

PSO알고리즘을 이용한 전력계통의 발전기 예방정비계획 수립

박영수* 정희명* 박종국* 김진호** 박준호*
 부산대학교*, 경원대학교**

Maintenance Scheduling Using PSO Algorithm for Power Plants

Youngsoo Park*, Heemyung Jeong*, Jongkook Park*, Jinho Kim**, Juneho Park*
 Pusan National University*, Kyungwon University**

Abstract - This paper focuses on maintenance scheduling using PSO algorithm for power plants from an economic (operating cost) and reliable(variance of operating reserve margin) point of view. We also apply regional reserve margin and transfer capability to maintenance scheduling problem. The proposed method has been applied to IEEE-RTS(1996) with 32-generators and a real -world large scale power system with 291 generators.

1. 서 론

발전기 예방정비계획이란 통상 특정 연도에 있어서 각 발전기의 예방정비시기 및 기간을 결정하는 것을 의미한다. 이러한 연간 예방정비계획의 목적은 계획 연간의 모든 기간에서 적절한 예방정비를 통하여 각 발전기의 성능 향상과 더불어 발전기의 수명을 연장하고, 전력계통의 신뢰도 향상과 총 발전비용의 감소에 있다. 이상적인 발전기 예방정비계획은 발전비용과 전력계통의 신뢰도를 함께 고려할 수 있는 것이다. 예방정비계획 수립 시, 발전비용과 신뢰도를 같이 고려하기 위해서는 계통의 신뢰도를 비용으로 나타낼 수 있어야 하나 이러한 표현 자체가 어려운 문제이기 때문에 예방정비계획 문제 수립 시에는 발전비용 또는 신뢰도를 단독 목적함수로 두고 최적화 하는 것이 일반적이다[1]. 따라서 본 연구에서는 신뢰성 및 경제성 측면의 발전기 예방정비 계획수립을 목적으로 하였다.

본 논문의 주요 기여사항은 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 발전기 예방정비계획 수립을 위해 신뢰성 및 경제성 측면의 접근을 각각 시도하였다. 계획기간에 예방정비 용량을 비교, 분석한다.

둘째, 지역별 예비력 제약과 융통전력을 반영한 새로운 발전기 예방정비 계획 문제 해법을 제안하였다. 제안된 방법의 유용성을 입증하기 위하여 IEEE Reliability Test System(1996) 및 우리나라 실 계통 데이터(2006. 10)를 대상으로 본 논문에서 제안된 방법을 적용하였다.

2. 발전기 예방정비계획

2.1 신뢰성을 고려한 예방정비계획

$$Min \sum_{t=1}^T \left\{ \left(\frac{AC_t - L_t}{L_t} \right) - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left[\frac{AC_t - L_t}{L_t} \right] \right\}^2 \quad (1)$$

$$= Min \sum_{t=1}^T \left\{ \left(\frac{IC - \sum_{j=1}^N u_{jt} C_j}{L_t} \right) - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left[\left(\frac{IC - \sum_{j=1}^N u_{jt} C_j}{L_t} \right) \right] \right\}^2$$

s. t.

$$\sum_{j=1}^N (1 - u_{jt}) C_j - L_t > 0 \quad (2)$$

$$S_j^{min} \leq S_j \leq S_j^{max} \quad (3)$$

$$\sum_{t=1}^T u_{jt} = M_j, \quad \prod_{t=S_j}^{M_j+S_j-1} u_{jt} = 1 \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^N u_{jt} C_j \leq CR_t \quad (5)$$

$$RES_t \geq \epsilon \quad (6)$$

u_{jt} : t번째 예방정비 계획 주의 발전기 j의 운전 상태
 (1 : 예방정비, 0 : 운전)

T : 총 예방정비 기간 (1년 : 52주)

N : 총 발전기 대수

IC : 총 설비용량 (Installed Capacity)

$AC_t = IC - \sum_{j=1}^N u_{jt} C_j$: t주의 가용 설비 용량

L_t : t주의 최대 수요, C_j : 발전기 j의 용량

M_j : 발전기 j의 예방정비 기간

S_j : 발전기 j의 예방정비 시작 주 (결정변수)

S_j^{min} : 발전기 j의 예방정비 가능 시작 주,

S_j^{max} : 발전기 j의 예방정비 가능 마지막 주

RES_t : t주의 전체 계통의 예비율,

ϵ : 전체 계통 예비률 기준

2.2 경제성을 고려한 예방정비계획

$$F = \sum_{t=1}^T \left(\sum_{i=1}^N (a_i + b_i P_i^t + c_i P_i^t)^2 \right) \quad (7)$$

s. t.

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_D \quad (8)$$

$$P_i^{MIN} \leq P_i^t \leq P_i^{MAX} \quad (9)$$

2.1절의 제약조건 (2)-(6) 포함 (10)

F : 총 연료비용 [\$]

a_i, b_i, c_i : i 발전기의 비용계수

P_i^t : t시간의 i 발전기의 발전출력[MW]

N : 계통의 총 발전기 수

T : 총 보수 대상 기간 (52주 = 8760시간)

P_D : 총 수요[MW]

P_i^{min} : i 발전기의 최소 발전출력[MW]

P_i^{max} : i 발전기의 최대 발전출력[MW]

2.3 지역별 예비력 제약을 고려한 예방정비계획

공급예비율 분산값 최소화를 목적함수로 하는 기존의 연구와 마찬가지로 본 연구에서도 2.1에서 살펴본 목적함수와 제약조건(식2~6)들을 고려한다. 하지만 단일 계통 전체의 예비력 확보에 초점이 맞춰진 기존의 예방정비계획 문제에서는 최대 송전 용량 제한에 따른 지역별 수급 불균형, 사회적 비용의 초과 발생 등의 문제를 보일 수 있다[2]. 그러므로 기존의 연구에 지역별 용통전력(Total Transfer Capability)을 감안한 제약조건이 아래와 같이 추가되어야 한다.

$$RES_r^t \geq \epsilon_r \quad (11)$$

$$P_{ab} \leq P_L \quad (12)$$

ϵ_r : r지역의 예비율 기준

RES_r^t : r지역의 t주 예비율

P_{ab} : a지역에서 b지역으로 보내지는 송전용량[MW]

P_L : 최대 송전 가능 용량[MW]

자체 수급이 가능한 발전중심 지역은 수요중심 지역으로 송전최대용량 범위에서 송전할 수 있다. 그러므로 송전가능용량을 무시한 단일 계통의 발전기 예방정비 계획 수립은 지역별 수급 안정과 관련된 신뢰성 및 사회적 비용 등의 경제적인 문제를 사실상 해결하지 못한다. 그러므로 각 지역별 예비율 기준을 만족하는 예방정비계획이 필요하다.

3. PSO알고리즘 수행절차[3]

$$x_{jk}^t = v_{jk}^t + x_{jk}^{t-1} \quad (13)$$

$$v_{jk}^t = w^t v_{jk}^t + c_1 r_1 (pbest_{jk}^t - x_{jk}^t) + c_2 r_2 (gbest_k^t - x_{jk}^t) \quad (14)$$

$$w^t = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{G_{max}} \times t \quad (15)$$

x_{jk}^t : 개체 위치, v_{jk}^t : 개체 속도

G_{max} : 총 세대 수.

w_{max} : 초기 관성하중 값, w_{min} : 마지막 관성하중 값

단계1_데이터입력 : 사례계통의 발전·부하자료를 입력받는다. 계통의 발전기 데이터, 최대수요 관련 데이터가 필요하며, 예방정비기간, 들연변이 확률 등에 대한 자료가 요구된다.

단계2_초기화 : 탐색 공간상에 초기해 집단의 개체를 랜덤으로 발생시킨다. PSO알고리즘을 수행하기 위해 기본적인 파라미터(가속상수, 관성하중, V_{max})를 설정한다.

단계3_속도 업데이트 : 식(14)를 이용, 개체의 속도를 업데이트하는 단계이다. $[-V_{max}, V_{max}]$ 를 넘지 않도록 v_{jk}^t 의 값을 조정한다.

단계4_위치 업데이트 : 식(13)에 의해 개체들의 위치 정보가 업데이트 된다.

단계5_Pbest·Gbest 업데이트 : 적합도 평가에 의해 pbest와 gbest를 결정, 업데이트한다. 신뢰성 목적함수일 경우는 대상 계통의 발전기의 예방정비계획을 포함하는 개체의 공급예비율 분산값이, 경제성 목적함수일 경우에는 총 발전기 운전비용의 합이 각 개체의 적합도이다.

단계6_종료조건 확인 : 최초 설정한 총 세대를 만족하면 현재의 예방정비 계획 알고리즘은 종료하고 그렇지 않을 경우는 단계3을 반복한다.

단계7_해 결정 : 최종 결정된 Gbest는 최적의 위치정보를 가지는 발전기 예방정비 계획의 해가 된다.

4. 사례연구

본 논문의 사례연구에서는 신뢰성, 경제성을 고려한 발전기 예방정비계획을 각각 수립하여 비교, 분석한다. 각 경우는 지역별 예비력 제약과 용통전력의 개념이 적용되었다.

4.1 신뢰성을 고려한 예방정비계획

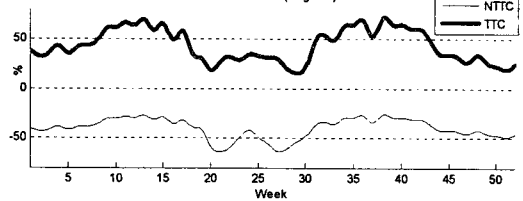
4.1.1 IEEE-RTS[4]

사례계통은 IEEE-RTS(1996)이며, 단일계통을 2개지역으로 구획하여, 발전·수요 중심지역으로 구분한다.

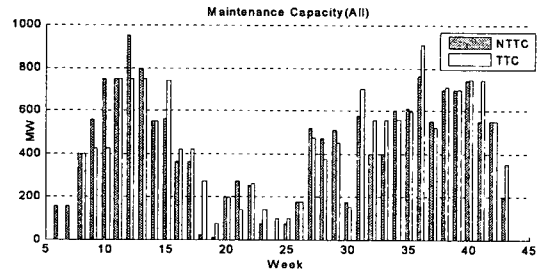
표 1 지역별 수요 및 설비량 분포 및 시물레이션 결과

	수요(최대)	설비(공급)	비고
지역1	1,332MW(46.74%)	684MW(17.12%)	수요중심지역
지역2	1,518MW(53.26%)	3,312MW(82.88%)	발전중심지역
전체	2,850MW	3,996MW	
시물레이션		목적함수 값	비고
지역예비력비고려(NTTC)		0.195306	10회 평균
지역예비력고려(TTC)		0.200877	

※용통전력(TTC, Total Transfer Capability)
Reserve Ratio(Region1)



(a) 지역1의 예비율



(b) 계통전체 예방정비용량

그림 1 신뢰성을 고려한 예방정비계획 사례결과

300개의 개체를 총 500회 반복시키며 PSO알고리즘을 이용, 시물레이션 한 결과 지역예비력 제약과 용통전력을 고려한 경우에서 목적함수 값이 크지만, 단일계통에서는 지역1의 자체 예비력이 음수임을 알 수 있다(그림 1-(a)). 계통전체의 예방정비용량은 다소 차이가 있으며(그림 1-(b)), 지역예비력 제약을 고려한 경우의 예방정비계획이 보다 현실적인 접근법을 확인하였다.

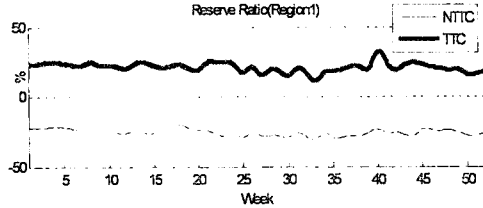
4.1.2 우리나라 실 계통 [1]

4.1.1절의 모의계통을 기초로, 우리나라 2006. 10월. 실 계통 데이터를 이용하여 사례연구를 실시하였다. 표2의 계통자료를 이용, 수도권(수요중심지역)의 예비력(그림 2-(a))과 계통전체의 예방정비용량(그림 2-(b)), 목적함수 값을 출력, 모의계통의 결과가 유사함을 알 수 있었다.

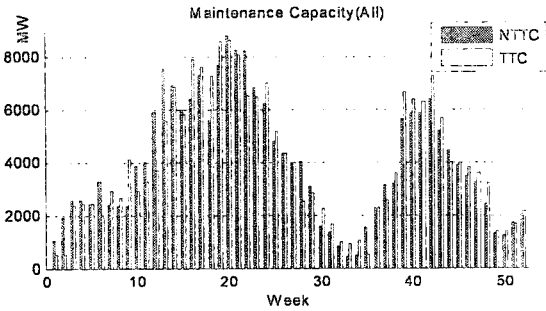
표 2 우리나라 실 계통 자료 및 시물레이션 결과

	시물레이션	목적함수 값	비고
지역예비력비고려(NTTC)		0.01854482	10회 평균
지역예비력고려(TTC)		0.02002088	

	실비 (MW)	수요 (MW)	예방정비 대상 (MW)	연중운전 (MW)	합 (대)	자체 수급	예비유 기준
수도권	16,253.95 (25.41%)	22,826.83 (6.40%)	79대 (10252.95)	43대 (6001.00)	122	불가능	10%
비수도권	47,717.77 (74.59%)	34,240.25 (4.60%)	121대 (34689.48)	48대 (13028.28)	169	가능	
합	63,971.72 (100.0%)	57,067.09 (100%)	200대 (44942.43)	91대 (19029.28)	291		
용량전력 (9700 MW)	중부권·수도권 영동권·수도권	아산(244) · 서정(172) · 신동원(65) · 신서산(221)	신세진(131) · 울성(137) · 268[만kW]				



(a) 수도권 예비율



(b) 계통전체 예방정비비용량

그림 2 신뢰성을 고려한 예방정비계획 사례결과

4.2 경제성을 고려한 예방정비계획

4.1의 사례계통과 동일하며(2개지역구분) 전력경제집진 문제를 이용하여 모든 발전기의 운전비용 합을 최소화하는 최적해를 찾는다. 개체 50개를 총 200회 반복시켜 경제성을 고려한 발전기 예방정비계획을 수립한다.

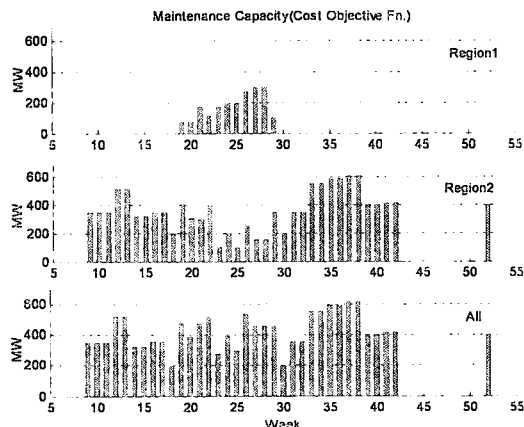


그림 3 경제성을 고려한 예방정비계획 사례결과

표 3 시뮬레이션 결과 (경제성)

목적함수(운전비용)[천\$]	목적함수(운전비용)[천\$]
1 253,395.5003	4 253,415.8718
2 253,447.9662	5 253,424.1552
3 253,416.3746	평균 253,419.9736

4.3 사례연구결과 비교

표 4를 살펴보면 사례[A]에서 상대적으로 분산 값이 적고, 운전비용이 크다는 것을 확인할 수 있다. 사례[B]는 예비율 평균값이 높지만, 주별 편차가 크며 이는 예비력 확보 측면에서 신뢰성을 고려한 사례[A]의 경우가 안정적인 수급이 가능함을 의미한다. 또한 목적이 다르기 때문에 주별 예방정비용량에 다소 차이가 발생함은 당연하다. 예방정비계획을 수립하는 주체가 누구인지, 목적이 무엇인지에 따라 계획은 수정될 수 있다. 계통운영자라면, 적정 신뢰도 유지를 위해 사례[A]를, 주체가 이익 창출을 목적으로 하는 발전회사라면 사례[B]의 경제성을 고려한 계획 알고리즘을 선택할 수 있다.

표 4 시뮬레이션 결과 비교

목적함수	공급예비율 분산값	운전비용[천\$]	예비율 평균[%]
신뢰도[A]	0.20087	254066.688	57.898
비용[B]	0.70710	253419.974	60.040

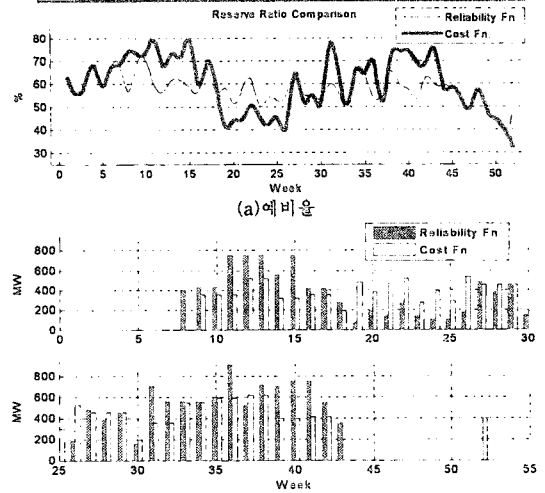


그림 4 사례결과 비교 - 예방정비비용량 및 예비율

5. 결 론

본 논문은 PSO알고리즘을 이용한 전력계통의 발전기 예방정비계획을 수립하기 위해 지역별 예비력 제약과 용량전력을 고려한 새로운 방법의 예방정비계획 정식화 및 해법을 제안하였으며, 신뢰성과 경제성 측면의 예방정비 계획용 비교·분석하여 전력시장 참여자의 발전기 예방정비계획에 대한 전략수립이 가능하도록 하였다. 지역별 전력수급 개념이 추가되어 단일 전력계통을 대상으로 했던 기존의 연구에서 간과할 수 있는 송전선로의 용량전력을 고려하고 지역별 신뢰도를 적정 수준으로 유지할 수 있는 보다 현실적인 접근의 의미를 지닌다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행된 과제(R-2005-7-054)임.

[참고 문헌]

- [1] 정정원, 김정익, "유전알고리즘을 이용한 발전계통의 보수 계획수립", 대한전기학회논문지, 48A권 5호 1999년 5월
- [2] 한국전력거래소 전력계획처, "지역별 전력수급계획 수립기준 정립에 관한 연구", 2006. 10
- [3] J. Kennedy, R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", Proceedings. IEEE International Conference on Neural Networks, VOL. 4, pp.1942-1948 1995.
- [4] Reliability Test System Task Force, "IEEE reliability test system", IEEE Trans. Power App. Syst. vol. Pas-98, no. 6, pp.2047-2054, Dec. 1979