

석탄화력발전 출력감소가 계통한계가격 및 온실가스 배출량에 미치는 영향

임지용*, 유호선**†

*한국서부발전(주), **† 숭실대학교 기계공학과

Effect of Power Output Reduction on the System Marginal Price and Green House Gas Emission in Coal-Fired Power Generation

Jiyong Lim*, Hoseon Yoo**†

*Korea Western Power CO. Ltd., **†Department of Mechanical Engineering, Soongsil University

ABSTRACT : This study analyzed the effect of power output reduction in coal fired power generation on the change of system marginal price and green house gas emissions. Analytical method was used for electricity market forecasting system used in korea state owned companies. Operating conditions of the power system was based on the the 7th Basic Plan for Electricity Demand and Supply. This as a reference, I analyzed change of system marginal price and green house gas emission by reduced power output in coal fired power generation. The results, if the maximum output was declined as 29 [%] to overall coal-fired power plant, system marginal price is reduced 12 [%p] compared to before and decreasing greenhouse gas emissions were 9,966 [kton]. And if the low efficiency coal fired power plant that accounted for 30 [%] in overall coal-fired power plant stopped by year, system marginal price is reduced 14 [%p] compared to before and decreasing greenhouse gas emissions were 12,874 [kton].

초 록 : 본 연구에서는 석탄화력발전의 출력 감소가 계통한계가격과 온실가스감축량에 어떻게 영향을 미치는지 분석하였다. 분석방법은 국영 발전회사에서 이용하는 전력거래예측프로그램을 이용하였으며 전력계통의 운영조건은 제7차 전력수급기본계획의 전력수요와 전원구성을 근거로 하였다. 분석결과 전체 석탄화력발전의 최대출력을 29 [%]까지 감소한 경우 계통한계가격은 감소전과 비교하여 12 [%p] 상승하고 온실가스 배출량은 9,966 [kton] 감축되었다. 또한 석탄화력발전기 전체 용량의 30 [%]에 해당하는 저효율 석탄화력발전기 16기를 정지한 경우 계통한계가격은 14 [%p] 까지 증가하였고 온실가스 배출량은 12,574[kton]까지 감축 가능함을 알 수 있었다.

Key words : System Marginal Price(계통한계가격), Green House Gas(온실가스), Electricity Market Forecast System(전력거래예측시스템)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라의 경제성장을 주도해온 전력산업은 지구온난화 방지를 위한 온실가스 감축이라는 세계적 과제와 저유가 지속과 전원구성의 불균형으로 인한 전력도매단가 하락 등으로 인해 그 어느 때보다 심각한 도전에 직면하고 있

† Corresponding Author, hsyoo@ssu.ac.kr

다. 전력단가 측면에서 살펴보면 원전과 신재생 발전용량 비율이 2015년 63[%]에서 2029년 76 [%]까지 증가되면서 [1] 첨두부하를 담당하였던 복합화력발전의 전력생산 비중 감소로 전력시장가격은 하락 추세를 이어갈 것으로 전망되고 있다. 이는 전력계통의 탄력적 운영에 기여해온 복합화력발전과 계통한계가격으로 정산받는 신재생사업자들의 경영악화를 가중시킬 것이다. 반면 환경적 측면에서 살펴보면 2015년 12월 정부가 온실가스 감축목표를 2030년 배출전망치 대비 37 [%] 감축한다고 선언함으로써 국내 온실가스 배출의 40 [%]를 차지하는 발전부문은 그 부담이 크게 증가될 수 밖에 없다.[2] 온실가스 배출의 대부분을 차지하고 있는 석탄화력발전의 설비용량 비중은 2015년 기준 전체 27.8 [%]를[3] 차지하고 있어 온실가스 감축 목표 달성을 위해서는 석탄화력발전에 대한 출력 제한이 불가피 할 것으로 보인다. 이에 따라 향후 전력계통에 있어 석탄화력발전에 대한 발전량 축소를 가정하고 이 때의 계통한계가격의 변화와 온실가스 감축 가능량에 대한 구체적인 연구가 필요한 시점이다.

1.2 연구 내용

본 연구는 제 7차 전력수급기본계획의 전원구성을 기준으로 계통한계가격의 변화를 살펴보고 온실가스 감축을 위한 석탄화력발전의 출력 감소를 가정하고 이에 따른 계통한계가격과 온실가스 배출량 변화를 분석하였다. 분석 방법은 국영 발전회사에서 이용하고 있는 전력거래예측시스템(Electric Market Forecast System, EMFS)을 이용하였으며 전원구성과 전력수요는 제7차 전력수급기본계획에 근거하였다.

제2장 계통한계가격 및 온실가스 배출량 산정

2.1 계통한계가격 결정

전력거래시장의 시장가격결정은 일반상품의 가격이 수요와 공급의 균형점에서 결정되는 것처럼 하루 전에 예측된 전력수요곡선과 공급입찰에 참여한 발전기들에 의해 형성된 공급곡선이 만나는 점에서 시장가격이 매 시간단위로 결정되는 방식을 취하고 있다. 이러한 과정을 거쳐 결정되는 시장가격을 계통한계가격이라 하며 거래시간별로 발전기의 연료비 중에서 가장 높은 가격으로 결정된다. 즉, 계통한계가격은 각 시간대별 전력수요에 해당되는 공

급가능 용량 한계점에 있는 발전기의 연료비에 따라 결정된다.

2.2 발전계획 예측

전력거래예측시스템은 전력시장운영규칙을 알고리즘으로 구현하여 사용자가 전력수요와 발전원별 공급가능용량, 발전기 특성자료, 연료비 단가를 입력하면 예측된 전력수요에 맞추어 경제급전 원리에 따라 발전기별 발전계획을 수립하고 그에 따라 각 발전기를 모의 기동·정지함으로써 계통한계가격, 발전기별 계획발전량, 연료사용량 등을 산출하게 된다.

1) 수요예측 및 공급가능 용량

전력거래예측시스템에서는 수요모형을 통해 연간 최대전력량과 총 사용전력량을 입력하면 그에 맞추어 수요를 배분하게 된다. 수요예측은 연 최대수요를 추정 후 월 최대-주, 최대-일 최대의 수요의 순으로 예측을 하며 시간별 수요는 일 최대수요와 미리 추정된 해당일의 일 수요패턴모형을 이용하여 추정한다. 본 연구에서는 수요예측 모형 수립을 위해 2013년~2015년의 전력수요 실적을 기반으로 시계열 분석을 통해 수요모형을 수립하였으며 연간 총 사용전력량과 최대전력량은 제7차 전력수급기본계획을 적용하였다.

2) 발전기별 발전량과 계통한계가격 결정

발전기별 발전량 예측은 예측기간동안 적정 예비력을 유지하면서 예측된 수요를 최소의 비용으로 공급할 수 있도록 각 발전기별로 산정된다. 전력거래예측시스템에서는 발전기들의 특성을 고려하여 가장 안정적이고 경제적으로 계통이 운용되게 하며 예측된 수요에 맞추어 각 발전기별 계획 발전량을 산정한다. 이를 토대로 예측된 시간대별 전력 수요의 한계점에서의 발전기가 결정되며, 해당발전기의 연료비로 계통한계가격을 산정하게 된다.

2.3 연료원별 온실가스

2030년 전력생산으로 인한 온실가스 예상배출량은 333,100 [kton]이며[4] 발전부문에서의 국내 감축 목표인 25.7 [%]과 동일하게 적용한다고 가정한 경우 발전부문 온실가스 감축 예상목표는 85,600 [kton]이 될 것으로 전망된다.

석탄화력발전 출력감소가 계통한계가격 및 온실가스 배출량에 미치는 영향

1) 온실가스 감축량 산출 기준

연료연소 시 발생하는 온실가스는 같은 전력을 생산하였다 하더라도 사용된 연료열량, 사용량에 따라 배출량에 차이가 발생한다. 연료의 특성들은 설비의 효율과 발전량에 영향을 받으며 본 연구에서는 2015년 6월 기준 운영중인 발전기별 효율을 적용하고 발전량은 전력거래예측시스템을 통해 예측된 발전원별 발전량을 이용하였다. 연료원별 온실가스 배출산정 방법은 식 (2-1)과 같다.^[5]

$$F_j = \frac{860 \times 4,186.8 \times G_j \times EL_j \times EF_j \times f_j \times K \times 10^{-9}}{EH_j \times \eta_j} \quad (2-1)$$

F_j 는 발전설비(j)에 따른 온실가스 배출계수 [kgCO₂eq/MWh]이며 EH_j 는 발전기(j) 연료의 고위발열량 [kcal/kg], EL_j 는 발전기(j) 연료의 저위발열량 [kcal/kg], EF_j 는 발전기(j) 연료의 온실가스의 배출계수 [kgCO₂/TJ], f_j 는 발전기(j) 연료의 산화계수이다. K 는 지구온난화지수로 연료연소시 발생하는 메탄과 아산화질소를 이산화탄소로 환산하는 상수이다.

제 3 장 석탄화력발전 출력감소에 따른 영향

본 연구에서는 석탄화력발전의 출력제한 시나리오를 선정하고 전력거래예측 프로그램을 이용하여 단계별 석탄화력발전의 출력 감소에 따른 계통한계가격과 온실가스 배출량 변화를 분석하는 것을 목적으로 한다.

3.1 예측 시나리오 선정

본 연구에서는 안정적인 전력수급을 유지하는 석탄화력발전의 출력감소 용량을 계산하고 다음과 같은 시나리오를 선정하였다. 제한조건으로는 제7차 전력수급 기본계획에서 명시하고 있는 최소예비율 15 [%] 이상 확보를 전제로 하였다.[1] 설비예비율은 최대전력과 설비용량의 차를 최대전력으로 나눈 값으로 전력수요에 따른 설비용량의 여유분을 나타낸다. 2029년 예상되는 최대전력수요인 111,929 [MW] 에서 15 [%]의 적정 예비율을 확보하기 위해서는 16,789[MW] 예비력이 필요하며 2029년 계획된 예비력 24,168 [MW]와의 차이인 7,379 [MW]를 출력 감소가 가능한 용량으로 선정하였다. 이는 국내 석탄화력 전체 용량의 29 [%]에 해당하는 용량이다. 본연구에서는 2017년부터 2030년까지 운영중인 47기의 유연탄발전기들을 대상으로 각 발전기들의 최대출력의 29 [%]까지 감소시키는 시나리오 A를 선정하여 변화를 살펴보았다. 이와 함께 같은 연료원이라도 온실가스 배출량은 설비의 열효율에 따라 차이를 보이므로 국내 석탄화력 전체 용량의 30 [%]를 차지하는 저효율 석탄화력발전기 16기를 순차적으로 정지하는 시나리오 C의 경우도 비교해본다.

3.2 계통한계가격의 변화

Fig. 3-1은 석탄화력발전의 출력조정이 없는 경우를 시나리오 R로 정하고, 이를 기준으로 시나리오A, B, C의 예측연도별 계통한계가격의 변화를 나타내었다. 연도별로

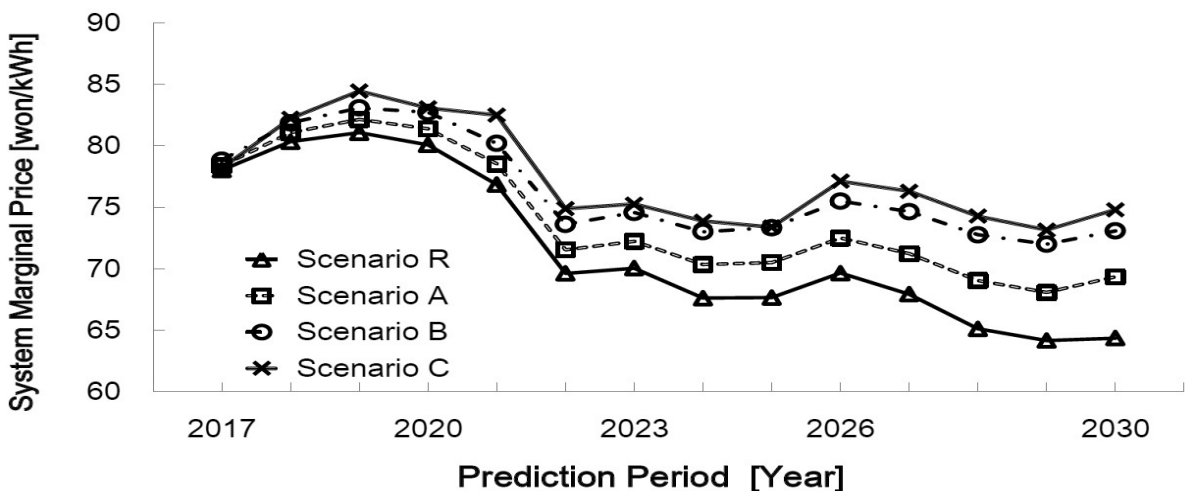


Fig. 3-1 Estimation of system marginal price in scenarios of reduction coal-fired power generation

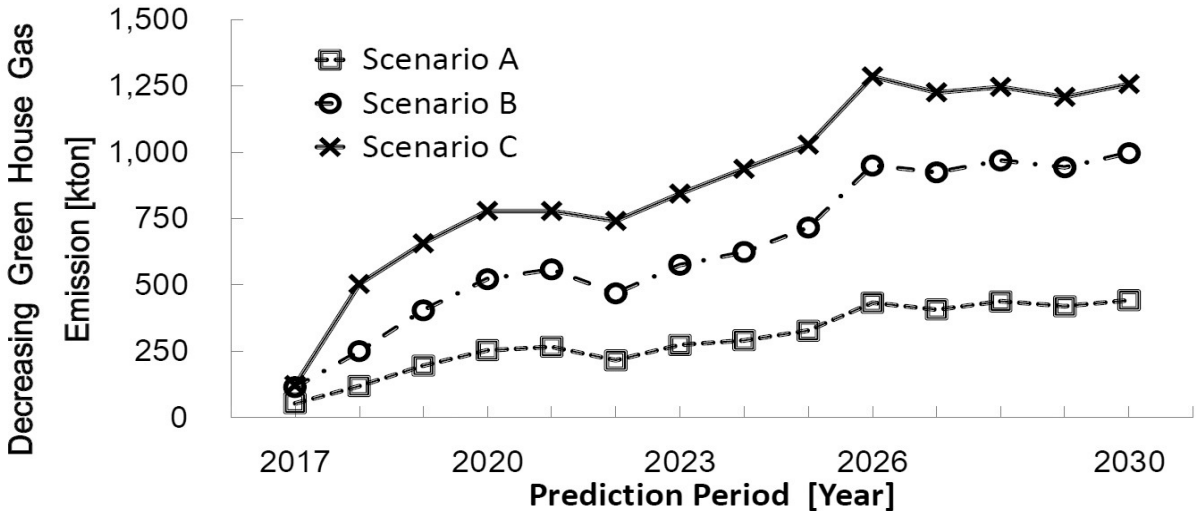


Fig. 3-2 Estimation of decreasing green house gas emission in reduction power output scenarios of coal fired power generation

보면 석탄화력발전의 최대출력 감소량이 증가함에 따라 시나리오 R 3.2 온실가스 배출량의 변화기준으로 계통한계가격의 차이 역시 증가되었다. 2030년 기준으로 시나리오 A의 경우 출력감소가 없는 경우보다 계통한계가격은 8 [%p] 상승하였고, 시나리오 B의 경우 12 [%p]까지, 시나리오 C의 경우 14 [%p]까지 상승하였다. 단 본 연구에서 이용된 예측프로그램에서는 연료비 변동이 없다고 가정하였으며 추후 유가 상승 및 환율변화에 따른 연료비 상승 시 그 폭은 더 커질 것으로 판단된다.

3.3 온실가스 배출량의 변화

석탄화력발전기의 출력을 감소함에 따라 전력수요에 대한 부족한 전력공급을 위하여 LNG를 연료로 하는 복합화력발전기가 대체 발전할 수도 있고 고효율 석탄화력발전기가 대체하여 발전량을 공급할 수 있을 것이다. 온실가스 배출량은 발전연료에 영향을 받기도 하지만 설비 열효율에 따라 차이를 보이기 때문에 각 발전기들의 발전량 예측이 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 전력거래예측 시스템을 이용하여 석탄화력발전의 출력감소량을 대체한 모든 발전기들의 발전량을 산정하고, 2.3절에서 구한 각 효율별 연료별 온실가스 배출계수 E 를 이용하여 온실가스 배출량을 산정하였다.

Fig. 3-2는 석탄화력발전의 출력감소가 없는 시나리오 R을 기준으로 석탄화력출력감소 시나리오 A, B, C의 각

발전원별 발전량의 차이를 구한 후 온실가스 배출계수인 E 를 이용하여 감소된 온실가스 배출량 값을 연도별로 표기하였다. 연도별로 살펴보면 석탄화력발전의 출력감소량이 증가됨에 따라 복합화력발전기와 고효율 석탄화력발전기의 대체 발전량이 증가함에 따라 온실가스 배출 저감량 역시 증가됨을 알 수 있다. 결과적으로 운영중인 47기의 석탄화력발전기의 최대출력을 감소시킨 시나리오 A, B는 2030년을 기준으로 각각 4,429 [kton], 9,966 [kton]까지 감소되었으며, 시나리오 C의 경우는 비슷한 출력감소량인 시나리오 B와 비교하여 약 1.3배인 12,574 [kton]까지 감소되었는데 이는 저효율 발전기와 고효율 발전기간 단위 출력당 온실가스 배출량 차이에 기인한다.

본 결과를 종합해보면 발전설비 건설 계획상 연료비가 낮은 기저부하의 전원의 증가로 인하여 계통한계가격은 지속적으로 하락될 것으로 분석되지만 온실 가스 감축을 위한 석탄화력발전의 출력 감소 시행 시 연료비가 비싼 복합화력발전의 대체발전으로 그 값이 증가됨을 알 수 있었다. 전체 석탄화력발전 용량의 15 [%] 출력을 균등하게 감소시킨 경우 계통한계 가격은 8 [%p] 까지 증가되고, 온실가스 배출량은 3.1절에서 논한 발전부분에 주어질 것으로 예상되는 85,600 [kton]의 온실가스 감축 목표량의 5.2 [%] 수준인 4,429 [kton]까지 절감이 가능하였다. 좀 더 강도 높은 온실가스 감축 시행을 위한 전체 석탄화력발전 용량의 29 [%]까지 출력을 제한하는 경우 계통한계가격은

석탄화력발전 출력감소가 계통한계가격 및 온실가스 배출량에 미치는 영향

12 [%]까지 증가되고, 온실가스배출량은 예상절감 목표의 11.6 [%] 수준인 9,966 [kton]까지 감축 가능함을 알 수 있었다. 또한 출력감소량을 저효율 석탄화력발전기들에 국한하여 적용한 시나리오 C의 경우 계통한계가격은 14 [%p]까지 상승하고 온실가스 감축량은 12,574[kton]으로 나타났다. 이는 석탄화력발전의 출력감소량을 저효율 석탄화력발전기들에 국한한 시나리오 C의 경우 시나리오 B와 출력감소 용량은 비슷하지만 계통한계가격은 2 [%p] 높고, 온실가스 배출 저감효과가 1.3배 있음을 감안한다면 전력계통 운영 우선순위를 전력시장가격의 안정보다 온실가스 감축으로 한 경우 시행하는 것이 효과가 있을 것으로 판단된다.

제 4 장 결 론

본 연구는 석탄화력발전의 출력감소가 계통한계가격과 온실가스 배출량에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 분석 방법은 국영 발전회사에서 이용하는 전력거래예측프로그램을 이용하였으며 전력계통의 운영조건은 제7차 전력수급기본계획의 전력수요와 전원구성을 근거로 하였다. 모든 석탄화력발전기들의 최대출력을 균등하게 감소시키는 경우와 비슷한 출력감소량을 저효율 발전기에 국한시키는 경우를 대상으로 계통한계가격과 온실가스 배출량의 변화를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 석탄화력발전소 47기의 최대출력을 15 [%]까지 균등하게 감소시킨 경우 출력 감소 전과 비교하여 계통한계가격은 8 [%p] 증가하고 온실가스배출량은 4,429 [kton]까지 감축 가능하였다.
- (2) 석탄화력발전소 47기의 최대출력을 29 [%]까지 균등하게 감소시킨 경우 출력 감소 전과 비교하여 계통한계가격은 12 [%p] 증가하고 온실가스배출량은 9,966

[kton]까지 감축 가능하였다.

- (3) 석탄화력발전기 전체 용량의 30 [%]에 해당하는 저효율 석탄화력발전기 16기를 정지한 경우 계통한계가격은 14 [%p]까지 증가 하였고 온실가스 배출량은 12,574 [kton]까지 감축이 가능하였다.
- (4) 출력감소량을 저효율 석탄화력발전기에 국한하는 방법은 모든 석탄화력발전기를 대상으로 출력감소량을 배분하는 방법보다 계통한계가격은 2 [%p] 상승하였지만, 온실가스 감축면에서는 1.3배 큼을 알 수 있었으며 우선순위를 전력시장가격의 안정보다 온실가스 감축으로 한 경우 시행하는 것이 효과가 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Ministry of Trade, Industry and Energy, the 7th Basic Plan for Electricity Demand and Supply, 2015, pp.17, 29~30, Government
- [2] Korea Power Exchange, Power Statistical Information System (www.opsis.kpx.or.kr)
- [3] Ministry of Environment, POST-2020 Greenhouse gas reduction target set plans, 2015, pp.13, Government
- [4] Director of Greenhouse Gas Information Center, 2015, National Greenhouse Gas Inventory Report, 55-58page, Greenhouse Gas Information Center
- [5] Ministry of Environment Climate and Air Quality Management Division, Guidance on Green House Gas Energy Target Management Operations, 2014, pp. 110~125, Government 