of building C

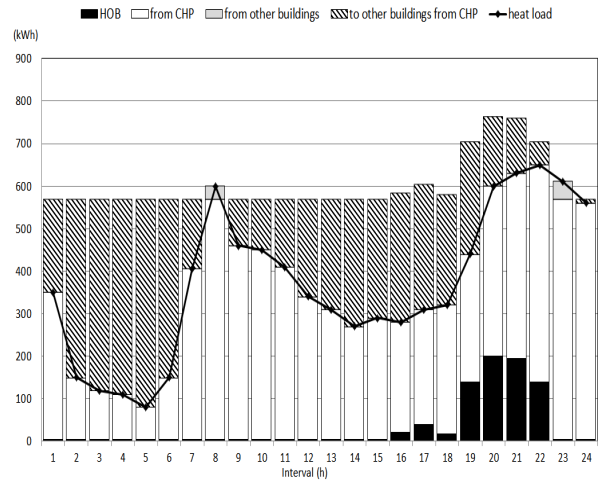


그림 8 빌딩 A의 열에너지
Fig. 8 Thermal energy of building A

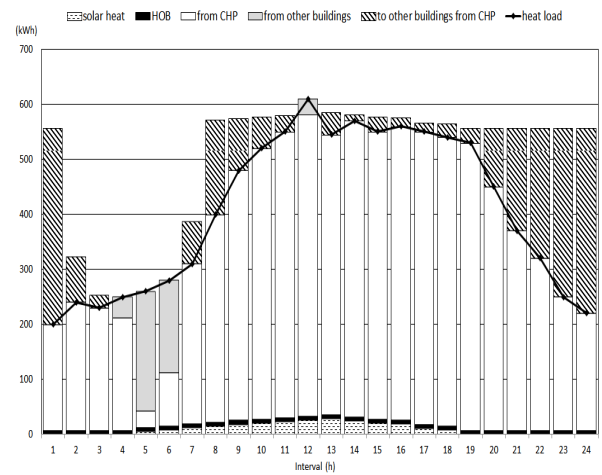


그림 9 빌딩 B의 열에너지
Fig. 9 Thermal energy of building B

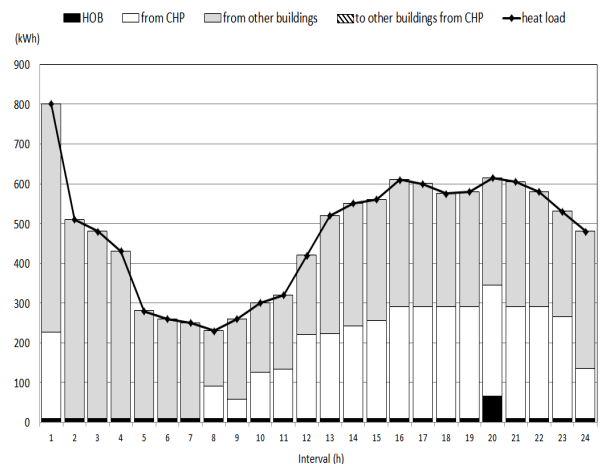


그림 10 빌딩 C의 열에너지
Fig. 10 Thermal energy of building C

용 측면에서 비용이 들지 않는다고 가정하였다. 즉, 열 부하량을 충족시키기 위해서는 열병합 발전기에서 발생하는 열을 우선적으로 수용가에 공급하고 그 외의 구간에서는 단가가 낮은 전용 보일러 순으로 가동하는 것을 볼 수 있다. 열 수요량이 높은 운용 구간 16-22의 부하는 빌딩 A의 전용보일러가 담당하고 있으며, 수요량이 가장 높은 운용 구간 20에서는 빌딩 C의 전용 보일러도 함께 가동하고 있다. 빌딩 C의 열병합 발전기의 경우, 열전비가 낮기 때문에 열 생산 범위가 다른 발전기에 비하여 상대적으로 좁게 분포되어 있다. 따라서 많은 양의 열에너지를 다른 빌딩으로부터 수열 받는 것을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 마이크로 에너지 네트워크의 최적 운용을 위하여 수립된 수리적 모델을 이용하여 시물레이션한 결과, 빌딩 B의 경우 500kWh로 가장 큰 용량의 열병합 발전기를 소유하고 있음에도 불구하고 열 수요를 충족하기 위한 최소한의 전력만을 발생시키고 그 외의 부족한 전력량은 다른 빌딩으로부터 수전 받거나, 계통으로부터의 전력 가격이 낮은 구간에는 전력을 구입하여 전력 수요를 충족시켰다. 또한, 전력 구매 가격이 특정 열병합 발전기의 발전 단가보다 높은 구간에는 발전 단가가 낮은 열병합 발전기를 소유하고 있는 빌딩에서 자신의 부하를 충족시켰음에도 불구하고 타 빌딩으로 공급하기 위하여 내부 부하량보다 더 많은 전력을 발전하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 마이크로 에너지 네트워크 내의 빌딩은 독자적으로 운용하였을 때보다 빌딩 간의 연계를 통하여 경제적으로 운용할 수 있음을 보여 주고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 전력과 열에너지를 동시에 생산하는 열병합 발전을 이용하여 빌딩간의 거래를 고려한 마이크로 에너지 네트워크를 제안하였다. 또한, 마이크로 에너지 네트워크를 경제적으로 운용하기 위한 수리적 모델을 정식화하고 시물레이션을 통하여 적용 가능성을 검토하였다.

시물레이션 결과를 통하여 마이크로 에너지 네트워크에 의해서 계통과의 거래 가격과 에너지 설비의 생산단가를 고려하여 마이크로 에너지 네트워크 내의 에너지원들의 출력량을 결정하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 빌딩 개별적으로 에너지 수요를 충족시키는 것보다 마이크로 에너지 네트워크를 통하여 전력과 열에너지를 통합적으로 운영하는 것이 더욱 경제적임을 확인할 수 있었다.

추후 연구로는 분산형 마이크로 에너지 네트워크의 메카니즘 설계 및 운영을 위한 수리적 모델을 정식화하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업으로 수행한 결과입니다 (B3 - 2431)

References

[1] H.-M. Kim, Y. Lim, and T. Kinoshita, "An Intelligent Multiagent System for Autonomous Microgrid Operation," *Energies*, Vol. 5, Issue 9, pp.

3347-3362, Sept. 2012.

[2] H.-M. Kim, T. Kinoshita, and Y. Lim, "Talmudic Approach to Load-shedding of Islanded Microgrid Operation based on Multiagent System," *Journal of Electrical Engineering & Technology*, Vol. 6, No. 2, pp. 284-292, 2011.

[3] VTT TIEDOTTEITA, *Technical Features for Heat Trade in Distributed Energy Generation*, 2005.

[4] Y.-H. Im, J.-Y. Lee, and M. Chung, "A Study for the Methodology of Analyzing the Operation Behavior of Thermal Energy Grids with Connecting Operation," *KIPS Trans. on Computer and Communication Systems*, Vol. 1, No. 3, pp. 143-150, 2012.

[5] M. Chung, and H.-C. Park, "Development of A Software Packhage for Community Energy System Assessment - Part I: Building A Load Estimator," *Applied Energy*, Vol. 35, pp. 2767-2776, 2010.

[6] M. Chung, S.-G. Lee, C.-H. Park, H.-C. Park, and Y.-H. Im, "Development of A Combined Energy-Demands Calculator for Urban Building Communities in Korea," *Environment and Planning B*, Vol. 40, pp. 289-309, 2013.

[7] M. Chung, and H.-C. Park, "Building Energy Demand Patterns for Department Stores in Korea," *Applied Energy*, Vol. 90, pp. 241-249, 2012.

[8] Y.-H. Im, H.-C. Park, "Analysis for The Operation Behavior and Optimization of CHP System in Distric Heating and Cooling Network," *Proceedings of 12th International Symposium on Distrect Heating and Cooling*, pp. 157-167, Sep. 2010.

[9] M. Chung, C.-H. Park, S.-G. Lee, H.-C. Park, Y.-H. Im, and Y.-H. Chang, "A Decision Support Assessment of Cogeneration Plant for A Community Energy System in Korea," *Applied Energy Policy*, Vol. 47, pp. 365-383, 2012.

[10] S.-D. Oh, K.-Y. Kim, S.-B. Oh, and H.-Y. Kwak, "Optimal Operation of A 1-kW PEMFC-based CHP System for Residential Applications," *Applied Energy*, Vol. 95, pp. 93-101, 2012.

[11] A. K. Basu, S. Chodhury, and S. P. Chowdhury, "Operational Management of CHP-based Microgrid," *Proceedings of 2009 IEEE Power System Technology*, pp. 24-28, Oct. 2009.

[12] J.-H. Lee, and J.-S. Park, "Optimal Microgrid Operation Considering Combined Heat and Power Generation with Variable Heat and Electric Ratio," *Trans. KIEE*, Vol. 61, No. 10, pp. 1548-1533, Oct. 2012.

[13] H.-M. Kim, M.-C. Shin, C.-H. Kim, and C.-Y. Won, "Optimum Operation of Small Power Producing Facilities Interconnected with Power System," *Trans. KIEE*, Vol. 44, No. 4, pp. 409-417, Apr. 1995.

저 자 소 개



이 지 혜 (李 枝 漣)

1989년 10월 7일생. 2012년 인천대학교 공과대학 전기공학과 졸업, 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.

Tel : 032-835-4206

E-mail : jihyelee@incheon.ac.kr



김 학 만 (金 學 萬)

1966년 2월 11일생. 1998년 성균관대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학박사), 2011년 일본 Tohoku(東北)대학교 정보과학연구과 졸업(공학박사), 1996년 10월 ~ 2008년 2월 한국전기연구원 전력연구단 선임연구원, 현재 인천대학교 공과대학 전기공학과 교수. 대한전기학회 시니어 회원.

Tel : 032-835-8706

E-mail : hmkim@incheon.ac.kr



임 용 훈 (林 勇 勳)

1973년 5월 23일생. 2003년 포항공과대학교 공과대학 기계공학과 졸업(공학박사), 2004년 7월 ~ 현재 한국에너지기술연구원 에너지효율연구단 책임연구원.

Tel : 042-860-3327

E-mail : iyh@kier.re.kr



이 재 용 (李 在 鏞)

1974년 2월 2일생. 2003년 인하대학교 기계공학과 졸업(공학박사), 2003년 ~ 2008년 삼성종합기술원 전문연구원, 2008년 ~ 2011년 University of Cincinnati, Research associate, 현재 한국에너지기술연구원 선임연구원.

Tel : 042-860-3545

E-mail : jylee@kier.re.kr