

배전계통에 있어서 열병합 분산형전원의 최적 도입계획에 관한 연구 (II)

심 현* · 노 대 석* · 최 재 석** · 차 준 민***
 한국기술교육대학교* 경상대학교** 대진대학교***

Optimal Planning for Dispersed Generating Sources in Distribution Systems(II)

Hun Shim* · Daeseok Rho* · Jaesuk Choi** · Junmin Cha***
 Korea University of Technology and Education* Gyeongsang National University**
 Daejin University***

Abstract - This paper deals with a method for determining an optimal operation strategy of dispersed generating sources. For effective utilization of dispersed generating sources, it is indispensable to consider their thermal merits in addition to electric power. And then the optimal operation of these sources can be determined easily by the principle of equal incremental fuel cost. This paper presents an priority method to decide the optimal location of those sources in power systems about the whole year.

The validity of the proposed algorithms are demonstrated using a model system.

1. 서론

최근 전력계통에서 수급불균형과 환경문제가 제기됨에 따라, 이러한 문제를 효율적으로 해결하기 위하여 다양한 연료를 사용할 수 있고 분산 배치가 가능하며 무공해 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라 열병합에 따른 고효율이 기대할 수 있는 열병합 분산형전원(연료전지 발전시스템 : FC)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, 이러한 전원이 무질서하게 도입·운용되는 경우, 기존의 전력계통에 대한 경제성 및 에너지 절약효과를 손상시킬 염려가 있으므로 효율적인 전력계통을 구성하기 위해서는 계획단계에서의 배치 및 운용에 관한 검토가 중요한 과제가 된다.

그러므로, 열병합 분산형전원의 최적 도입 계획문제를 고려하기 위해서, 본 논문에서는 HAPP가 제안한 페널티 팩터 계산방법을 이용하여 분산형전원의 도입 후보 모선 결정 방법에 대해서 살펴보고, Kuhn-Tucker 정리에 기초하여 포괄적 개념의 총비용을 계산함으로써 연중 시간대에 대하여 전기에너지와 열공급을 고려한 최적 운용방안을 결정하는 알고리즘을 제안한다.

2. 페널티 팩터에 의한 우선순위 결정 방법

2.1 페널티 팩터 결정 알고리즘¹⁾

HAPP의 최적 부하 조류계산에 있어서 유도식을

요약하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\min f(x, u) \tag{1}$$

$$g(x, u, p) = 0 \tag{2}$$

Lagrange 미정계수법에 의해서

$$L(x, u, p) = f(x, u) + [\lambda]^T [g(x, u, p)] \tag{3}$$

x, u에 관해서 미분하여 λ 에 관해서 정리하면

$$\lambda = \left(- \left[\frac{\partial g}{\partial x} \right]^T \right)^{-1} \left| \frac{\partial P_r}{\partial x} \right| \frac{\partial f_r}{\partial P_r} \tag{4}$$

여기서 α 를

$$\alpha = \left(- \left[\frac{\partial g}{\partial x} \right]^T \right)^{-1} \left| \frac{\partial P_r}{\partial x} \right| \tag{5}$$

라 정의하면,

$$PF_i = \frac{1}{\alpha_i} \tag{6}$$

상기 식은 발전기 i에 대한 페널티 팩터이다.

이로써 우리는 증분손실의 항 $\partial P_L / \partial P_g$ 를 계산하지 않고, 페널티 팩터 (L_c)를 찾는 방법을 알 수 있었다.

2.2 우선순위 결정 방법^{1), 2)}

수급평형과 운용성립 조건, 그리고 등 λ 법칙에 의하여 다음 식을 구할 수 있다.

$$\frac{\lambda}{L_c} > \frac{df_c}{dP_c} \tag{7}$$

식 (7)이 성립되는 경우에만 분산형전원의 운전 메리트가 있어 "운전성립 조건식"이라고 부른다. 이 식에서 알 수 있는 바와 같이, L_c 값이 작을수록 좌변의 값이 크게 되어, 운전에 따른 메리트가 크게 된다. 따라서, 본 알고리즘에서는 도입 효과가

최대로 되는 것을 고려하여, 언 피크부하시의 패널티 팩터의 값이 작은 순으로 모선에 우선순위를 결정한다.

3. 열병합분산형 전원의 최적 운용

열병합 분산형전원의 최적운용은 전력계통에 대한 총 비용의 최소화 문제로서 정식화되고, Lagrange 함수에 의한 새로운 목적함수 L에 대하여 Kuhn-Tucker의 최적 조건을 적용하면, 최적해는 다음과 같이 구해진다.^{[1],[2]}

$$\lambda \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_{ci}} \right) = \frac{df_{ci}}{dP_{ci}} \quad (8)$$

$$\lambda \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_{ci}} \right) = \frac{d}{dP_{ci}} (f_{ci} - \mu_j \times H_{ci}) \quad (9)$$

$$0 \leq \mu_j \leq \frac{df_{Bj}}{dH_{Bj}} \quad (= \alpha_j \text{로 함}) \quad (10)$$

상기 식에서 열등가 환산계수 μ_j 는 열부하에 따라 3경우^[2]로 나누어 설명할 수 있다. 화력 발전기 및 분산형전원의 연료비 특성은 이차함수로 나타내어 지고, 분산형전원의 전기적인 출력과 열출력의 사이에 선형관계가 성립된다고 가정하면 최적해로부터 임의의 화력발전기 i와 분산형전원 j에 대한에 대한출력이 다음과 같이 정의된다.

$$P_{ci} = \frac{1}{2a_i} \left\{ \lambda \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_{ci}} \right) - b_i \right\} \quad (11)$$

$$P_{ci} = \frac{d_i}{2a_i} \mu_j + \frac{1}{2a_i} \left\{ \lambda \left(1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_{ci}} \right) - b_i \right\} \quad (12)$$

상기의 두식에 의하여 가장 경제적인 발전기와 분산형전원의 출력배분을 결정할 수 있는데, 실제통용시 전체 모선·시간대에 대하여 경제성을 산정한다는 것은 사실상 불가능하다. 따라서, 본 논문에서는 피크 부하시간대만을 고려한 우선순위결정법^{[1],[2]}을 이용한다. 식 (13)은 도입전·후의 경제성을 나타내는 평가지수를 정의하였다.

$$\text{평가지수} = \frac{\text{연료전지의 도입에 따른 절약비용}}{\text{연료전지를 도입하기 전의 비용}} \times 100 (\%) \quad (13)$$

4. 모델 계통의 적용

4.1 모델계통 데이터

본 연구에서는 3기 6모선 모델계통^[1]을 적용하였는데 1번모선은 주택지역, 2번모선의 상업지역, 3번모선의 산업지역으로 가정하였고, 발전기 모선과 분산형전원의 데이터^[3]는 표 1과 같으며 200 UNIT로 가정하였다. 부하모선의 연중 부하 패턴은 3개월씩 4계절로 나누어 24시간의 부하 형태로 상정하여 1년 8640시간을 고려하였다. 연중 부하를 시간대별

총합으로 하여 그림 1에 나타내었다. 또, 연료전지와 보일러에 관한 데이터^[3]는 표 2에 나타내었다.

열병합 분산형전원의 최적운용을 결정하기 위해서는 반드시 열병합을 했을 경우를 포함해야한다. 이에 본 논문에서는 열병합을 통한 유용성을 확인하기 위하여 전력 공급면과 열병합을 했을 경우를 구분하여 우선순위법에 의한 산정 결과와 2절의 패널티 팩터의 우선순위 선정결과가 일치함을 확인하고, 이를 전체 시간대에 적용했을 때와도 일치함을 살피므로써 본 논문에서 제시한 알고리즘의 유용성을 확인한다. 이러한, 전체 알고리즘은 그림 2에 나타내었다.

표 1 각 발전기와 분산형전원의 데이터

모선 조건	모선 번호	Pmax (pu)	Pmin (pu)	a	b	c
발전	4	6.0	0.9	1.0	1.5	1.0
	5	3.5	0.4	1.5	1.0	1.0
	6	1.25	0.45	3.0	3.0	3.0
분산형전원		0.001	0.00025	3000.0	45.0	17.465

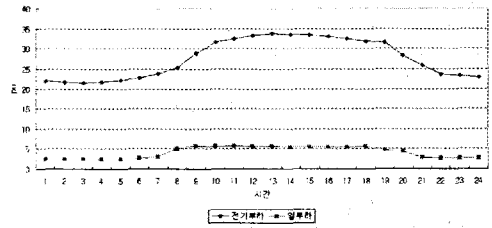


그림 1 각 시간에 따른 연 중 총 부하

표 2 연료전지와 보일러에 관한 데이터

연료전지	연료비	300원/kg
	전기출력과 열출력의 에너지 비	$H_c / P_c = 1$
보일러	연료비	100원/Mcal

4.2 시뮬레이션의 결과

우선, 표 3은 연중시간대 중 피크 부하시간대를 선정한 결과이고, 이에 따른 패널티 팩터와 우선순위법에 의한 산정 결과와 이의 값의 유용성을 확인하기 위한 연중 시간대에 따른 결과를 표 4, 표 5, 표 6에 나타내었다. 각각을 비교하면 모든 결과의 우선순위가 일치함을 알 수 있다. 이 결과로 도입 메리트가 가장 작은 1번 모선을 제외하고 2, 3 번모선을 도입 후보모선으로 결정하면 된다. 표 4에서 전력 공급면만을 고려했을 경우 분산형전원의 도입메리트가 없음을 알 수 있는데, 이는 열적인 측면이 전혀 고려되지 않으므로 μ_j 가 0이 되어 분산형전원이 부하배분상 경제적이지 못하여 연료전지의 출력이 작게 되기 때문이다. 열병합을 고려하면 도입메리트가 가장 큰 3번모선의 경우 전력공급면과 보일러비의 절약에 따른 총평가지수가 피크시간대만 약

31%), 연중시간대를 고려하면 약 15(%)정도 도입 메리트가 있음을 알 수 있다. 이로써 본 논문에서 제시한 알고리즘의 유용성을 확인할 수 있다.

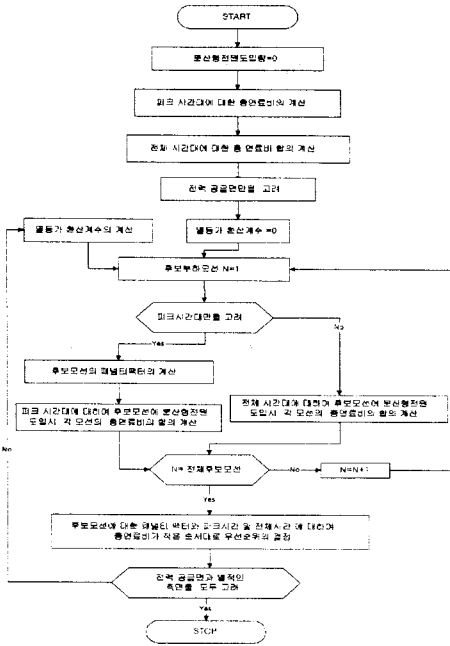


그림 2 시물레이션의 전체 알고리즘

표 3 피크부하(P) 시간대의 선정

단위 : pu

모선 번호	계절	시간대	피크부하(P)	무효전력(Q)	열부하(H)
1	2	13	-2.30	-1.8400	-0.035
2	2	13	-3.73	-3.3570	-0.320
3	2	13	-4.49	-3.8165	-0.300

표 4 전력공급면만 고려한 경우의 데이터

도입 모선 번호	피크시간대만 고려			연간 시간대 고려		우선 순위
	PF	총연료비 (천원)	평가지 수(%)	연간 총연료비 (만원)	평가지 수(%)	
도입 전	-	118,826.6	-	60,343,950	-	-
1	0.783	119,826.3	-0.255	60,948,760	-1.002	3
2	0.734	118,947.8	-0.125	60,922,970	0.960	2
3	0.641	118,672.2	0.130	60,859,060	0.854	1

표 5 열병합을 고려한 경우의 데이터

도입 모선 번호	피크시간대만 고려			연간 시간대 고려		우선 순위
	PF	총연료비 (천원)	평가지 수(%)	연간 총연료비 (만원)	평가지 수(%)	
1	0.783	119,128.8	-0.255	60,982,560	-1.0585	3
2	0.747	118,744.5	0.069	60,968,940	-0.0357	2
3	0.653	118,348.7	0.402	60,843,850	-0.8284	1

표 6 열병합에 의한 보일러 연료비 비교

도입 모선 번호	피크시간대만 고려			연간 시간대 고려			우선 순위
	도입전 비용 (천원)	도입후비용 (천원)	평가 지수 (%)	도입전비용 (천만원)	도입후비용 (천만원)	평가 지수 (%)	
1	301.0	0.0	5.4	1,827.2	736.5	9.6	3
2	2,752.0	1,052.0	30.2	2,798.8	994.2	13.0	2
3	2,580.0	880.0	30.2	3,051.6	1,173.0	15.3	1

5. 결론

본 논문의 특징 및 시물레이션 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 패널티 팩트에 의한 후보모선선정 방법을 제시하여 제안된 알고리즘에 유용성을 확인하였다.
- (2) 열병합 분산형전원의 도입 메리트를 평가 하기 위하여 연중 시간대에 대한 피크시간대만의 우선순위법을 제안하고, 보일러의 연료비 경감까지 평가함으로써 포괄적인 최적화 수법을 제안하였다.
- (3) 총평가지수를 정의하여 전기와 열을 고려한 최적 후보 모선을 결정함으로써, 실계통 적용시 계산 부담의 경감을 기대할 수 있다.

앞으로는, 열병합 분산형전원의 실규모 계통을 고려할 수 있는 범용적인 최적도입 알고리즘을 확립하고자 한다.

본 연구는 학술진흥재단의 목적기초과제로 이루어진 연구입니다.

참 고 문 헌

- [1] 심현 외 : "전력공급면에서 열병합 분산형 전원의 최적 도입계획에 관한 연구", 전력계통연구회 춘계학술회 논문집, pp. 104-108, 2000.
- [2] 심현 외 : "배전계통에 있어서 열병합 분산형전원의 최적 도입계획에 관한 기초적 연구", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집 A, pp. 513-515, 2000.
- [3] 다무라 외 : "보일러와의 협조를 고려한 열병합 분산형전원의 최적 운용결정 수법", 일본 전기학회논문지B, 114권 12호, 1994년
- [4] H.H. Happ : "Optimal Power Dispatch-A Comprehensive Survey", IEEE Transaction on PAS, Vol.96. No.3. pp. 841-854, 1977.