

단, $MT(i, j)$: i 번 발전기의 j 번째 주의 보수상태

$$\textcircled{4} \quad ST(New)_i^{k+1} = j(New)_i^k \quad (6)$$

단, $ST(New)_i^k$: 신규 투입된 발전기의 보수시작시기
 $j(New)_i^k$: k 년도에 신규 투입된 i 번째 발전기가 투입된 주

3. 해법

본 연구에서는 계산용량과 시간문제 등을 고려하여 보수계획 수립방법으로 탐색적 기법을 사용하였다. 특히, 탐색적 기법 중에서 부하 및 발전기의 불확실성을 반영할 수 있는 LOLP 평활화법(Loss of Load Probability Levelization Method)을 사용하여 각 년도별 보수계획을 수립하였다. 또한, 각 년도별 공급지장확률을 평활화시키기 위하여 발전기의 보수시기를 순차적으로 변경시켜 가며 목적함수가 최소가 되도록 보수시기를 정하여 대상 년도 전체의 신뢰도가 향상되도록 하였다. 자세한 계산과정을 요약하면 다음과 같다.

우선 각 년도의 공급지장확률 중 가장 큰 값을 갖는 년도를 보수계획을 조절하기 위한 기준년도로 정하고 이것을 n 번째 반복 계산시의 기준년도 $Syear(n)$ 이라 한다. 이때의 LOLP를 n 번째 반복계산시의 기준 LOLP인 $SLP(n)$ 라고 놓는다.

$$SLP(n) = MAX \{ YLOLP \} \quad (7)$$

(최대 연간 LOLP를 갖는 년도)

$SLP(n)$: n 번째 반복계산시의 기준년도의 LOLP

$YLOLP_k$: k 년도의 연간 LOLP [Days/Year]

단, $Syear(n)$: n 번째 반복계산시의 기준년도

신뢰도에 가장 큰 영향을 미치는 순서대로 발전기를 정렬한다. LOLP평활화법에서 계통신뢰도는 유효부하분담능력(Effective Load Carrying Capability: ELCC)에 의해 영향을 받게 되므로 유효부하분담능력이 큰 순서대로 발전기를 선택하여 보수시기를 조절한다. 이때 $EL(i)$ 는 유효부하분담능력 크기 순서대로 발전기의 순서를 정했을 때 i 번째 발전기를 의미한다.

선택된 발전기 $EL(i)$ 만의 보수시기계약을 기준년도에 대하여 다음 식(8)과 같이 풀고 LOLP 평활화법을 이용하여 보수시기를 결정한다. 기준년도 이외의 다른 연도는 기준년도의 보수계획일정에 보수허용기간을 고려한 식 (9)로부터 구한다.

$$1 \leq ST_{EL(i)}^{Syear(m)} \leq NOF \quad (8)$$

$$T_{min}((EL(i), k) \leq ST_{EL(i)}^k \leq T_{max}(EL(i), k) \quad (9)$$

$k \neq SY$

$$\text{단, } T_{min}(EL(i), k) = ST_{EL(i)}^{k-1} - ID_{EL(i)}$$

$$T_{max}(EL(i), k) = ST_{EL(i)}^{k-1} + ID_{EL(i)}$$

$EL(i)$: 유효부하분담능력의 크기가 i 번째인 발전기

$EL(i)$ 번 이후의 발전기는 $EL(i)$ 번 발전기의 보수시기가 결정된 후 초기 년도를 기준으로 하여 LOLP 평활화법을 이용하여 보수시기를 결정한다. 이때 보수시기계약은 다음 식 (10), (11)과 같다.

$$1 \leq ST_{EL(i+1)}^k \leq NOF \quad (10)$$

$$ST_{EL(i+1)}^{k-1} - ID_{EL(i+1)} \leq ST_{EL(i+1)}^k \leq ST_{EL(i+1)}^k + ID_{EL(i+1)} \quad (11)$$

단, $k = 2, \dots, Yyear$

위의 순서에 따라 수립된 보수계획을 고려하여 총비용을 산정한다. i 번 발전기의 보수시기계약을 풀고 계산한 총비용을 $F_{EL(i)}^U$ 라고 정하고 이것을 $i-1$ 번 발전기까지의 총비용의 최소값 $F_{EL(i-1)}^U$ 과 비교하여 그중 작은 값을 $F_{EL(i)}^U$ 로 정한다. 이때의 보수계획이 i 번 발전기까지의 최적보수계획이다. 이 과정을 모든 발전기의 보수계획이 수립될 때까지 반복하고 다시 기준년도를

찾는다. 이때 기준년도가 변동이 되지 않는다면 이것은 더 이상 목적함수의 값이 감소하도록 보수계획을 변동시킬 수 없는 상태를 의미하므로 계산을 종료한다. 이 목적함수값이 최적 총비용이고 이때의 보수계획이 최적보수계획이다.

$$F_{EL(i)}^* = Min(F_{EL(i-1)}^*, F_{EL(i)}^U) \quad (12)$$

단, $F_{EL(0)}^* = F^0$

$F_{EL(i)}^*$: $EL(i)$ 번 발전기까지의 총비용의 최소값

$F_{EL(i)}^U$: $EL(i)$ 번 발전기의 보수시기계약을 풀었을 때의 총비용

4. 사례연구

제한한 알고리즘을 실 규모 계통에 적용하여 다수년도의 보수계획을 수립하고 그 유용성을 검증하였다. 한국전력(Korea Electric Power Corporation : KEPCO)에서 장기전원개발계획을 위해 사용하고 있는 Wien Automatic System Expansion Planning (WASP)을 이용하여 구한 각 년도별 전원설비 구성안에 대하여 사례연구를 실시하여 1997년에서부터 2006년까지의 10년도에 대해 기존의 LOLP 평활화법을 적용하여 얻은 보수계획 결과와 제한한 알고리즘에 의한 결과를 비교하고 그 차이점을 분석하였다.

4.1 특성자료

1992년에 한국전력에서 수립한 장기전원개발계획안에 의한 10개 년도의 설비특성을 표 1에 보인다. 표에서 알 수 있듯이 설비용량은 1997년 35555[MW]에서 2006년 54092[MW]로 증가한다. 또한 각 년도별로 투입되는 발전기와 폐지되는 발전기들의 용량도 나타내었다.

한편, 고려 대상기간의 각 연도의 연간침투부하와 총설비용량과 주간침투부하를 그림 1에 나타내었다.

Table 1 Generation data of 1997-2006

년도	설비용량 [MW]	발전기 대수 [대]	신규투입 용량 [MW]	폐지 용량 [MW]
1997	35555	119	3023	210
1998	38246	120	3571	880
1999	40474	123	2228	
2000	42159	122	1700	15
2001	44454	122	2400	105
2002	46234	121	2000	220
2003	48400	123	3360	1194
2004	50362	122	3200	1238
2005	51952	122	1200	610
2006	54092	121	3900	1760

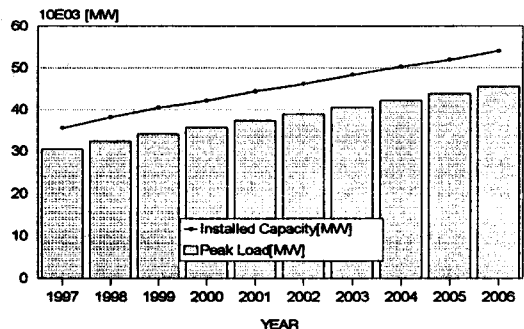


Fig. 1 Installed capacity and peak load of each years

4.2 적용결과

그림 2는 발전기번호에 따른 목적함수 값을 그린 것이다. 초기 보수계획 수립 후 가장 LOLP가 높은 해인 2005년도(기준년도)에 대해 ELCC의 크기 순서대로 발전기의 보수시기제약을 풀고 LOLP 평활화법에 의해 보수계획을 수립한 후 목적함수 값을 계산하여 그림에 나타낸 것이다. 각 발전기의 보수시기를 순차적으로 정해줄 때, 이때의 목적함수값이 수렴하는 것을 알 수 있다.

제안한 알고리즘에 의한 LOLP의 계산 결과를 표 2에 정리해서 보인다. 우선 반복계산 0에서 2005년도의 LOLP가 1.91 [Days/year]로 가장 커서 2005년도를 기준 년도로 하여 다시 보수시기를 결정할 결과 LOLP는 1.75 [Days/year]로 낮아졌다. 다시 반복계산 1에서는 1999년도의 LOLP값인 1.78 [Days/year]가 가장 커서 이를 기준년도로 해서 다시 보수계획을 수립한 뒤 LOLP를 계산한 결과 1.76 [Days/year]로 낮아졌으며, 반복계산 2에서 계산이 종료되었다.

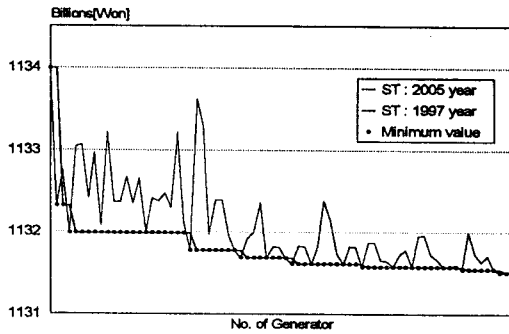


Fig. 2 No. of generator vs. value of objective function

최종 계산 결과 1997년에서 2006년의 10개년도 중 1998년의 LOLP만이 0.03 [Days/year] 증가하고 나머지 7개 년도의 LOLP는 모두 감소하거나 변동이 없었다. 즉, 10개년도의 평균 LOLP는 1.25에서 1.19로 낮아지고 분산도 0.264에서 0.218로 낮아짐으로써 LOLP는 고려대상 전체에 대해 평활화되었다고 할 수 있다. 그러므로 신뢰도가 향상되는 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

한편, 2005년도의 LOLP는 1.91에서 1.72로 약 0.2만큼 감소하였다. 이것을 같은 신뢰도를 유지하기 위해 투입되어야 할 발전기 용량으로 환산하면 약 150 [MW]의 결과를 얻었다. 그러므로 보수계획을 변경하여 신뢰도를 향상시킴으로써, 동일한 신뢰도 수준을 유지시키기 위하여 투입되어야 할 약 150 [MW] 용량의 발전기의 투입 대체효과를 얻을 수 있었다.

Table 2 Iteration number vs. LOLP values

연도 \ 반복회수	0	1	2
1997	1.48	1.47	1.47
1998	0.70	0.73	0.73
1999	1.82	1.78	1.76
2000	1.15	1.15	1.15
2001	0.28	0.28	0.28
2002	0.71	0.70	0.70
2003	1.23	1.12	1.12
2004	1.67	1.58	1.58
2005	1.91	1.75	1.72
2006	1.54	1.42	1.42
평균	1.25	1.20	1.19
분산	0.264	0.223	0.218

보수계획 수립결과를 반영한 발전 시뮬레이션을 통하여 각 연도별 발전비용을 계산하여 표 3에 보인다.

Table 3 Comparison of production cost

연도 \ 방법	기존의 방법 [백만원]	제안한 알고리즘 [백만원]
1997	102369	102277
1998	100123	100141
1999	105211	105243
2000	104804	104833
2001	101102	101198
2002	110121	110067
2003	115514	115321
2004	117416	117267
2005	119406	119296
2006	118097	118073
합계	1094163	1093736

표 3에서 알 수 있듯이 각 연도별 발전비용은 1999년 1개 연도만이 다소 증가하고 나머지 9개 연도에서 모두 감소하였다. 전체 합계를 보면 약 0.04[%]정도 감소하였다. 본 연구에서는 신뢰도 비용뿐만 아니라, 발전비용도 목적함수에 포함하여 계산을 실시하였기 때문에,, 그 결과 신뢰도만이 개선된 것이 아니라 발전비용도 감소한 보수계획을 수립할 수 있었다.

5. 결론

본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서는 공급장비용을 이용한 사회적 총비용을 이용하여 보수계획을 수립하는 알고리즘을 제안하였으며, 보수계획을 수립할 때 고려해야 할 다양한 제약조건을 반영하여 보수계획을 수립하였다.
- 2) 각 연도별로 발전기의 보수시기를 결정할 때, 전체 기간에 대해 신뢰도가 평활화되도록 보수계획을 수립하여 그 결과 전체 기간에 대해 신뢰도가 개선되고 발전비용은 감소되는 보수계획을 수립할 수 있었다.
- 3) 보수계획을 변경하여 각 연도의 신뢰도 수준을 향상시킴으로써, 동일한 신뢰도 수준을 유지시키기 위해 투입되어야 할 발전기의 용량만큼을 절감하여 신규 발전기의 투입을 지연 또는 대체하는 효과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] X. Wang, J. R. McDonald, "Modern Power System Planning", McGraw-Hill Book Company, 1994, pp. 247-307.
- [2] Technical Report Series No. 241 ; "Expansion Planning for Electrical Generation Systems -Guide Book-", International Automatic Energy Agency, Vienna, 1984.
- [3] R. R. Booth, "Power System Simulation Model Based on Probability Analysis", *IEEE Trans. on PAS*, Vol. 91, pp. 62-69, Jan/Feb., 1972.
- [4] L. L. Garver, "Adjusting Maintenance Schedules to Levelize Risk", *IEEE Trans on PAS*, Vol. 91, No. 8, pp 2057-2063, 1972.
- [5] H. G. Stoll, *Least-Cost Electric Utility Planning*, John Wiley & Sons, 1989, pp. 321-360.
- [7] Z. A. Yamayee, "Maintenance Scheduling : Description, Literature, Survey and Interface with Operations Scheduling", *IEEE Trans on PAS*, Vol. 101, No. 8, pp. 2770-2779, Oct. 1982.
- [8] L. L. Garver, "Effective Load Carrying Capability of Generating Units", *IEEE Trans on PAS*, Vol. 85, No. 8, pp. 910-919, 1966.