

Virtual power plant를 구성하는 분산전원의 최적 운영

염영철*, 배인수*, 김진오*, 조종만**
 한양대학교 전기공학과* · 한국전력거래소**

Short-term generation scheduling in virtual power plant with distribution resources

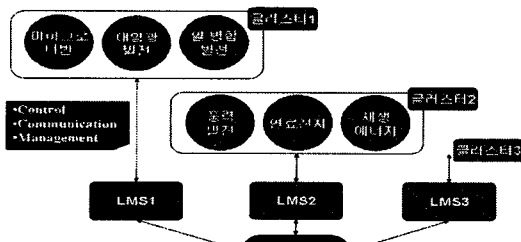
Young-Chul EUm*, In-Su Bae*, Jin-O Kim*, Jong-Man Jo**
 Dept. of EE, Hanyang University* · KPX**

Abstract - 미래의 전력 시스템은 환경과 기술적인 이유로 인해 더욱더 많은 분산전원을 이용하게 될 것이다. 분산전원은 서로 다른 특징을 가지고 있고 또한 배전계통에서 기존의 계통운영과는 다른 형태로 운전될 것이다. 이런 관점에서 다수의 분산전원을 모아 하나의 가상의 발전소로 운영하는 개념이 등장하게 되었는데, 이를 Virtual Power Plant(VPP)라고 한다. VPP는 매니지먼트 시스템이 관리하는 여러 클러스터들로 이루어져 있으며 이들 클러스터들은 각각 여러 종류의 분산전원으로 구성되어 있다. 본 논문에서는 클러스터를 이루는 분산전원을 어떻게 운영하는 것이 최적의 경제적 효율을 지닐 수 있을지에 대해 논의하게 될 것이다. 디젤 발전기의 출력의 경우 그 소유자에 의해 제어가 가능하지만, 태양광 발전 시스템의 경우 기상 상태에 따라 그 출력이 결정된다. 따라서 이러한 각각의 특성을 고려하여 본 논문에서는 디젤, CHP(Combined Heat and Power), 보일러, 태양광 발전으로 구성된 복합 시스템에서 각 시간별로 수용가의 전력 및 열 수요와 분산전원의 에너지 생산을 비교하여 VPP 최적 운영 계획을 구성하였다.

1. 서 론

최근 화석 연료의 가격 상승으로 인한 에너지 생산 비용의 증가와 환경적인 문제로 인해 재생에너지나 열병합 발전 등 기존의 발전소를 대체하는 분산 자원(Distribution Resource)의 사용이 증가하고 있다. 이런 서로 다른 특성을 지닌 분산 자원이 전력 계통에 많이 설치될 경우 기존의 운영과는 다른 형태를 고려해야 할 것이다. 이런 관점에서 다수의 분산 자원을 통신선 등을 이용하여 하나의 가상의 발전소로 운영하는 개념이 등장하게 되었는데 이를 Virtual Power Plant(VPP)라고 한다.

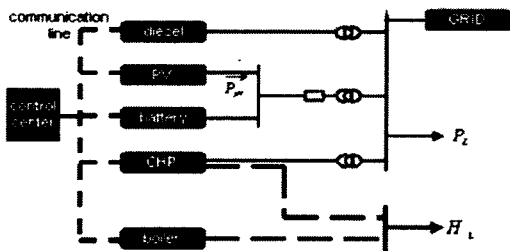
다수의 서로 다른 분산 자원은 EMS(Energy Management System)이라고 하는 중앙 전력 유닛에 의해 제어되며, 이 EMS는 다시 작은 관리 시스템으로 나눌 수 있는데 이를 LMS(Local Management System)라 한다. LMS는 여러 분산 자원들로 이루어진 클러스터를 관리하게 되며 이런 여러 구조들이 모여서 VPP를 구성하게 된다. 그림 1은 Virtual Power Plant에 대한 개념을 그림으로 나타낸 것이다[1].



〈그림 1〉 VPP 구성

본 논문에서는 클러스터를 이루는 분산 자원들을 어떻게 운영하는 것이 최적의 경제적 효율을 지닐 수 있을지에 대해 논의할 것이다.

2. 시스템 구성

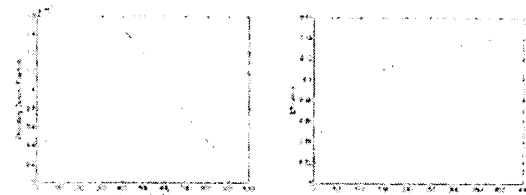


〈그림 2〉 VPP 시스템

그림 2는 VPP의 발전 시스템을 구성한 것이다. 이는 상위계통과의 연계, 디젤발전기, 보일러, CHP(열병합발전) 유닛, 그리고 재생에너지원의 하나인 태양광 발전으로 구성되어 있다.

2.1 태양광 발전

연료형 발전기와는 달리 태양광 발전은 주로 일사량에 따라 그 출력이 정해지게 되며, 발전 효율도 일사량의 변화에 따라 변하는 특징을 지닌다. 따라서 본 논문에서는 그림 3과 같은 일사량 분포함수와 어레이 효율을 이용해서 태양광 발전의 출력을 나타내었다[3],[4].



〈그림 3〉 일사량 확률밀도함수 및 어레이 효율

태양광 발전의 출력이 급격히 변하는 것을 막기 위해 배터리를 이용하여 출력이 평균보다 이하일 때에는 방전을, 평균 출력보다 더 많은 전력을 생산할 때에는 충전하는 형태로 운영하였다.

2.2 디젤발전기 및 보일러

디젤발전기는 전력(p)을, 보일러는 열에너지(h)를 생산하는 것으로 그에 대한 비용함수는 일반적으로 식 (1), (2)와 같이 2차함수의 형태를 가진다.

$$C_e(p) = \alpha_e + \beta_e \cdot p + \gamma_e \cdot p^2 \quad (1)$$

$$C_h(h) = \alpha_h + \beta_h \cdot h + \gamma_h \cdot h^2 \quad (2)$$

2.3 열병합 발전(CHP)

CHP 유닛의 경우 열에너지(h_{chp})와 전력(p_{chp})를 같이 생산하며 본 논문에서는 열에너지와 전력에너지를 일정한 비율로 생산한다고 가정하였다.

$$p_{chp}(h_{chp}) = \eta_{chp} \cdot h_{chp} \quad (3)$$

2.4 상위계통과의 전력 교환

전력 시장이 자유화 된다면 상위계통과 거래되는 전력의 시간당 가격은 C_{spot}으로 주어지게 되고, 그에 대한 식은 다음과 같다.

$$C_{grid}(p_{exchange}) = C_{spot} \cdot p_{exchange} \quad (4)$$

여기서, p_{exchange}는 계통에서 교환되는 전력의 양을 나타낸다. 이 값이 음수가 된다면 이는 곧 VPP에서 전력을 생산하여 계통에 판매한 것으로, 그 금액은 VPP의 이익이 된다.

3. VPP 운영

VPP 운영자는 각 발전기를 최적으로 운영하여 부하에 전력을 공급하고, 그 외 남은 전력은 상위계통에 판매를 하게 된다. 이에 대한 목적함수는 생산비용을 최소화 하는 것으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{total} = \sum_i^{n_r} C_e(p_i) + \sum_i^{n_h} C_h(h_i) + \sum_i^{n_{chp}} C_{chp}(h_{chp,i}) + C_{grid} \quad (5)$$

이와 관련한 전력 및 열에너지의 부하 밸런스는 다음 식과 같으며, 이는 목적함수에 대한 제약조건으로 볼 수 있다.

$$\sum_i^{n_h} h_i + \sum_i^{n_h} h_i - h_{demand} \geq 0 \quad (6)$$

$$\sum_i^{n_p} p_i + \sum_i^{n_{chp}} p_{chp,i} + \sum_i^{n_{pv}} p_{pv} + p_{grid} = 0 \quad (7)$$

4. 사례 연구

사례연구에서는 VPP를 구성하여 최적 운영을 하였을 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하기 위해 두 가지 case에 대해서 생각해 보았다. case 1의 경우 VPP를 구성하여 최적운영을 하였고 case 2의 경우는 분산 자원들이 VPP를 구성하지 않고 각각의 부하에 전력을 공급하는 독립적인 운영을 가정하였다. 시스템을 구성하는 분산 자원들의 데이터는 다음과 같이 표로 나타내었다.

〈표 1〉 디젤 발전기와 보일러

	$p_{min} (kW)$	$p_{max} (kW)$		$h_{min} (kW)$	$h_{max} (kW)$
p_1	0	1200	h_1	0	800
p_2	0	700	h_2	0	500

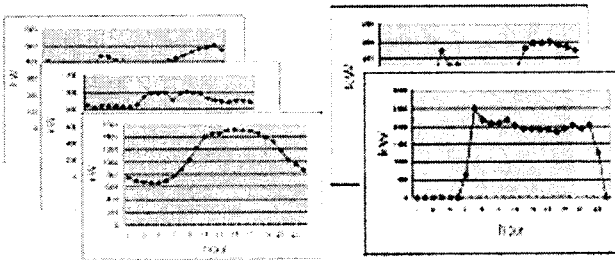
〈표 2〉 CHP 유닛

	$h_{chp min} (kW)$	$h_{chp max} (kW)$	$kc(kW_e/kW_n)$
h_{chp1}	0	1300	1.3
h_{chp2}	0	500	0.7
h_{chp3}	0	800	1.1

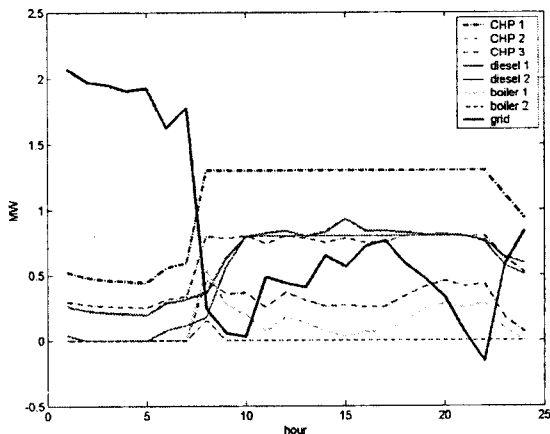
〈표 3〉 태양광 발전 평균 출력

	평균출력 (kW)
pv_1	100
pv_2	150

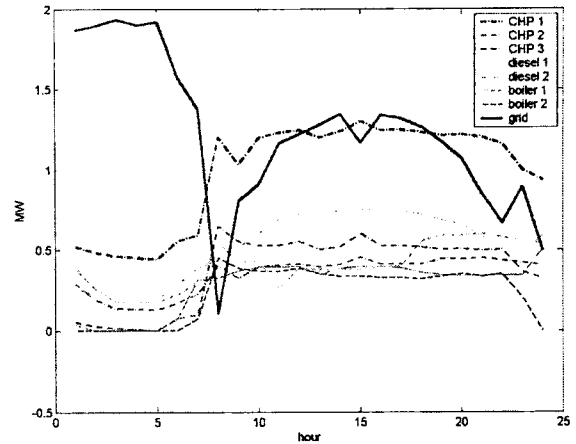
시간당 전력/열에너지 부하는 그림 4와 같은 부하 패턴을 따르며 그 구성은 주거용, 상업용 부하들로 이루어져있다. 태양광의 경우 설치 지역의 일사량에 따라 그 출력이 결정되기 때문에 모의범(MCS)을 이용하여 시뮬레이션 하였다.



〈그림 4〉 전력/열에너지 부하 곡선



〈그림 5〉 case 1에서의 각 유닛 별 출력



〈그림 6〉 case 2에서의 각 유닛 별 출력

Case 1과 case 2의 운영 결과를 그림 5, 6에서 그래프로 나타내었다. 그 결과 case 1과 case 2의 경우를 비교하면 표 4와 같이 운영비용이 약 10% 정도 증가함을 볼 수 있다.

〈표 4〉 case 1과 case 2의 운영비용

	운영비용(\$)
case 1	11243.23483
case 2	12456.03711

두 case의 운영비용 결과, VPP를 구성하는 것이 따로 독립적으로 운영하는 방식에 비해 경제적으로 이익임을 알 수 있다. 하지만 비용문제나 장비 보호 등의 이유로 모든 분산 자원의 소유자들이 VPP에 연결되는 것을 원하는 것은 아니다. 게다가 VPP 운영자의 경우 모든 분산 자원을 자신의 VPP에 포함시키기 보다는, 적절한 분산 자원을 선택하여 VPP를 구성해서 그에 대한 이익을 얻길 원할 것이다. 따라서 VPP가 제대로 운영되기 위해서는 분산 자원 소유자와 VPP 운영자 간의 입장을 고려한 계약 모델이 있어야 할 것이다.

3. 결 론

본 논문에서는 VPP를 구성하는 분산 자원들에 대한 최적운영에 대해 살펴보았다. 이는 시스템을 구성하는 분산 자원의 비용함수를 배경으로 VPP 운영 계획에 적용할 수 있을 것이다. 하지만 지형으로 인한 문제, 전압 레벨, 설비보호 등 실제로 VPP를 운영하기에는 여러 제약조건들이 있다. 또한 VPP를 구성하는 것이 VPP 운영자와 분산 자원의 소유자, 그리고 소비자 각각에 어떤 이득이나 손해를 미치는지, 그리고 어떻게 VPP를 구성해야 할 것인지에 대해서는 계속 연구되어야 할 분야이다.

이런 여러 가지 문제점이 있지만 분산 자원들의 수가 증가하고 이들 유닛들에 대한 통합운영 등에 관심이 높아 질 것이다. 이런 점 등을 고려할 때 Virtual Power Plant의 경우 미래 전력 산업에 있어 하나의 매력적인 아이디어라고 할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] K. Dielmann, Alwin van der Velden, "Virtual power plants (VPP) - a new perspective for energy generation?", Modern Techniques and Technologies, Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference of Students, Post-graduates and Young Scientists 7-11, pp.18 - 20, 2003
- [2] Tao Guo, Mark I. Henwood, and Marieke van Ooijen, "An algorithm for combined heat and power economic dispatch", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, pp. 1778 - 1784, 1996
- [3] Wenyuan Li, "Incorporating Aging Failures in Power System Reliability Evaluation", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 17, pp. 918-923, 2002
- [4] Wilhelm Durisch, Dierk Tille, A. Worz, Waltraud Plapp, "Characterisation of Photovoltaic Generator", Solar Energy, pp. 273-284, 2000
- [5] R. Caldon, A. Rossi Patria, R. Turri, "Optimal Control of a Distribution System with a Virtual Power Plant", Bulk Power System Dynamics and Control, pp. 22-27, 2004.
- [6] <http://www.kemco.or.kr/>