

## 선로제약을 고려한 복수개의 마이크로그리드 최적운영 기법에 관한 연구

박시나, 안정열<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>(주)제트워크, <sup>2</sup>울산과학기술대학교 전기전자공학부

### A Study on Optimal Operation Method of Multiple Microgrid System Considering Line Flow Limits

Si-Na Park<sup>1</sup>, Jeong-Yeol An<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Jetwork Co., Ltd.

<sup>2</sup>School of Electrical and Electronic Engineering, Ulsan College

요 약 본 논문은 마이크로 그리드 최적 운영을 위해 Differential Search (DS) 알고리즘을 적용하였다. DS 알고리즘은 이주하는 생물의 유사 브라운 운동 형태의 임의보행 (random-walk)을 모의하여 개발된 알고리즘이다. DS 알고리즘은 다른 최적화 알고리즘과 달리 한 개 이상의 개체를 동시에 사용 할 수 있고, 유사 최적해중에서 전역 최적 해를 선별하는 직진성 특성으로 multi-modal 함수들의 해법을 위한 성공적인 탐색 전력을 지니고 있으며, 높은 비선형성과 불연속성을 갖는 전력계통의 다른 분야에도 효율적으로 적용될 수 있다.

마이크로 그리드 시스템은 풍력 발전기, 디젤발전기, 연료전지 및 태양광 발전기로 구성된다. 풍력 발전기는 가변 출력특성을 이용하여 모델링 하였다. 연료비용과 연료가 전력으로 변환되는 경우의 효율을 포함시켜 시스템의 비용을 최소화 하였으며, 마이크로 그리드 단독 운용에 관해서만 분석하였다. 본 연구는 신재생 에너지원 기반의 마이크로 그리드의 최적 운영에 대해 코딩의 단순성, 빠른 수렴 속도, 정확성 및 효율성을 갖춘 DS 알고리즘을 적용하여 다른 알고리즘의 최적 값과 비교하였다.

**Abstract** This paper presents application of a differential search (DS) meta-heuristic optimization algorithm for optimal operation of a micro grid system. The DS algorithm simulates the Brownian-like random-walk movement used by an organism to migrate. The micro grid system consists of a wind turbine, a diesel generator, a fuel cell, and a photovoltaic system. The wind turbine generator is modeled by considering the characteristics of variable output. Optimization is aimed at minimizing the cost function of the system, including fuel costs and maximizing fuel efficiency to generate electric power. The simulation was applied to a micro grid system only. This study applies the DS algorithm with excellence and efficiency in terms of coding simplicity, fast convergence speed, and accuracy in the optimal operation of micro grids based on renewable energy resources, and we compared its optimum value to other algorithms to prove its superiority.

**Keywords :** Diesel generator, Fuel cell, Photovoltaic, DS algorithm, Microgrid System, Optimization, Optimal operation, Wind turbine generator

#### 1. 서론

효율적인 에너지 이용에 대한 관심의 증가와 함께 전

력 분야에서는 마이크로그리드, 스마트 그리드, 슈퍼그리드 등 다양한 전기 에너지 네트워크에 대한 연구가 진행되고 있다. 마이크로 그리드 시스템 운영 목적은 최소

본 논문은 2017년도 울산과학기술대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

\*Corresponding Author : Jeong-Yeol An(Ulsan College)

Tel: +82-52-279-3144 email: jyan@uc.ac.kr

Received April 23, 2018

Revised May 8, 2018

Accepted July 6, 2018

Published July 31, 2018

의 비용으로 에너지 공급과 수요의 균형을 맞추고 동시에 마이크로그리드 내 전력 부하를 최적으로 충족시키는 것이다. 마이크로그리드가 지역적으로 여러개인 경우 각 마이크로 그리드의 최적 운영을 위해서는 그리드 간의 전력 공급이 가능하도록 하여야 한다. 특히 신재생 에너지원이 포함되는 경우 그리드 별로 발전 가능한 가용전원이 환경적 요인으로 인해 서로 다를 수 있으므로 이를 통합하여 운전하도록 하는 방안이 필요하게 된다[1-3]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 자연현상을 이용한 정확하고 빠른 최적화 알고리즘이 적용되었다. 다양한 경험적, 확률론적 탐색에 기반을 두고 미분이 불가능한 함수의 최적 값을 구하는데 유용한 GA(Genetic Algorithm)와 전역적 탐색기법의 일종인 HS 알고리즘(Harmony Search Algorithm)등이 적용되었다. 이런 최적화 알고리즘은 전역적 최적해를 탐색할 가능성은 높으나 수렴시간의 제약, 정확성 및 알고리즘의 복잡성을 처리하는 면에 있어서 여러 가지 문제점을 갖고 있다[4-8]. DS 알고리즘(Differential Search Algorithm)은 자연 속에서 많은 종류의 생물들의 주기적 이주 사이클을 모델링 한 것으로 코딩의 단순성, 수렴시간 및 정확성 등의 성공적인 탐색 전략을 지니고 있다[9].

본 논문에서는 선로 제약을 고려한 마이크로 그리드 시스템의 운용비용을 최소화하기 위해 DS 알고리즘을 적용하여 최적 값을 분석하고 HS 알고리즘의 최적 값과 비교하였다.

## 2. 최적운영을 위한 정식화

### 2.1 마이크로 그리드 구성

#### 2.1.1 디젤 발전기

디젤 발전기(Diesel Generator : DiG) 는 기존의 화석연료 발전비용 모델을 이용해 식 (1)과 같이 비용함수를 모델링 하였다.

$$C_{DiG,i} = \sum_{i=1}^n (a + bP_{DiG,i} + cP_{DiG,i}^2) \quad (1)$$

일반적으로 발전기의 비용계수 a, b, c는 DiG 의 성능에 의해 결정되며 본 논문에서 사용된 데이터는 Table 1과 같다[10].

Table 1. Cost coefficient of DiG

Unit	a	b	c	Pmin[kW]	Pmax[kW]
DiG#1	0.4333	0.2333	0.0074	0.5	5.0
DiG#2	0.2731	0.1453	0.0042	0.3	3.0
DiG#3	0.8467	0.5142	0.0092	0.7	8.0

#### 2.1.2 풍력 발전기

풍력 발전기는 풍속에 관한 환경적인 요인이 발전량에 상당한 영향을 주게 되므로 주변조건에 따른 운전제약이 포함되어야 한다. 풍력 발전기는 가변 출력특성을 이용하여 모델링 하였다. 풍속에 따른 풍력 발전기의 출력과 비용함수의 정식화는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으며 Table 2는 풍력 발전기의 데이터를 나타낸 것이다[11].

$$C_{WT} = \sum_{i=1}^m C_{WT(M/O)} P_{WT} \quad (2)$$

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & v < v_{ci} \\ cv^2 + bv + a & v_{ci} < v < v_r \\ P_{WTR} & v > v_{\omega} \end{cases}$$

여기서,

$C_{WT}$  : 풍력 발전비용 [\$/kW]

$C_{WT(M/O)}$  : 유지 및 운전비용 [\$/kW]

$v, v_{ci}, v_{\omega}, v_r$  : 풍속, 시동, 중단, 정격풍속 [m/sec]

$P_{WT}, P_{WTR}$  : 발전, 정격출력 [kW]

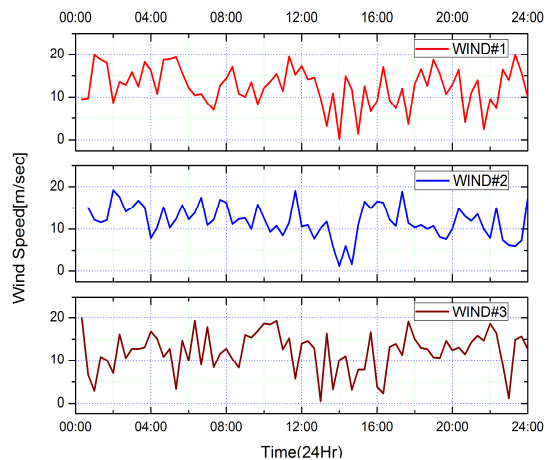


Fig. 1. Grid Wind Speed Data

본 논문에서 고려한 풍력발전기의 출력을 결정하고자 Fig. 1에서와 같은 세 지역에서의 하루 24시간 동안의 풍속데이터를 이용하였다.

Table 2. Wind Turbine Data

Unit	a	b	c	Pmin [kW]	Pmax [kW]	CWT(M/O)
WT#1	0.4333	0.2333	0.0074	0.5	10	0.022
WT#2	0.2731	0.1453	0.0042	0.3	5	0.032
WT#3	0.5134	0.1233	0.0058	0.5	15	0.048

vci : 2.5[m/sec], vco, vr : 14.5[m/sec]

2.1.3 연료전지

연료전지의 운영비용은 거의 대부분이 연료투입 비용이며 여기에 연료가 전력으로 변환되는 경우의 효율을 포함시켜 비용함수를 계산한다. 본 논문에서 사용한 연료전지의 비용함수는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있으며 Table 3은 연료전지 데이터를 나타낸 것이다[12].

$$C_{FC} = C_{natural} \sum_{i=1}^k \frac{P_{FC}}{\eta_{FC}} \quad (3)$$

여기서,

$P_{FC}$  : 연료전지 발전출력[kW]

$C_{FC}$  : 연료전지 발전비용[\$/kW]

$C_{natural}$  : 천연가스비용[\$/kW]

$\eta_{FC} = \eta_1 \eta_2$  연료전지 효율[%]

Table 3. Fuel Cell Data

Unit	Cnatural	Pmin[kW]	Pmax[kW]	$\eta_{FC}$
FC#1	0.03	0.0	1.5	90
FC#2	0.03	0.0	1.5	90
FC#3	0.04	0.0	2.5	85

M/O : 0.02[\$/kW], FC 1,2,3

2.1.4 태양광발전기

태양광 발전기는 전력발생은 일사량에 의해 크게 작용되며 그 외 모듈온도와 태양과 모듈과의 각도에 의해 변화하므로 태양의 방향을 추적하는 위치 추적식과 고정식의 경제성 검토가 필요하다. 이것은 태양광 모듈이 고정식인 경우 태양의 위치가 변화함에 따라 주위온도와 모듈의 온도 변화하여 생기는 현상으로 볼 수 있다. 이러

한 조건들을 고려하여 태양광발전 모듈에 대한 출력과 비용함수의 정식화는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으며 Table 4는 태양광발전기의 데이터를 나타낸 것이다[13].

Table 4. Photovoltaic Data

Unit	CPV(M/O)	Pmin[kW]	Pmax[kW]
PV#1	0.02	0.0	5.0
PV#2	0.02	0.0	6.0
PV#3	0.02	0.0	6.0

$$P_{PV,i} = P_{std} \frac{G_{\in g}}{G_{std}} (1 + k(T_c - T_r)) \quad (4)$$

$$C_{PV} = \sum_{i=1}^j C_{PV(O/M),i} P_{PV,i}$$

여기서,

$P_{PV,i}$  : 태양광발전기 출력[kW]

$C_{PV}$  : 일사량에 따른 모듈의 출력 비용 함수 [\$]

$P_{std}$  : 기준상태에서 모듈의 최대출력 [kW]

$G_{ing}$  : 일사량 [ $W/m^2$ ]

$G_{std}$  : 기준 1000 [ $W/m^2$ ]에서의 일사량

$k$  : 전력의 온도계수

$T_c, T_r$  : 셀의 온도, 기준온도

$C_{PV(O/M),i}$  : 운전 및 유지보수 비용 [\$ /kW]

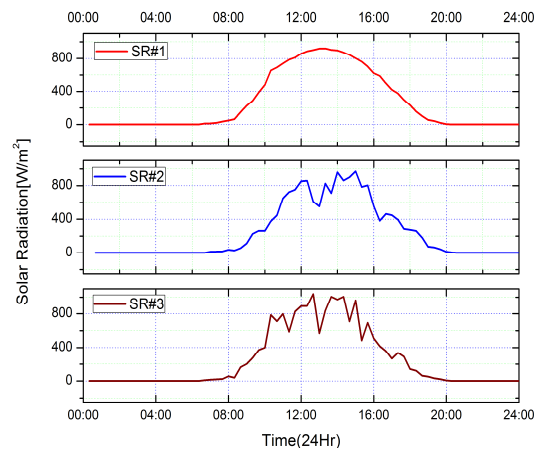


Fig. 2. Grid Solar Radiation Data

본 논문에서 고려한 태양광 발전기의 출력을 결정하고자 Fig. 2에서와 같이 세 지역에서의 하루 24시간 동안의 일사량 데이터를 이용하였다.

### 2.2 문제의 정식화

마이크로 전원에 관한 최적운영 문제를 위해 다음과 같이 정식화 하였으며 주 계통과 분리된 상태에서의 마이크로 그리드 단독 운용에 관해서만 분석하였다.

#### 2.2.1 목적함수

각 발전기들의 비용함수를 이용해 전체 비용함수를 구성하였고 이를 목적함수로 사용하여 식 (5)와 같이 나타내었다.(5)

$$Cost_t = \sum_{i=1}^n C_{DiG,i} + \sum_{i=1}^m C_{WT(M/O),i} P_{WT,i} + \sum_{i=1}^k C_{FC,i} + \sum_{i=1}^j C_{PV(M/O),i} P_{PV,i} \quad (5)$$

#### 2.2.2 제약함수

24시간 부하 프로파일을 이용해 제약함수를 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다. 디젤 발전기와 연료전지의 상, 하한 발전 한계는 정해져 있어 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다. 그러나 풍력의 경우에는 기후에 영향을 받기 때문에 지역별 풍속데이터를 이용해 식 (2)에 의해 발전기의 상한치가 결정되어 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s.t: P_{Load} = \sum_{i=1}^n P_{DiG,i} + \sum_{i=1}^m P_{WT,i} + \sum_{i=1}^k P_{FC,i} + \sum_{i=1}^j P_{PV,i} \quad (6)$$

$$DiG, FC: P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (7)$$

$$WT: 0 \leq P_i \leq P_{WT} \quad (8)$$

본 논문에서는 목적 함수와 제약 함수를 하나의 평가 함수로 구성하고, DS 알고리즘이 갖고 있는 코드의 간단성을 유지하기 위해 일반적 페널티법을 사용하여 식 (9)와 같이 나타내었다[14].

$$eval(x) = f(x)p(x) \quad (9)$$

$$\begin{cases} p(x) = 1; & \text{if } x \text{ is feasible} \\ p(x) > 1; & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서,

$f(x)$  : 목적함수

$p(x)$  : 제약함수

#### 2.2.3 그리드간 선로제약

마이크로 그리드가 세 개가 있는 경우 (S, T, U) 각 마이크로 그리드는 m, n, l개의 발전원으로 구성되어 있고 Pd1, Pd2, Pd3의 부하를 분담하고 있다고 가정하고 각 그리드는 서로의 전력 전송을 위해 연계선으로 연결되어 있다고 하면 식 (10)과 같이 제약식을 나타낼 수 있다. 이때, 연계선로 한계와 각 그리드에서의 발전량은 main controller에 의해 연산되고 제어된다.

$$\sum_i^m P_{Si} = P_{ds} \pm P_{su} \pm P_{st}$$

$$\sum_i^m P_{Ti} = P_{dt} \pm P_{tu} \pm P_{st}$$

$$\sum_i^m P_{Ui} = P_{du} \pm P_{su} \pm P_{tu}$$

$$0 \leq P_{su} \leq P_{su,max}, 0 \leq P_{tu} \leq P_{tu,max}, 0 \leq P_{st} \leq P_{st,max} \quad (10)$$

여기서,  $P_{su}, P_{st}, P_{tu}$  는 s-u, t-s, t-u 지역 간의 전력전송량,  $P_{su,max}, P_{tu,max}, P_{st,max}$  는 각 선로들의 한계전송용량이다.

## 3. 최적화 기법

### 3.1 Differential Search Algorithm

DS는 최적화 문제의 해를 구하기 위해 개발된 알고리즘으로 이주하는 생물의 유사 브라운 운동 형태의 임의보행(random-walk)을 모의하여 개발된 알고리즘이다. 자연 안에 먹이가 존재하는 지역들의 수용능력은 주기적 기후변화로 인해 다양성을 갖는다. 이런 이유로, 자연 속

에서 많은 종류의 생물들은 최적의 생활환경을 위해 주기적 이주 사이클을 보이고, 그 과정에서 이주하는 생물 종들은 수많은 개체를 포함하는 초개체(super-organism)를 이룬다. DS 알고리즘에서는 각 문제에 대한 모든 임의적인 해법들은 인위적 초개체(artificial-superorganism)의 이주에 대응한다고 가정한다. DS 알고리즘은 이러한 이주행위를 모델링한 것이다[9].

### 3.2 마이크로그리드 최적운동을 위한 DS 알고리즘 적용

#### Step 1. 인위적 초개체 생성

a) 최적화 하고자 하는 문제의 목적함수, 제약함수를 식 (11)과 같이 정식화한다.

$$\text{목적함수} : y(i) \tag{11}$$

$$\text{제약함수} : X_{i,\min} \leq X_i \leq X_{i,\max}$$

b) 유기체의 수(N), 문제의 크기(D), 최대 반복수(G)를 결정하고 제약함수를 만족하는 범위의 인위적 초개체 값 선정

#### Step2. 개체 간 상호작용

각 개체들과 랜덤 함수를 이용하여 다음 경유 서식지를 구성하기 위한 Scale Value, Direction의 값을 결정한다.

Map : 거주지 이동여부 판별

R : 감마 난수 생성기를 이용하여 생성

Scale Value(척도값) : Map\*R

Direction : 개체들 간의 최적값 존재여부 판별

#### Step3. 경유 서식지(Stopover-Site) 구성

식(12)를 이용하여 초개체의 경유 서식지를 구성한다.

$$\begin{aligned} \text{경유서식지 도출 방식} : & \text{초개체값} + (\text{Map} * R) * \\ & (\text{Direction} - \text{초개체값}) \end{aligned} \tag{12}$$

Scale Value 계산에 사용된 구조는 각 유기체들이 해당 서식지에서 방향을 급진적으로 바꿀 수 있도록 해준다.

#### Step4. 초개체 개선 및 종료

경유 서식지가 초개체와 비교하여 최적해의 개선이

있는 경우 초개체는 경유 서식지의 값으로 업데이트 되어지고 미리 정한 최대 반복수(G)만큼 Step2 ~ Step4 를 반복한다. 본 논문에서 G 값은 5000번 이내의 반복 계산에서 발전량에 관한 최적 값을 얻을 수 있었다.

## 4. 사례 연구

본 논문에서는 선로제약이 고려된 마이크로 그리드의 최적 운영을 위하여 디젤발전기, 풍력발전기, 연료전지 및 태양광발전기 등을 그리드별 각1대씩 운영 중인 것으로 가정하였다. 미리 계획된 Fig. 3의 지역별 부하 데이터를 이용하여 모의 하였고 그리드간 연계선로의 한계는 동일하게 4kW로 하였다.

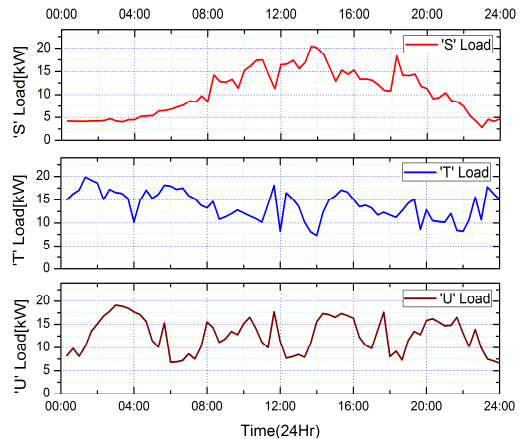


Fig. 3. Grid Load Data

### 4.1 CASE1

선로 제약이 고려된 마이크로 그리드의 최적 운영을 위하여 디젤발전기, 풍력발전기 및 연료전지를 시스템에 적용하였다. 하루 24시간 동안의 부하량과 풍속데이터를 20분 간격으로 하여 DS 알고리즘을 적용하여 최적값을 분석 하고 HS 알고리즘과 비교하였다[15].

Table 5는 12:00에서의 그리드별 결과이다. S, T, U 지역의 풍속은 17.2, 10.9, 14.01[m/s]이며 부하는 16.4, 8.2, 11.3[kW]이다. HS의 경우 S, T 지역의 부족 전력을 U지역에서 공급하는 것을 확인할 수 있고, DS의 경우 T지역의 부족 전력을 S, U 지역에서 공급하는 것을 확인할 수 있다. 환경적 영향으로 부족한 발전량을 타 지역에서 공급받음으로써 효율적인 운용을 할 수 있음을 알 수 있고,

DS 알고리즘은 HS 알고리즘 보다 낮은 발전비용으로 좀 더 나은 최적 운영결과를 확인할 수 있다.

Table 5. Power Output and Cost(12:00)

Operating conditions & Result		$\Sigma P_i$ [kW]	Lack & Surplus Power	Cost [\$]	Total Cost [\$]
HS	S	12.81	-3.59	3.245	8.783
	T	7.75	-0.45	0.218	
	U	15.34	+4.04	5.320	
DS	S	16.49	+0.09	2.085	8.020
	T	6.86	-1.34	0.901	
	U	12.56	+1.26	5.034	

### 4.2 CASE2

일사량에 의해 발전량이 결정되는 신재생 에너지원인 태양광 발전기를 추가하여 CASE1에 적용하였다.

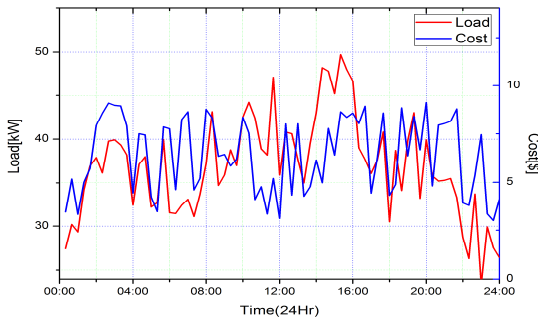


Fig. 4. Total Operating Cost of Grids according to Load

주 계통과 분리된 상태에서의 마이크로 그리드 단독 운영에 관해서만 분석하였고, 하루 24시간동안의 부하량과 풍속데이터를 20분 간격으로 하여 DS 알고리즘을 적용하였다. 부하량에 따른 전체 운용비용은 Fig. 4와 같다. 부하량이 상대적으로 높은 정오 시간 이후(13:00-16:00)의 경우에 발전 비용이 낮은 태양광 발전기가 투입됨으로써 최우선 선택되는 발전원임을 확인할 수 있고 부하량에 따른 발전 비용이 가장 낮은 것을 확인할 수 있다.

Table 6은 12:00에서의 그리드별 결과이다. 풍력발전기와 태양광 발전기의 경우 다른 발전기 보다 낮은 발전비용으로 우선 선택되는 발전원이며 발전 비용이 가장 높은 디젤 발전기의 경우 가장 늦게 선택되는 발전원임을 확인할 수 있다. CASE1의 발전 비용 8.0200[\$]보다 태양광 발전기가 투입된 경우의 발전 비용이 3.0656[\$]

로 낮은 발전 비용임을 확인 할 수 있다.

Table 6. Power Output and Cost(12:00)

Operating conditions & Result	S	T	U
	Insolation:859 [W/m <sup>2</sup> ] Wind speed: 17.2[m/s] Load : 16.4	Insolation:859 [W/m <sup>2</sup> ] Wind speed: 10.9[m/s] Load : 8.2	Insolation:893 [W/m <sup>2</sup> ] Wind speed: 14.1[m/s] Load : 11.3
Diesel Gen#1	0.50	-	-
Diesel Gen#2	-	0.32	-
Diesel Gen#3	-	-	0.70
Fuel Cell#1	0.93	-	-
Fuel Cell#2	-	0.68	-
Fuel Cell#3	-	-	0.00
Wind Turb#1	9.97	-	-
Wind Turb#2	-	1.89	-
Wind Turb#3	-	-	7.06
Photovoltaic#1	4.02	-	-
Photovoltaic#2	-	4.81	-
Photovoltaic#3	-	-	5.02
$\Sigma P_i$ [kW]	15.42	7.70	12.78
Lack & Surplus Power [kW]	-0.98	-0.5	+1.48
Cost[\$]	0.9013	0.5133	1.6501
Total Cost[\$]	3.0656		

## 5. 결 론

본 논문에서는 선로제약을 고려하여 마이크로 그리드 통합운영에 관한 방안을 제시하였다. DS 알고리즘은 최적해 탐색을 위한 코딩이 간단하고 수렴속도가 우수하며 타 알고리즘과 비교하여 더 정확한 솔루션이다. 그리드가 속한 지역의 환경적 요인에 큰 영향을 받고 마이크로 그리드간 전력 전송용량 한계에 따라 전체 발전비용이 감소하는 것을 사례연구를 통해 확인할 수 있었다. 향후, 본 논문의 결과를 바탕으로 주 계통과 마이크로 그리드의 연계가 필요하며 실 계통 적용을 위해서는 다양한 계통의 사례연구와 탄소배출량 교환, 판매비용, 전력구입 비용등 여러 가지 제약을 포함한 운영방안에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## References

[1] Lasseter, R., "MicroGrids," *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2002., New York, NY*, pp. 305-08, 2002.

DOI: <https://doi.org/10.1109/PESW.2002.985003>

- [2] R. Lasseter, A. Akh, C. Marnay, J. Stevens, J. Dagle, R. Guttromson, A. Sakis Meliopoulos, R. Yinger and J. eto, White Paper on Integration of Distributed Energy Resources - . The CERTS Microgrid Concept, Office of Power Technologies of the US Department of Energy, Apr. 2002.
- [3] C. M. Colson, and M. H. Nehrir, "A Review of Challenges to Real-Time Power Management of Microgrids," in *Proc. IEEE Power & Energy Society General Meeting, Calgary, Canada*, pp. 1-8, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1109/PES.2009.5275343>
- [4] K. S. Swarup and S. Yamashiro, "Unit commitment solution methodology using genetic algorithm," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 17, pp. 87-91, Feb. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1109/59.982197>
- [5] D. C. Walter and G. B. Sheble, "Genetic Algorithm Solution of Economic Dispatch with Valve Point Loading," *IEEE trans. on PWRs*, vol. 8, no. 3, pp. 1325-1332, Aug. 1993. DOI: <https://doi.org/10.1109/59.260861>
- [6] Geem, Z.W., Tseng, C-L. and Park, Y., "Harmony search for generalized orienteering problem: best touring in China," Book Advanced in Natural Computation, vol. 361, no. 2, Springer Berlin/Heidelberg, 2005.
- [7] Mohamed, F., and Heikki, k., "System Modelling and Online Optimal Management of MicroGrid," accepted for publication in the 6th International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power and Transmission Networks for Offshore Wind Farms., 26 - 8 October 2006, Delft, The Netherlands.
- [8] Sakis Meliopoulos, "Challenges in Simulation and Design of Grids," Proceedings of the 2002 IEEE/PES Winter Meeting, 2002., New York, NY, 2002.
- [9] P. Civioglu, "Transforming geocentric cartesian coordinates to geodetic coordinates by using differential search algorithm," *Computers & Geosciences*, vol. 46, pp. 229-247, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.12.011>
- [10] S. Krishnamurthy, T. M. Jahns, R.H. Lasseter., "The Operation of Diesel Gensets in a CERTS Microgrid", IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1109/PES.2008.4596500>
- [11] J. F. Manwell, J. G. McGowan, A. L. Rogers, Wind Energy explained, John Wiley & Sons, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1002/0470846127>
- [12] Hernandez-Aramburo, C. A., Green, T. C., and Mugniot, N., "Fuel Consumption Minimization of a Microgrid", *IEEE Transactions On Industry Applications*, vol. 41, Issue. 3, p. 673-681, May/June. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIA.2005.847277>
- [13] G. K. Kiema, M. J. Colgan, M. J. Brett, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 85, Issue 3, pp. 321-331, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2004.05.001>
- [14] Michalewicz, Z., "A Survey of Constraint Handling Techniques in Evolutionary Computation Method"Proc. 4th Annual Conference on Evolutionary Programming,

pp. 135-155, 1995.

- [15] Sang-Bong Rhee, Kyu-Ho Kim, Sang-Geun Lee, "Optimal Operation Scheme of MicroGrid System based on Renewable Energy Resources", *Trans. KIEE*, vol. 60, no. 8, pp. 1467-1472, Aug. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2011.60.8.1467>

---

박 시 나(Si-Na Park)

[정회원]



- 2006년 2월 : 울산대학교 전기전자 정보시스템공학과(공학석사)
- 2015년 10월 : 영남대학교 전기공학학과(공학박사)
- 2017년 7월 ~ 현재 : (주)제트워크 책임연구원
- 2009년 3월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 전기전자공학부 겸임교수

<관심분야>

전력전송, 마이크로 그리드, 로보틱스

---

안 정 열(Jeong-Yeol An)

[정회원]



- 2004년 2월 : 울산대학교 전기전자 정보시스템공학과(공학석사)
- 2009년 2월 : 울산대학교 전기전자 정보시스템공학과(공학박사)
- 2009년 3월 ~ 2015년 2월 : ㈜디에치홀딩스 책임연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 울산과학기술대학교 전기전자공학부 조교수

<관심분야>

전력전자