

경제성 기반의 마이크로그리드 최적운영 프로그램 개발

(Development of Economic based Optimal Operation Program for Microgrid)

이학주* · 채우규 · 송일근 · 윤용태

(Hak-Ju Lee · Woo-Ku Cha · Il-Kun Song · Yong-Tae Yoon)

요 약

본 논문에서는 전력시장 환경에 있어서 신재생 에너지를 포함한 마이크로그리드의 최적운영을 위한 발전계획 방안을 제시하였다. 마이크로그리드는 전력과 동시에 열을 공급할 수 있는 소규모 전력공급시스템으로 경제성 확보를 위한 운전최적화 알고리즘이 필요하다. 따라서 신재생 에너지는 발전 즉시 부하에 전력을 공급하도록 하고, 배터리는 부하평준화에 이용한다. 동적계획법을 적용하여 마이크로그리드 운전에 따른 수익 최대화가 가능한 마이크로그리드 운전 최적화 프로그램을 개발하였으며, 독립운전 및 계통연계 운전모드에서 개발 프로그램의 사례연구를 통해 프로그램의 유효성을 보이고 있다. 제안된 마이크로그리드 최적운영 프로그램은 향후 마이크로그리드 시장이 형성 되면 마이크로그리드의 경제적 운전기법 개발에 적용이 가능하다.

Abstract

This paper addresses unit commitment for microgrid optimization including renewable energy sources, working under deregulated power market. As microgrid supplies both heat and electricity for consumer, operational optimization must be done to meet their demand economically. So renewable energy sources are considered to be negative load, and batteries are used as the load flattening device to raise possibly operational function. In the state of solution, the program is developed to solve out the maximum profit of microgrid using dynamic programming method. Finally, its validity is verified through case study in isolation mode and interconnected mode. The S/W will be used to operate microgrid economically after the market of microgrid is formed.

Key Words : Micro-Grid, Unit Commitment, Economic Dispatch, Dynamic Programming, Optimization, Renewable Energy, Power Market

1. 서 론

최근 전력산업은 전통적인 발전, 송전, 배전, 수용가의 수직적 구조에서 배전/수용가에서 발전 및 송배전이 모두 이루어지는 On-Demand 구조로 진화하고 있는 가운데 분산전원으로 구성된 마이크로

* 주저자 : 한전 전력연구원 선임연구원
Tel : 042-865-5982, Fax : 042-865-5944
E-mail : juree@kepri.re.kr
접수일자 : 2009년 7월 29일
1차심사 : 2009년 7월 30일
심사완료 : 2009년 8월 24일

그리드 기술이 이슈화되고 있다. 마이크로그리드는 다수의 소규모 분산전원과 부하의 집합체로 복수의 전원 및 열원이 IT 기술을 이용하여 제어, 관리되고 전력회사의 상용계통과 연계운전은 물론 독립운전이 가능한 온 사이트형 전력공급 시스템으로 정의된다[1-3]. 또한, 신재생 에너지 전원, 마이크로 가스터빈, 연료전지 및 열병합 발전 등 다양한 형태의 전원이 연계 가능하고, 전력공급 신뢰도 및 전력품질 향상, CO₂저감, 손실절감 등의 장점으로 기존 대규모 전력계통의 단점을 보완, 극복할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 마이크로그리드의 경제급전은 기기특성 범위 내에서 자원의 최저비용 조합이라는 측면에서의 적용이 가능하고, 전력거래도 시점만 다를 뿐이지 동일하므로 대규모 전력계통과 유사하다. 또한, 기저부하는 초기 투자비용이 높고 가변비용이 낮은 기술의 적용도 마이크로그리드에 적합하다. 다만, 마이크로그리드는 발전기 소유주가 사용자 및 결정자여서 투자와 운용의 의사결정이 간단하고 기존 발전시스템과 다른 신뢰도의 차별성, 운전상의 제약이 포함하게 된다. 마이크로그리드는 기존 전력계통 관점에서 접속된 모든 기기에 적용되는 규칙을 준수하고 자원의 최적조합이 기술적으로 다양하다는 의미에서 선량한 시민으로 표현된다. 또한 마이크로그리드는 부하증가에 따른 전력설비의 증설을 회피할 수 있고, 가격정보에 의해 전력의 거래가 가능하여 과부하 삭감, 신규 발전설비 증설 억제, 지역적 전압유지, 안정도 향상 및 부하에 대한 빠른 응답으로 역할에 의해 모범시민이 될 수 있다. 결과적으로 마이크로그리드의 경제성, 사업성은 마이크로그리드의 구조와 운영방식에 의해 결정되지만 궁극적인 목적은 에너지 비용의 절감이다[4]. 따라서 다양한 분산전원을 부하조건에 맞게 운전, 제어하고 계통연계 운전의 경우 부하패턴에 따라 분산전원과 에너지 저장장치의 유기적인 운영과 분산전원의 경제성, 운전특성을 고려한 제어 및 운영알고리즘이 필요하다. 기존의 논문에서는 연료비용의 최소화에 의한 경제성 확보관점에서 논문이 발표되었고 분산전원의 발전계획에 관련된 논문도 전력시장을 통한 마이크로그리드의 경제성 확보 측면보다 적정한 전력분담에 초점이 맞추어져 있으며, 전력

시장 환경에서 가격 기반의 마이크로그리드 출력 결정방법이나 운전전략에 대한 논문발표는 드물다[5-6]. 본 논문에서는 열과 전력공급에 대한 마이크로그리드의 제약조건과 전력거래 가격을 고려하여 마이크로그리드 운전에 따른 수익을 최대화하기 위한 분산전원 출력 결정 및 운전방안을 제안하고 있다. Dynamic Programming(이하 DP)을 이용한 마이크로그리드 최적운영 프로그램을 개발하고 다양한 분산전원 및 운전모드(독립, 계통연계 운전)를 고려한 마이크로그리드의 사례연구를 통하여 마이크로그리드의 운전 전략에 따른 경제적 가치를 평가한다.

2. 마이크로그리드 구조와 전력거래

마이크로그리드가 상용계통과 연계되어 운전되는 경우 전력시장에 참여하여 모범시민의 역할을 수행할 수 있으며, 마이크로그리드 입장에서는 수익을 최대화하기 위한 효율적인 운전이 가능하다. 그러므로 마이크로그리드에서 제안될 수 있는 시장정책과 제어전략은 운전 최적화이다. 최적화기법에 의해 발전량과 담당 분산전원을 지정하여 마이크로그리드의 가치를 최대화한다. 이는 그림 1과 같이 마이크로그리드의 중앙 집중제어구조에서 가능해지며, 분산전원과 출력에 대한 입찰에 참여하고 마이크로그리드 제어를 통해 입찰을 결정한다. 계통운영자와 분산전원의 인터페이스를 마이크로그리드 제어기(MicroGrid Central Controller; 이하 MGCC)가 담당하며 운전에 의한 가치 극대화의 책임도 가진다[7]. 분산전원제어기는 마이크로그리드 제어기의 명령을 수행하고 계통연계운전 모드에서 개별 분산전원의 유효, 무효전력의 출력에 대한 결정을 한다. 또한 마이크로그리드 제어기는 분산전원 제어기에 전압, 전력의 지정값 제공, 전력 및 열 부하의 수급, 계통연계 조건의 만족 및 마이크로소스의 운전효율 최대화를 주요 기능으로 하며, 이를 위해 부하 및 분산전원 출력의 단기예측, 경제급전, 안전평가 및 부하삭감 등의 수요관리의 수행이 가능하여야 한다.

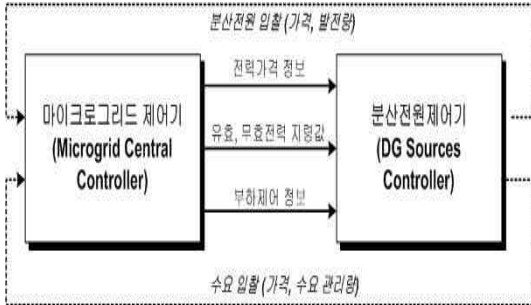


그림 1. 마이크로그리드와 분산전원 제어기
Fig. 1. Controller of Microgrid and distributed resources

본 논문에서는 향후 마이크로그리드 확대보급에 의한 시장 활성화를 전제로 하여 전력 및 열 공급가격, 과 부하의 제약조건을 고려한 최적운영 알고리즘을 다이나믹 프로그래밍(Dynamic Programming, 이하 DP)기법을 이용하여 개발하였다. 마이크로그리드 운전에 의한 수익최대화를 목적함수로 적용하였다. 마이크로그리드 구성을 위한 마이크로소스는 출력 제어 가능한 열병합발전, 마이크로터빈 및 연료전지를 그리고 출력에 대한 제어가 어려운 신재생 에너지는 태양광 발전과 풍력을 포함하며, 열은 열병합 발전과 보일러에 의해 공급되도록 프로그램을 구성하였다.

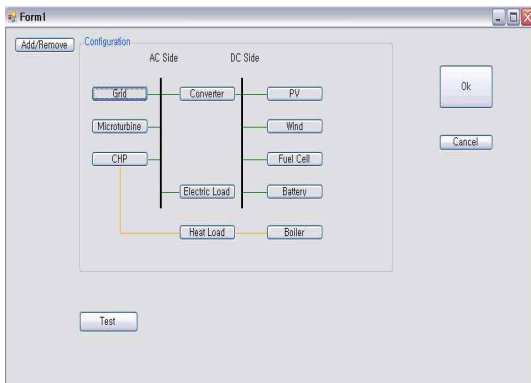


그림 2. 마이크로그리드 최적운영 프로그램의 초기화면
Fig. 2. Screenshot of Microgrid optimal operation program

마이크로그리드에서 태양광 발전, 풍력과 같이 불안정한 출력을 내는 분산전원은 기후변화를 예측하

는 발전계획을 통한 발전기의 출력 안정화와 전력품질의 유지가 중요하고, 발전기가 설치가 되어 있다면 별도의 연료비용이 필요하지 않기 때문에 계속해서 발전하는 것이 발전사업자에게 이득이 된다. 따라서 본 논문에서는 발전기의 용량이 결정된 경우 그 한도와 자연적인 제약 조건하에서 최대 출력을 내어 부하를 감소시키는 것으로 해석하였다. 본 논문은 그림 2의 프로그램 초기화면과 같이 각각의 마이크로소스를 선택하여 마이크로그리드를 구성할 수 있도록 개발되었으며, 필요한 데이터의 입력이 가능하도록 텍스트 파일로 정리되어 있어 파일을 수정하여 사용자가 원하는 시뮬레이션이 가능하다.

3. 최적운전의 정식화

3.1 마이크로그리드 수입

마이크로그리드의 운전에 따른 수입은 수용가에 열, 전력공급 금액의 합으로 나타낼 수 있다. 또한 마이크로그리드가 상위계통과 연계되어 운전하는 경우 별도의 계약금액으로 전력을 판매한 금액이 포함된다. 즉, 마이크로그리드의 수입은 식 (1)과 같이 공급량과 단가의 곱으로 계산된다[8-9].

$$R_k = P_k^e \cdot \rho_k^e + P_k^h \cdot \rho_k^h + P_{k_{sell}}^e \cdot \rho_{k_{sell}}^e \quad (1)$$

여기서, k 는 시간구간, R_k 는 시간구간 k 의 총수입, P_k^e , P_k^h , $P_{k_{sell}}^e$ 는 각각 k 에서의 전력, 열 부하 및 상위계통에 판매한 전력이다. 또한, ρ_k^e , ρ_k^h , $\rho_{k_{sell}}^e$ 는 각각의 단가이다.

3.2 마이크로그리드 비용

마이크로그리드 운전비용은 식 (2)와 같이 분산전원의 발전비용, 기동 및 정지비용, 배터리의 감가상각비용과 내부 부하의 전력공급을 위하여 상위계통으로의 전력구매 비용의 합으로 표현된다.

$$C_{k, total} = c_{G, i}(P_{k, i}) + C_{k, i}^{up/down} + C_{k, buy} + C_{k, bw} \quad (2)$$

3.2.1 발전 비용

발전비용은 연료비, 유지보수 비용과 손실을 포함한다. 본 논문에서는 식 (3)과 같이 전력생산함수의 이차함수로 가정하고 있다.

$$c_{G,i}(P_{k,i}) = u_{k,i}(aP_{k,i}^2 + bP_{k,i} + c) \quad (3)$$

여기서, i 는 분산전원, $P_{k,i}$ 는 분산전원 출력이며, a, b, c 는 상수이다.

3.2.2 분산전원 기동 · 정지 비용

분산전원 기동, 정지 시에 지불되는 비용이다.

$$C_{k,i}^{up/dn} = u_{k,i} \cdot I(x_{k-1,i} < 0)S_i + (1 - u_{k,i}) \cdot (d_i^{fix} + I(x_{k-1,i} > 0)T_i) \quad (4)$$

여기서, S, T 는 분산전원의 기동 및 정지의 시간 당 단가, d_i^{fix} 는 고정비용, $u_{k,i}$ 는 시간구간 k 에서의 분산전원 제어 유니트로 “0”는 해당 분산전원의 Off를 “1”은 On을 의미한다. 또한, $x_{k,i}$ 는 분산전원이 운전, 정지된 누적시간을 나타내는 상태변수이다.

3.2.3 전력 구매비용

전력구매 비용은 마이크로그리드의 수급 밸런스를 유지하기 위하여 상위 계통으로부터의 구매한 전력에 대한 비용으로 구매전력량과 단가의 단순 곱으로 표현된다. 본 논문에서는 전력의 구매 단가와 상위계통으로의 전력 판매단가를 다르게 설정하였다.

$$C_{k,buy} = P_{k,buy}^e \cdot p_{k,buy}^e \quad (5)$$

$P_{k,buy}^e, p_{k,buy}^e$ 는 각각 상위계통에서 구매한 전력 및 가격이다.

3.2.4 배터리 감가상각비용

배터리는 별도의 연료가 필요 없지만 충, 방전을 이 수명에 영향을 준다.

$$C_{bv} = \frac{C_{rep,bat}}{N_{bat} \cdot Q_{lifetime} \cdot \eta_{rt}} \quad (6)$$

C_{repbat} 는 배터리 뱅크의 교체비용, 뱅크 내의 배터리 수는 N_{bat} 이고, $Q_{lifetime}, \eta_{rt}$ 는 각각 배터리의 수명과 효율을 나타낸다.

3.3 목적함수

식 (7)은 마이크로그리드 운전에 의해 얻을 수 있는 수익이다.

$$\Pi_k = R_k - \sum_i^N c_{G,i}(P_{k,i}) - \sum_i^N C_{k,i}^{up/dn} - C_{k,buy} \quad (7)$$

본 논문에서는 24시간 동안의 마이크로그리드 운전에 의한 수익을 분산전원의 운전 및 정지에 의해 최대화 하고자 하므로 목적함수는 식 (8)과 같다.

$$\max_{u_{k,i}} \left\{ \sum_{k=1}^{24} \Pi_k \right\} \quad (8)$$

마이크로그리드는 전력과 열을 동시에 공급하는 시스템으로 본 논문에서 제안한 목적함수의 최적해를 구하기 위한 제약조건은 다음과 같다.

3.3.1 분산전원 최소 운전 및 정지시간

$$u_{k,i} = \begin{cases} 1 & (1 \leq x_{k,i} < t_i^{up}) \\ 0 & (-t_i^{dn} < x_{k,i} \leq -1) \\ 1, 0 & \text{other case} \end{cases} \quad (9)$$

3.3.2 분산전원의 상태 변화

$$x_{k+1,i} = \begin{cases} \max(1, x_{k,i} + 1) & \text{if } u_{k+1,i} = 1 \\ \min(-1, x_{k,i} - 1) & \text{if } u_{k+1,i} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

3.3.3 용량 제약조건

$$P_{\min,i} \leq P_{k,i} \leq P_{\max,i} \quad (11)$$

경제성 기반의 마이크로그리드 최적운영 프로그램 개발

3.3.4 전력 및 열 수요

$$\sum_i P_{k,i}^e + P_k^{exchange} \geq P_k^{e,load} \quad (12)$$

$$\sum_j P_{k,i}^h \geq P_k^{h,load}$$

3.3.5 배터리의 방전

$$(SoC)_k \geq (SoC)_{min} \quad (13)$$

3.3.6 전력변환장치의 최대용량

$$P_k^{convert} \leq P_{max}^{convert} \quad (14)$$

3.3.7 송전용량

$$P_k^{trans} \leq P_{max}^{trans} \quad (15)$$

4. DP를 이용한 최적운전 알고리즘

DP 알고리즘은 모든 상태를 거쳐서 점검하기 때문에 최종 상태에서부터 이전 상태로 거쳐 가는 동안의 모든 상태에 대하여 데이터가 저장되며 초기 상태까지 왔을 때 최대의 이윤이 나는 경로를 결과로서 보여주게 된다. 본 논문에서는 분산전원과 배터리의 상태를 상태 변수로 지정하여 분산전원의 상태가 4, -3을 분산전원의 운전 및 정지 조작변수로 지정하여 최적 알고리즘을 찾도록 적용하였다. 모든 분산전원은 초기에 On 상태에서 시작하며 24시간을 1시간 단위로 시뮬레이션한다. 분산전원 및 배터리의 상태를 그림 4와 같이 변화 시켜가면서 수익이 최대가 되는 점을 찾아내고 이 값이 결정되면 이전 단계로 돌아가서 그 시점의 최적제어 방법을 찾는다. j 와 k 에 대하여 목적함수가 최소가 되는 지점은 제어 변수 u 를 결정함으로써 결정되고 총 24시간에 대한 제어변수가 결정된다. 이후 마지막으로 초기상태를 입력한다.

본 논문에서는 분산전원의 최소 운전 및 정지 시간을 고려하여 그림 3과 같이 상태 변화도를 이용하여 분산전원의 운전을 제어한다. 본 논문에서는 최소 발전시간은 4[hr], 최소 정지시간을 3[hr]로 설정하였다. 즉, 위의 제약조건으로 인해 분산전원이 한

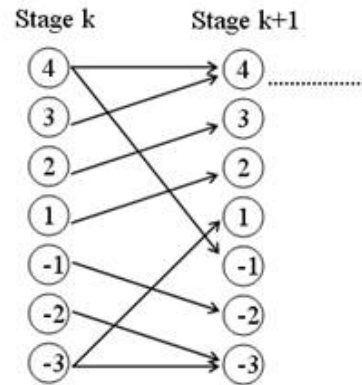


그림 3. 분산전원의 상태변화도
Fig. 3. State transition diagram of DGs

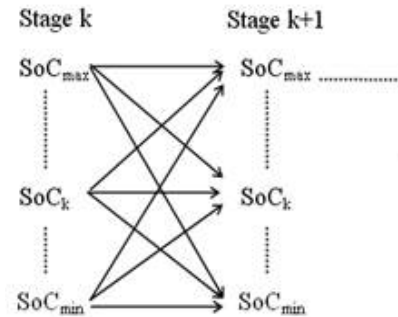


그림 4. 배터리의 상태변화도
Fig. 4. State transition diagram of Battery

번 On되면 무조건 4시간 운전을 해야 하며 그 이상 운전할 경우 제어가 가능하다. 해당 시간대의 발전 단가가 저렴해지면 4시간 이상 운전되지만 반대의 경우에는 Off되어 최소 운전정지시간을 카운트하게 된다. 배터리의 충, 방전도 특정 시간대의 전력수급 가격에 의하여 최적 결과를 도출하도록 DP 알고리즘을 구성하였으나 상태가 매우 다양하여 본 논문에서는 충, 방전 단위를 50[kWh]로 설정하였다. 또한, 본 논문에서 적용하고 있는 DP알고리즘은 외란과 경계상태를 고려하여 최종 상태에서부터 역으로 연산하는 백워드 알고리즘을 이용하였다[10-11]. 이 알고리즘에 의해 각 시간대에 대한 가치평가를 통해 마이크로그리드의 최대 수익을 내는 운영방법을 결정하는 프로그램이다.

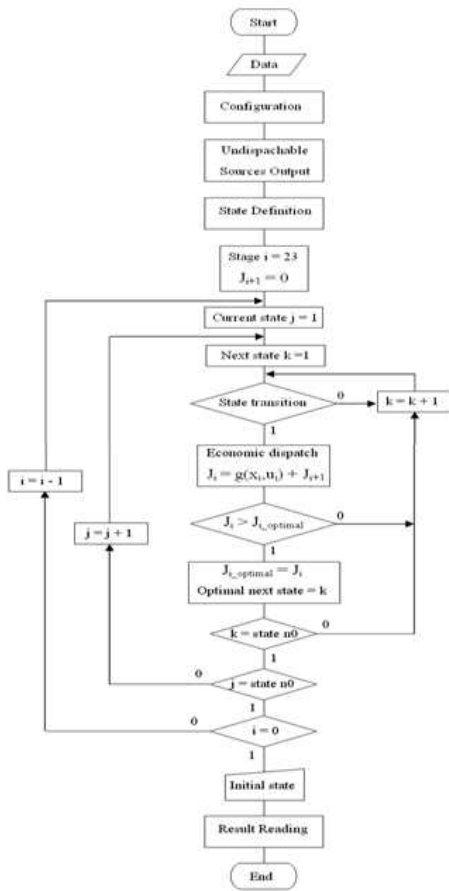


그림 5. 마이크로그리드 최적운영 프로그램 흐름도
Fig. 5. Flow chart of optimal operation program for Microgrid

5. 사례 연구

5.1 사례연구 I (독립운전 모드)

사례연구 I에서는 열병합발전, 보일러, 풍력 및 태양광 발전과 배터리를 이용하여 마이크로그리드를 구성하고 독립운전모드에서 마이크로그리드의 최적 운영을 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 열 및 전력 공급에 따른 가격은 1일 전에 결정, 공지되는 것으로 전제하였다.

마이크로그리드 운영자는 마이크로그리드 내부의 부하에 전력과 열을 공급하여 최대의 수익을 얻고자 한다.

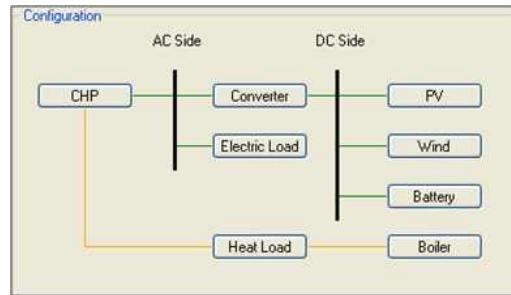


그림 6. 마이크로그리드 구성도(사례연구 I)
Fig. 6. Microgrid configuration of case study I

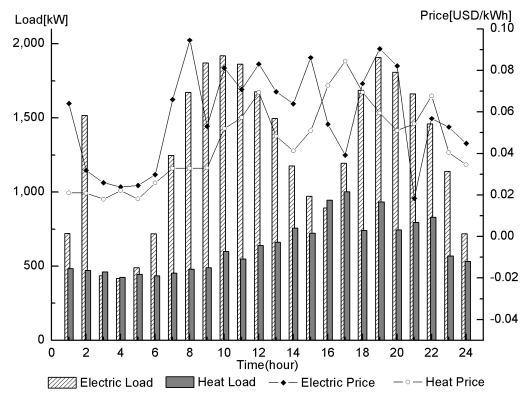


그림 7. 전력 및 열의 수요와 가격
Fig. 7. Demand and price of electric power & Heat

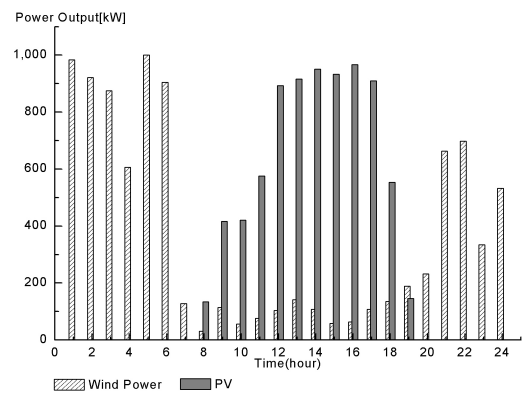


그림 8. 신재생 에너지원의 출력(태양광, 풍력)
Fig. 8. Power output of Renewable sources(PV, WT)

3시부터 6시까지는 전력수요가 적어 열병합발전은 운전이 정지된다. 따라서 이 시간대에 열 수요는

경제성 기반의 마이크로그리드 최적운영 프로그램 개발

보일러에 의해 충족시키며 전력수요는 대부분 풍력 발전이 담당하며 풍력발전의 잉여전력은 배터리를 충전하는데 이용된다. 7시에서 11시 사이에는 열 수요는 여전히 적지만 전력수요가 점점 증가하여 열병합발전에 의해 열과 전력을 공급하게 되고 보일러는 운전을 정지한다. 이 시간 이후에는 전력과 열 수요가 많아져서 보일러와 열병합발전이 같이 운전된다.

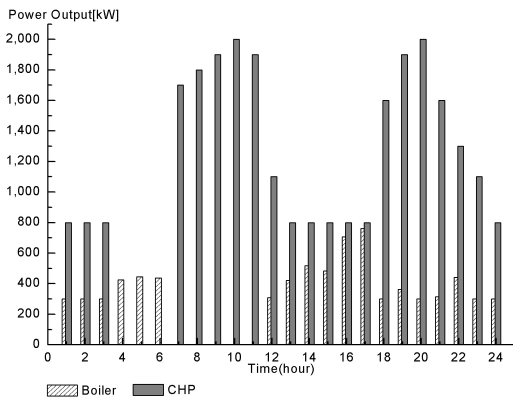


그림 9. 열병합 발전과 보일러의 최적 출력량
Fig. 9. Optimal Power output of CHP & boiler

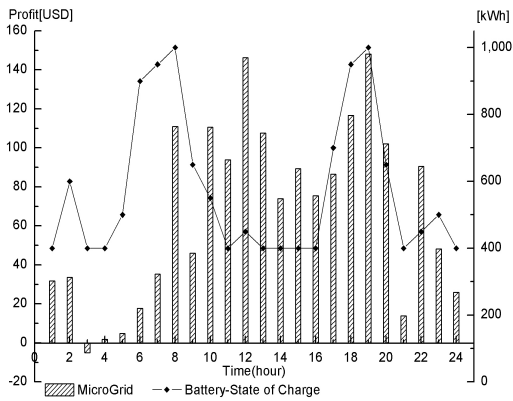


그림 10. 운전수익과 배터리 충전상태
Fig. 10. Microgrid profit & state of battery charge

그림 10은 배터리의 충전상태를 나타낸 것이다. 그림 10에서 배터리의 SoC가 현재상태보다 다음시간에 커지면 배터리가 충전된 상태이며 반대의 경우는 배터리가 마이크로그리드 내부의 전력 수요를 감당하기 위하여 방전하였음을 나타낸다.

5.2 사례 연구 II (연계운전 모드)

연료전지와 마이크로터빈을 추가하여 마이크로그리드를 구성하고 상용계통과 연계하여 운전되는 사례이다.

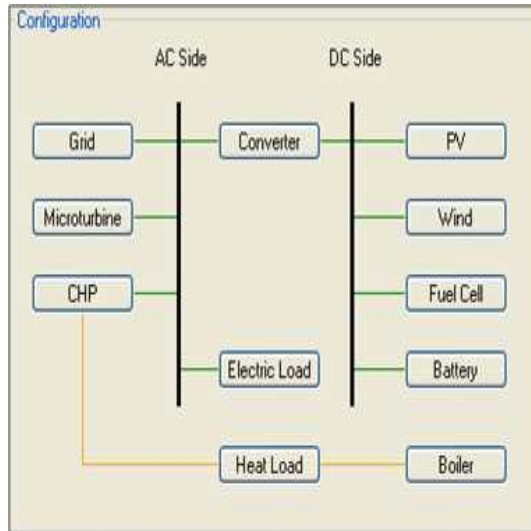


그림 11. 마이크로그리드 구성도 (사례연구 II)
Fig. 11. Microgrid configuration of case study II

사례연구II에서는 송전용량의 제약조건과 1일전 결정되는 전력구매 및 판매 단가가 다르게 적용되었다. 사례II는 마이크로그리드의 소스와 운전모드가 변경되어 사례연구 I 과는 상당히 다른 결과를 보이고 있다. 그림 16의 전력거래량에서 (-)결과는 마이크로그리드에서 상용계통으로부터 전력을 구매하는 경우이다. 본 사례에서는 전력수요가 매우 커서 대부분의 전력을 상용계통에서 구매하고, 내부의 열과 전력 수요를 충족시키기 위하여 열병합 발전은 24시간 연속적으로 운전되지만 그 출력이 적은 이유는 마이크로그리드 내부의 열수요가 적기 때문이다. 또한, 상용계통으로의 전력 판매 가격이 높은 15시에는 가능한 최대출력을 발전하여 사용계통에 전력을 판매하게 되는데 이 때 거래량은 1,500[kW]가 된다. 한편 연료전지는 발전단가가 상대적으로 높아서 많은 시간대에 발전을 하지 않지만 15시에는 최대 출력을 발전하여 전력을 판매한다.

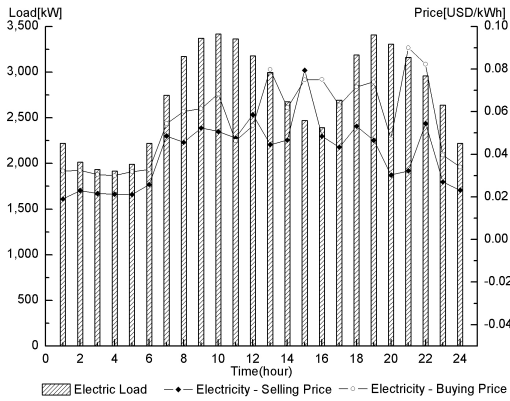


그림 12. 전력수요 및 거래가격
Fig. 12. Electric power demand and price

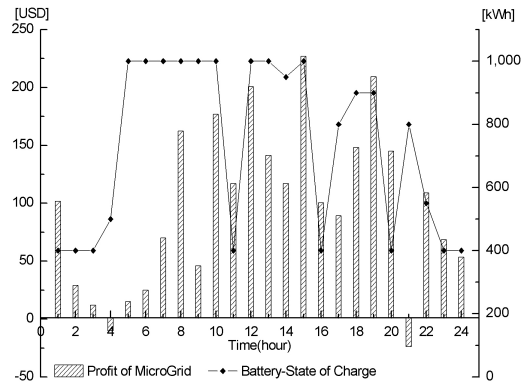


그림 14. 운전수익과 배터리 충전상태(사례연구 II)
Fig. 14. Microgrid profit & state of battery charge (case study II)

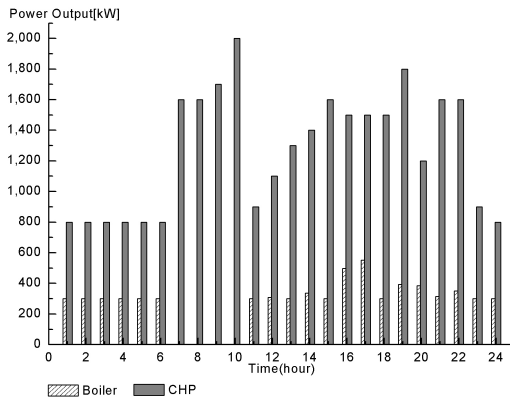


그림 13. 열병합, 보일러의 최적 출력량(사례연구 II)
Fig. 13. Optimal Power output of CHP & boiler (case study II)

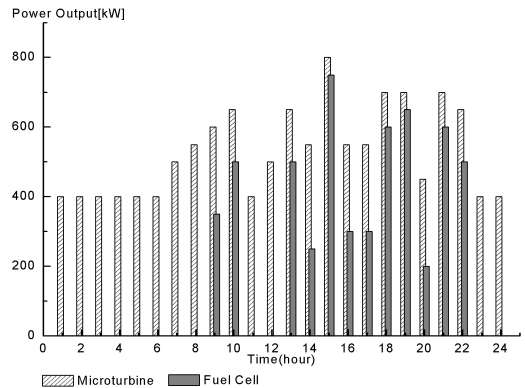


그림 15. 연료전지와 마이크로터빈의 최적 출력량
Fig. 15. Optimal power output of Fuel cell and Microturbine

그림 14에서와 같이 계통연계 운전모드는 배터리의 역할이 사례연구1보다 미미함을 알 수 있다. 처음의 결과와 마찬가지로 열병합발전이 많은 전력을 생산하는 동안 보일러는 가동되지 않았으며, 그림 15에서 전력계통으로부터 전력을 거래에 대한 확인이 가능하다.

6. 결론

본 논문에서는 다수의 분산전원으로 구성된 마이크로그리드의 전력과 열 공급 제약조건을 고려한 최적운영알고리즘을 제시하였다. 공급가격 기반의 마이크로그리드 기동정지 계획에 의한 마이크로그리드

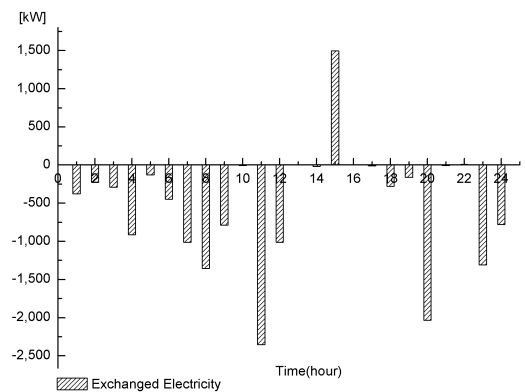


그림 16. 마이크로그리드의 전력거래량
Fig. 16. Electric power exchange of microgrid in case study II

경제성 기반의 마이크로그리드 최적운영 프로그램 개발

드의 효율적인 시장참여와 운전수익의 최대화가 가능한 경제적인 운전 방안을 DP를 이용하여 개발하였다. 수익 최대화 운전을 위하여 풍력, 태양광 등의 신재생 에너지원은 발전 가능한 최대 출력을 발전하여 부하를 감소하는 방안을 고려하고 있으며, 다양한 분산전원과 전력, 열 부하 및 운전모드를 고려하여 사용자가 직접 설계하고 시뮬레이션을 통해 설계된 마이크로그리드의 운전에 대한 경제성평가가 가능하다. 개발한 프로그램을 이용하여 마이크로그리드의 운전모드를 고려한 사례연구 결과를 제시함으로써 제안된 알고리즘의 효용성을 확인하였다. 또한, 본 논문에서 제시한 마이크로그리드 최적운영 방안은 향후 국내 마이크로그리드 시장의 기반이 형성되면 경제적 운영을 위한 운전전략 수립에 유용하게 적용이 가능할 것으로 기대된다.

References

- [1] Lasseter, R. H., "Certs Microgrid", System of Systems Engineering(SoSE 2007), IEEE International Conference on. pp.1-8, 2007.
- [2] Lasseter, R. H., et al., "Microgrid: a conceptual solution", Power Electronics Specialists Conference (PESC 2004), 2004 IEEE 35th Annual Vol.6, pp.4285-4290, 2004.
- [3] lasseter, R. H., "MicroGrids", Power Engineering Society Winter Meeting, IEEE, Vol.1, pp.305-306, 2002.
- [4] 한국전기연구원, "자율적 수요관리형 마이크로그리드 개발", 2006.
- [5] Hernandez-Aramburo, C. A. et al., "Fuel Consumption Minimization of a Microgrid", Industry Applications, IEEE on Transaction on. Vol.41 Issue.3, pp.673-681, 2005.
- [6] A. D. Hawkes, et al., "Modeling high level System Design and Unit Commitment for a Microgrid", Applied Energy, Vol.28 Issue.7/8, pp.1253-1265, 2009.
- [7] Hatzigiorgiou, N. D. et al., "Management of Microgrids in Market Environment", International Conference on Future Power System, pp.1-7, 2005.
- [8] Eric Allen. et al., "Price-based Commitment Decisions in the Electricity Market", Springer, 2006.
- [9] Benjamin F. Hobbs et al., "The Next Generation of Electric Power Unit Commitment Models", Kluwer Academic Publisher, Boston/Dordrecht/London, 2001.
- [10] Dimitri P. Bertsekas et al., "Dynamic Programming and Optimal Control", Vol.1, Athena Scientific, Belmont, Massachusetts.
- [11] Felix A. Farret, M. et al., "Integration of Alternative Sources of Energy", IEEE Press, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2006.

◇ 저자소개 ◇

이학주 (李鶴周)

1966년 12월 5일생. 1989년 충남대학교 전기공학과 졸업. 1991년 충남대학교 전기공학과 졸업(석사). 2003년 충남대학교 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 한전전력연구원 선임연구원
Tel : (042)865-5982
E-mail : juree@kepri.re.kr

채우규 (蔡又圭)

1977년 4월 22일생. 2004년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 2007년 8월 충북대학교 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 한전 전력연구원 선임연구원.
Tel : (042)865-5986
E-mail : wkchae@kepeco.co.kr

송일근 (宋一銀)

1961년 3월 3일생. 1984년 숭실대학교 전기과 졸업. 1986년 숭실대학교 전기과 졸업(석사). 1997년 숭실대학교 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 한전전력연구원 책임연구원.
Tel : (042)865-5980
E-mail : songilk@kepeco.co.kr

윤용태 (尹容兌)

1971년 4월 20일생. 1995년 M.I.T 전기컴퓨터 공학부 졸업. 1997년 M.I.T 대학원 전기·컴퓨터 공학부 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기·컴퓨터 공학부 졸업(박사). 2002~2003년 University of Oklahoma 전기컴퓨터 공학부 조교수. 2004년~현재 서울대 전기·컴퓨터 공학부 부교수
Tel : (02)880-9143
E-mail : ytyoon@snu.ac.kr