

경쟁시장에서 보수계획의 수익영향과 최적보수 방황

김창수 이창호
한국전기연구원

A Study on the Effects of Maintenance Schedule
in a Competitive Electricity Market

C.S. Kim C. H. Rhee
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - The introduction of electricity industry provides generators incentives to recover the related cost through the market. Hence, the generator should sell his/her electricity at high market-clearing price with optimal operation of his/her power plant. The maintenance of power plant is the most critical factor in affecting generators' decision-making. This paper analyzes technique for establishing maintenance schedule reflecting recovery cost and considers differences in monthly load pattern in minimizing LOLP.

1. 서 론

전력분야에서 경쟁시장 도입은 전력생산과 소비측면에서 많은 변화를 가져오고 있다. 특히 기존 한전의 발전사업부분을 6개 발전사업자로 분할하여 발전사로 독립한 후 경쟁시장체제로 운영하고 있다. 이에 따라 각 발전사업자의 경영에 대한 비교가 발생하므로 경쟁적으로 발전설비를 운용하는 노력이 추진되고 있다.

경쟁시장에서 발전소 운영은 가능한 높은 시장가격 수준에서 전력을 생산하여 판매하고, 가용율을 향상하여 높은 시장시간대에 참여율을 높이는 것이다. 이에 따라 각각의 발전사업자는 사고율을 줄이고, 유지보수도 가능한 단축하고, 보수계획을 적절히 수립하여 시장에 참여하도록 노력하고 있다. 특히 CBP단계에서는 가용설비로 선언될 경우에 가동하지 않더라도 CP(Capacity Payment)를 지불받기 때문에 가용율을 높이는 노력을 하고 있다.

지금까지 발전사업자의 유지보수계획 수립에는 가능한 공급지장이 발생하지 않도록 보수스케줄을 조정하며, 여름철 최대부하를 대비한 보수계획을 수립하였다. 이에 따라 여름철이 타 계절보다 공급예비력이 높은 수준에 있는 경우도 있다. 반면, 보수스케줄에 따른 공급예비력 변화는 시장가격과 밀접한 관계가 있어서 예비력이 높아지면 시장가격이 낮아져 발전사업자 수익에 영향을 준다.

본 연구에서는 각 월별로 보수스케줄을 조정함에 따른 공급예비력 변화에 대한 수익의 변화를 살펴본다. 또한, 발전사업자 측면에서 각 전월별 보수계획의 방향을 분석하고 이에 따른 예비력 변화와 수급안정화 방향을 분석한다.

2. 보수계획과 공급예비율

2.1 공급예비율 현황

지금까지 우리나라 발전설비는 한전의 단일체제로 운영되었으며, 수급안정을 위하여 보수계획을 여름철에 예비력을 높이는 방향으로 계획을 수립하였다. 따라서, 연간 공급예비력 수준은 거의 일정한 수준으로 유지되었다.

본 연구에서 발전기 유지보수 및 사고정지에 의한 설비비가용을 분석을 위하여 다음과 같은 정의를 사용하였

다.

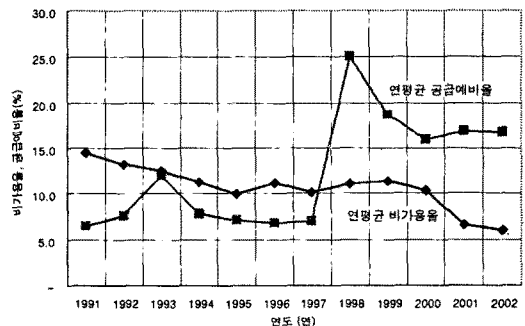
$$\text{월별 비가용율 } NAR_{y,m} = \frac{TGC_{y,m} - TGA_{y,m}}{TGC_{y,m}} \times 100$$

$TGC_{y,m}$: y년 m월의 최대부하시 총설비 용량
 $TGA_{y,m}$: y년 m월의 최대부하시 공급능력

$$\text{월별 공급예비율 } SRM_{y,m} = \frac{TGA_{y,m} - PL_{y,m}}{PL_{y,m}} \times 100$$

$PL_{y,m}$: y년 m월의 최대부하

연도별 분석을 위한 연평균값은 월별 산정율 12개월 산술평균하였다. 이를 기준으로 연평균 공급예비율과 비가용율은 아래의 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연평균 비가용율, 공급예비율 추이

그림에서 설비 비가용율¹⁾이 2000년 전까지는 10%이상 유지하였으나, 2001년부터는 6%대로 급격히 하락하였다. 이 시기는 발전사업 분리와 CBP경쟁을 도입한 시기와 같다. 즉, 시장체제와 함께 발전사업자로 하여금 사고정지 및 보수정지를 감소시키려는 노력에 대한 유인책이 CP로 제공되기 때문이다.

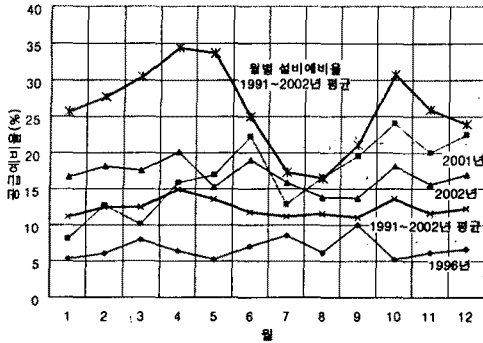
2.2 분산보수계획

지금까지 발전기의 최적보수계획 수립의 목적함수로 사용되는 방법은 연간 매일 또는 매주의 공급예비율을 균등화하는 보수계획방법과 공급지장확률(LOLP)의 최소화 및 균등화, 공급시장에너지의 최소화 등을 목적으로 하고 있다. 또한, 최근에는 유전알고리즘을 활용한 최소화적용도 시도되고 있다.

다음은 월별 공급예비율의 변화를 분석한 것이다. 공급예비율의 월별 변화는 각 발전기의 유지보수계획과 밀접한 관계가 있다. <그림 2>는 월별 설비예비율과 공급예비율을 분석한 것이다. 그림에서 설비예비율은 부하가 낮은 4,5월 및 10월이 가장 높다. 여름철 부하증가에 따라 17%로 가장 낮으며, 봄철 34%까지 변화가 있으며,

1) 설비 비가용율이 낮은 것은 유지보수일수를 줄이고 사고발생을 줄인 결과로 볼 수 있음

최대와 최소의 차이가 17%정도이다.



<그림 2> 월별 공급예비율의 변화

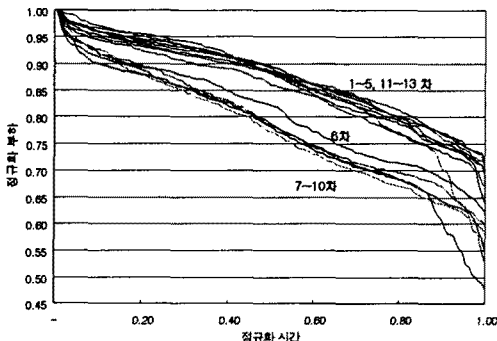
공급예비율은 1991년부터 2002년까지 월별 공급예비율을 보면 7,8월 및 11,12월이 다른 월에 비하여 약간 낮으나 거의 변화 없음을 알 수 있다. 이는 설비에비율 차이 17%를 공급신뢰도 균등화 및 예비율 균등화에 의한 분산보수계획 수립에 따른 결과이다.

3. 보수계획 및 수익분석

3.1 월별 부하패턴 변화

본 연구에서는 분석을 위하여 1년 365일을 52개주인 364일로 분석하며, 보수계획을 4주를 한 단위차수로 묶어서 13개 단위차수에 대하여 분석한다. 따라서, 일반적인 12개월과는 약간 차이가 있으나, 주별 보수계획 수립에 있어서는 편리할 것이다. 또한, 시산에서 사용되는 모든 자료는 2002년을 기준으로 하였다.

지금까지 보수계획은 공급안정을 목적으로 수립되었다. 그러나, 앞으로는 각 발전사업자의 보수계획은 수익극대화를 목표로 수립할 것이다. 수입극대화는 시장가격과 함께 각 발전기의 이용률에 많은 영향이 있다.



<그림 3> 13개 차수별 정규화부하지속곡선

위의 <그림 3>에서 부하지속곡선에서 여름철인 7~10차와 그 외 계절간의 부하지속곡선 형태가 뚜렷한 차이를 나타내고 있다. 즉, 70%시간대에서 여름철은 최대부하 대비 70% 정도이나, 그 외 계절은 82%정도로 12%가 높았으며, 여름철이 부하율이 낮음을 알 수 있다.

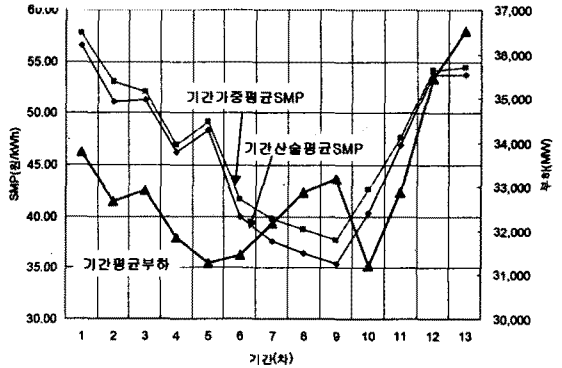
3.2 시장수익 변화

현재 CBP단계에서는 기저설비는 BLMP를 기준으로 지불하며, 그 외 설비는 SMP를 기준으로 에너지비용을 지불하고, 가용에 따른 CP를 지불 하는 것으로 되어 있다. 앞으로 도매경쟁이 시작되면 BLMP의 개념이 사라지고 시장가격인 MCP에 의해 수입을 산정하게 된다. 이

경우에 시장 MCP와 비슷한 것이 현재 CBP단계의 SMP 수준이다.

다음은 시장수익 변화를 분석하기 위하여 2003년 SMP 실적을 이용하여 분석하였다.

다음의 <그림 4>는 2002년 시장운영에 따른 SMP 결과를 분석한 것이다. SMP의 평균은 7,8,9월에 가장 낮으며, 12, 1, 2, 3월이 높게 나타나 있다.



<그림 4> 2002년 차수별 SMP 변화

위의 그림을 기준으로 볼 경우에 발전사업자는 가능한 여름철에 보수를 지금보다 높이고, 겨울철에 보수를 하지 않는 방향으로 계획을 수립하는 것이 사업자 측면에서 유리하다.

4. 보수계획의 수익영향

4.1 분석전제

각 보수에 따른 시장수익의 영향을 분석하기 위해서는 시간별 SMP 산정과 해당 시간대 발전기별 발전량 분석이 필요하다. 이를 위하여 한전에서 연료비 분석, SMP 분석 등에 많이 사용되고 있는 POWRSYM을 이용하여 분석하였으며, 목적에 맞게 일부 변형하여 사용하였다.

보수계획의 처리는 각 발전기별 직접적인 On/Off 계획에 의한 보수를 처리하기 보다는 해당 보수율만큼 가용설비에서 제외하는 것으로 처리하였다.

$$\text{가용용량 } GA_{i,w} = GC_i \times (1 - MR_i) \times WM_w$$

w : 52개 주

$$WM_w : \text{주별 적용배수} \left(\sum_{w=1}^{52} WM_w = 52 \right)$$

$$MR_i : i \text{ 발전기 보수율} = \text{평균일수}/365$$

분석에 사용된 부하는 KPX에서 SMP 산정에서 제시한 2002년 부하를 이용하였으며, 설비도 비연계 도시설비를 제외한 실제 설비를 적용하였다. 다만, 보수계획은 실제 보수를 사용하지 않고 위의 가용량 변화를 적용하였다.

4.2 수입 분석

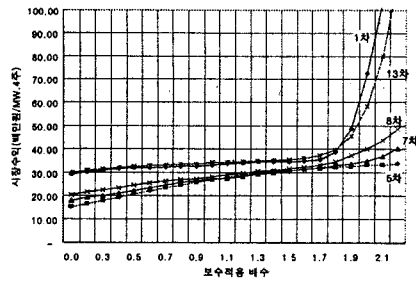
수익분석은 각 차수별로 위에서 정의한 보수적용 배수를 0.0(보수한함)에서 2.2(평균보수의 2.2배 수행)까지 변화에 따른 분석으로 추진하였다.

<그림 5>는 시장 시뮬레이션 결과를 차수별로 분석하였으며, 시장수익을 시간대별로 시장수입(시장가격×발전량)과 에너지비용(발전연료 사용비용)을 제외한 순수익으로 산출 한 후에 해당 발전소의 설비용량으로 나누었다. 따라서, 산정값은 4주단위로 단위 MW용량당 전월별 순수익이 된다.

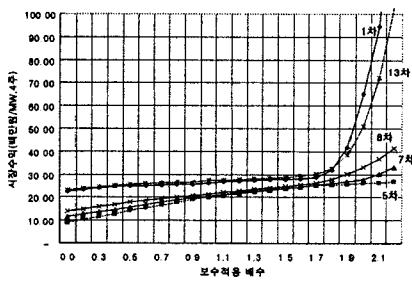
각 수익산정에서 같은 보수율에 대해서는 겨울철의 수익이 여름철 수익보다 높아지며, 같은 수익단계에 대한

보수율 차이가 매우 높음을 알 수 있다.

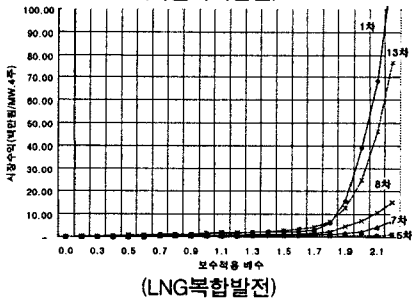
그림에서 모든 기저발전 사업자는 겨울철 보수를 억제하고 이를 여름철에 할당하는 정책으로 가는 것이 유리한 것으로 나타났다.



(원자력발전)



(석탄화력발전)



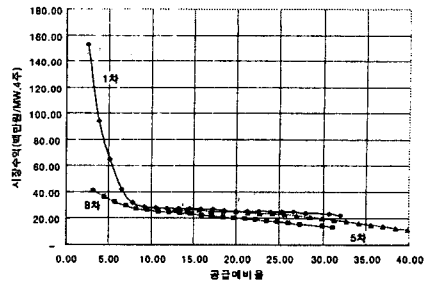
(LNG복합발전)

<그림 5> 보수수준에 따른 시장수익

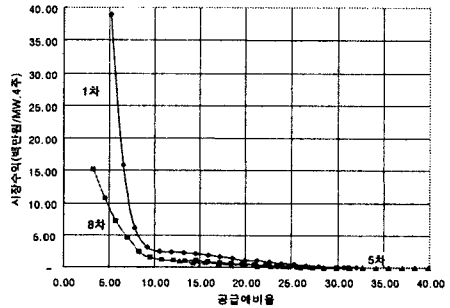
현재의 설비구성에서 도매시장체제로 이행하면 기저발전 설비는 기저설비 변동비용과 중간 및 첨두설비 변동비용의 차이가 커져 수익을 얻을 수 있으나, LNG 복합화력 등은 예비율이 높아서 수익을 얻기가 어려운 상태이다. 그림에서도 평균보수율 수행할 경우에도 여름철 수익이 거의 없음을 알 수 있다. 다만, 기저설비의 여름철 보수를 회피할 경우에 수익에 긍정적인 작용이 가능하다.

다음의 <그림 6>은 공급예비율 대비로 분석한 그래프이다. 이는 각 차수별로 부하수준이 달라 공급예비율에 차이가 있으므로, 같은 공급예비율 수준에 대한 비교를 분석하였다. 그림에서 공급예비율이 낮아짐에 따라 급격히 수익이 증대됨을 알 수 있으며, 같은 공급예비율에 있어서도 겨울철의 수익이 높게 나타나 있다.

석탄화력의 경우에 공급예비율 10%~30% 대에서 같은 공급예비율 기준으로 겨울철, 봄가을, 여름철 순으로 나타나며, 10% 이하에서는 겨울철 수익이 급격히 증가하게 된다. LNG복합의 경우에 공급예비율 10%~30% 대에서 같은 공급예비율 기준으로 겨울철이 높게 나타나며, 봄가을과 여름철은 거의 비슷한 수준이다.



(석탄화력발전)



(LNG복합발전)

<그림 6> 공급예비율에 따른 시장수익

5. 결론

지금까지는 공급지장을 발생시키지 않기 위한 목적으로 보수계획을 수립하였으며, 이에 따른 균등보수로 공급지장발생을 줄일 수 있었다. 본 연구에서는 시장수익을 고려한 보수계획에 대하여 분석하였다. 이 결과 본격적인 시장체제가 도입되면 보수계획 수립에 지금까지의 방법에서 변화가 예상된다.

①기저설비(원자력, 석탄화력)는 이용률을 높이는 것이 중요하며, 이에 따라 여름철에 지금보다 보수할당이 높아질 것이다. 특히, 수익개선을 위해서는 여름철 공급예비율을 타계절 보다 낮추어질 것이다.

②LNG 복합화력 등 중간/첨두부하 설비는 공급예비율에 민감하게 반응하며, 여름철에 유리하게 시장이 변화될 것이다.

③전원별 최적보수계획의 변화로 시장가격이 지금의 형태와는 달라질 것이며, 이에 따라 여름철 부하관리의 중요성이 더욱 높아질 것으로 보인다.

앞으로 겨울철 부하패턴은 편리성에 따른 난방용 전기 사용 증가로 심야부하율이 타 계절에 비하여 높아져 지금의 현상이 지속될 것이다. 이에 따른 사업자의 보수계획으로 여름철 공급예비율 확보에 다른 차원의 노력이 있어야 할 것으로 보인다.

[참고 문헌]

- [1] 정정원, 김정익, "유전알고리즘을 이용한 발전계통 보수계획 수립", 전기학회논문지, 1999.5
- [2] 정정원, 김정익, "발전기 예방정비계획 전산화모형 개발에 관한 연구", 전기학회논문지, 1999.11
- [3] 차준민, "공급신뢰도 개선을 위한 발전기 보수계획", 에너지공학회지, 제 7권 1호, 1998
- [4] 김창수, 백영식, 이창호, "경쟁시장에서 설비예비율에 따른 Pool가격과 발전사업자 수입분석", 전기학회논문지, 2002. 6
- [5] Jin-Ho Kim 등, "A New Approach to Maintenance Scheduling Problems Based on Dynamic Game Theory", KIEE, 2002