

날씨에 따른 태양광 발전의 발전량과 전력시스템의 발전 스케줄링

김두현*, 김진오*

*한양대학교 공과대학 전기제어생체공학부 전기제어공학전공

The solar power with weather and generator scheduling

Doo-Hyun Kim*, Jin-O Kim*

Major in Electrical, Control and Instrumentation Engineering, Hanyang University

Abstract - 최근 지구 온난화 가스 배출문제에 관련하여 신재생에너지에 대한 관심이 급증하고 있다. 여러가지 신재생에너지 중의 하나인 태양광 발전은 유력한 에너지 문제의 대안으로 떠오르고 있다. 하지만 이러한 태양광발전의 가장 큰 약점은 날씨에 따라 발전량이 결정된다는 것이다. 따라서 본 논문에서는 태양광 발전의 발전량과 부하량의 각 케이스별로 전력시스템의 발전 스케줄링을 해보려 한다.

여러가지 제한 조건을 나열해 보면, load flow 조건은

$$\sum_{i=1}^{N_g} P_{gi} - P_L - \sum_{k \in j} V_j V_k Y_{jk} \cos(\theta_{jk} + \delta_j - \delta_k) = 0 \quad (5)$$

P_{gi} 는전력 시스템의 발전기의 각 발전량, P_L 는전력 시스템을 담당하는 전체 발전기가 공급해야할 부하량, $V_j \angle \delta_j$ 는노드 j의 전압, $V_k \angle \delta_k$ 는노드 k의 전압, $Y_{jk} \angle \theta_{jk}$ 는노드 j와 k 사이의 어드미턴스를 나타낸다.

발전기 제한 조건은

$$P_{gi}^{min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{max} \quad (6)$$

P_{gi}^{min} 는최소 공급 유효전력 출력량 P_{gi}^{max} 는최대 공급 유효전력 출력량을 나타낸다.

전압 제한 조건은

$$V_j^{min} \leq V_j \leq V_j^{max} \quad (7)$$

V_j^{min} 는 노드 j에서의 최소 전압, V_j^{max} 는 노드 j에서의 최대 전압을 나타낸다.

line flow 제한 조건은

$$P_{li}^{min} \leq P_{li} \leq P_{li}^{max} \quad (8)$$

P_{li}^{min} :라인 l에 흐를 수 있는 최소 전력, P_{li}^{max} :라인 l에 흐를 수 있는 최대 전력을 나타낸다.

라그랑지 함수를 식 (3-8)을 적용하면 최적의 발전량을 구한다.

2.1-2 태양광 발전량이 담당 부하량과 같은 경우 ($P_{g,EH} = P_{L,EH}$)

태양광 발전량과 담당 부하량이 같게 되는 경우 전력 시스템을 담당하고 있는 발전회사는 태양광 발전이 담당하고 있는 담당부하만 뺀 나머지 부하를 공급하면 된다. 따라서 식 (4)를 변형하면 식(9)와 같다.

$$P_L = \sum_{i=1}^{N_g} P_{L,i} - P_{L,EH} \quad (9)$$

식(3)과 식(9)그리고 나머지 제한 조건을 식(5-8)을 동일하게 적용하여 라그랑지 함수를 이용하여 최적의 발전량을 구한다.

2.1-3 태양광 발전량이 담당 부하량보다 많을 경우 ($P_{g,EH} > P_{L,EH}$)

이 케이스에서 목적함수를 나타내면,

$$Min[\sum_{i=1}^{N_g} C_{P_i}(P_{gi}) + C_{EH}(P_{g,EH})] \quad (10)$$

$C_{EH}(P_{g,EH})$ 는 태양광 발전의 생산비용함수를 나타낸다.

1. 서 론

근래들어 수입 화석 연료 가격의 폭등과 국제적 온실가스 배출 규제 로 무한정정 대체 에너지의 개발이 주요 과제가 되고 있다. 특히, 태양광 은 무한정정 에너지 자원으로써 최근 들어 우리나라에서도 태양광 발전 시스템을 기존의 전력 계통에 연계 시키고자 하는 움직임이 고조되고 있다. 그러나 태양광 발전의 가장 큰 단점은 발전량이 날씨에 종속적이기 때문에 예측이 매우 힘들고 이러한 태양광 발전량이 전체 전력시스템의 발전 스케줄링에 혼란을 가중시킨다. 따라서 본 논문에서는 날씨에 따른 태양광 발전으로 인해 각 케이스별로 전체 전력 시스템을 담당하고 있는 발전기의 발전 스케줄링을 실시한다.

2. 본 론

2.1 각 케이스별 발전 스케줄링

태양광 발전이 담당하고 있는 부하와 발전량을 비교해 가면서 각 케이스별로 다른 운영 제한 조건에서 전체 전력 시스템을 담당하고 있는 발전기가 어떻게 운영되어야 하는지에 대해 연구해 보려 한다.

$$P_{g,EH} = \sum_{i=1}^{N_{g,EH}} P_{g,EH,i} \quad (1)$$

$$P_{L,EH} = \sum_{i=1}^{N_{L,EH}} P_{L,EH,i} \quad (2)$$

$P_{g,EH}$ 는 태양광 발전의 총 발전량, $P_{L,EH}$ 는 태양광 발전이 담당하고 있는 총 부하, $N_{g,EH}$ 는 태양광 발전기의 총 개수, $N_{L,EH}$ 는 태양광 발전기가 부담하고 있는 부하의 총 개수를 나타낸다.

2.1-1 태양광 발전량이 담당 부하보다 작은 경우 ($P_{g,EH} < P_{L,EH}$)

발전회사는 전력을 공급하는 동시에 발전비용을 최소화 하려고 한다. 이때의 목적함수를 관계식으로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$Min[\sum_{i=1}^{N_g} C_{P_i}(P_{gi})] \quad (3)$$

$C_{P_i}(P_{gi})$ 는 발전기 생산 비용함수, N_g 는 전력 시스템을 담당하고 있는 발전기 총 수를 나타낸다.

전력시스템을 담당하고 있는 발전회사는 전체 부하량에서 태양광 발전이 발전하고 남은 부분을 공급한다. 이때 전체 부하량은 태양광 발전이 담당하고 있는 부하량도 포함한다.

$$P_L = \sum_{i=1}^{N_L} P_{L,i} - P_{g,EH} \quad (4)$$

$P_{L,i}$ 는 전력 시스템의 각개의 부하량, N_L 는 총 부하의 개수를 나타낸다.

태양광 발전의 생산비용함수는 발전량 증가에 따른 비용 증가는 거의 없으나 초기 설치 비용을 보상해 주기 위해 발전량당 일정한 가격으로 매입해 주기로 되어 있다.

$$C_{EH}(P_{g,EH}) = C \times P_{g,EH} \quad (11)$$

C는 발전량당 매입 단가를 나타낸다.

태양광 발전량이 담당 부하량보다 크게 되어 전력 시스템을 담당하고 있는 발전기는 발전량을 줄여야 할 것이다. 앞서 전체 부하량이 태양광 발전이 담당하고 부하를 포함하고 있다고 하였으므로 식(9)의 $P_{L,EH}$ 를 좌변으로 이항하면 식(12)와 같다

$$\sum_{i=1}^{N_L} P_{L,i} = P_{L,EH} + P_L \quad (12)$$

$P_{L,EH}$ 는 태양광 발전기가 담당하고 있는 부하의 총 부하량, P_L 는 태양광 발전기가 담당하고 있는 부하를 제외한 전력 시스템의 총 부하량을 나타낸다.

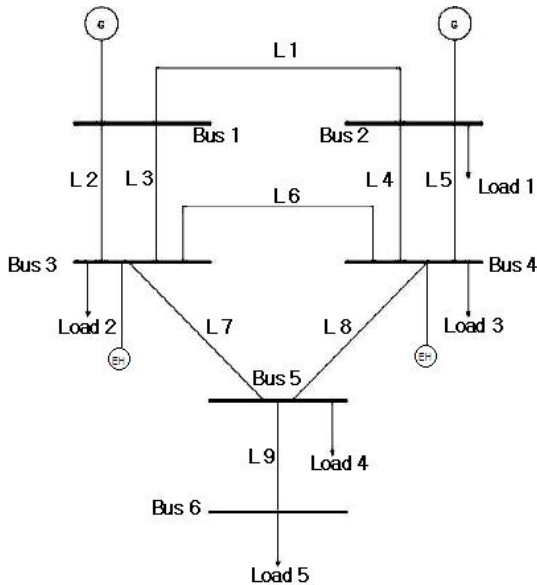
이때의 load flow 조건을 계산해 주면, 식(13-14)와 같다.

$$\sum_{i=1}^{N_g} P_{g_i} + P_{g,EH} - \sum_{i=1}^{N_L} P_{L_i} - \sum_{k \in j} V_j V_k Y_{jk} \cos(\theta_{jk} + \delta_j - \delta_k) = 0 \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^{N_g} P_{g_i} + (P_{g,EH} - P_{L,EH}) - P_L - \sum_{k \in j} V_j V_k Y_{jk} \cos(\theta_{jk} + \delta_j - \delta_k) = 0 \quad (14)$$

식(10)과 식(14)과 함께 나머지 제한 조건들은 식(6-8)을 동일하게 적용하여 라그랑지 함수를 이용하여 발전량을 구할 수 있다.

2.2 사례 연구



〈그림 1〉 RBTS TEST 시스템 모선도

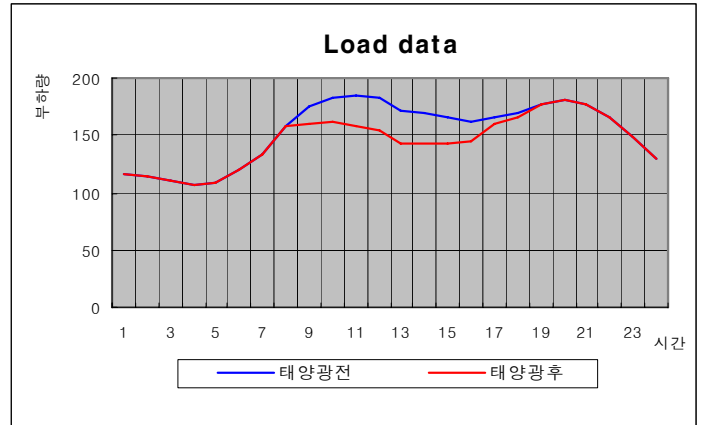
그림(1)은 사례 연구를 위한 RBTS Test이다[2]. 버스 3, 4에 태양광 발전 EH를 추가하고 matlab을 이용하여 사례연구를 하였다.

Bus 1에 있는 Generator의 cost fcn: $0.3P_{g1}^2 + 1.0P_{g1} + 200$ \$

Bus 2에 있는 Generator의 cost fcn: $0.2P_{g2}^2 + 1.3P_{g2} + 180$ \$

Bus 3에 있는 태양광 발전의 cost fcn: $10\$/MWh \times P_{g,EH3}$

Bus 4에 있는 태양광 발전의 cost fcn: $10\$/MWh \times P_{g,EH4}$



〈그림 2〉 RBTS TEST Load data

〈표 1〉 담당 부하를 제한 후 전력 시스템에 보낸 태양광 발전량

시간(hour)	..	09	10	11	12	13	14	15	16	..
발전량(MWh)	0	5.86	11.86	17.14	19.62	19.76	16.56	12.76	8.48	0

〈표 2〉 태양광을 제외한 생산비용과 포함한 생산비용

시간(hour)	01	02	03	04	05	06	07	08
gen cost(\$)	2249.23	2190.85	2077.06	1967.18	2021.63	2368.95	2819.58	3790.58
+ g.EH(\$)	2249.23	2190.85	2077.06	1967.18	2021.63	2368.95	2819.58	3790.58
시간(hour)	09	10	11	12	13	14	15	16
gen cost(\$)	3901.53	3962.19	3806.87	3617.84	3156.58	3210.88	3216	3240.46
+ g.EH(\$)	3960.13	4080.79	3978.27	3814.04	3354.18	3376.48	3343.6	3325.26
시간(hour)	17	18	19	20	21	22	23	24
gen cost(\$)	3919.38	4178.16	4754.48	4944.32	4754.48	4212.1	3396.07	2685.77
+ g.EH(\$)	3919.38	4178.16	4754.48	4944.32	4754.48	4212.1	3396.07	2685.77

먼저 <그림 2>를 보면 태양광 발전을 하면 일사량이 비추는 시간대에서 전체 전력 시스템을 담당하는 발전회사에서는 공급해야 할 부하량이 줄어들게 되므로 위와 같은 그래프로 나타내었다. 그리고 <표 1>에서는 특정시간 영역, 즉 일사량이 충분하여 태양광 발전량이 담당부하량보다 많을 때 태양광이 전력시스템에 보낸 전력량을 나타낸다. <표 2>에서는 태양광 발전량이 충분하여 전력 시스템에 내보낼 때 발전회사는 발전량을 줄여야 하므로 자신의 생산비용은 줄어들게 되나 태양광발전회사에게 MWh당 10\$를 지불해야 하므로 생산비용이 증가한다.

3. 결 론

전력 시장의 경쟁 체제가 가속화되고 대체 에너지의 필요성이 증가하면서 분산 전원이 확대되고 있다. 본 논문에서는 이러한 분산 전원 중 대표적인 예인 태양광 발전을 전력 시스템에 추가하여 모델링함으로써 전체 전력 시스템의 발전 스케줄링을 구현할 수 있다. 향후 추가적인 연구를 통하여 분산 전원 전체에 대한 스케줄링을 실시할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1]L. Goel, Qiuwei Wu, Peng Wang, "Reliability Enhancement of A Deregulated Power System Considering Demand Response ", IEEE, P.2'3, 2006
- [2]R. Billinton, S. Kumar, N. Chowdhury, K. Chu, K. Debnath,L. Goel, E. Khan, P. Kos, G. Nourbakhsh, J. Oteng-Adjei "A RELIABILITY TEST SYSTEM FOR EDUCATIONAL PURPOSES". IEEE, Vol. 4 No. 3, P.1239~1241, 1989
- [3]서정민, "계통 연계형 태양광 발전 시스템의 신뢰도 평가", 한양대학교 석사 학위논문, P.1'3, 2005