

마이크로 그리드 운영비용 최소화를 위한 Harmony Search 알고리즘 응용

논문

58-7-6

An Application of Harmony Search Algorithm for Operational Cost Minimization of MicroGrid System

이상봉* · 김규호[†] · 김철환**

(Sang-Bong Rhee · Kyu-Ho Kim · Chul-Hwan Kim)

Abstract - This paper presents an application of Harmony Search (HM) meta-heuristic optimization algorithm for optimal operation of microgrid system. The microgrid system considered in this paper consists of a wind turbine, a diesel generator, and a fuel cell. An one day load profile which divided 20 minute data and wind resource for wind turbine generator were used for the study. In optimization, the HS algorithm is used for solving the problem of microgrid system operation which a various generation resources are available to meet the customer load demand with minimum operating cost. The application of HS algorithm to optimal operation of microgrid proves its effectiveness to determine optimally the generating resources without any differences of load mismatch and having its nature of fast convergency time as compared to other optimization method.

Key Words : Distribution System, Fuel Cell, Harmony Search Algorithm, Micro Grid System, Optimization, Operational Cost, Renewable Energy Sources, Wind Turbine Generator

1. 서 론

전력의 효율적 사용, 에너지원의 다양화, 계통의 신뢰도 향상, 그리고 환경적 영향에 관한 페러다임 변화로 인해 마이크로그리드 기반의 계통은 현재 새로운 전력계통으로 인식되고 있으며 또한 최선의 계통운용 방안으로 연구가 활발히 진행 중에 있다. 마이크로그리드에 관한 가장 중요한 장점은 각종 신재생 또는 기존의 소규모, 마이크로 전원이 중요부하 인근에 설치됨으로 해서 전력에너지 사용에 관한 효과를 극대화 시킬 수 있다는 것이다. 이는 기존의 분산전원 연계 계통과는 구별되는 차이점으로 주 계통의 사고 또는 고장에 대해 독립운전방지를 수행했던 분산전원과는 다르게 마이크로그리드 시스템은 주 계통과의 연계를 차단하고 자체적인 운영을 통해 독립적인 전력공급을 지속하여 그리드 내의 전력 공급 신뢰성을 확보하게 된다[1,2].

마이크로그리드 시스템의 운영은 높은 신뢰성 확보와 더불어 최적의 경제적 운전이 고려되어야 하며 이때, 다양한 전원에서 발전 전력을 주어진 부하에 경제적으로 대응하기 위한 방안이 중요한 현안 문제 중 하나로 대두되고 있다. 그러나 그리드내의 전원 다양성은 최적 운영 문제 해결을 위한 수식의 정식화를 복잡하게 하고 또한 태양광, 풍력발전 등과 같이 환경적 요인에 발전량이 결정되는 일부 신재생

전원은 비연속적인 출력특성으로 인해 정확한 전력 출력 모델링에 어려움을 더하고 있다. 더욱이 마이크로그리드 시스템의 근본적 적용 목적을 만족하기 위해서는 그리드 내 전원의 실시간 운영이 반드시 필요하며 이를 위해서는 우선적으로 빠른 최적화 알고리즘의 적용이 필요한 실정이다[3,4]. 계통 내 전원의 최적운전을 위한 해법으로는 기존의 고전적 수치해석 방법 외에 휴리스틱(heuristic), 확률론적 탐색에 기반을 두고 있는 유전알고리즘, 인공지능을 이용한 신경망 등 여러 알고리즘이 적용되고 연구가 되어 왔으나 불연속 함수에는 적용할 수 없거나 수렴시간의 제약, 그리고 정확성 면에 있어서 여러 가지 문제점을 갖고 있다.

본 논문에서는 마이크로그리드 시스템의 최적운전을 위한 최적화 알고리즘으로 최근에 제안된 HS 알고리즘을 이용하여 마이크로그리드 운영비용 최소화를 위해 HS알고리즘을 적용하였다. HS 알고리즘은 최적해의 반복 계산 시 탐색방향과 크기 결정에 있어서 음악의 화음 조율을 모티브로 하여 제안된 알고리즘으로 기존의 진화연산과 유사한 계산과정을 갖고 있으나 코딩의 단순성과 수렴해의 정확성 그리고 단축된 반복계산으로 인해 효율성이 입증된 최적화 알고리즘이다[5-7].

2. Harmony Search Algorithm

최근에 제안된 HS 알고리즘은 최적의 화음을 위해 악기를 튜닝하는 음악적 모티브를 이용하는 최적화 방법이다. 최적해의 계산 시 현재의 최적해 후보군 중에서 최적의 화음에 가장 근접한 해를 선택하고 이 해를 이용해 탐색 방향, 크기를 조절함으로써 전역해를 탐색하는 방법이다. HS 알고

[†] 교신저자, 시니어회원 : 한경대학교 전기공학과 조교수 · 공박

E-mail : kyuh0@hku.ac.kr

* 정 회원 : 성균관대 전력IT센터 선임연구원 공박

** 펠로우 회원 : 성균관대 정보통신공학부 교수 · 공박

접수일자 : 2009년 4월 27일

최종완료 : 2009년 6월 16일

리즘은 기존의 유전 알고리즘과 비슷한 개념인 competing pool을 이용하는데 유전 알고리즘이 생존에 적합한 세대를 선택하고 나머지는 도태시키는 방법과 같이 HS 알고리즘도 화음에 적합한 해를 선택하여 저장하고 그렇지 않은 해는 화음구성에서 배제하는 방법으로 최적해를 개선해 나간다. HS 알고리즘에서의 다음 반복계산에서의 해는 우선적으로 기존의 화음을 기반으로 해를 생성하고 악기를 튜닝하는 것과 같이 이를 미세 조정하여 화음을 검사하게 되는 구성을 갖고 있다. 이러한 비슷한 특징에도 불구하고 유전알고리즘과 달리 상당히 간단한 계산 과정과 빠른 수렴속도 그리고 정확성 면에서 우수성과 효율성을 갖고 있는 방법이다. HS 알고리즘에서 중요한 요소는 harmony memory (HM) 이며 반복 계산시의 생성해와 개선해는 HM의 정보를 이용한다. 따라서 HS 알고리즘의 계산에는 HM을 개선하는 방법에 중요도를 두고 있다. HS 알고리즘의 전반적 계산 순서는 다음과 같다[5].

Step 1. 문제 초기화

a) 최적화 하고자 하는 문제의 목적함수, 제약함수를 식 (1)과 같이 정식화 한다.

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} : f(x), x \in X \\ & \text{subject to} g(x) \geq 0, h(x) = 0, X_{i,\min} \leq X_i \leq X_{i,\max} \end{aligned} \quad (1)$$

b) HM size (HMS), harmony memory considering rate (HMCR), pitch adjusting rate (PAR), 그리고 number of improvisations (NI) 을 결정하고 HM의 decision variable (N)을 식 (1)의 x 로 할당한다. HM은 최적의 변수값을 저장하는 곳으로 반복계산에 따라 개선된 최적해 조합을 갖으며 HMCR과 PAR을 이용해 최적해 그 값이 개선된다.

Step 2. HM 초기화

HM 알고리즘의 초기 단계에서는 HM를 구성하는데 랜덤 함수를 이용한다. HM의 크기는 HMS에 의해 결정되고 식 (2)와 같은 구성을 갖는다.

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_n^1 & f(x^1) \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_n^2 & f(x^2) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_n^{HMS} & f(x^{HMS}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Step 3. HM 구성

최초로 구성된 HM을 반복계산 마다 새롭게 구성하고 HM을 이용해 최적해 여부를 판별한다. 이때 HM의 구성에 필요한 변수 $x_i = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ 결정에는 랜덤, HMR, PAR을 이용하며 그림 1과 같다.

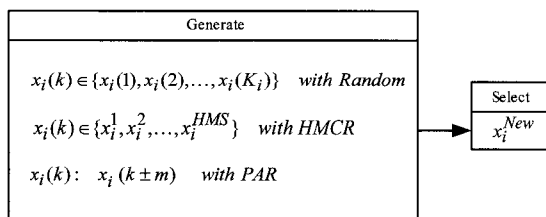


그림 1 HM 개선방법
Fig. 1 Improvement method for HM

즉, 랜덤값을 생성해서 변수를 생성하거나 이 랜덤값을 이용해 HM에서의 변수 선택을 한다. 이때 미리 정해진 HMCR은 0-1사이의 값을 갖으며 HM에서의 변수 중 어떤 것을 결정할지를 판단하게 된다. 이렇게 생성된 변수에 대해 화음조정을 위한 피치조정 후 새로운 변수로 생성한다.

Step 4. HM 개선 및 종료

전 단계에서 새롭게 구성된 변수들을 이용해 목적함수를 계산한다. 이때 화음 조화가 좋을 경우 즉, 최적해의 개선이 있는 경우 HM으로 저장되고 그렇지 않은 경우 전 단계로의 계산을 반복한다. 그리고 최종적으로 미리 정한 반복계산 수 (NI) 나 최적해 개선 여부에 따라 계산을 종료한다.

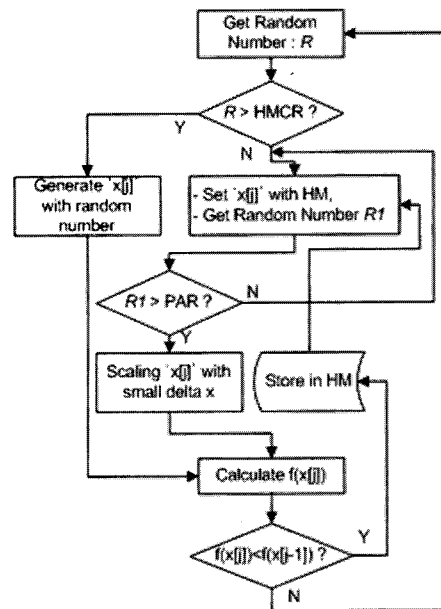


그림 2 HM 알고리즘 순서도
Fig. 2 Flowchart of HM Algorithm

그림 2는 HM 알고리즘에서 중요한 부분인 HMS를 이용한 변수 생성 방법에 관한 순서도이다.

3. 마이크로그리드 구성

마이크로그리드는 평상시 주 계통으로 부터의 전력 유입도 허용하며 사고로 인해 전력 유입이 불가능하다라도 자체적인 운영을 통해 그리드내의 전력공급을 지속할 수 있도록 주 계통과의 연결은 빠른 절환을 위해 static 스위치를 사용한다. 마이크로그리드의 최적운전은 그리드내에 속한 전력공급원의 가용 여부를 입력으로 받아 운영비용을 최소화하도록 최적의 발전량 배분을 수행하는 것으로 그리드내의 controller에 의해 제어된다. 그림 3은 마이크로그리드 운용에 관한 일반적 구성이다[8].

그리드내의 전력원은 여러 가지 종류가 있으며 기존의 분산전원인 디젤발전기, 마이크로 터빈 등과 요즘의 신재생 에너지원을 사용하는 풍력, 태양광, 연료전지 등이 있다. 마이크로그리드를 최적 운용하기 위해서는 각 발전방식에 따른 운전비용을 산정하도록 비용함수를 모델링하여야 하며 이중, 태양광 풍력의 경우에는 일사량, 풍속, 온도등에 관한 환경

적인 요인이 발전량에 상당한 영향을 주게 된다. 따라서, 경제적인 요인을 무시할 경우 항상 일정 전력을 생산할 수 있는 기존의 분산전원과는 다르게 주변조건에 따른 운전제약이 포함되어야 한다.

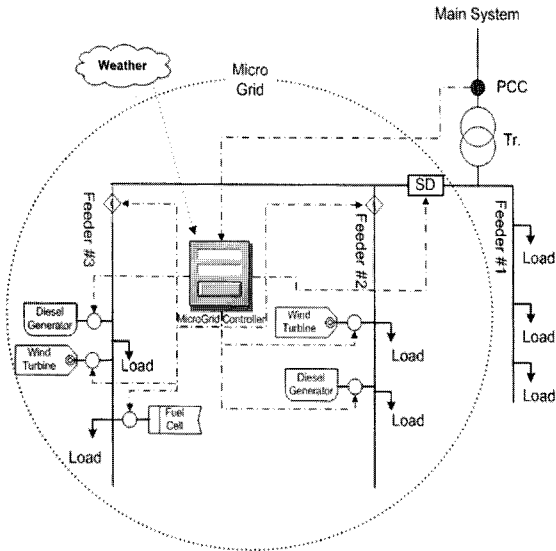


그림 3 마이크로그리드 구성
Fig. 3 MicroGrid Architecture

A. 디젤 발전기

디젤발전기(Diesel Generator : DiG) 는 기존의 화석연료 발전비용 모델을 이용해 비용함수를 모델링 할 수 있으며 식 (3)과 같다[3,8].

$$C_{DiG,i} = \sum_{i=1}^N (a_i P_{DiG,i}^2 + b_i P_{DiG,i} + c_i) \quad (3)$$

N: DiG 발전기 수

P_{DiG} : 디젤발전출력[kW]

C_{DiG} : 디젤발전기 발전비용[kW/\$]

a_i, b_i, c_i : 발전기의 비용계수 (i, \dots, N)

일반적으로 비용계수 a_i, b_i, c_i 는 DiG 의 성능에 의해 결정되며 본 논문에서 사용된 데이터는 표 1과 같다[9].

표 1 디젤발전기의 비용계수
Table 1 Cost coefficient of DiG

	a	b	c	P(max)[kW]	P(min)[kW]
DiG #1	0.0074	0.2333	0.4333	5.0	0.5
DiG #2	0.0042	0.1453	0.2731	3.0	0.3
DiG #3	0.0092	0.5142	0.8467	8.0	0.7

B. 풍력 발전기

풍력발전기에서의 발전 출력은 풍속에 의해 그 양이 결정되며 일반적으로 유도 발전기가 사용된다. 유도 발전기 종류에 따라 일정출력방식, 가변출력방식이 결정되는데 본 논문에서 고려한 풍력발전기는 소형 유도발전기이므로 가변 출력특성을 이용하여 모델링 하였다. 식 (4)는 풍속에 따른 풍력발전기의 출력에 관한 식이다 [10].

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & v < v_{ci} \\ av^2 + bw + c & v_{ci} < v < v_r \\ P_{WTR} & v > v_{co} \end{cases} \quad (4)$$

v, v_{ci}, v_{co}, v_r : wind, cut-in, cut-out, rated speed [m/sec]

P_{WT}, P_{WTR} : 발전, 정격출력 [kW]

본 논문에서 고려한 풍력발전기의 출력을 결정하고자 그림 4에서와 같은 하루의 24시간 풍속데이터를 이용하였고 나머지 풍력발전기에 관한 데이터는 표 2와 같다.

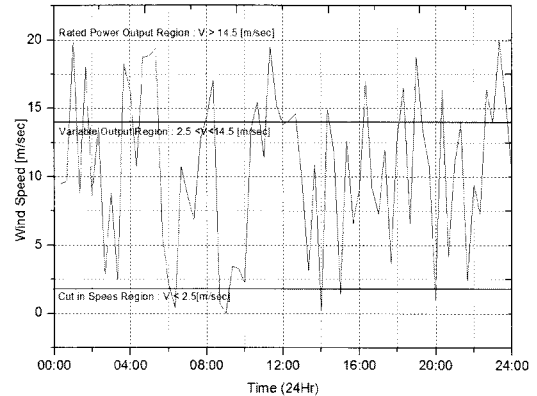


그림 4 풍속데이터 (하루, 24시간)
Fig. 4 Wind Speed Data (1day, 24 Hr)

표 2 풍력발전기 데이터

Table 2 Wind Turbine Data

	a	b	c	P(rated)[kW]	P(min)[kW]	$C_{WT(M/O)}$
WT #1	0.0074	0.2333	0.4333	3.0	0.5	0.022
WT #2	0.0042	0.1453	0.2731	3.0	0.3	0.032

* $C_{WT(M/O)}$: Maintenance and Operating Cost [\$/kW]

v_{ci} : 2.5[m/sec], v_{co}, v_r : 14.5[m/sec]

C. 연료전지

연료전지의 운영비용은 거의 대부분이 연료투입 비용이며 여기에 연료가 전력으로 변환되는 경우의 효율을 포함시켜 비용함수를 계산한다. 연료전지를 운전하는 경우 전력뿐만 아니라, 수소 같은 부산물도 같이 생성되며 현재의 연료전지 기술은 이러한 부산물을 다시 전력변환 과정에 재투입하여 효율을 높이고 있다.

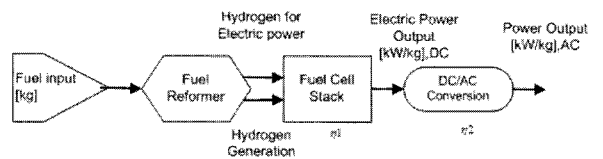


그림 5 연료전지 비용모델
Fig. 5 Cost Model for Fuel Cell

이러한 결과로 효율적인 측면에서 연료전지는 신재생 에너지원 중 가장 효율적인 시스템으로 주목 받고 있으며 활발한 연구가 진행 중에 있다. 그림 5는 본 논문에서 모델링

된 연료전지의 비용모델 구성도이다[11].

본 논문에서 사용한 연료전지의 비용함수는 식 (5)와 같고 나머지 데이터는 표 3과 같다.

$$C_{FC} = C_{natural} \sum \frac{P_{FC}}{\eta_{FC}} \quad (5)$$

P_{FC} : 연료전지 발전출력[kW]

$C_{FC}, C_{natural}$: 연료전지 발전비용[kW/\$] 및 천연가스비용[kg/\$]

η_{FC} : $\eta_1 \eta_2$ 연료전지 효율 [%]

표 3 연료전지 데이터

Table 3 Fuel Cell Data

	$C_{natural}$	P(max)[kW]	P(min)[kW]	η_{FC}
FC #1	0.03	1.5	0.0	90
FC #2	0.03	1.5	0.0	90
FC #3	0.04	2.5	0.0	85

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

4. 마이크로그리드 최적운용

마이크로 그리드내 전원에 관한 최적운용 문제를 위해 다음과 같이 정식화 하였다. 즉, 각 발전기들의 비용함수를 이용해 전체 비용함수를 구성하고 목적함수로 사용하였으며 24시간 부하 프로파일을 이용해 제약함수로 구성하였다.

4.1 문제의 정식화

목적함수와 제약함수 식 (6), (7)과 같다. 여기서 디젤발전기와 연료전지의 상, 하한 발전 한계는 정해져 있으나 풍력발전기의 경우에는 기후에 영향을 받고 그림 4의 풍속데이터를 이용해 식 (4)에 의해 발전기의 상한치가 결정된다.

$$Total\ Cost = \sum_{i=1}^N C_{DiG,i} + \sum_{i=1}^M C_{WT(M/O)i} P_{WT,i} + \sum_{i=1}^K C_{FC,i} \quad (6)$$

$$s.t : \sum_{i=1}^N P_{DiG,i} + \sum_{i=1}^M P_{WT,i} + \sum_{i=1}^K P_{FC,i} = P_{Load} \quad (7)$$

$$DiG, FC: P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (8)$$

$$WT : 0 \leq P_i \leq P_{WT} \quad \text{from 식 (4)} \quad (9)$$

HS 알고리즘을 이용한 최적화 문제에 있어서 각 변수의 상, 하한치는 변수의 생성에서 쉽게 처리할 수 있으나 등식, 부등식 처리는 쉽지가 않다. 더욱이 모든 최적화 알고리즘의 경우 이 값의 정확한 처리에 계산 속도가 결정된다. 따라서 HS 알고리즘의 개선이 필요한 부분이며 본 논문에서는 HS 알고리즘이 갖고 있는 코드 소스의 간단성을 크게 변형하지 않도록 하기 위해 간단히 적용할 수 있는 식 (10)의 일반적 페널티법을 사용해 식 (6)과 (7)을 하나의 평가 함수로 구성한 후 최적화를 실시하였다[12].

또한, 주 계통과의 연계 여부와 관련하여 전력구입 또는

판매비용, 연계선로 전력조류 한계, 전압, 주파수, 고조파, 탄소 배출량 교환등 여러 가지 제약이 포함될 수 있으나 본 연구에서는 주 계통과 분리된 상태에서의 마이크로그리드 단독 운용에 관해서만 분석하였고 추후 연구를 통해 이러한 제약들을 고려할 예정이다.

$$eval(x) = f(x)p(x) \quad (10)$$

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

$f(x)$: objective function

$p(x)$: constraint function

4.2 HS 알고리즘 적용

마이크로 그리드의 최적운용을 위한 HS 알고리즘 적용은 목적함수와 제약함수가 구성되어 있는 경우 쉽게 적용가능하나 HMS, HMCR, PAR, NI 등 HS 알고리즘의 파라미터 결정에는 신중해야 한다. 반복 시뮬레이션 수행을 통한 경험으로 HMS 크기가 커진다고 해서 수렴이 빠른 것이 아니며 PAR 값에 의해 수렴 속도 및 정확성에 영향을 받는 것으로 확인 되었다. 다음은 마이크로그리드 최적운용을 위한 HS 알고리즘 적용 방법이다.

Step 1. 최적화 구간 설정

본 논문에서의 최적화 구간은 전체 72구간으로 나누어 진행하였다. 이것은 하루를 기준으로 하는 경우 20분 간격으로 발전량 배분 데이터를 계산하여 제공하는 것으로 향후, 실시간 마이크로그리드 시스템 운용을 위한 선행연구의 목적을 갖는다. 마이크로그리드의 실시간 운용을 위해서 중요한 것은 풍력발전기에 필요한 풍속 데이터, 부하 요구량에 관한 추정방법이며 여기에 관한 연구는 추후 연구로 진행할 계획이고 본 연구에서는 미리 계획된 그림 4의 20분 단위 부하량과 그림 6의 부하량 데이터를 이용하였다. 또한, 주 계통과의 연계여부를 고려하여야 하는데 본 연구에서는 주 계통과의 연계가 분리된 경우에 마이크로그리드 단독 운전에 대해 모의하였다.

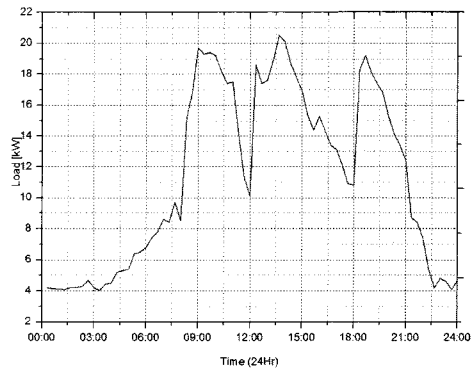


그림 6 부하 데이터(하루, 24시간)

Fig. 6 Load Data (1day, 24Hr)

Step 2. HS 알고리즘 맵핑

1) 주어진 계산 구간에서의 마이크로그리드내 가용 가능한 발전원 선택 및 HS 변수 배분

; 계산구간에서의 외부 환경적 조건을 고려한 후 운용에

필요한 발전원을 선택한다. 풍력 및 태양광의 경우이며 선별된 발전원을 HS 변수로 할당한다.

2) HM 구성

; HMS는 전체 발전원 수의 2배로 정하였으며 본 연구에서 고려한 발전원 종류와 특성은 표 1,2,3을 이용하였다. 이때, 각 발전원의 상, 하한 발전량 한계를 정하고 이 범위내에서 HM을 구성한다.

Step 3. HM 개선

1) 각 발전원별 랜덤 변수 생성

; 반복계산을 위해 HS 변수를 랜덤 함수를 이용해 생성한다.

2) HMCR을 고려한 변수 생성

; HMCR는 0.95를 적용하였고 1)항에서 생성한 변수가 이 값 이하이면 HM을 고려하고 이 단계에서의 3)항을 실시하고 아닐 경우 랜덤변수를 각 발전원의 발전량으로 조작 없이 할당하였다.

3) PAR을 고려한 변수 생성

; 전 항에서 선택된 HM에서의 변수를 다음의 식을 이용해 조절한다.

$$P_i = P_i^{HM} + \Delta P_i \tag{11}$$

$$\Delta P_i = \pm P_i^{HM} \cdot rand()$$

Step 4. 반복계산 및 종료

1) HM의 개선을 위해 Step 3을 반복한다. 반복계산 시 미리정한 NI 값을 넘을 경우 계산을 종료하고 다음 발전 구간의 계산을 실시한다. 본 연구에서의 NI 값은 3,000으로 정하였으나 약 2,000번 이내의 반복 계산에서 발전량에 관한 최적값을 얻을 수 있었다.

4.2 모의 결과

하루 24시간에 관한 마이크로그리드 최적운용을 위한 HS 알고리즘을 적용하였고 결과를 얻을 수 있었다. 부하량과 풍속데이터는 20분 간격으로 하였고 이때의 발전량에 관한 결과는 다음과 같다.

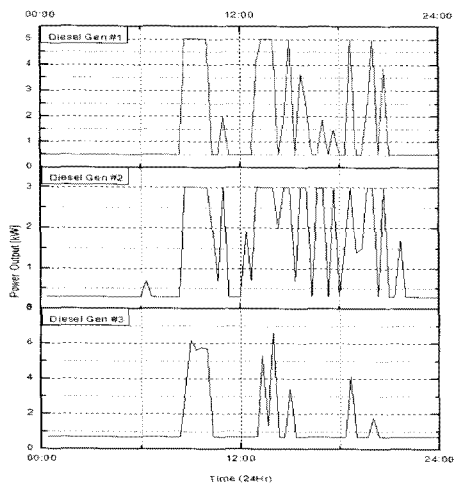


그림 7 디젤발전기 출력 결과
Fig. 7 Diesel Generator Output Result

그림 7은 디젤발전기 3대에 관한 HS 알고리즘의 발전 출력 결과이다. 심야 시간대의 적은 부하량으로 인해 최소한의 발전량이 정해짐을 확인 할 수 있으며 #3 발전기가 나머지 두 대의 발전비용이 상대적으로 높기 때문에 우선적으로 #1, #2 발전기가 투입되었음을 알 수 있다. 그림 8은 연료전지, 그림 9는 풍력에 관한 발전량 출력 결과이다.

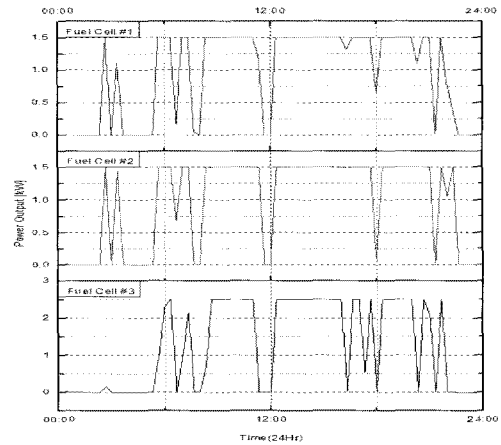


그림 8 연료전지 출력 결과
Fig. 8 Fuel Cell Output Result

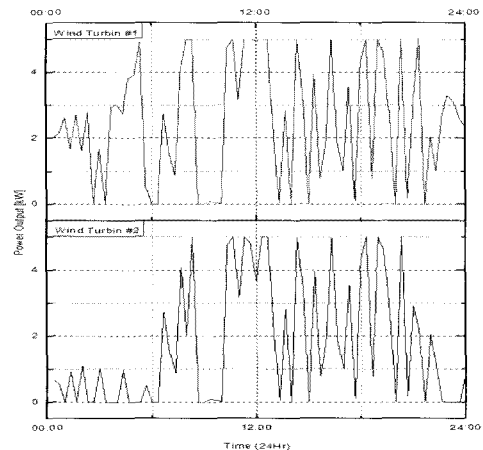


그림 9 풍력발전기 출력 결과
Fig. 9 Wind Turbine Output Result

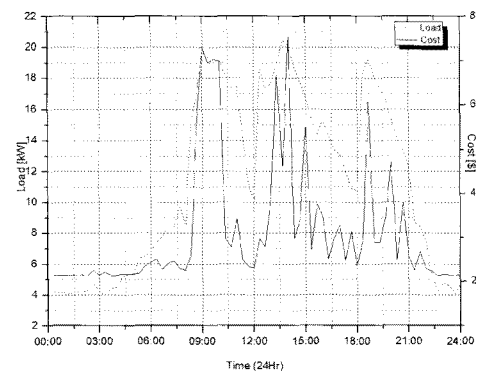


그림 10 운용 비용 결과
Fig. 10 Result of Operating Cost

표 4 발전량 출력결과 및 비용

Table 4 Power Output and Cost

시간	00:00-00:20	09:00-09:20	18:00-18:20
운전조건	풍속:9.51[m/s]	풍속:3.46[m/s]	풍속:13.04[m/s]
및 결과	부하량 : 4.2	부하량 : 19.3	부하량 : 10.8
Diesel Gen#1	0.5	5.0	0.5
Diesel Gen#2	0.3	3.0	0.3
Diesel Gen#3	0.7	5.63353	0.7
Fuel Cell#1	0.0	1.5	0.676321
Fuel Cell#2	0.0	1.5	0
Fuel Cell#3	0.0	2.5	0
Wind Turb#1	2.02457	0.0832945	4.31184
Wind Turb#2	0.67543	0.0831709	4.31184
$\sum P_i$	4.2	19.3	10.8
Cost [\$]	0.7154	2.3147	0.7835

*Total Cost [\$/24hr] : 75.205, Total Load [kW/24hr] : 272.9834

*부하량, 발전출력, 비용은 20분간 운전 결과임

연료전지와 풍력발전기의 경우 디젤발전기 보다 낮은 비용의 발전비용으로 우선 선택되는 발전원임을 확인 할 수 있다. 그러나 풍력의 경우에는 주어진 풍속에 의해 발전량이 결정되어 일정 출력을 나타내지는 못하였다. 그림 10에서는 전체 결과인 마이크로그리드의 1일 운용비용과 풍속데이터이며 표 4는 그림 10의 결과 중 0~0:20, 9:00~09:20, 그리고 18:00~18:20 시에서의 HS 알고리즘 결과이다.

5. 결론

본 논문에서는 마이크로그리드 최적운용문제에 HS 알고리즘을 적용하여 이를 분석하였다. 사례연구를 통해 HS 알고리즘은 최적해 탐색에 있어서 목적함수나 제약함수의 미분정보를 필요로 하지 않기 때문에 데이터의 불연속성이 주어질 수 있는 시스템, 특히 신재생 전원에 관한 태양광의 일사량, 풍력의 풍속 등, 최적화에 적합한 알고리즘으로 판단되며 중요한 반복 계산 수에 있어서도 HS 알고리즘의 파라미터 조정에 의해 대략 2,000번 이내로 최적값에 수렴하여 실시간 운전이 필요한 마이크로그리드의 최적화 툴로 사용가능함을 확인 하였다.

향후, 주 계통과 마이크로그리드의 연계, 다양한 신재생 전원의 고려, 실시간 부하 추정과 풍속, 일사량 추정 연구와 탄소 배출 제약등을 고려한 종합적 최적운용 해석이 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] Venkataramanan, G., C. Marnay. "A Larger Role for Microgrids" IEEE Power & Energy Magazine, Vol. 6, Num. 3, May/June 2008, pp.78-82.
- [2] Lasseter, R., "MicroGrids," , IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2002.,New York, NY, 2002, p. 305 - 08.
- [3] Krishnamurthy, S., 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
- [4] Sakis Meliopoulos, "Challenges in Simulation and Design of Grids," Proceedings of the 2002 IEEE/PES Winter Meeting, 2002.,New York, NY, 2002.
- [5] Geem, Z.W., Tseng, C-L. and Park, Y. "Harmony search for generalised orienteering problem: best touring in China", Book Advanced in Natural Computation, Vol. 361, No. 2, Springer Berlin/Heidelberg, 2005
- [6] Lee, K.S. and Geem, Z.W. "A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimisation: harmony search theory and practice", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 194, pp.3902 - -3933, 2005
- [7] Levitin, G., Lisniaski, A. and Elmakis, D. "Structure optimisation of power system with different redundant elements", Electric Power System Research, Vol. 43, pp.19 - 27, 1997
- [8] 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.
- [9] www.cumminspower.com/Commercial/Diesel/S1215.pdf
- [10] J. F. Manwell, J. G. McGowan, A. L. Rogers, Wind Energy explained, John Wiley & Sons, 2002
- [11] Hernandez-Aramburo, C. A., and Green, T. C., and Mugnot, N., "Fuel Consumption Minimization of a Microgrid.," , IEEE Transactions On Industry Applications, vol. 41, Issue. 3, May/June. 2005, p. 673-681.
- [12] Michalewicz, Z., "A Survey of Constraint Handling Techniques in Evolutionary Computation Method" Proc. 4th Annual Conference on Evolutionary Programming, pp. 135-155, 1995

저 자 소 개



이 상 봉 (李 相 奉)

1968년 2월 22일생. 1994년 한양대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 성균관대학교 전력IT 인력양성센터 선임연구원



김 규 호 (金 圭 浩)

1966년 3월 8일생. 1988년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1996년 안산공과대학 전기과 교수. 현재 한경대학교 전기공학과 교수



김 철 환 (金 喆 煥)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 성균관대 정보통신공학부 교수, 전력IT인력양성센터 센터장

Tel : 031-290-7124, Fax : 031-290-7179

E-mail : hmwkim@hanmail.net