

# 유전 알고리즘 기반의 마을 단위 전력 공유시스템 최적화 방안에 대한 연구

(A Study on Genetic Algorithm-Based Optimization of Village-Level Energy Sharing Systems)

류아름, 최태종\*

(Arem Ryu, Tea Jong Choi\*)

## 요약

본 연구는 광주광역시 신효천 마을의 52가구를 대상으로 태양광 발전 및 소비 데이터를 활용하여 마을 단위 전력 공유 시스템 설계를 위한 그룹 최적화 방안을 제안한다. 기존 거리 기반 그룹화 방식과 달리, 본 연구는 유전 알고리즘(GA)을 적용하여 선로 설치 비용 대비 전력 유통 수익을 최대화하는 목적 함수를 설계하였다. 실험 결과, GA 기반 방식은 모든 경우에서 거리 기반 방식보다 높은 효율을 보였으며, 반복 실험에서도 안정성과 일관성을 확인하였다. 이러한 결과는 GA 기반 그룹화가 마을 단위 전력망 설계에서 효율성과 신뢰성을 동시에 확보할 수 있는 대안임을 입증한다.

■ 중심어 : 전력 공유 시스템 ; 그룹 최적화 ; 유전 알고리즘 ; 분산형 에너지

## Abstract

This study proposes an optimized grouping strategy for designing a village-level electricity sharing system using solar power generation and consumption data from 52 households in Sinhyochon, Gwangju, South Korea. Unlike conventional distance-based grouping methods, a genetic algorithm (GA) was applied to design an objective function that maximizes power distribution profit relative to line installation cost. Experimental results demonstrate that the GA-based approach consistently outperforms the distance-based method in efficiency and shows stability and reliability across repeated trials. These findings suggest that GA-based grouping can serve as a viable alternative to ensure both efficiency and reliability in the design of village-scale power grids.

■ keywords : Power sharing system ; Group optimization ; Genetic Algorithm ; Distributed energy

## I. 서론

신재생에너지 보급 확대와 탄소중립 정책 추진에 따라 전국적으로 분산형 전원의 설치가 꾸준히 증가하고 있다[1]. 특히 농어촌 및 도심 외곽 지역에서는 태양광 발전 설비의 확산 속도가 빨라지고 있으며[1], 이에 따라 기존 전력망의 수용 능력에 대한 우려가 점차 커지고 있다[2]. 향후 신재생에너지원의 지속적인 확산을 위해서는 기

존 전력망의 한계를 보완할 수 있는 신규 선로 구축의 필요성이 제기되고 있다[3].

기존 선로 구축은 주로 거리를 기준으로 한 단순 군집화 방법에 의존해 왔다[4]. 이 방식은 선로 길이를 최소화하여 설치 비용을 줄일 수 있다는 장점이 있으나, 각 가구의 전력 생산 및 소비 특성을 반영하지 못하는 구조적 한계를 지닌다[4]. 그 결과 일부 그룹에서는 잉여 전력의 낭비나 수요 충족 실패가 발생할 수 있으며, 이는 전체 시스템의 경제성과 효율성을 저해한다[3].

\* 준회원, 전남대학교 데이터사이언스대학원 석사과정

\*\* 정회원, 전남대학교 데이터사이언스대학원 부교수

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00242528).

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00214326).

접수일자 : 2025년 10월 01일

게재확정일 : 2025년 11월 01일

교신저자 : 최태종 e-mail : ctj17@jnu.ac.kr

본 연구는 광주광역시 신호천 마을을 사례로, 실제 전력 데이터를 활용하여 유전 알고리즘 (Genetic Algorithm, GA) 기반의 그룹 구성 방식을 제안한다. 본 방식은 선로 설치 비용 대비 전력 유통 수익을 효율 지표로 삼아 그룹을 구성하며, 기존의 거리 기반 방식과 비교하여 마을 단위 전력망 설계에서 GA 기반 접근법의 효율성 향상 가능성을 실험적으로 검증한다.

## II. 관련 연구

최근 전력 수요 증가와 탄소중립 정책에 따른 신재생에너지 확대는 기존 전력망 설계 방식의 한계를 드러내고 있다[3]. 특히 지역 단위 분산형 전원 및 마이크로그리드 구성에 대한 관심이 높아지면서, 배전망의 효율적 구축을 위한 최적화 연구가 활발히 진행되고 있다[5].

### 1. 전력망 및 선로 구축 방식

기존 배전망 설계는 주로 선로 길이 최소화를 통해 초기 투자비용 절감에 초점을 맞추어 왔다[4]. 이에 따라 최소 스패닝 트리(MST, Minimum Spanning Tree) 기반 모델이 널리 활용되었으며[4], 이는 물리적 거리 기준의 연결을 통해 단순하고 경제적인 설계를 가능하게 한다. 또한 MST와 유전 알고리즘(GA)을 결합하여 중전압 배전 시스템에서 선로 구조와 도체 단면을 동시에 최적화하는 모델이 연구된 바 있다[4]. 이러한 방식은 거리 기반 효율성을 확보하는 데 효과적이거나, 동적인 수요·공급 패턴을 반영하지 못하기 때문에 그룹 내 에너지 낭비나 수요 불일치 문제가 발생할 수 있다[2].

### 2. 진화 알고리즘 기반 분산전원 최적화

진화 알고리즘은 분산전원의 위치 및 용량을 최적화하여 전력 손실을 줄이고 전압 품질을 향상시키는 데 효과적으로 적용되고 있다[5]. 예를 들어, 유전알고리즘(GA)과 입자 군집 최적화

(PSO)를 결합한 하이브리드 알고리즘은 IEEE 33-bus 및 69-bus 테스트 시스템에서 전력 손실을 줄이고 전압 안정성 측면에서 기존 방식보다 우수한 성능을 보였다[5]. 또한 GA 기반 하이브리드 기법은 손실을 효과적으로 줄이는 데 기여하며, 선로 최적화와 수요·공급 데이터 기반의 그룹 최적화 설계로 확장 가능성을 보여준다[5].

### 3. 분산형 신재생에너지와 마이크로그리드

분산형 발전 자원의 확산에 따라 다중 마이크로그리드(Multi-Microgrid) 클러스터를 고려한 전력망 설계가 주목받고 있다[6]. [6]는 마이크로그리드 클러스터의 에너지 관리 시스템(EMS, Energy Management System), 고도화된 제어 계층 구조, 지역 내 전력 자급률 향상, 그리고 전력 교환 메커니즘의 필요성을 강조하였다. 이 연구는 주로 EMS 구조와 제어 체계 설계에 초점을 두었으나, 클러스터 내 잉여 전력과 부족 전력의 상호 활용을 가능하게 하는 그룹 구성의 필요성도 언급하였다.

## III. 제안하는 방법

본 연구는 광주광역시 신호천 마을의 52가구를 대상으로 수행되었다. 각 가구는 3kW 용량의 태양광 발전 설비를 보유하고 있으며, 2024년 1월부터 6월까지의 발전량 및 소비량 데이터를 활용하였다. 데이터는 각 월의 첫째 날을 기준으로 총 6일에 대해 일 단위 발전 및 소비 데이터를 포함한다.

### 1. 전력망 및 선로 구축 방식

본 연구에서는 다음 두 가지 방식으로 마을 내 가구를 9개 그룹으로 분류하였다.

#### 가. 거리 기반 방식

거리 기반 그룹화는 전체 가구 간 거리를 기준으로 물리적으로 인접한 가구들을 우선적으로

연결하여 그룹을 구성하는 방식이다. 이 방법은 단순성과 실용성 측면에서 실제 시공 현장에서 적용되기 용이하며, 거리 기반 그룹을 대표적인 비교 기준으로 활용하였다. 실제 선로 설계에서는 전력 수요나 생산 특성보다 설치 편의성과 거리 절감을 우선시하는 사례가 일반적이다[4]. 이에 본 연구에서는 거리 기반 그룹을 기준 시나리오로 정의하고, 제안하는 GA 기반 방식과의 상대적 효율성을 비교·평가하였다. 그룹 분류는 전체 가구 간 거리 정보를 기반으로 수작업으로 이루어졌으며, 전력 소비 및 발전량 등 전력 특성은 고려하지 않았다.

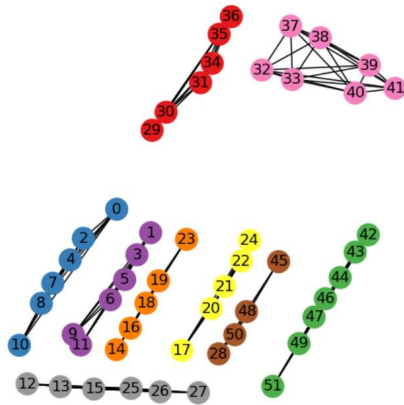


그림 1. 거리기반 방식 그룹

#### 나. GA 기반 그룹 구성

유전 알고리즘(GA, Genetic Algorithm)은 자연 선택과 유전자 진화를 모방한 최적화 기법으로, 탐색 공간에서 다양한 해(개체)를 생성하고 교차와 돌연변이를 통해 점진적으로 더 나은 해를 찾는 메타휴리스틱 방법이다[7]. 본 연구에서는 가구 단위 그룹 구성을 최적화하기 위해 GA를 적용하였다. 각 가구의 그룹 번호를 유전자로 표현하고, 선로 설치 비용 대비 전력 유통 수익을 목적 함수로 설정하여 효율을 극대화하는 해를 탐색하였다. GA의 핵심 연산(선택, 교차, 돌연변이, 적합도 평가)은 알고리즘 흐름에 따라 반복적으로 적용되며, 이를 통해 반복 세대 내에서 최적의 그룹 구성이 도출되도록 설계하였다.

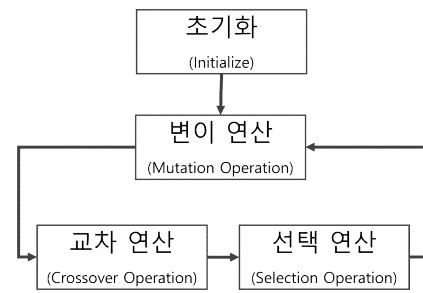


그림 2. 유전 알고리즘 순서도

## 2. GA기반 그룹 구성 알고리즘 설계

### 가. 염색체 구조 및 인코딩

염색체는 길이 52의 벡터로 구성되며, 각 요소는 해당 가구의 그룹 번호를 나타낸다. 그룹 수는 9개로 제한하고, 그룹 번호는 1~9를 사용한다. 그룹에 참여하지 않는 가구는 그룹 번호 0으로 표시한다.

### 나. 하이퍼파라미터 설정

하이퍼파라미터는 표 1과 같이 설정했다.

표 1. 하이퍼파라미터 설정 값

항목	값
세대 수	20,000 세대
개체 수	100
교차율	0.5
돌연변이율	0.05

### 다. 목적 함수

최적화 대상은 다음과 같은 ‘효율 지표’로 정의한다.

#### (1) 효율(Efficiency)

본 연구에서 정의한 효율은 선로 설치 비용 대비 전력 유통 수익의 비율이며, 아래와 같이 계산된다.

$$Efficiency = \frac{R}{C} \quad (1)$$

#### (2) 전력 유통 수익(R)

전력 유통 수익  $R$ 은 그룹  $i$ 에서 잉여 전력량과 부족 전력량 중 작은 값에 2024년 기준 SMP(System Marginal Price)를 곱하여 산출한다. 한국전력거래소에서 제공하는 데이터를 기

준으로 SMP를 123원/kWh로 설정하였다[8].

$$R = \sum_{i=1}^9 \min(P_{surplus,i}, P_{shortage,i}) \times SMP \quad (2)$$

### (3) 선로 설치 비용

선로 설치 비용  $C$ 는 각 그룹  $i$ 의 연결 거리  $L_i$ 와 단위 길이당 선로 설치 단가  $u$ 의 곱을 40년 사용 연한(365일  $\times$  40년)으로 나누어 산정한다. 설치 단가는 한전온(Kepeco-on) 사이트의 공개 자료를 참고하여 48,000원/m로 설정하였으며[9], 사용 연한은 산업 표준 매뉴얼에 명시된 40년을 적용하였다[10].

$$C = \frac{\sum_{i=1}^9 L_i \times u}{365 \times 40} \quad (3)$$

### 다. 적합도 평가 및 선택

각 세대에서 적합도(효율)가 높은 상위 100개 개체를 선별한다.

### 라. 실험 조건 및 반복 설정

실험은 총 6개 날짜별로 수행되며, 각 날짜당 20회씩 알고리즘을 반복 실행한다. 거리 기반 그룹 구성 방식과 GA 기반 그룹 구성 방식을 동일한 데이터 조건에서 적용하여 두 방식의 효율 차이를 비교·평가한다.

## IV. 성능 평가 및 실험

### 1. 실험 조건

본 연구에서는 광주광역시 신효천 마을의 52가구를 대상으로 실험을 수행하였다. 각 가구는 3kW용량의 태양광 발전 설비를 보유하고 있으며 각 월에서 특정일자 데이터를 사용하여 총 6일을 선정하였으며, 일별 데이터를 기반으로 거리 기반 그룹 구성 방식과 유전 알고리즘(GA) 기반 그룹 구성 방식을 비교했다. 알고리즘의 결과 신뢰성을 확보하기 위해 날짜별로 각각 20회 반복 실험을 수행하였다.

### 2. 실험 절차

거리 기반 방식과 GA 기반 그룹화 방식의 실험은 동일한 전력 데이터를 사용하여 다음과 같이 구성했다.

#### 가. 거리기반 그룹 구성 방식

주거지간 거리 데이터를 기반으로 인접한 가구를 9개 그룹으로 군집화하여 선로를 구성한다.

#### 나. GA 기반 그룹 구성 방식

선로 설치 비용대비 전력 유통수익의 효율이 높은 그룹 구성을 목표로 하여 GA를 통해 52가구의 최적 그룹 번호 벡터를 탐색한다. 각 실험에서는 세대별 100개의 해를 생성하고, 그 중 효율이 가장 높은 해를 선택한다.

### 3. 평가지표

본 연구에서는 다음 세 가지 평가지표를 활용하여 두 방식의 성능을 정량적으로 비교하였다.

#### 가. 효율 (Efficiency)

전력 유통 수익 대비 선로 설치 비용의 비율로 계산한다.

#### 나. 성공률 (Success Rate)

동일한 조건에서 GA 방식이 거리기반 방식보다 높은 효율을 달성한 실험의 비율을 의미한다.

#### 다. 편차 (Variance)

동일 조건에서 GA 방식의 반복 실험 결과 간 효율의 표준 편차를 측정하여, 알고리즘의 일관성과 안정성을 평가한다.

### 4. 실험 결과 요약

#### 가. GA 기반 효율 분석

아래 표는 실험당 생성된 100개의 해 중 상위 10%를 선별하여, 이를 20회 반복(총 200개의 결과)에 대해 통계치를 산출했다.

표 2. GA 기반 그룹화 효율 통계 요약

날짜	평균	최대효율	최소효율	표준편차
01/04	0.277	0.352	0.259	0.013
02/02	0.181	0.212	0.165	0.013
03/06	0.350	0.394	0.329	0.013
04/02	0.201	0.261	0.181	0.022
05/11	0.282	0.348	0.261	0.013
06/02	0.134	0.159	0.122	0.01

효율은 날짜별로 평균(0.134~0.351) 범위에서 나타났으며, 2024년 3월 6일 실험에서 가장 높은 평균 효율(0.35)을 기록하였다. 6월 2일에는 가장 효율이 낮았다(0.134). 표준 편차는 0.01~0.02 수준으로 알고리즘의 탐색 결과가 안정적으로 수렴함을 확인할 수 있다.

#### 나. 거리 기반 방식과의 비교

거리 기반 그룹화의 효율과 GA 기반 그룹화의 결과를 비교한 결과, 모든 날짜에서 GA 방식의 최대 효율이 거리기반 효율보다 높았다. 이는 GA가 반복 탐색을 통해 거리기반보다 우수한 해를 도출할 수 있음을 의미한다.

표 3. 거리기반과 GA 기반 그룹화 방식 결과 비교

날짜	거리기반 효율	GA 기반 방식 최대효율	실험횟수	성공률
01/04	0.181	0.352	20	100%
02/02	0.212	0.212	20	100%
03/06	0.310	0.394	20	100%
04/02	0.261	0.261	20	100%
05/11	0.303	0.348	20	100%
06/02	0.156	0.159	20	100%

GA 기반 방식은 모든 실험에서 거리기반 방식 대비 더 높은 최대 효율을 달성하였다. 특히 3월 6일의 경우 거리기반 방식(0.31)에 비하여 GA기반 방식(0.394)이 약 27% 향상되었다. 모든 날짜의 20회 반복 실험에서 100%의 성공률을 달성하여, 거리기반 대비 GA 방식의 우수성을 입증했다.

#### 다. 종합분석

GA 방식은 최대 27% 수준의 효율 개선을 달성하였으며, 모든 실험에서 성공률 100%를 달성

하여 거리기반 대비 성능 우위를 보였다. 또한 표준 편차가 낮게 나타나 알고리즘의 일관성과 신뢰성이 검증되었다.

따라서, 본 연구의 실험 결과는 유전 알고리즘 기반 그룹화 방식이 기존 단순 거리 기반 방식보다 효율적이고 안정적인 마을 단위 전력망 설계 방안을 제시할 수 있음을 보여준다.

## V. 결론 및 향후 연구

본 연구는 광주광역시 신효천 마을 52가구를 대상으로 태양광 발전 및 소비 데이터를 활용하여 마을 단위 전력 공유 시스템의 그룹 최적화 방법을 제안하였다. 기존 거리 기반 그룹화 방식은 선로 길이 최소화를 통해 단순성과 경제성을 확보할 수 있으나, 가구별 에너지 데이터 특성을 반영하지 못하는 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 유전 알고리즘(Genetic Algorithm, GA) 기반 그룹화 방식을 적용하여 선로 설치 비용 대비 전력 유통 수익을 최대화하는 목적 함수를 설계하였다.

실험 결과, GA 기반 방식은 모든 날짜에서 거리기반 방식보다 높은 최대 효율을 기록하였으며, 성공률 100%를 달성하였다. 또한 실험에서 도출된 100개 개체 중 상위 10%의 해를 선별하여 20회 반복(총 200개 결과)을 평가한 결과, 표준편차가 0.010~0.022 수준으로 나타나 알고리즘의 안정성과 일관성이 검증되었다. 이는 GA 기반 그룹화 방식이 마을 단위 전력망 설계에서 기존 방식보다 효율적이고 신뢰성 높은 대안임을 보여준다.

본 연구는 단일 목적 함수(전력 유통 수익 대비 선로 설치 비용 비율)를 중심으로 최적화를 수행하였으며, 실험 데이터 또한 6일간의 발전 및 소비 패턴만을 대상으로 하였다. 이러한 설정은 연구의 범위를 명확히 하고 알고리즘의 기본 타당성을 검증하는 데 의의가 있으나, 계절별 변동성이나 장기적 운영 환경을 충분히 반영하지는 못하였다.

향후 연구에서는 본 연구의 접근을 확장하여 비용·수익·안정성 등 다목적 최적화 문제를 고려할 필요가 있다. 또한 계절별 데이터와 불확실성을 반영

한 장기적 검증을 통해 제안 기법의 실효성을 강화할 수 있을 것이다. 나아가 에너지 저장 장치(ESS)와 실시간 에너지 관리 시스템(EMS)의 연계, 정책적·경제적 요인의 통합 분석까지 포함한다면, 본 연구는 보다 현실적이고 종합적인 마을 단위 전력망 설계 전략으로 발전할 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- [1] 한국에너지공단 신재생에너지센터, *2023년 신재생 에너지 보급통계*, 1-309쪽, 2024년
- [2] G. V. B. Kumar, R. K. Sarojini, K. Palanisamy, S. Padmanaban, and J. B. Holm-Nielsen, "Large Scale Renewable Energy Integration: Issues and Solutions," *Energies*, vol. 12, no. 10, pp. 1-17, May. 2019.
- [3] M. H. Saeed, W. Fangzong, B. A. Kalwar, and S. Iqbal, "A Review on Microgrids' Challenges & Perspectives," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 166502 - 166517, Dec. 2021.
- [4] Y. Li and X. Chang, "A MST-based and new GA supported distribution network planning," in *Proc. 2011 Int. Conf. Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC)*, pp. 2534 - 2538, Jilin, China, Aug. 2011.
- [5] M. H. Moradi and M. Abedini, "A combination of Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 34, pp. 66-74, 2012.
- [6] Y. Guan, B. Wei, J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, and Y. Gui, "An overview of the operation architectures and energy management system for multiple microgrid clusters," *iEnergy*, vol. 1, pp. 306 - 314, Sep. 2022.
- [7] J. J. Grefenstette, "Genetic algorithms and machine learning," in *Proceedings of the sixth annual conference on Computational learning theory*, pp. 3-4, CA, USA, 1993.
- [8] 한국전력거래소, *계통한계가격(2025)*, <https://new.kpx.or.kr/smpInland.es?mid=a10606080100&device=pc>, (accessed Nov., 03, 2025).
- [9] 한전온, *표준시설부담금(2025)*, <https://online.kepco.co.kr/>, (accessed Nov., 03, 2025).
- [10] Evoenergy, *PO07132 Overhead Line Distribution Design Manual*, pp. 1-81, 2023.

## 저 자 소 개

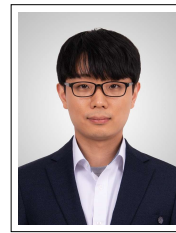


류아름(준회원)

2011년 숭실대학교 글로벌미디어학부 학사 졸업.

2023년~현재 전남대학교 데이터사이언스대학원 석사 과정.

<주관심분야 : 인공지능, 자원 최적화, 디지털트윈>



최태종(정회원)

2017년 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 박사 졸업.

2020년~2022년 경일대학교 컴퓨터사이언스학부 조교수.

2022년~현재 전남대학교 데이터사이언스대학원 부교수.

<주관심분야 : 인공지능, 머신러닝, 딥러닝, 진화연산>