

신재생 에너지원 기반의 마이크로그리드 최적운영 방안

논 문

60-8-3

Optimal Operation Scheme of MicroGrid System based on Renewable Energy Resources

이 상 봉* · 김 규 호† · 이 상 근**

(Sang-Bong Rhee · Kyu-Ho Kim · Sang-Geun Lee)

Abstract - This paper presents an optimal operation of microgrid systems and considering a tie-lines capacities that concerned each grid. The microgrid system consists of a wind turbine, a diesel generator, and a fuel cell. An one day load profile and wind resource for wind turbine generator were used for the study. For the grid interconnection, tie-line capacities were applied as constraints. The capacity constraints of tie-lines in production cost analysis are very important issues in the operation and planning of microgrid. In optimization, the Harmony Search (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.

Key Words : Distribution system, Harmony search algorithm, Micro grid system, Optimization, Operational cost, Renewable energy sources

1. 서 론

전력의 효율적 사용, 에너지원의 다양화, 계통의 신뢰도 향상, 그리고 환경적 영향에 관한 패러다임 변화로 인해 전력계통에서의 마이크로그리드는 현재 최선의 전력계통으로 인식되고 있으며 기존의 광역기반 계통을 변화시키고 있다. 마이크로그리드에 관한 가장 중요한 장점은 각종 신재생 또는 기존의 소규모, 마이크로 전원이 중요부하 인근에 설치됨으로써 전력에너지 사용에 관한 효과를 극대화시킬 수 있다는 것이다. 이는 기존의 광역기반 분산전원 연계 계통과는 구별되는 차이점으로 주 계통의 사고 또는 고장에 대해 단독운전방지를 수행했던 분산전원 운전과는 다르게 마이크로그리드 시스템은 주 계통과의 연계를 차단하고 자체적인 운영을 통해 독립적인 전력공급을 지속하여 그리드내의 전력공급 신뢰성을 확보하게 된다[1,2].

마이크로그리드 시스템의 운영은 높은 신뢰성 확보와 더불어 최적의 경제적 운전이 고려되어야 하며 이때, 다양한 전원에서의 발전 전력을 주어진 부하에 경제적으로 대응하기 위한 방안이 중요한 현안 문제 중 하나로 대두되고 있다. 그러나 그리드내의 전원 다양성은 최적 운영 문제 해법을 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 필요하고 무엇보다 정확하고 빠른 해석기법이 필요하다[3,4]. 또한, 여러 개의 그리드가 운전되는 경우 더더욱 에너지원의 가용성을 고려하여 그리드를 운전할 필요가 있으며, 그리드를 연결하는 연계선로의 전송능력이 중요한 고려요소로 인식되어야 한다.

본 논문에서는 신재생 기반의 연계 마이크로그리드 시스템의 최적운용을 위한 최적화 알고리즘으로 최근에 제안된 하모니 탐색법을 이용하였다. 하모니 탐색법은 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[5,6].

2. 하모니 탐색법

하모니 탐색법은 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. 탐색 알고리즘으로는 기존의 유전 알고리즘과 비슷한 개념인 competing pool을 이용하는데 유전 알고리즘이 생존에 적합한 세대를 선택하고 나머지는 도태시키는 방법과 같이 하모니 탐색법도 음악에서의 화음에 적합한 해를 선택하여 저장하고 그렇지 않은 해는 화음구성에서 배제하는 방법으로 최적해를 개선해 나간다.

† 교신저자, 시니어회원 : 환경대 전기공학과 조교수 · 공박
E-mail : kyuhoh@hknu.ac.kr

* 정 회 원 : (주) ATT 연구소장 · 공박

** 정 회 원 : 강릉원주대학 정교수 · 공박

접수일자 : 2011년 5월 4일

최종완료 : 2011년 7월 19일

다음 반복 계산에서의 해는 우선적으로 기존의 화음을 기반으로 해를 생성하고 악기를 튜닝하는 것과 같이 이를 미세 조정 하여 화음을 검사하게 되는 구성을 갖고 있다.

하모니 탐색법에서 중요한 요소는 인간의 화음인식으로 표현되는 harmony memory(HM)이며 반복 계산시의 생성해와 개선하는 HM의 정보를 이용한다. 따라서 하모니 탐색법의 계산에는 HM을 개선하는 방법에 중요도를 두고 있다. 그림 1은 HS 알고리즘의 순서도이다.

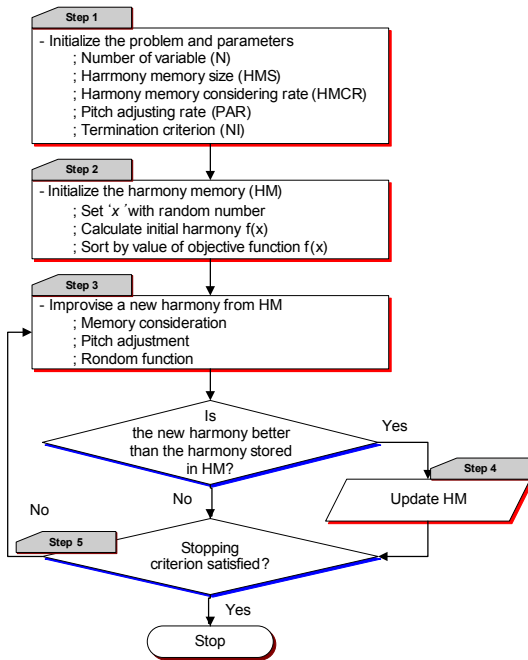


그림 1 HS 알고리즘 순서도
Fig. 1 Flowchart of HS Algorithm

3. 마이크로그리드 및 연계그리드

마이크로 그리드의 최적운용은 그리드내 각 발전원의 발전능력 범위 내에서 전체출력이 부하 요구량을 만족시키면서 전체발전 비용을 최소가 되도록 각 발전원의 발전량을 최적화하는 것이다. 이때 목적함수인 비용함수는 각 발전기의 특성에 의해서 결정되며 디젤터빈의 경우에는 일반적으로 발전출력에 대해 2차로 근사화된 함수를 사용한다. 풍력, 태양광 및 연료전지의 경우에는 각 발전원의 특성에 따라 출력식이 결정된다.

또한, 그리드가 지역적으로 서로 연계되어 있는 경우에는 그리드를 연계하는 선로에서의 조류제약을 고려해야 한다. 기존의 연계계통 운전과는 다르게 지역별 환경의 상이함으로 신재생 전원의 가용성이 틀리게 되므로 각 그리드를 개별적 제어하는 컨트롤러에서 이 같은 제약을 처리하여 그리드간의 운영을 담당하게 된다.

마이크로그리드를 최적 운용하기 위해서는 각 발전방식에 따른 운전비용을 산정하도록 비용함수를 모델링하여야 하며 이중, 태양광 풍력의 경우에는 일사량, 풍속, 온도등에 관한 환경적인 요인이 발전량에 상당한 영향을 주게 된다. 따라서, 경제적 요인을 무시할 경우 항상 일정 전력을 생산 할

수 있는 기존의 분산전원과는 다르게 주변조건에 따른 운전 제약이 포함되어야 한다.

3.1 최적운명을 위한 정식화

A. 그리드간 선로제약

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

$$\sum_i^m P_{S_i} = P_{d_s} \pm P_{s_u} \pm P_{s_t} \quad (1)$$

$$\sum_i^n P_{T_i} = P_{d_t} \pm P_{t_u} \pm P_{s_t} \quad (2)$$

$$\sum_i^l P_{U_i} = P_{d_u} \pm P_{s_u} \pm P_{t_u} \quad (3)$$

$$0 \leq P_{s_u} \leq P_{s_u \max}, 0 \leq P_{t_u} \leq P_{t_u \max}, 0 \leq P_{s_t} \leq P_{s_t \max}$$

여기서, P_{s_u}, P_{s_t}, P_{t_u}는 s-u, t-s, t-u 지역간의 전력전송량, P_{s_u max}, P_{s_t max}, P_{t_u max}, 는 각 선로들의 한계전송용량이다.

B. 디젤 발전기

디젤발전기(Diesel Generator : DiG) 는 기존의 화석연료 발전비용 모델을 이용해 비용함수를 모델링 할 수 있으며 식 (4)와 같다[3,8].

$$C_{DiG,i} = \sum_{i=1}^N (a_i P_{DiG,i}^2 + b_i P_{DiG,i} + c_i) \quad (4)$$

N: DiG 발전기 수

P_{DiG} : 디젤발전출력[kW]

C_{DiG} : 디젤발전기 발전비용[\$/kWWh]

a_i, b_i, c_i : 발전기의 비용계수 (i,.....,N)

일반적으로 비용계수 a_i, b_i, c_i 는 DiG 의 성능에 의해 결정되며 본 논문에서 사용된 데이터는 표 1과 같다[7-9].

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

C. 풍력 발전기

풍력발전기에서의 발전 출력은 풍속에 의해 그 양이 결정

되며 일반적으로 유도 발전기가 사용되며 유도 발전기 종류 및 기어박스 유무에 따라 식 (5-1)의 형태로 모델링하는 일정출력방식과 식 (5-2)의 형태로 모델링하는 가변출력방식으로 구분된다. 본 논문에서는 문헌 [10]에서 제안한 식 (5-2)의 가변출력특성을 이용하여 모델링 하였다[10].

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & v < v_{ci} \\ av^2 + bw + c & v_{ci} < v < v_r \\ P_{WTR} & v_r < v < v_{co} \\ 0 & v_{co} < v \end{cases} \quad (5-1)$$

$$P_{WT} = \begin{cases} 0 & v < v_{ci} \\ av^2 + bw + c & v_{ci} < v < v_r \\ P_{WTR} & v > v_{co} \end{cases} \quad (5-2)$$

여기서,

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 2에서와 같은 세 지역에서의 하루 24시간 풍속데이터를 이용하였고 풍력발전기의 특성은 표 2와 같다.

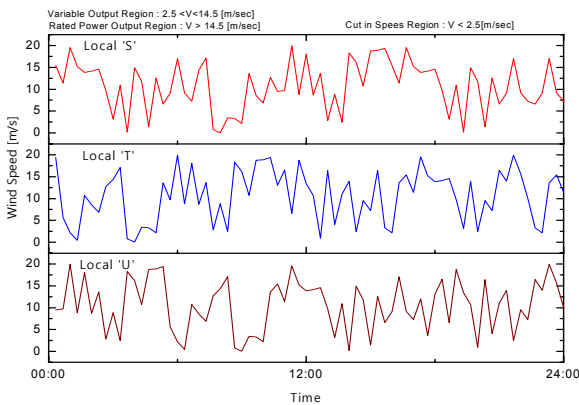


그림 2 그리드 풍속데이터 (하루, 24시간, S, T, U)
Fig. 2 Grid Wind Speed Data (1day, 24Hr, S, T, U)

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	10.0	0.5	0.022
WT #2	0.0042	0.1453	0.2731	5.0	0.3	0.032
WT #3	0.0058	0.1233	0.5134	10.0	0.5	0.048

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

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

D. 연료전지

연료전지의 운영비용은 거의 대부분이 연료투입 비용이며 여기에 연료가 전력으로 변환되는 경우의 효율을 포함시켜 비용함수를 계산한다. 연료전지를 운전하는 경우 전력뿐만 아니라 열, 수소 같은 부산물도 같이 생성되며 현재의 연료

전지 기술은 이러한 부산물을 다시 전력변환 과정에 재투입하여 효율을 높이고 있다. 효율적인 측면에서 연료전지는 신재생 에너지원 중 가장 효율적인 시스템으로 주목 받고 있으며 활발한 연구가 진행 중에 있다. 본 논문에서 사용한 연료전지의 비용함수는 식 (6)과 같고 나머지 데이터는 표 3과 같다[11].

$$C_{FC} = C_{natural} \sum \frac{P_{FC}}{\eta_{FC}} \quad (6)$$

P_{FC} : 연료전지 발전출력[kW]

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

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. 연계 마이크로그리드 최적운영

마이크로 그리드내 전원과 연계그리드간의 최적운영 문제를 위해 다음과 같이 정식화 하였다. 즉, 각 발전기들의 비용함수를 이용해 전체 비용함수를 구성하고 목적함수로 사용하였으며 24시간 부하 프로파일을 이용해 제약함수로 구성하였다. 또한 균등하게 풍력, 연료전지, 디젤터빈을 각 1대씩 운영중인 것으로 가정하여 발전출력이 환경적 요인에 결정 되도록 하였고 그리드간 연계선로의 한계는 동일하게 4kW로 하였다.

4.1 문제의 정식화

목적함수와 제약함수는 식 (7), (8)과 같다. 여기서 디젤발전기와 연료전지의 상, 하한 발전 한계는 정해져 있으나 풍력발전기의 경우에는 기후에 영향을 받기 때문에 그림 2의 지역별 풍속데이터를 이용해 식 (5)에 의해 발전기의 상한치가 결정된다. 또한 지역적인 연계를 고려하기 위해 식 (1), (2), (3)을 각각 적용한다.

$$Total Cost = \sum_{i=1}^N C_{DiG,i} + \sum_{i=1}^M C_{WT(M/O),i} P_{WT,i} + \sum_{i=1}^K C_{FC,i} \quad (7)$$

$$s.t : \sum_{i=1}^N P_{DiG,i} + \sum_{i=1}^M P_{WT,i} + \sum_{i=1}^K P_{FC,i} = P_{Load} \quad (8)$$

$$DiG, FC: P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (9)$$

$$WT : 0 \leq P_i \leq P_{WT} \quad from \text{식 (5)} \quad (10)$$

하모니 탐색법을 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. 본 논문에서는 하모니 탐색법이 갖고 있는 코드 소스의 간단성을 크게 변형하지 않도록 하기 위해 간단히 적용할 수 있는 식 (11)의 일반적 페널티법을 사용해 최적화를 실시하였다[12].

또한, 주 계통과의 연계 여부와 관련하여 전력구입 또는 판매비용, 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.

$$eval(x) = f(x)p(x) \tag{11}$$

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

$f(x)$: objective function
 $p(x)$: constraint function

4.2 하모니 탐색법 적용

하모니 탐색법의 적용은 목적함수와 제약함수가 구성되어 있는 경우 쉽게 적용가능하나 HMS, HMCR, PAR, NI 등 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. 최적운용을 위한 하모니 탐색법 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 것이다. 마이크로그리드의 실시간 운용을 위해서 중요한 것은 풍력발전기에 필요한 풍속 데이터, 부하 요구량에 관한 추정방법이며 본 연구에서는 미리 계획된 그림 3의 지역별 20분 단위 부하량과 그림 3의 부하량 데이터를 이용하였고 지역별로 부하 종류를 상업용, 중요부하, 거주용 부하로 구분하여 모의 하였다.

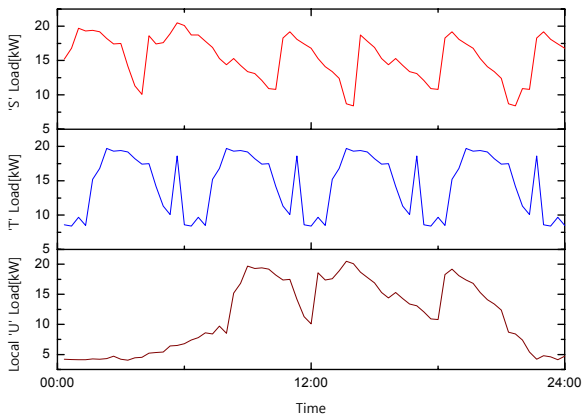


그림 3 그리드 부하 데이터(하루, 24시간, S, T, U)
 Fig. 3 Grid Load Data (1day, 24Hr, S, T, U)

Step 2. 알고리즘 맵핑

1) 주어진 계산 구간에서의 마이크로그리드내 가용 가능한 발전원 선택 및 변수 배분
 계산구간에서의 외부 환경적 조건을 고려한 후 운용에 필요한 발전원을 선택한다. 풍력 및 태양광의 경우이며 디젤이나 연료전지의 경우에는 항상 발전이 가능한 것으로 모의 하였다. 선별된 발전원을 변수로 할당한다 (x_1, x_2, \dots, x_n) .

2) HM 구성

HMS는 현재가용 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 HS변수는 랜덤 함수를 이용해 생성한다.

2) HMCR을 고려한 변수 생성

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

3) PAR을 고려한 변수 생성

전 항에서 선택된 HM에서의 변수를 다음의 식을 이용해 조절한다.

$$\begin{aligned} P_i &= P_i^{HM} + \Delta P_i \\ \Delta P_i &= \pm P_i^{HM} \cdot rand() \end{aligned} \tag{12}$$

4) 마이크로 그리드 별로 개별적 반복

Step 4. 반복계산 및 종료

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

4.3 모의 결과

하루 24시간에 관한 마이크로그리드 최적운용을 위한 HS 알고리즘을 적용하였고 결과를 얻을 수 있었다. 부하량과 풍속데이터는 20분 간격으로 하였고 발전량에 관한 전체운용 비용은 그림 4와 같다.

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. 표 4는 12:00에서의 그리드별 결과이다. 환경적 영향으로 부족한 발전량을 타지역에서 공급받음으로써 효율적인 운용을 할 수 있음을 알 수 있다.

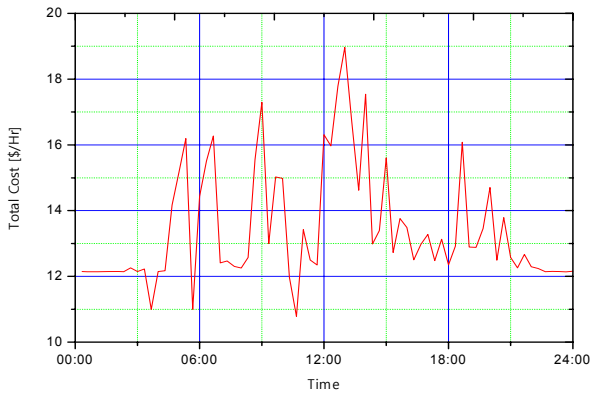


그림 4 전체 그리드 운용 비용
 Fig. 4 Total Operating Cost of Grids

표 4 발전량 출력결과 및 비용(@12:00)

Table 4 Power Output and Cost(@12:00)

Local Grid	S	T	U
운전조건 및 결과	풍속: 17.2[m/s] 부하량 : 16.4	풍속: 10.9[m/s] 부하량 : 8.2	풍속:14.01[m/s] 부하량 : 11.3
Diesel Gen#1	0.52	-	-
Diesel Gen#2	-	3.0	-
Diesel Gen#3		-	2.12
Fuel Cell#1	2.30	-	-
Fuel Cell#2	-	1.5	-
Fuel Cell#3		-	3.23
Wind Turb#1	9.99		
Wind Turb#2	-	3.25	
Wind Turb#3	-		9.99
$\sum P_i$	12.81	7.75	15.34
부족 또는 잉여전력	- 3.59	-0.45	+4.04
Cost [\$]	3.245	7.218	5.32

* S, T 지역의 부족 전력을 U지역에서 공급

5. 결 론

본 연구에서는 마이크로 그리드의 통합운영에 관한 방안을 제시하였다. 여러 개의 마이크로 그리드로 구성된 계통에 있어서 그리드내의 신재생 전원에 관한 제약을 고려하고 하모니 탐색법을 이용해 문제를 해결하였다. 각 마이크로 그리드 사이의 환경적 영향으로 부족한 발전량을 타지역에서 공급받으므로써 효율적인 운용을 할 수 있음을 알 수 있고, 그리드가 속한 지역의 풍속과 같은 환경적 요인에 큰 영향을 받음을 확인 할 수 있었다.

향후 연구로는 마이크로 그리드가 주 계통과의 연계하여 전력구입, 판매비용, 전압, 주파수, 고조파, 탄소배출량 교환 등 여러 가지 제약을 포함한 운용방안 연구를 통해 각 세부 제약별 영향 평가와 사용된 알고리즘의 수렴성 및 정확성

효과를 명확하게 확인할 수 있는 조건별 모의 수행이 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 강릉원주대학교 교수연구년 연구지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

- [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/Commercial1/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(공학). 현재 (주) ATT 연구소장



김 규 호 (金圭浩)

1966년 3월 8일생. 1988년 한양대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1996년 3월 - 2008년 8월 안산공과대학 전기과 부교수, 2008년 9월 - 현재 국립한경대학교 전기공학과 조교수



이 상 근 (李尙根)

1961년 4월 13일생. 1986년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1989년 - 1995년 한국전력기술(주) 전기기술처. 1995년 - 현재 강릉원주대학교 전기공학과 정교수.