

계통 역률을 고려한 분산전원 운영에 관한 연구

박영현*, 정현수**, 김진오*
 한양대학교 전기공학과*, 대림대학**

A Study on Operating of Distributed Generation Considering System Power Factor

Yeong-Hyeon Park*, Hun-Soo Jung**, Jin-O Kim*
 Dept. of EE, Hanyang University*, Daelim College**

Abstract - 국내 배전계통에 분산전원의 설치가 증가하고 있고, 분산전원 중 효율성과 경제성이 뛰어난 열병합발전기의 보급이 국내를 비롯한 선진국에서 늘어나고 있는 추세이다. 그에 따라 독립적으로 전력을 생산할 수 있는 분산전원 운영자들이 증가하고 있다. 분산전원 운영자들은 한국전력공사가 제시하는 연계점 역률 0.9 이상을 만족시키도록 분산전원을 운영해야하고, 동시에 자신의 이익을 최대화한다. 본 논문에서는 연계점의 역률을 고려하여 분산전원을 운영하였을 때 분산전원 운영자의 이익을 분석하였다. 연계점의 역률을 변화하여 변화된 역률이 분산전원 운영자의 이익에 어떤 영향을 주는지 연구하였다.

부하량이 고정된 부하로써 흡수하는 무효전력과 유효전력이 고정되어 있어 연계점의 역률에 영향을 주지 않는 부하이므로 송전 계통으로부터 전력을 공급받는다. 부하 B는 0kW부터 100kW까지 부하 패턴에 의해 변하는 부하이므로 흡수하는 무효전력과 유효전력의 비는 일정한 부하이다. 부하 B는 송전 계통으로부터 유입되는 무효전력과 유효전력을 공급받고 동시에 열병합발전기로부터 전력과 열을 공급받는다. 열병합발전기는 유도 발전기로서 계통에서 유입되는 무효전력을 흡수하고 유효전력과 열을 생산한다. 연계점의 역률 0.9 이상을 유지하기 위해 분산전원 운영자는 열병합발전기의 유효전력 생산량과 무효전력 흡수량을 조절하여 연계지점의 역률을 0.9 이상으로 유지한다.

1. 서 론

최근 전력산업 구조개편의 진행과 기후변화협약 및 고유가 시대 등 에너지 환경변화에 의한 소비구조의 변화에 따라 전원 공급 형태가 달라지고 있다. 중앙 집중형의 전력에너지 공급 구조에서 다양한 수용가에서 요구하는 전력 품질을 만족시킬 수 있는 독립적인 전원공급 형태로 변화해 가고 있다.

이러한 추세에 따라 배전계통에 여러 장점을 가진 분산전원의 설치가 증가하고 있고, 특히 높은 효율을 갖는 열병합발전기(CHP)의 보급이 늘고 있다. 열병합발전은 열과 전기를 동시에 생산하여 전기만 생산할 경우의 낮은 효율에서 발전후 나오는 배열을 동시에 활용함으로써 효율성과 경제성을 높이는 발전방식으로, 우리나라를 비롯하여 선진국에서도 널리 보급되고 있다. 소형 열병합발전기는 유도 발전기로서 무효전력을 계통으로부터 흡수하여야 기동할 수 있기 때문에 연계점의 역률을 떨어뜨리는 현상을 초래한다. 역률은 계통에서 전력의 품질과 안정성을 유지하는데 중요한 요소이다. 특히 전력산업구조개편에 따라 전력공급자와 소비자 모두 전력의 품질과 계통의 안정성에 관심이 증대되어 계통의 역률은 더욱 중요한 부분이 되고 있다. 한국전력공사의 연계 기준에 따르면, 분산전원의 연계점에서의 역률을 0.9이상으로 운영하도록 제한하고 있기 때문에 소형 열병합발전기 운영자는 연계점 역률을 0.9 이상으로 유지하도록 운영하는 동시에 수익을 최대화하여야 한다.

본 논문에서는 연계점의 역률 제약조건에 따른 분산전원 운영자의 이익을 분석함으로써 연계점 역률 제약조건이 분산전원 운영에 미치는 영향을 분석한다.

2. 본 론

2.1 계통 구성

그림 1은 연계위치에서의 역률을 고려하여 열병합발전기를 소유한 분산전원 운영자의 최대 수익을 위한 운영을 분석하기 위한 송배전 계통을 모델이다. 부하 A는

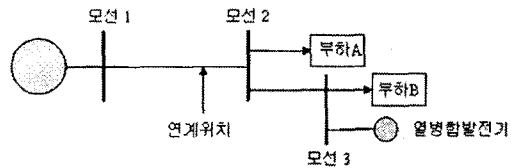


그림 1 계통 모델

2.2 열병합발전기의 발전 패턴

최근 열병합발전기는 전력산업 구조개편과 함께 집단 에너지사업법 제 48조 및 43조의 규정으로 인한 발전전력의 우선구매조항 및 전력산업기반조성 사업에서 지원받을 수 있는 사업으로의 명시와 높은 효율성과 경제성으로 인하여 매우 빠른 속도로 도입되고 있는 추세이다.

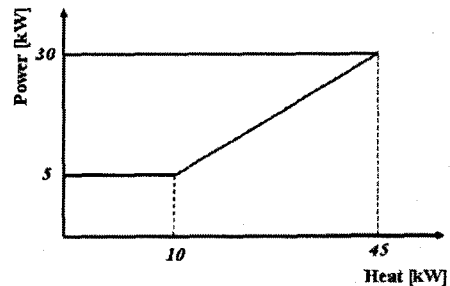


그림 2 발전기 특성

본 논문에서는 분산전원 중에서도 배전계통에 설치가 증가되고 있는 열병합발전기를 계통모델에 적용하였다. 열병합발전기의 전력과 열을 동시에 생산할 수 있다. 열병합발전기의 전력과 열을 발전하는 패턴은 발전기에

따라 다르며 본 논문에서는 열병합발전기의 발전패턴을 그림 2로 단순화하여 적용하였다. 열의 생산량은 전력의 생산량에 의해 결정되며 전력을 5kW 생산하였을 때는 0kW에서 10kW까지 열을 소비자에게 공급할 수 있고, 전력을 30kW 생산하였을 때는 열을 0kW에서 45kW까지 생산하여 소비자에게 공급할 수 있다.

2.3 분산전원 운영

분산전원 운영자는 열병합발전기가 생산한 전력과 열을 소비자에게 판매하여 수입을 얻는다. 분산전원 운영자가 생산한 전력과 열의 가격은 지역에 따라 차이가 있다. 본 논문에서는 전력의 가격은 110원/kWh, 열의 가격은 111.3원/kWh로 가정하였다. 본 논문에서 분산전원 운영자는 소비자에게 열을 공급하지 못했을 경우에 페널티(penalty)비용을 지불하는 계약을 맺었다고 가정하고, 페널티 비용은 1000원/kWh로 하였다. 분산전원 운영자의 총 수입은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(x) = Pr_{Power} \times P + Pr_{Heat} \times H - Pr_{penalty} \times H_{cut} \quad (1)$$

2.4 제약 조건

연계점 역률 제약조건은 식 (2)와 같이 나타낸다.

$$\frac{Q}{P} \geq \tan(\cos^{-1}(PF)) \quad (2)$$

연계점 역률은 연계점 선로에 흐르는 유효전력과 무효전력의 비로 결정된다. 열병합발전기는 무효전력을 계통으로부터 흡수하고 유효전력을 생산하여 연계점 선로에 무효전력량을 증가시키고 유효전력량은 감소시켜 역률을 낮추게 한다.

선로 용량 제약조건은 식 (3)과 (4)로 나타낼 수 있다. 식 (3)은 선로에 흐를 수 있는 유효전력량을 제한한 식이고, 식 (4)는 선로에 흐를 수 있는 전류량을 제한한 식이다.

$$| -y_{ij} V_i |^2 \cos(\theta_{ij}) + | V_i | | V_j | y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) < \overline{P}_{ij} \quad (3)$$

$$| y_{ij} |^2 (| V_i |^2 + | V_j |^2 + 2 | V_i | | V_j | \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij})) < | \overline{I}_{ij} |^2 \quad (4)$$

열병합발전기의 발전용량 제약조건은 식 5와 같이 나타내고 열 생산용량 제약조건은 식 6으로 표현할 수 있다.

$$P_{CHPmin} \leq P_{CHP} \leq P_{CHPmax} \quad (5)$$

$$H_{CHPmin} \leq H_{CHP} \leq H_{CHPmax} \quad (6)$$

3. 사례연구

사례연구를 위한 계통 데이터는 표 1과 같고, 부하의 패턴은 부하의 종류에 따라 다르며, 본 논문에서 부하 B는 일반 사무실 부하로 가정한다. 사무실 부하는 근무시간인 낮 시간에 전력부하와 열부하가 집중되고 밤 시간과 새벽시간에는 부하의 양의 감소한다. 부하 B의 하루 동안 부하 패턴은 그림 2를 따른다고 가정한다.

부하의 패턴은 부하의 종류에 따라 다르며, 본 논문에서 부하 B는 일반 사무실 부하로 가정한다. 사무실 부하는 근무시간인 낮 시간에 전력부하와 열부하가 집중되고 밤 시간과 새벽시간에는 부하의 양의 감소한다. 부하 B의 하루 동안 부하 패턴은 그림 3을 따른다고 가정한다.

표 1 계통 데이터

분산전원 발전용량	5kW~30kW (PF=0.835)
부하 A	510kW (PF=0.93)
부하 B	0kW~100kW (PF=0.93)
선로 12 어드미턴스	10-20i
선로 23 어드미턴스	16-32i

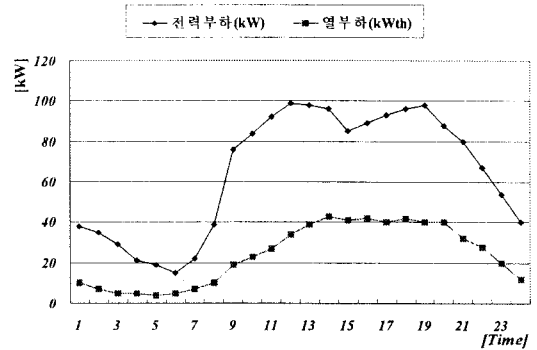


그림 3 부하 패턴

하루 동안 분산전원 운영자의 시간대별 수익은 그림 4와 같다.

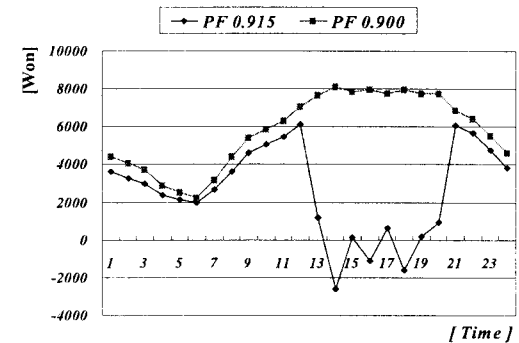


그림 4 시간대별 운영자 수익 분포

기준역률 0.9에서 분산전원 운영자의 수익 분포는 전력 부하의 분포와 유사함을 그림 4를 통해 알 수 있다. 부하의 양이 적을 때는 부하에서 흡수하는 무효전력량은 감소하고 분산전원에서 흡수하는 무효전력량은 부하량이 많을 때보다 연계점의 역률이 더 큰 영향을 미치기 때문에 분산전원의 전력 생산량을 줄여야하고 그에 따라 열 생산량도 감소하여 운영자의 수익이 감소하게 된다. 부하량이 적은 밤 시간과 새벽 시간에는 열부하에 맞는 열을 모두 공급하지만 전력 생산량은 감소하여 전력부하량에 맞는 전력을 모두 공급하지 못한다. 그래서 밤 시간과 새벽 시간에는 분산전원 운영자의 수익 분포가 전력 부하의 패턴을 따르고 있다. 전력부하량이 많은 낮 시간과 저녁 시간은 분산전원에서 흡수하는 무효전력의 양이 연계점의 역률을 0.9이하로 떨어뜨리지 않아 분산전원이 갖고 있는 최대 발전량을 모두 발전할 수 있다. 분산전원은 낮 시간과 저녁시간에서 전력 발전량들은 일정하고 전력 판매에 의한 수익은 일정해진다.

기준역률 0.915이상을 유지하기 위해서 분산전원 운영자는 열병합발전기의 발전량을 줄여야한다. 그래서 역률을 0.915이상으로 유지하며 발전기를 운영할 때는 전체

[참 고 문 헌]

[1] Rodrigo Palma-Behnke 외, "A Distribution Company Energy Acquisition Market Model With Integration of Distributed Generation and Load Curtailment Options", IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, Vol. 20, No. 4, November 2005
 [2] Tao Guo 외, "An Algorithm For Combined Heat And Power Economic Dispatch", IEEE Transactions on Power systems, Vol. 11, No. 4, November 1996
 [3] 이재걸 외, "분산형전원의 시변특성을 고려한 에너지회피 비용 산정방안 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A권, pp.335-336, 2006. 7.

적인 수익이 기준역률이 0.9 일때 보다 작아진다. 13시부터 20시 사이에 수익이 역률 0.915이상으로 유지할 때와 0.9이상으로 유지할 때 큰 차이를 보인다. 역률을 0.915 이상으로 유지하기위해 분산전원 운영자는 발전량을 줄이게 되고 전력과 열의 생산량이 줄어든다. 줄어든 열의 생산량은 부하에서 필요로 하는 열부하량에 미치지 못하고 분산전원 운영자는 소비자와 계약한 페널티 비용을 지불해야 한다. 이 비용의 지출로 인해 분산전원 운영자의 수익은 크게 감소하게 된다. 이것을 통해 계통에서 요구하는 기준역률이 분산전원의 수익에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

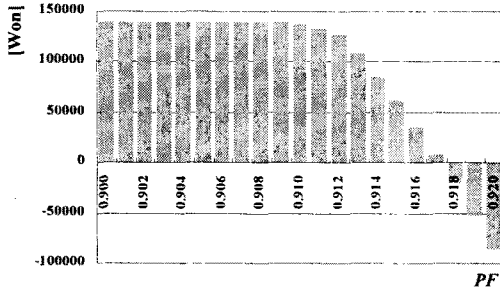


그림 5 역률에 따른 운영자 수익 분포

0.909 이하의 역률에서 역률은 운영자의 영향에 수익을 미치지 않음을 그림 5를 통해 알 수 있다. 열병합발전기가 무효전력 양을 최대로 흡수 하더라도 연계점에서 역률 0.909를 만족하기 때문에 부하의 양에 맞춰 최대 발전을 통해 생산한 유효전력과 열을 소비자에게 공급함으로써 수익이 최대화되었다. 역률 0.910에서는 최대 수익보다 391원 적은 수익이 발생하였고 기준 역률 0.910보다 커질수록 분산전원 운영자의 수익은 점점 감소하였다. 역률 0.918 이상에서 분산전원 운영자의 수익이 음수가 된 것은 열병합발전기의 발전량이 줄어들면서 열 생산량도 줄어들어 열부하량을 충족시키는 열을 공급하지 못하게 되어 소비자에게 페널티 비용을 지불하게 되어 마이너스 수익이 발생하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 연계점의 역률을 고려하여 분산전원의 운영에 대해 연구하였다. 연계점의 역률은 분산전원과 부하 A, B에서 필요로 하는 무효전력과 부하 A, B와 분산전원에서 생산하는 유효전력의 비로 결정된다. 연계점에서 역률을 높이기 위해서는 연계점에 흐르는 무효전력량은 감소시키고 유효전력량은 증가시켜야 한다. 계통에서 부하의 양을 직접적으로 조절할 수 없으므로 연계점의 역률은 분산전원의 발전량에 의해 결정된다. 그래서 연계점의 역률 제약조건은 분산전원 운영에 큰 영향을 미치고 연계점 기준 역률을 높이면 분산전원 운영자의 이익이 크게 감소함을 결과를 통해 알 수 있다.

본 논문의 결과를 통해, 분산전원의 운영이 계통 역률에 미치는 영향을 예상할 수 있으며, 또한 계통의 부하량 변화와 분산전원 운영을 예상하여 역률을 추정할 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 논문은 중앙 발전기의 역률을 계통의 역률 실태에 맞게 조정하여 비용 투자 없이 발전량을 증가시키기 위한 계통의 역률 분석에 이용할 수 있다.