



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

스마트 그리드 환경에서
전기자동차 최적 충전

濟州大學校 大學院

컴퓨터工學科

韓 大 旻

2011年 6月

스마트 그리드 환경에서
전기자동차 최적 충전

指導教授 邊 暎 哲

韓 大 旻

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2011年 6月

韓大旻의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ (인)

委 員 _____ (인)

委 員 _____ (인)

濟州大學校 大學院

2011年 6月

Optimal Charge for Electric Vehicle
in Smart Grid Environment

Dae-Oh Han

(Supervised by professor Yung-Cheol Byun)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement
for the degree of Master of Computer Engineering

2011. 6.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, _____

Thesis director, _____

Thesis director, _____

June 2011

Department of Computer Engineering

Graduate School

Jeju National University

감사의 글

논문을 마치고 ‘감사의 글’을 적고 있는 자신을 되돌아보니 그 동안의 대학원 생활이 주마등처럼 스쳐지나 갑니다. 2년이라는 시간은 적다면 적고 많다는 많은 시간이었지만 제 인생 전체를 볼 때 가장 큰 발전과 발돋움의 기간이었습니다. 그 시간동안 저의 대학원 생활에 도움을 주신 제 주위의 모든 분들께 진심으로 감사하다는 말을 전하고 싶습니다.

무엇보다도 늘 잘 챙겨주시고 실수투성이인 저에게 다양한 가르침과 자신감을 갖게 도와주신 변영철 지도 교수님께 감사드립니다. 더불어 많은 배려와 지식으로 도움을 주신 김장형 교수님, 안기중 교수님, 곽호영 교수님, 변상용 교수님, 이상준 교수님, 송왕철 교수님, 김도현 교수님께 감사드립니다.

대학원에서 다양한 조언으로 큰 힘이 된 노영식 선배님, 한경복 선배님, 권훈 선배님, 차지윤 선배님, 양문석 선배님, 변지웅 선배님, 안연준 선배님, 연구실에서 함께 생활하면서 많은 도움을 준 요종, 장휴, 정현, 영재, 진걸, 봉철, 혜연, 가영, 민지, 둘도 없는 친구 주동, 병와, 예진, 대학교 생활에 도움을 준 유형이형, 현복이, 동진 그리고 언제나 물심양면으로 도움을 준 남식이 형, 은경이 누나, 정하 누나에게 감사하다는 말을 전하고 싶습니다.

끝으로, 지금까지 배려와 사랑으로 저를 도와주신 아버지, 어머니, 내 동생 지은이에게 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다.

목 차

I. 서론	1
1. 연구 배경	1
2. 연구 내용 및 방법	3
3. 논문 구성	4
II. 관련 연구 및 고려사항	5
1. 스마트 그리드	5
1) 스마트 그리드 배경과 현황	5
2) 전기자동차와 스마트 그리드	7
3) 실시간 요금제	8
2. 기존 전기자동차 충전 관련 기술	10
1) 전기자동차 충전 인프라	11
2) 전기자동차 보급에 따른 전력수급에 미치는 영향	12
3) 기존 전기자동차 충전방법	13
4) 충전 최적화를 위한 고려사항	13
3. 유전자 알고리즘과 최적화	14
1) 개요	14
2) 유전자 알고리즘 프로세스	16
3) 유전자 알고리즘의 특성과 최적 충전	20
III. 유전자 알고리즘을 이용한 전기자동차 최적충전	22
1. 개요	22
2. 시스템 구성	23
3. 과거 요금데이터 및 데이터베이스	24
1) 과거 요금데이터	24
2) 요금 데이터베이스	25
4. 전기자동차 최전 충전 설계	26
1) 초기 유전자 결정	26

2) 유전자 적합도 평가	28
3) 선택, 교배, 돌연변이 연산	29
4) 종료 조건	29
5. 전기자동차 최적충전 처리 과정	30
1) 유전자 알고리즘 모듈	30
2) 충전방법 추천 관리자 모듈	33
3) 전기자동차 최적 충전과정	34
IV. 실험	35
1. 개요	35
2. 실험 환경	36
3. 주요 클래스	37
1) 유전자 알고리즘 패키지(genetic_algorithm package)	38
2) 데이터 패키지(data package)	39
3) display, dbconnect 패키지	40
4. 실험 결과	41
1) 가정 시나리오	41
2) 실험 결과	42
V. 결론 및 토의	48

그림 목 차

그림 1. 전기요금제의 분류	9
그림 2. RTP 시스템의 흐름	9
그림 3. 전기자동차 충전인프라 구성요소	12
그림 4. 유전자 알고리즘 절차	17
그림 5. 유전자 알고리즘 흐름도	17
그림 6. 룰렛 휠 예	18
그림 7. 단순 교배	19
그림 8. 복수점 교배	19
그림 9. 돌연변이	20
그림 10. 유전자 알고리즘을 이용한 최적 충전 개념도	23
그림 11. ComEd 전력회사 2008년도 평균 실시간 요금제 패턴	24
그림 12. 초기 염색체 해의 표현	26
그림 13. 전기자동차 최적충전 초기 유전자 풀	27
그림 14. 전기자동차 최적 충전 패턴 평가의 예	31
그림 15. 단순 교배 적용	31
그림 16. 돌연변이 적용	32
그림 17. 충전방법 추천 관리자 관련 모듈	33
그림 18. 유전자 알고리즘을 이용한 최적충전 처리과정	34
그림 19. 전기자동차 최적 충전 패키지 구현	37
그림 20. 유전자 알고리즘 패키지 클래스	38
그림 21. 데이터 패키지 클래스	39
그림 22. display, dbconnect 패키지 클래스	40
그림 23. 초기 생성된 유전자 풀	42
그림 24. 유전자 평가	43
그림 25. 유전자 평가값 수렴	44
그림 26. 유전자 알고리즘 진행결과	45



표 목 차

표 1. 전기자동차의 운영방식	10
표 2. 생물학과 유전자 알고리즘 비교	14
표 3. 유전자 알고리즘의 응용	21
표 4. 실시간 요금 데이터 레이아웃	25
표 5. 유전자 알고리즘 기반 요금 패턴 최적화 구성	32
표 6. 구현 환경	36
표 7. 가정 시나리오 환경	41
표 8. 시나리오에 따른 실험 결과 비교	47

국문초록

스마트 그리드 환경에서 전기자동차 최적충전

컴퓨터공학과 한대오
지도교수 변영철

에너지는 거의 모든 경제 활동의 필수재로서 그 중요성이 매우 높다. 따라서 고유가 상황과 화석 연료의 자원적인 제약 등으로 에너지의 공급이 원활하지 못할 경우 경제 및 산업계에 미치는 파급효과는 커진다. 이로 인해 에너지 관련 기술 개발이 각광을 받고 있는데, 특히 현재 스마트 그리드 환경에서의 에너지 관리 기술, 정책들이 큰 이슈가 되고 있다. 스마트 그리드란 기존의 전력망에 IT를 접목하여 전력공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환하고 에너지 효율을 최적화하는 차세대 전력망을 말한다. 스마트 그리드(지능형 전력망)의 보다 효율적인 환경조성을 위해 전력수급상황에 따라 전기요금이 시간대별로 변하는 '실시간 전기요금제(RTP : Real Time Pricing)'를 적용하여 경제적인 전력소비 유도와 시장 활성화시키려는 움직임을 보이고 있다. 이러한 정책에 발맞추어 전기요금에 따라 영향을 많이 받는 전자기기의 효율적인 사용방법의 중요성이 높아지고 있다. 한편 자동차의 연료인 휘발유, 경유, 가스등의 가격이 높아지고 친환경적인 기술 등이 향상됨에 따라 전기자동차에 관한 관심 또한 이전에 비해 아주 높아졌다. 스마트 그리드 실시간 요금제 환경에서 전기자동차를 충전할 경우 충전 인프라나 하드웨어 측면에서의 기술은 많이 발전되고 있는 반면 효율적인 충전방법을 통한 에너지 사용 비용 절감 측면의 연구는 미진하다.

본 논문에서는 스마트 그리드 환경에서 유전자 알고리즘(GA : Genetic Algorithm)을 이용, 전기자동차를 효율적으로 충전할 수 있는 방법을 제안한다. 실시간으로 변하는 요금 패턴을 유전자알고리즘을 통해 분석하여 최적화된 충전

패턴을 사용자에게 제공함으로써 충전비용절감 뿐만 아니라 사용자 편의성을 높일 수 있다.



ABSTRACT

Optimal Charge for Electric Vehicle in Smart Grid Environment

HAN, DAE-OH

Department of Computer Engineering

Graduate School

Jeju National University

Energy is very important factor as an essential source of almost every economic activity. Accordingly, high oil prices and restrictions on fossil fuels as a resource can cause imbalances in energy supply and demand. The results would be a damaging effects in the realms of economy and industry. In this respect, the development of an energy-related technique is now in the spotlight. Energy management and policy, especially, are growing as big issues under the environment of Smart Grid.

Smart Grid refers to the next generation of electricity network on which, by combining information technology with an existing electricity network, electric power suppliers and electric power consumers exchange real-time information bilaterally and optimize the efficiency of energy. To develop the more efficient environment of Smart Grid (also known as the intelligent electricity network), Real Time Pricing (RTP) will apply. In this system, electric rates will be charged by time rates based on electricity supply and demand. This policy will induce an economical consumption of electricity and it will invigorate the market. Efficient use of electronic equipment, usage fees of which are affected by electric rates, is increasingly emphasized as keeping

with the policy mentioned.

As the cost of automotive fuel rises and eco-friendly techniques improve, electric cars are attracting more attention than ever before. Under the conditions of Real Time Pricing (RTP) of the Smart Grid, the infrastructure and charging devices for electric cars have been greatly developed. Nevertheless, the study of how to reduce energy costs through efficient charge is as of yet incomplete.

In this paper, we propose a novel approach to maximize energy efficiency in recharging electric cars using a genetic algorithm (GA) in Smart Grid environment. This approach not only reduces costs but also makes electric cars more convenient to use by analyzing cost variances in real time via GA and by offering users optimal recharging methods.

약어표

GA	Genetic Algorithm
CPP	Critical Peak Pricing
SMP	System Marginal Pricing
API	Application programming interface
AMI	Advanced Metering Infrastructure
RTP	Real Time Pricing
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
ComEd	Commonwealth Edison

I. 서론

1. 연구 배경

경제발전과 산업의 대규모화로 에너지 사용량이 해가 갈수록 늘어남에 따라 한정된 에너지 자원인 석유, 가스의 소비가 늘어나고 전체 부하가 급속하게 증가, 피크 사용량은 전력시스템의 용량한계에 근접하고 있다. 이는 최악의 경우 대규모 정전사태를 초래할 수 있다. 많은 발전소를 지어 전력시스템의 용량한계를 높이는 해결책이 제시될 수 있으나 많은 비용이 소모된다. 따라서 다른 해결책인 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 기술, 정책에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 중 가장 큰 이슈가 되는 방법으로는 스마트 그리드(Smart Grid, 지능형 전력망)를 구성하는 핵심요소 중 하나인 전력소비자 스스로 전력시장과 연동하여 수요를 조절하는 할 수 있는 방법이 있다[1].

스마트 그리드는 전기 및 정보통신 기술을 활용하여 전력망을 지능화·고도화 함으로서 고품질의 전력서비스를 제공하고 에너지 이용효율을 극대화하는 전력망이다. 즉 스마트 그리드의 가장 큰 목적은 전기의 공급과 수요의 균형을 맞추는데 있다. 뿐만 아니라 국가 온실가스 감축 목표도 달성할 수 있다.

스마트 그리드 환경에서는 시간대별 차등 요금제를 적용하여 전력소비의 시간대를 자발적으로 부하가 많은 시간대에서 작은 시간대로 이전하거나 절제하여 효율적인 전력사용을 유도한다. 시간대별 차등 요금제는 계시별 요금제, 피크 요금제, 실시간 요금제로 분류 할 수 있는데 먼저 계시별 요금제는 전력 소비가 계절과 시간에 따라 차이가 클 때 이를 반영해 요금을 이부제(On-peak, Off-peak) 혹은 3부제 형태로 차등부과 하는 것을 말하며, 피크요금제(CPP : Critical Peak Pricing)는 전력수요가 높은 시간대에 대해 계약수용가에게 전력회사가 피크수준의 전력 가격을 사전에 공지하고 시행하는 제도이다. 실시간 요금제는 최소 5분,

보통 1시간 단위의 변동요금을 소비자에게 제공한다. 고정요금제에 비해서 전력 요금 변동성은 높으나 소비자의 경제적인 사용 시 공급자와 소비자 양측의 편익을 제공할 수 있다. 현재 지식경제부에서는 제주 스마트그리드 실증지역 200호 대상으로 실시간 전기 요금제를 시범실시하고 있다[2]. 한편, 스마트 그리드 환경(실시간 요금제)에서 기존의 휘발유, 경유, 가스를 대체하여 에너지원으로 사용하는 전기자동차에 대한 관심 또한 높아지고 있다. 전기자동차의 충전방식은 크게 완속충전방식과 급속충전방식으로 분류할 수 있다. 차량과 충전장비에 따라 차이는 있겠지만 급속의 경우 약15~30분, 완속의 경우 약 4~5시간 충전으로 130~140km 주행이 가능하다[3]. 가정에서는 초기 투자비용이 비싼 급속 충전 보다는 비용이 적게 드는 완속충전기의 보급이 우선시 될 것이다. 이에 따라 충전시간이 4~5시간 걸리는 완속충전기에서 전기자동차가 실시간으로 변하는 요금 상황에서 적은 비용으로 전기자동차를 충전하기 위해서는 과거의 가격의 변화 패턴, 시간대별 전력 사용량, 부하량 등 다양한 가변적인 요인들을 고려한 실시간 전기 요금을 알아야 하기 때문에 사용자 입장에서 효율적으로 최적화된 충전 시간을 찾는 것은 어렵다.

2. 연구 내용 및 방법

계절별, 요일별 등에 따라 다양한 패턴으로 전기사용량이 다르다[4]. 따라서 실시간 요금제 환경에서 전기자동차를 가정에서 완속충전할 경우 사용자 입장에서 다양한 상황을 고려하여 효율적으로 충전하는 것은 어렵다. 본 논문에서는 최적화 알고리즘으로 검증된 유전자 알고리즘을 사용하여 사용자에게 최적화된 충전 방법을 제안할 것이다. 제안하는 방법은 유전자 알고리즘을 사용하여 과거 요금 데이터를 바탕으로 사용자 요구 상황에 맞는 최적화 충전방법을 설계하고, 실시간 요금제 환경에서 사용자들이 원하는 최적인 전기자동차 충전시간을 제공받을 수 있도록 하는 것이다. 즉, 다양한 상황에 따라 제공되는 과거 요금 데이터를 바탕으로 본 논문에서 제시한 유전자알고리즘 이용한 최적 충전을 사용함으로써, 가정에서 사용자에게 값싸고 편리하게 전기자동차를 충전할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다. 유전자 알고리즘을 이용한 전기자동차 최적충전 구현을 위하여 다음과 같은 방법으로 연구한다.

첫째, 스마트 그리드 실시간 요금제 환경에서 어떤 방법으로 효율적으로 전기시스템을 관리하는지 분석하여 전기자동차 충전방법을 설계한다. 이는 실시간 요금제를 분석하고, 어떤 방법으로 요금을 산정하는지에 대하여 파악하는 것도 포함된다. 둘째, 분석한 실시간 과거 요금데이터를 바탕으로 유전자 알고리즘에 어떻게 적용할 것인지 분석한다. 이는 유전자의 적용할 수 있는 데이터들을 산출하고, 초기 유전자 생성, 평가, 선택, 교배, 돌연변이, 평가, 재생산으로 이루어지는 유전자 알고리즘의 순차적인 각 과정에 대한 분석을 의미한다. 이러한 과정을 통해 유전자 알고리즘의 최적화 과정을 이해하고 좀 더 효과적으로 최적화를 수행할 수 있는 방법에 대한 연구이다. 셋째, 스마트그리드 환경에서 전기자동차 최적 충전의 효율성과 검증을 위해서 전기자동차 최적 충전에 관련된 다양한 적용 사례와 방법, 고려사항에 대해 연구한다. 마지막으로 분석된 과거 요금데이터를 바탕으로 유전자 알고리즘에 적용하여 최적충전시간을 찾는 프로그램을 구현하고, 이 상황에서 최적충전응용을 통해 얻은 결과를 적용하였을 때 사용자에게

최적화된 전기자동차 충전을 제공 할 수 있는지 가정한 시나리오를 바탕으로 테스트 및 최종결과를 분석 정리한다.

3. 논문 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련 연구 및 기술로 스마트 그리드 기술의 동향과 특징, 전기자동차와 관련된 연구사례와 충전 인프라, 실시간 요금제의 특징, 유전자 알고리즘의 적용 과정과 응용사례, 전기자동차 최적충전과 관련된 논문을 분석하여 고려사항을 설명하며, III장에서는 실시간 요금제 상황에서 유전자 알고리즘을 통해 최적화된 전기자동차 충전시간을 찾는 과정과 방법에 대하여 설명한다. IV장에서는 제안한 방법의 구현 및 실험한 결과를 살펴보고 검증하며, 마지막 V장에서는 본 연구에 결론에 대하여 설명한다.

II. 관련 연구 및 고려사항

1. 스마트 그리드

1) 스마트 그리드 배경과 현황

경제적, 산업적 발전이 급속하게 이루어지자 2000년 캘리포니아, 2003년 뉴욕 대 정전, 탄소 배출권 시장 및 신재생 에너지원 도입 등으로 인해 기존의 대규모의 중앙 집중형 발전에 근간을 둔 전력 인프라에 변화를 일으키는 요인이 되고 있다. 20세기 초반에 구축된 전력망이 21세기까지 운영되면서 비효율적인 요소와 그에 따른 신뢰도 저하는 정전으로 이어져 국가적 손실이 증가하고 있다. 이러한 상황은 발전과 소비자 측면에서 많은 변화를 유발하게 되고 이 변화를 수용하기 위하여 기존의 단순 소비와 생산에 주력한 전통적인 관점에서 벗어나 다변화된 시스템으로 전력망 개혁의 필요성이 절실하게 되었다. 이에 따라 여러 나라들은 ‘스마트 그리드’ 라는 새로운 비전으로 고도의 기술 및 지능형 장치의 개발 및 적용을 통해 차세대 전력망 구축을 시도하고 있다[5].

스마트 그리드(Smart Grid)는 IT를 활용하여 전력생산 및 소비 정보를 양방향·실시간으로 유통함으로써 에너지 효율을 최적화하고 에너지 프로슈머(prosumer: 에너지 생산자(producer)인 동시에 사용자(consumer)가 될 수 있다는 의미를 가지는 합성어)의 등장을 가능케 하는 차세대 전력망이라고 정의할 수 있다. 스마트 그리드는 전통적인 에너지 자원과 재생 가능한 에너지 자원을 통합시키고, 에너지 소비를 감소시키기 때문에 녹색전력으로 불리며, 단기적인 측면에서 온실가스 감축을 통해 환경을 개선하고, 지능적·효율적으로 기능하여 에너지 지원의 비용이 상승하는 시기에 합리적이고 감당할 수 있는 가격으로 서비스를 제공한다.

스마트 그리드의 필요성에 대하여 간단히 설명해 보면 다음과 같다. 첫째 에너지의 효율적 사용이 가능해진다. 스마트 그리드의 수용가 측 핵심 구성요소인 수용가 전력관리 장치를 통해 전기 사용 형태 및 전기 요금을 실시간으로 보여주어 장치를 제어하도록 하여 자발적인 에너지 절약을 유도하도록 한다. 또한 실시간 요금제를 활용하여 전기요금이 저렴하고 수요가 낮은 시간대로 전력수요를 분산함으로써 피크전력을 관리하여 확대되는 전력공급을 위한 전력시스템 신규 건설 등 투자비용을 절감한다. 둘째, 신·재생 분산형 전원의 보급 확대이다. 태양광, 풍력 등 전력생산이 불규칙적인 발전원과 전기자동차, 연료전지 등 분산형 전원을 수용하기 위해서는 계통연계를 포함한 전력망의 지능화가 필요하게 된다. 또한, 발전원 별로 다양한 품질의 전력이 제공됨에 따라 사용처별로 품질 등급의 적절한 발전원을 공급함으로써 전력 사용 효율을 증대시킬 수 있다. 셋째, 무정전, 고품질의 전력서비스가 가능해진다. 전력망의 고장 지점 확인, 대체 경로 및 발전원 연결 등 자기치유 기능 극대화를 통해 무정전, 고품질 전력망 운영이 가능해져 전력품질에 민감한 반도체 제조 공장과 같은 업체에게는 정전이나 불안전 전력으로 인한 피해를 줄일 수 있다. 넷째, 에너지·환경 문제의 해결책을 제시하고 있다. 신·재생 전원의 보급 확대 기반을 조성하고 전기자동차 보급 인프라를 구축함으로써 에너지 자급율을 높여 에너지 강보를 강화하고, 석유, 석탄 등 화석연료 수입을 감소하여 무역수지 불균형을 해소할 수 있다. 특히 기후변화협상에 선제적 대응으로서의 역할을 수행한다. 마지막으로 사용자들의 경제적인 전력 소비 유도를 통해 온실가스 발생량을 줄이고, 전기자동차 등을 통해 청정 환경을 영위하고 자가 생산한 전력을 전력시장에 되팔아 가정경제의 이득도 제공할 수 있다[6].

현재 우리나라에서는 다양한 스마트 그리드 관련 프로젝트, 사업이 진행되고 있다. 그 예로는 대규모 분산전원과 마이크로 그리드, DC 배전망 등을 수용할 수 있는 계통의 패러다임 변화로 인해, 수용가의 부하 및 에너지를 효과적으로 관리 할 수 있는 시스템에 대한 핵심 기술 개발과 인프라 구축을 목적으로 2009년 6월부터 스마트 배전이 시행되고 있고 최종 전력소비자와 전력회사사이의 전력 실현을 위한 핵심 수단이라고 할 수 있으며, 다양한 유형의 분산 전원 체계, 배전지능화 시스템 등과 정보 연계 등 미래 지능형 전력망 운용을 위해 요구되

는 최우선 지능화 전력망인프라 시스템인 AMI(Advanced Metering Infrastructure) 개발이 진행되고 있다. 마지막으로 현재 제주도에는 스마트 그리드 실증단지 구축사업을 진행하고 있는데, 실증단지 안에는 신재생에너지 연계시스템, 전기자동차 충전 인프라, AMI 시스템, 전력저장 시스템이 구축되고 있다 [7][8].

2) 전기자동차와 스마트 그리드

스마트그리드에서 전기자동차는 심야의 남은 전력을 낮 시간의 피크전력 시간대로 이동시키기 위한 수단으로 인식하고 있으며, 또한 필요할 때는 언제든지 전기자동차의 저장에너지를 전력망으로 역송신하여 에너지 효율화를 이룰 수 있다는 수단으로 생각하고 있다. 이러한 개념을 달성하기 위해서는 전기자동차의 충전을 적절히 제어하여 전력망을 효율적으로 운영할 수 있도록 해야 하는데, 이의 수단으로 검토되고 있는 것이 실시간요금제와 같은 차등요금제도를 도입하여 소비자가 요금에 따라 충전과 방전에 반응해 주기를 기대하는 것이다. 그러나 스마트그리드 관점에서 전기자동차는 부하 예측과 조정이 어렵고, 부하패턴도 불규칙한 악성부하로 볼 수 있으며, 전기자동차의 충전전력을 적당히 감시/제어하고, 부하상황에 따라서는 전기자동차 충전을 제한하는 것을 기대한다. 또한 급속충전설비처럼 대용량으로 충전하는 설비가 많아지면 전력망의 효율적인 운영이 어려워지므로 전력망이 받는 부담을 최소화하기 위해서 충전용량을 적절히 작게 하고 충전시간을 길게 하는 것이 유리하다고 볼 수 있다. 예를 들어 충전소에 급속충전기 10대를 설치할 경우 아파트 약 500세대에 공급하는 전력과 변전시설을 갖추는 것과 비슷한 규모라면 전기자동차의 인프라 구축에 대한 규모를 짐작할 수 있을 것이다. 반면 전기자동차의 제조회사나 전기자동차를 소유한 소비자 입장에서는 내연기관 자동차처럼 언제든지 필요하면 짧은 시간 내에 충전받기를 원하고, 시간대에 따른 제한된 충전서비스를 받는 것을 원하지 않는다. 또한 소비자의 차량에 저장된 에너지에 대해 재판매를 유도하기 위해서는 배터리 수명 단축 등을 고려하여 매우 높은 수준의 차익을 지불하지 않으면 반응하지 않을 가능성

도 높다고 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 전기자동차의 보급을 위해서는 일반 국민인 소비자가 불편하지 않아야 한데 어려움이 있다. 따라서 전력분야에 종사하는 전문가들은 이와 같은 문제들을 어떻게 해결하여, 소비자의 요구를 충족시킬 것인지를 지속적으로 고민하고 연구할 필요가 있다[9].

3) 실시간 요금제

현재 운영 중인 전력요금제도 중 대표적으로 고정요금제, 계시별 요금제(TOU : Time Of Use), 피크요금제, 실시간요금제 등이 있다. 계시별 요금제도는 사용 전력량에 따른 주택용 누진적용 및 고압고객용 계절별·시간대별로 차등한 요금을 적용하고 있으며, 전력부하를 고려한 전력생산원가 일부분을 반영한다. 피크요금제(CPP: Critical Peak Pricing)는 전력 수요가 높은 시간대에 대해 전력회사가 요금을 사전공지하고 시행하는 제도이다. 하지만 이러한 제도들은 24시간을 기준으로 2등분 혹은 3등분하여 고정적으로 적용하기 때문에 외부 환경요인(온도, 습도, 불쾌지수 등)에 따른 전력사용량의 변동이나 전력수급상황에 따라 실시간으로 변하는 전력시장가격(SMP : System Marginal Pricing)에 완전히 대응하기는 어렵다. 따라서 높은 수요 및 가격시간대의 부하를 삭감하고 낮은 수요 및 가격시간대에서 수요를 증가시키기 위해 전력수급상황에 따라 실시간으로 변동하는 요금제인 실시간요금제(RTP : Real Time Pricing)가 필요하다. 이 요금제는 특정 시간대에 소비되는 에너지의 실시간 가격은 시장의 수요공급 상황, 날씨 및 전력설비의 사고 등에 따라 변화할 수 있으며, 하루 전(하루 전 RTP) 혹은 1시간 전(실시간 RTP)으로 분류할 수 있다[1][10]. 그림 1은 현재 운영 중인 전력요금제도의 분류를 보여준다.

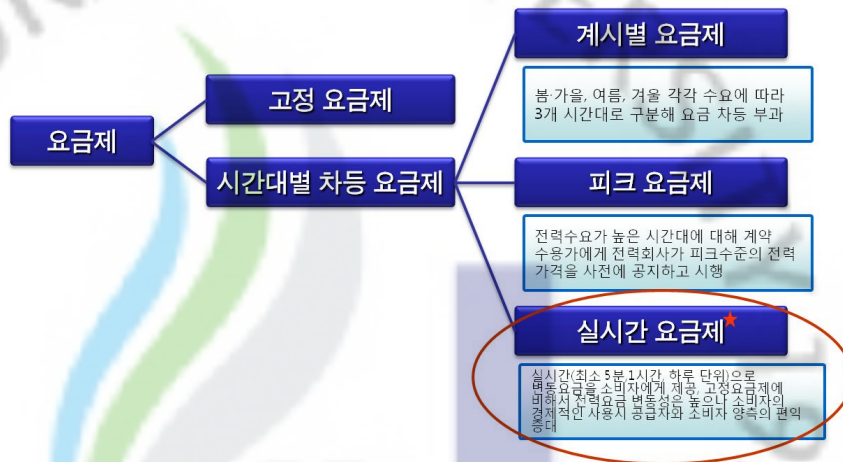


그림 1. 전기요금제의 분류

실시간요금제의 전형적인 시스템 구성은 그림 2와 같다. 기본계약 체결은 전력사에 따라 다를 수 있지만 주요 내용은 계약대상인 수용가의 실제적인 전력사용 기록을 이용하여 시간별 에너지 소비, 월간 수요를 근거로 하여 매해 기본 전력사용 프로파일을 생성한다. 실시간 요금 시스템을 구성하기 위해서는 전력사와 소비자들 사이에 교환되는 요금 관련 데이터 전송로, 정확한 검침 및 검침 데이터, 요금 변동에 따라 수요 조절을 수동 또는 자동으로 할 수 있는 부하 제어시스템이 필요하다. 그림 2는 실시간 요금제의 시스템의 개략적인 흐름이다[11].

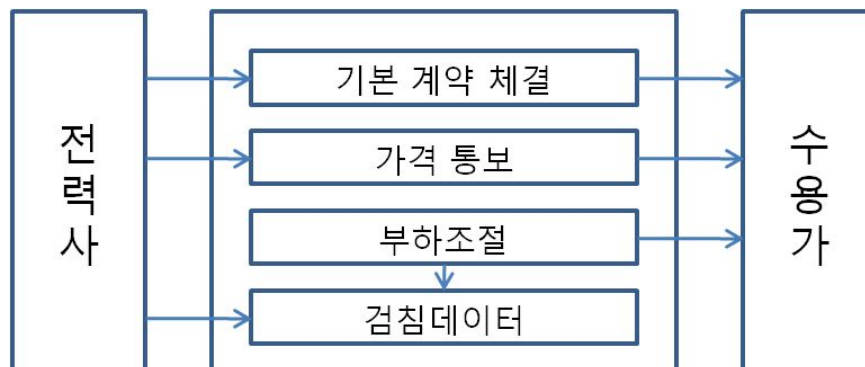


그림 2. RTP 시스템의 흐름

2. 기존 전기자동차 충전 관련 기술

최근에는 스마트 그리드 관련 기술이 이슈화 되면서 전기자동차에 대한 관심 또한 높아지고 있다. 재충전이 가능한 전기자동차는 전지로만 구성된 전기자동차, 내연기관과 축전지의 2개 동력원을 이용하는 하이브리드 자동차, 그리고 외부의 전력을 이용하여 배터리 충전할 수 있는 하이브리드 자동차가 있다. 특히 PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)는 화석연료와 전기에너지를 동시에 사용한다는 점에서 하이브리드 차와 유사하나, 보다 더 큰 용량의 배터리를 사용하여 전기를 주 동력원으로 전력망을 통해 심야에 저렴한 잉여 전력을 충전하여 근거리 이동에 필요한 에너지로 사용하고, 새로운 개념의 에너지 저장기기, 즉 이동형 전원으로서의 역할을 담당한다. 전기자동차는 2가지 종류에 따라 운행방식으로 나누어 살펴보면 표 1과 같다[12][13].

표 1. 전기자동차의 운영방식

전기자동차 분류	급 유	에너지 저장	추진
표준 하이브리드	주유소방문이 줄어들지만 여전히 필요하다.	가솔린이 에너지의 주요자원이다.	엔진과 모터가 자주 교환되면서 운전된다.
플러그인 하이브리드	주유소로 최소이동, 배터리는 집이나 직장에서 충전	연료는 여분의 연료탱크와 함께 배터리에 전기로 저장된다.	배터리가 다할 때까지 주로 전기의 힘으로 운전한다.

1) 전기자동차 충전 인프라

전기자동차 충전 인프라(Charging Infrastructure) 기술은 전기자동차에 필요한 전력을 공급하는데 필요한 기반시설을 말한다. 충전 인프라 기술은 크게 전력공급 시스템, 인프라운영시스템, 고객정보시스템, 충전스테이션으로 구성 될 수 있다. 현재 충전 방식 및 속도에 따라 저렴하며 설치가 간단해 가정이나 일반건물에 설치하는 완속충전기, 교통량이 많은 지역에 설치해 두고 이용률을 높이는데 주력하며 빠르게 충전할 수 있는 급속충전에 대한 연구가 최근에 진행 되고 있다[14].

(1) 충전기의 종류

가. 완속충전기

120V, 16Amp 사양을 갖으며, 가정용 야간충전시스템으로 컴팩트한 저중량 구조로 되어 있어 설치가 저렴하고 간단하다.

나. 중속충전기

208-240V, 50-80Amp 사양을 갖으며, 도로상이나 비주거빌딩 등 활동밀집지역에 설치된다.

다. 고속, 급속 충전기

480V, 250Amp 사양을 갖으며, 15~30분내 배터리 80% 충전을 목표로 하는 충전소형 독립 시스템이다.

(2) 충전관리 운영시스템

전기자동차 충전 인프라는 충전기 자체의 설치만으로 끝나는 것이 아니라 이를 통합적으로 관리하고 운영하는 시스템이 필요하다. 특히, 전기사용에 대한 요금 지불 체계가 구축이 되어야 하는데 다양한 구성 요소들의 네트워크화가 요구

된다. 이를 위해 ‘배전-송전· 배전-판매’의 단계로 이루어지던 기존의 단방향 전력망에 정보기술을 접목하여 전력 공급자와 소비자가 양방향으로 실시간 정보를 교환할 수 있는 스마트 그리드 환경이 필요하다. 다음 그림 3은 전기자동차 충전 인프라 구성요소이다[15].

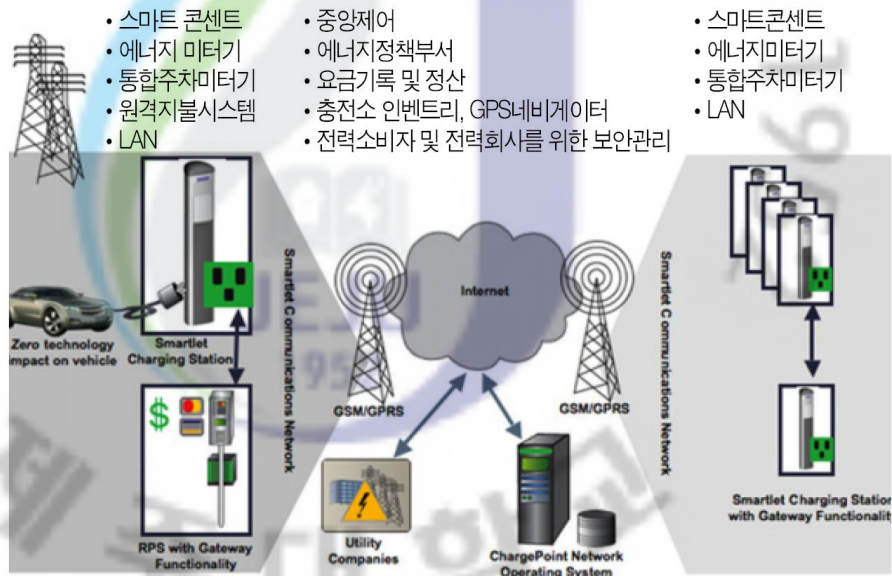


그림 3. 전기자동차 충전인프라 구성요소

2) 전기자동차 보급에 따른 전력수급에 미치는 영향

전기자동차 보급에 따라 전력소비량 약 0.03%~0.8% 증가, 최대전력은 0.05%~1.3%증가로 전력수급에 미치는 영향은 미미하다. 충전시간이 한 쪽 시간으로 몰릴 경우, 전력수요는 1.2%, 최대전력은 5.2%까지 증가 가능하므로 이를 고려해 사용자에게 알려줄 필요가 있다[16].

- 6.5만대 기준 : 전력수요는 150GWh, 최대전력은 41MW 증가 전망
- 100만대 기준 : 전력수요는 2,300GWh, 최대전력은 630MW 증가 전망
- 180만대 기준 : 전력수요는 4,147GWh, 최대전력은 1,136MW 증가 전망

3) 기존 전기자동차 충전방법

현재 전기자동차 충전과 관련된 논문들을 살펴보면, ‘스마트충전시스템을 위한 새로운 충전기술’은 실시간 요금제라기보다는 피크 시간대인 침투영역과 그렇지 않은 시간대인 비침투 영역에 따라 사용자에게 예측정보를 제공하여 자동차의 스마트충전제어기에 사전에 세팅시켜 그 시간대를 피해 충전할 수 있게는 것이다[17]. 하지만 미리 사전에 침투영역 시간대와 비침투 영역 시간대 2개의 시간대만 고려하고 하고 있어 어쩔 수 없이 침투영역에서만 충전할 경우 효율적이지 않다. ‘PHEV 시장 형성시 전력망에 미치는 영향 및 최적 충전 제어 전략에 대한 연구’는 체계적인 요금 패턴 분석의 필요성을 인식하고 스마트 충전시스템의 도입을 주장하였다[18]. 하지만 어떠한 방법으로 분석, 처리하고 충전하는지에 대한 부분이 명확하지 않다. ‘전기자동차의 보급에 따른 시장가격 영향분석’은 마찬가지로 전기자동차 충전 시나리오를 정해 충전부하량을 Off-peak 때 충전이 이루어질 수 있도록 제어를 하였다[19]. 하지만 그 충전 요금이 최적이라고는 할 수 없다. ‘도시철도 전력을 이용한 전기차 충전장비 현장시스템 구현’은 이미 구축된 전력인프라를 이용하게 쉽게 급속충전시스템에 대해 구현하는 방법을 설명하기 때문에 하드웨어 측면이 강하게 작용한다[20]. 이러한 방법들과 서비스들은 향후 스마트 그리드의 다양한 요금변화환경에서 효율적으로 충전하는 면에서 개선의 여지가 있다.

4) 충전 최적화를 위한 고려사항

본 논문에서는 스마트 그리드 환경(실시간 요금제)에서 효율적으로 전기자동차를 충전하기 위해서는 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.

실시간 요금제 환경에서 전기자동차 충전에 대한 최적화는 아직 이루어지지 않고 있다. 일반적으로 완속충전을 할 경우 각 시간대에 따른 충전요금정보에 따라서 전력 피크시간이 아닌 시간대에서 전기자동차를 충전함으로써 가격을 절감할 수 있지만, 그 충전시간대가 반드시 사용자에게 최적의 충전시간이라고 확신할

수 없다. 따라서 이와 같은 부분을 고려하여 본 논문에서는 실시간 요금제 환경에서 전기자동차를 충전하기 위해 과거의 실시간 전기요금을 바탕으로 최적충전 시간을 사용자에게 제공해 줄 필요가 있다.

3. 유전자 알고리즘과 최적화

1) 개요

유전자 알고리즘(GA : Genetic Algorithm)이란 자연계에 있어서 생물의 유전과 진화의 메커니즘을 공학적으로 모델화하는 것에 의해 생물이 갖는 환경에서 적응 능력을 취급하는 것이고, 1970년대 초기에 미국의 미시간 대학 교수인 John Holland에 의해 제안된 자연도태의 원리를 기초로 한 최적화 방법이다. 즉, 유전자 알고리즘은 자연계의 진화 현상을 기반으로 만들어진 계산 모델로서 풀고자 하는 문제에 대한 가능한 진화 현상을 기반으로 만들어진 계산 모델로서 풀고자 하는 문제에 대한 가능한 해들을 정해진 형태의 자료구조로 표현한 다음, 이들을 점차적으로 변형함으로써 점점 더 좋은 해들을 생성하게 된다. 표 2는 생물학과 유전자 알고리즘의 용어를 비교한 것이다.

표 2. 생물학과 유전자 알고리즘 비교

생물학	유전자 알고리즘
개체(individual)	염색체에 의해 특징지어지는 자율적인 하나의 작은 집단
집단(population)	집단 내의 개체의 수로 염색체가 클수록 커진다.
유전자(gene)	개체의 형질을 규정하는 기본 구성요소 즉, 특성(feature), 형질(character)
염색체(chromosome)	복수의 유전자 모임. 문자열(String)로 표현
대립유전자(allele)	유전자가 갖는 특성값(feature value)

유전자 자리(locus)	염색체상의 유전자의 위치 즉, 문자열의 위치(string position)
적합도(fitness)	유전자의 각 개체의 환경에 대한 적합의 비율을 평가하는 값, 즉 평가치로 최적화 문제를 대상으로 하는 경우 목적함수 값이나 제약조건을 고려하여 패널티 함수 값의 적합도로 설정된다.
코딩(coding)	표현 디코딩에서 유전자형으로 매핑하는 것
디코딩(decoding)	유전자 형에서 표현형으로 역 매핑하는 것
유전자형(genotype)	형질의 염색체에 의한 내부적으로 표현하는 방법으로 구조체(structure)로 표현
표현형(phenotype)	염색체에 의해 규정된 형질을 외부적으로 표현하는 방법으로 파라미터 집합(parameter set), 대체해(alternative solution), 디코드화를 위한 구조체(decoded structure)를 표현

자연계에 존재하고 있는 생물의 진화과정을 보면 어떤 세대(generation)를 형성하고 있는 개체(individual)의 집합(population) 가운데 환경에 대한 적응도(fitness)가 높은 개체가 높은 확률로써 살아남도록 재생(reproduction)된다. 또한 교차(crossover)나 돌연변이(mutation)에 의해서 다음 세대의 개체군이 형성되어 간다. 유전자 알고리즘에서는 개체군 속에 포함되는 개체의 수를 개체군의 크기(population size)라고 부르고, 각각의 개체는 염색체(chromosome)로 표현한다. 그리고 염색체는 복수개의 유전자(gene)의 집단에 의해 구성된다. 생물에서는 특정 개체의 염색체의 집단에 의해서 한 개의 개체가 결정되지만 GA에서는 1개의 염색체로 하나의 개체를 표현하는 경우가 많다. 염색체 상에서 각 유전자가 놓여 있는 위치를 유전자 좌(locus)라고 하고, 각 유전자가 취할 수 있는 유전자 후보를 대립 유전자(allele)라고 한다. 생물의 경우에는 어떤 염색체가 그 개체의 특징을 상세히 결정하게 된다. 예를 들면, 머리카락이 검다고 하는 특징에는 염색체 속에 그 특징을 나타내는 유전자의 조합이 존재한다. GA는 이와 같이 생물의 진화과정을 인공적으로 모델링한 알고리즘이다. 유전자 알고리즘은 탐색 및 최적화, 기계학습의 도구로 많이 사용되고 있다[21].

2) 유전자 알고리즘 프로세스

(1) 유전자 알고리즘의 기본적인 절차

유전자 알고리즘은 기본적으로 6단계에 걸쳐 진행된다. 우선, 초기화단계로서 임의의 염색체를 갖는 개체를 N개 생성하여 초기 세대 개체군을 설정한다. 개체의 수는 일반적으로 난이도나 성질에 따라 의존하지만 일반적으로 수십 개 이상 발생시킨다. 너무 적으면 병렬적 처리를 특징으로 하는 유전자 알고리즘의 장점이 발휘 되지 않고 너무 많으면 한세대 당 연산 하는 양이 많아져 자원의 낭비가 심해진다. 이는 설계자의 경험과 지식에 의존하게 된다. 전기자동차 최적 충전에서는 48개의 개체를 생성하였다. 두 번째 단계는 평가단계로서 각 개체의 적합도 계산해서 적합도가 낮은 얼마간의 개체는 도태시키고 그 개수만큼 적합도가 높은 개체는 선택될 확률이 높아진다. 유전자 알고리즘에서 '적합도'는 굉장히 중요한 요소가 된다. 전기자동차 최적 충전에서는 유전자가 결정한 날의 요금 데이터의 평균을 값을 기준으로 유전자가 결정한 날의 요금 데이터와 비교하여 차이가 적은 값의 '적합도'를 크게 만들었다. 세 번째 단계는 선택 단계로서 다음 교배 단계에서 처리할 유전자를 선택하는 과정인데 실질적으로 도태처리, 증식처리 단계로 생각할 수 있다. 도태 처리란 각 개체의 평가에 기초하여 각 개체마다 삭제 처리하는 것이고, 증식 처리란 도태 처리에 의한 감소한 집단수를 랜덤 샘플링에 의해 개체를 증식시켜 집단 수를 증가하는 처리 방식을 말한다. 네 번째 단계는 교배 단계로 2개의 염색체 사이에서 유전자를 여러 방법을 이용해 바꾸어 넣음으로서 새로운 개체를 발생키는 단계이다. 전기자동차 최적충전에서는 단순 교배를 사용하여 새로운 개체를 발생하였다. 다섯 번째 단계는 돌연변이 단계로서 설정된 돌연변이 확률이나 돌연변이 방법으로 유전자의 어떤 부분의 값을 강제적으로 바꾸고 유전자 집단으로서 다양성을 크게 한다. 이렇게 함으로서 보다 좋은 해를 가지는 개체의 발생을 기대하는 것이다. 물론 이 확률을 적정이상 크게 하면 해를 좀처럼 구할 수 없게 된다. 이 결과 새로운 세대의 개체군이 생성 되게 된다. 여섯 번째 단계는 위 다섯 단계를 걸쳐 나온 유전자가 가장 좋은 개체인지 판별하는 단계이다. 평가된 유전자가 종료조건에 만족한다면 종료하지

만 그렇지 않으면 두 번째 단계로 돌아가 반복하게 된다. 현재까지의 유전자 알고리즘의 동작의 흐름에 대해 정리한다면 그림 4, 5와 같다[21][22].

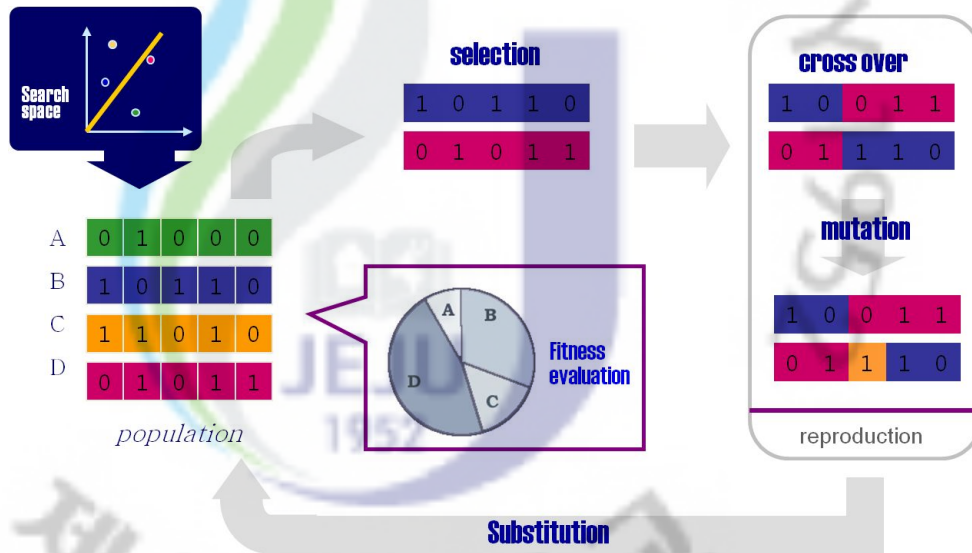


그림 4. 유전자 알고리즘 절차

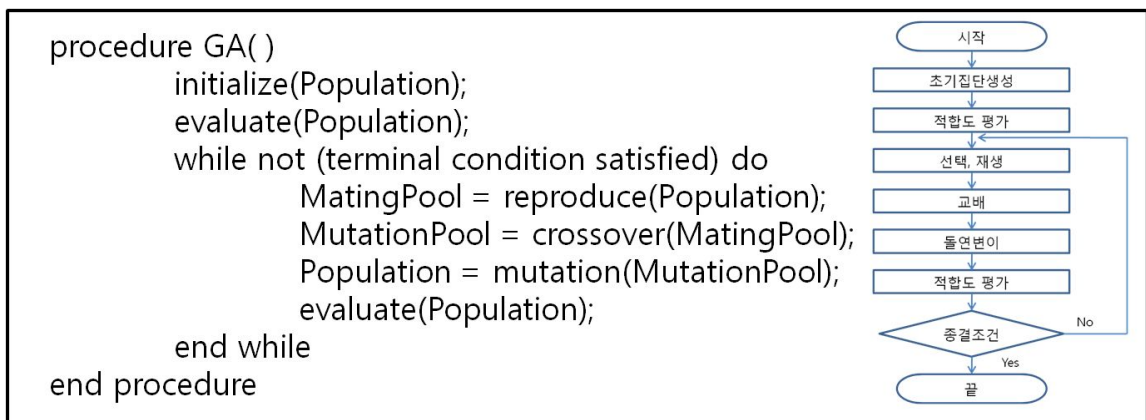


그림 5. 유전자 알고리즘 흐름도

(2) 유전자 알고리즘 연산 방법

유전자 알고리즘에 선택, 교배, 돌연변이 세 가지의 기본적인 연산방법이 있다. 선택(selection)은 교배를 할 유전자를 선택하는 연산자로서 비례 선택법(proportionate selection), 토너먼트 선택법(truncation selection), 순위기반 선택법, 균등 선택법(stochastic universal selection)등이 있다. 비례 선택법은 개체의 '적합도'에 비례하여 다음 세대군에 존재할 자손의 수를 결정하는 것이 기본원칙이다. 적합도가 높을수록 선택될 확률이 높아지지만 적합도가 낮은 개체는 선택될 확률이 거의 0에 가깝다. 그림 6은 적합도 비례 선택법의 예이다. 개체 각각의 선택확률을 정하고, 임의로 발생시킨 난수를 통해 하나의 개체를 선택하는 방법으로 개체군의 크기만큼 개체를 선택한다. 가장 일반적으로 적용되는 방식이며, 아무리 적합도가 낮은 개체라도 경우에 따라서는 하나 이상의 개체를 복제할 수 있어 선택 강제 정도는 상대적으로 낮아지지만 적합도가 높은 개체일수록 선택될 확률이 크기 때문에 원래 목적에는 어긋나지 않는다. 전기자동차 최적 충전에서는 비례선택법을 이용하여 적합도가 큰 값을 선택하도록 설정하였다[23].

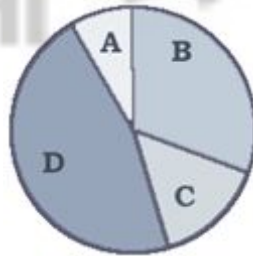


그림 6. 룰렛 휠 예

토너먼트 선택법은 두 개의 염색체를 임의로 선택하여 (0, 1) 범위의 난수를 발생 시킨 다음, 이것이 t 보다 작으면 두 염색체 중 품질이 좋은 것을 선택하고 그렇지 않으면 품질이 나쁜 것을 선택하는 것이다. t 값이 클수록 선택강도는 높아진다. 순위기반 선택법은 적합도 비례 선택에서 k 값을 조정함으로써 좋은 품질의 해와 나쁜 품질의 해가 지나치게 적합도가 차이가 나는 것을 막을 수 있다. 그러나 적합도 분포는 조절할 수 없다. 순위기반 선택은 해집단 내의 해들을 품

질 순으로 순위를 매긴 다음 가장 좋은 해부터 일차 함수적으로 '적합도'를 배정하는 방법이다. 균등 선택법은 모든 개체를 동일한 확률로 선택하는 방법이다 [21].

교배(crossover)는 2개의 염색체 사이에서 유전자를 바꾸어 넣어 새로운 개체를 발생시키는 것이다. 교배방법에는 단순 교배, 복수점 교배, 균등 교배, 부분일치 교배, 순서 교배, 주기 교배 등이 있다. 그림 7과 같이 하나의 교배점을 기준으로 바꾸는 것을 의미한다.



그림 7. 단순 교배

그림 8은 복수점 교배 방법으로 두개 이상의 교배점을 기준으로 바꾸는 것을 의미한다.

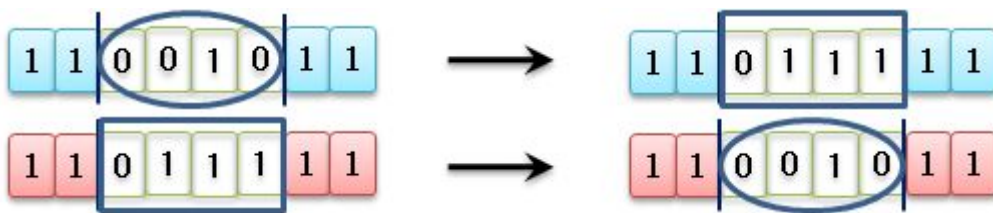


그림 8. 복수점 교배

돌연변이 연산은 개체의 각 유전자좌의 유전자에 대하여 일정한 돌연변이 확률을 적용하여 대립유전자 값으로 바꾸는 것이다. 돌연변이는 잃어버린 유전형질을 복구하여 다양성을 유지하기 위한 목적으로 사용된다. 그림 9는 돌연변이의 한 예이다.



그림 9. 돌연변이

3) 유전자 알고리즘의 특성과 최적 충전

유전자 알고리즘은 파라미터를 코딩한 것을 직접이용하며 다점탐색 방법을 이용한다. 탐색에 적합도 함수를 이용하기 때문에 다른 부가적인 지식이 필요가 없다. 따라서 전기자동차 최적충전에서도 과거 요금 데이터만 고려했을 뿐 부가적으로 부하량, 날씨, 전력사용량 등 어려운 연산을 고려하지 않았다. 결정론적인 규칙이 없고 확률적 연산자를 사용하여 수행한다. 다른 탐색 또는 최적화 방법 중 하나인 계산에 의존한 방법을 사용하여 돌연변이 연산자를 사용하기 때문에 전역적인 해를 구할 가능성이 높은 방법이다[21][24].

(1) 유전자 알고리즘의 장점

첫째, 유전자 알고리즘은 복수 개의 개체 사이의 상호 협력의 해의 탐색이 가능하다. 복수의 개체 사이에서 선택이나 교배 등의 유전자 조작의 의해서 상호 협력적으로 해의 탐색을 수행하고 있다. 따라서 단순한 병렬적 해의 탐색과 비교하여 보다 좋은 해를 발견하기 쉬운 편이다. 둘째, 어려운 연산이 필요하지 않다. 뉴럴 네트워크 같은 알고리즘 등에는 평가 함수의 미분 값을 필요로 하였다. 유전자 알고리즘에서 적응도를 분할 할 수 있으면 되기 때문에 알고리즘이 단순하고, 평가 함수가 불연속적인 경우에도 적용이 가능하다. 전기자동차 최적충전에서도 이런 장점 때문에 유전자 알고리즘을 사용하였다.

(2) 유전자 알고리즘의 단점

대상으로 하는 문제를 유전자 알고리즘으로 해결하기 위한 일반 방법이 없다. 특히 문제의 유전자형으로 표현은 설계자의 숙달로 되어 있다. 개체수, 선택 방

법이나 교배법의 결정, 돌연변이의 비율 등 파라미터의 수가 많다.

(3) 유전자 알고리즘의 응용 및 동향

유전자 알고리즘의 형태는 간단하지만 이미지, 문서 인식, 조합최적화, 스케줄링, 화상복원, 평면레이아웃, 패턴인식, 유향그래프 배치, 인공지능 등 다양한 분야에서 사용된다. 표 3은 유전자 알고리즘의 사용목적에 따른 응용사례의 예이다 [21][25].

표 3. 유전자 알고리즘의 응용

사용목적	사용사례
최적화	수치최적화, 회로의 레이아웃, 직부분배계획
자동프로그래밍	특정한 문제에 대한 컴퓨터 프로그램 진화
기계학습	날씨, 단백질 구조 예측, 신경망의 가중치, 분류 시스템이나 기호생성 시스템을 위한 학습규칙
경제학	기술 혁신, 입찰전략의 발전, 경제 시장의 발현 과정 모델
면역체계	면역 체계의 여러 관점을 모델
생태학	생물학적 무기경쟁, 공생, 자원의 흐름과 같은 생태학적 현상 모형화
제어 및 로봇틱스	도립진자의 제어, 이동 로봇의 경로계획 등

유전자 알고리즘을 이용하여 적용된 논문을 살펴보면 “한국 주가지수 등락 예측을 위한 유전자 알고리즘 기반 인공지능 예측기법 결합모형”은 주식의 등락을 판단하는데 활용되는 임계치를 유전자 알고리즘을 이용해 동시에 최적화하도록 설계하였다[26]. “변형된 유전자 알고리즘을 이용한 참조벡터의 최적화”는 패턴인식에서 오분류 수를 최소화하기 위한 참조벡터 생성에 관한 것으로 신경회로망에서의 학습기능과 유전자 알고리즘의 최적화 방법들의 특성을 이용하여 변형된 유전자 알고리즘을 제안했다[27].

III. 유전자 알고리즘을 이용한 전기자동차 최적충전

1. 개요

본 연구에서는 스마트 그리드의 실시간 요금제 환경에서 유전자 알고리즘을 이용한 가정에서의 전기자동차 최적 충전 방법을 제안할 것이다. 기존의 고정요금제 환경에서는 쓴 만큼 사용요금이 부과되기 때문에 전기자동차 최적 충전 방법을 고려할 필요는 없다. 하지만 경제적, 산업적으로 급속한 발전을 이루면서 수요전력이 증가함에 따라 전력을 최대로 사용할 경우 과부하 상태로 압력을 받게 되어 정전을 일으키거나 전력품질을 저하시켜 경제적으로 나쁜 영향을 주기 때문에 이를 해결하기 위해서 정부는 정책적으로 전력의 부하를 분산을 유도할 수 있는 방법인 스마트 그리드에서의 실시간 요금제를 추진하려고 시범 실시중이다[2]. 미국에서의 실시간 요금제는 보통 하루 전에 요금이 공시되거나, 1시간 전, 최대 5분 단위로 변화하며 적용된다. 따라서 이러한 정책이 적용될 경우 사용자 입장에서 이를 매번 확인, 고려하여 전기자동차를 값싸게 충전하는 것은 불가능하므로 이를 해결하기 위해서는 과거 전기 요금을 분석하여 충전하는 시점의 최적화된 충전시간을 알아낼 수 있도록 유전자 알고리즘 적용이 필요하다. 최적화된 충전 시간을 찾아내기 위해서는 과거의 요금데이터와 유전자 알고리즘에 최적화된 유전자를 지정하는 것이 필요하다. 그리고 이 유전자를 평가하여 최적의 충전시간을 가진 유전자인지 판별할 수 있는 적합도 함수가 필요하다. 이외에도 유전자 알고리즘의 교배, 돌연변이의 각종 연산방법과 확률을 지정해 주어야 한다. 본 논문은 유전자 알고리즘을 사용하여 과거의 요금데이터를 바탕으로 전기자동차를 최적으로 충전하는 시간을 찾아 사용자의 요구에 맞게 제공할 것이다. 가정에서 전기자동차를 충전하기 때문에 배터리 교환방식은 고려하지 않았다.

2. 시스템 구성

유전자 알고리즘(GA : Genetic Algorithm)을 이용해 전기자동차 최적 충전 방법을 제공하기 위해 사용자가 원하는 충전 상황과 시간을 입력하고 전기자동차 최적충전시간을 요청하면 GA 기반 최적화 모듈은 과거 요금데이터를 바탕으로 유전자를 분석한다. 그림 10은 전체적인 처리 개념도이다.

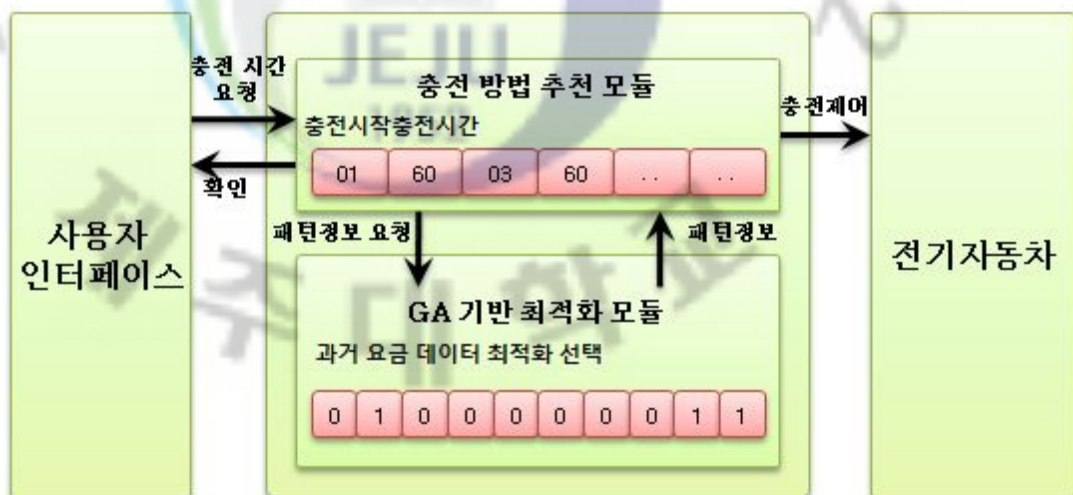


그림 10. 유전자 알고리즘을 이용한 최적 충전 개념도

일정 시간(충전하기 바로 전, 사용자 정의시간 등)이 되면 유전자 알고리즘 기반 최적화 모듈은 과거의 요금데이터를 가지고와서 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화된 충전시간 데이터를 생성한다. 사용자가 원하는 충전상황(충전시작시간, 충전종료시간)을 입력하고 전기자동차 최적 충전을 요구하면, 충전 방법 추천 모듈은 유전자 알고리즘 기반 최적화 모듈로부터 과거 요금 데이터를 분석하여 사용자에게 충전 방법을 제공한다. 사용자는 이를 확인하고 전기자동차를 충전하게 된다.

3. 과거 요금데이터 및 데이터베이스

1) 과거 요금데이터

본 논문에서 사용되는 과거 요금 데이터는 미국의 일리노이주의 ComEd 전력 회사의 평균 RTP(Real Time Pricing) 정보를 바탕으로 설계되었다. 제주의 스마트 그리드의 실증단지의 실시간 요금 데이터를 활용할 수 있겠지만 아직 시험 데이터이기 때문에 과금체계가 확실하지 않아 실시되고 있는 미국의 요금제를 사용하였다. 그림 11은 ComEd의 2008년도 평균 실시간 요금제 패턴을 보여준다 [10].

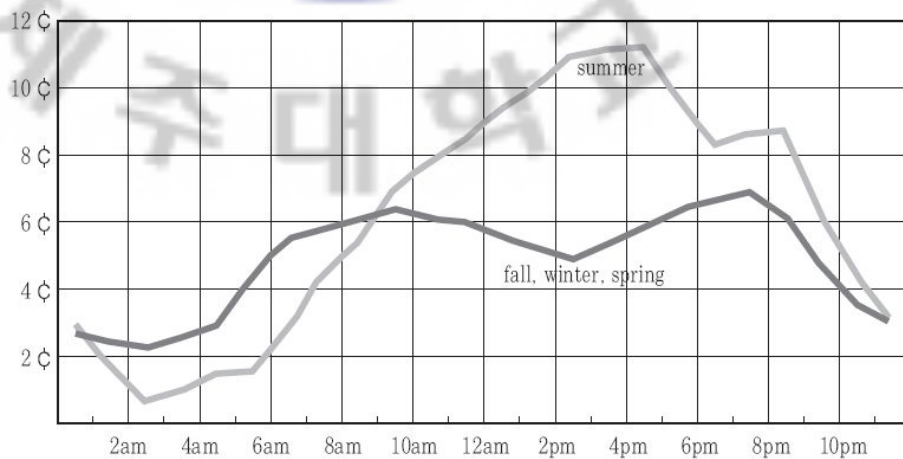


그림 11. ComEd 전력회사 2008년도 평균 실시간 요금제 패턴

미국의 대부분의 실시간 요금은 하루 전 가격에 근거하고 있다. 시간별 피크 가격을 계산하기 위해서 1일전 피크가격으로 실시간별 서부가격의 역사적 2년간 데이터를 사용한다. 오프피크 시간에 대해서는 이전 달에 대한 1일 거래 중간점의 평균을 계산하기 위해서 오프피크 전력에 대한 1일 전 현물시장의 역사적 1일 거래 데이터를 사용한다. 이외에 항목화된 배달 서비스, 송전 및 부가 서비스, 미터, 이전 부과금을 포함하고, 고정비 회수에 대한 에너지 부과금에 10% 부과

금을 포함시킨다[28]. 그리고 일반적으로 근무일(화~금), 월요일, 토요일, 일요일에 따라 다르게 나타난다[4]. 따라서 최근요금, 하루 전 요금과 요일별 요금 데이터를 바탕으로 최적화 설계를 하였다.

2) 요금 데이터베이스

표 4는 유전자 알고리즘을 이용한 전기자동차 최적 충전에 필요한 과거 실시간 요금의 정보를 저장한 optimalcharge DB의 genpool 테이블 레이아웃이다.

표 4. 실시간 요금 데이터 레이아웃

필드명	속성명	TYPE	키형태	Nulls
num_id	고유 구별 id	varchar(64)	pk	no
date	날짜	varchar(64)	pk	no
day	요일	varchar(64)		
midnight	자정	varchar(64)		
one_time	AM 01:00	varchar(64)		
two_time	AM 02:00	varchar(64)		
three_time	AM 03:00	varchar(64)		
four_time	AM 04:00	varchar(64)		
five_time	AM 05:00	varchar(64)		
six_time	AM 06:00	varchar(64)		
seven_time	AM 07:00	varchar(64)		
eight_time	AM 08:00	varchar(64)		
nine_time	AM 09:00	varchar(64)		
ten_time	AM 10:00	varchar(64)		
eleven_time	AM 11:00	varchar(64)		
twelve_time	AM 12:00	varchar(64)		
thirteen_time	PM 01:00	varchar(64)		
fourteen_time	PM 02:00	varchar(64)		
fifteen_time	PM 03:00	varchar(64)		
sixteen_time	PM 04:00	varchar(64)		
seventeen_time	PM 05:00	varchar(64)		
eighteen_time	PM 06:00	varchar(64)		
nineteen_time	PM 07:00	varchar(64)		
twenty_time	PM 08:00	varchar(64)		
twenty_one_time	PM 09:00	varchar(64)		
twenty_two_time	PM 10:00	varchar(64)		
twenty_three_time	PM 11:00	varchar(64)		

4. 전기자동차 최전 충전 설계

본 논문에서는 가정에서 유전자 알고리즘을 이용하여 전기자동차의 최적 충전 시간을 제공하는 응용 서비스를 제안한다. 유전자 알고리즘에 적용에 포함된 과정들은 초기유전자 결정, 유전자 적합도 평가, 교배 연산, 돌연변이 연산, 종결조건으로 구성된다.

1) 초기 유전자 결정

모든 해는 염색체로 표현되어야 한다. 유전자 알고리즘을 이용한 전기자동차 충전 패턴의 해는 가장 전형적으로 이진 스트링 형의 염색체로 표현하였다. 그림 12는 초기 유전자로 사용한 염색체의 표현이다.



그림 12. 초기 염색체 해의 표현

각 유전자의 의미는 과거 요금데이터 중 어느 날의 요금데이터를 가지고 최적화된 예정요금 데이터를 생성할 것인지에 대한 정보이다. 0일 경우에는 이 데이터는 사용하지 않는다는 의미이고, 1일 경우에 데이터를 사용한다는 의미이다. 0과 1은 일정 % 확률로 난수를 발생시켜 생성된다. 즉 그림 13에서 3월 4일, 7일 8일 등의 24시간 요금데이터를 사용하여 최적화된 충전시간을 찾게 되는 것이다. 염색체의 해의길이는 69개로 선정하였다. 56개는 선택될 수 있는 과거 요금데이터이다. 일반적으로 계절의 변화의 따라 요금의 변화가 있기 때문에 환절기 기간을 제외한 약 2달가량을 선정하였다. 나머지 13개의 유전자중 6개는 충전하는 날

과 가장 가까운 날이고 7개는 같은 요일에 관한 평가기준 데이터이다. 이는 대부분의 실시간 요금은 하루 전 가격에 근거하고 있으며 근무일(화~금), 월요일, 토요일, 일요일에 따라 요금이 다르기 때문이다. 따라서 하루 전 요금과 요일별 요금 데이터를 바탕으로 평가기준 데이터를 설계하였다[4][10]. 설계된 평가기준 데이터는 유전자가 알아서 결정해 준다[22]. 이러한 염색체들의 수와 유전자의 수는 설계자의 의해 조절될 수 있고 염색체들이 모여서 하나의 유전자 풀을 생성하는데, 그림 13은 유전자 알고리즘을 이용한 전기자동차 최적충전에 사용된 초기 유전자 풀이다. 이는 랜덤으로 발생된 결과이기 때문에 프로그램을 시작할 때마다 다르다.



그림 13. 전기자동차 최적충전 초기 유전자 풀

2) 유전자 적합도 평가

유전자 알고리즘에서 적합도(Fitness)를 평가하는 것은 아주 중요하다. 그 이유는 최적화를 시킬 때 자가기 목표로 한 값을 기준으로 적합도가 커지면 최적화되어가는 것으로 판별하고 반대로 값이 낮아지면 적합도 함수를 잘못 구성하였다고 할 수 있기 때문이다. 적합도(Fitness) 값이 1에 가까울수록 최적화가 되고 있다는 증거이다. 하지만 이 1의 값은 무의미하다. 단지 최적화되고 있는 과정이기 때문이다[20]. 전기자동차를 최적 충전하기 위한 적합도 함수는 수식2와 같이 정의 내렸다. SPsk는 유전자가 찾은 평가 기준 날(같은 주, 과거 같은 요일)의 평균 최적충전 시간에 전기요금을 의미하며, Csk는 유전자가 찾은 과거 선택된 날짜에서 기준 날의 최적충전 시점의 전기요금을 의미한다. 유전자 알고리즘 이용하여 충전하는 날의 전기자동차 충전시간을 찾기 위해 유전자는 평가 기준 날짜를 염색체 마다 정하고 그와 비슷한 전기요금을 가지는 날들을 조합하여 최적의 충전시간인지를 평가하는 것이다. 수식1은 기준 날의 요금을 비교하여 근접하다면 적은 값이 나온다. 따라서 이를 평가값으로 이용하기 위해 수식2를 적용하여 '적합도'를 구하였다.

$$F = \frac{\sum_{k=1}^n |SPsk - Csk|}{n}$$

수식 1. 적합도 측정

$$Fitness = \frac{1}{F}$$

수식 2. 적합도 함수

3) 선택, 교배, 돌연변이 연산

선택은 일반적으로 쓰이는 방법인 적합도가 큰 것이 선택될 확률이 높아지는 적합도 비례 선택방법을 사용하였다. 교배 방법은 자손세대의 새로운 염색체 구성으로 적합도 함수 값의 변화는 있지만 부모세대의 형질을 전체적으로 변화시키지 않기 위해서 단순 교배방법을 사용하였고 확률은 50%를 적용하였다. 돌연변이 확률은 2%로 적용하였다. 너무 확률이 높으면 최적화된 값을 찾는데 너무 오래 걸리기 때문이다.

4) 종료 조건

종료 판정 조건은 적용하는 문제에 따라 적용한다. 대개 개체군 내의 최대의 적합도가 설정된 임계값을 넘은 경우, 개체군 전체의 평균 적합도가 설정된 임계값을 넘은 경우, 세대 교대의 회수가 미리 설정한 회수를 넘은 경우 종료시킨다. 전기 자동차 최적 충전의 경우에는 특정 세대수를 지정하여 세대수를 초과 하였을 때 종료시킨다.

5. 전기자동차 최적충전 처리 과정

유전자 알고리즘을 이용한 전기자동차 최적충전은 과거의 요금 데이터를 바탕으로 충전하고자하는 날의 요금데이터의 최적화된 충전시간을 찾아내는 것이 목적이다. 이를 위해 간단한 예로 실시간 요금제 환경의 요금 데이터를 바탕으로 최적 충전 요금 시간을 찾아내는 응용으로 구성하였다. 유전자 알고리즘은 사용자가 충전 요청을 할 경우나 일정시간이 되면 한번 돌아간다. 과거 요금의 변화 폭이 거의 없는 시간대나, 설정시간 때가 되면 다음날의 최적화된 충전 시간을 찾기 시작한다.

1) 유전자 알고리즘 모듈

(1) 데이터 생성

유전자 알고리즘이 돌아가기 시작하면 처음에는 데이터 생성과 관련된 모듈로서 초기 유전자 생성 모듈은 난수를 발생시켜 어느 날의 과거 요금데이터를 가지고 최적화 충전시간을 찾을 것인지에 대한 정보를 만든다. 이러한 정보들은 프로그램을 시작할 때마다 다르다. 유전자 재생산 모듈은 유전자 알고리즘의 연산 과정선택, 교배, 돌연변이를 거쳐, 도태된 유전자 데이터를 버리고 진화된 유전자를 바탕으로 좀 더 나은 결과를 얻기 위해 새로운 유전자를 포함시키는 과정을 진행한다. 물론 이 과정 이후에 더 좋은 유전자들이 나올 확률이 높지만, 그렇지 않은 경우도 있다.

(2) 데이터 평가

평가 모듈은 DB에 있는 과거 요금 데이터 바탕으로 최적충전 조건 분석 결과와 유전자 각각의 요금 데이터 정보를 비교하여 그 차이가 설계자가 설계한 값보다 적을 경우 최적화된 충전시간이라 판별한다. 이는 전력회사 혹은 정부의 시장정책을 반영하기 때문에 상황에 따라 달라질 수 있다. 미국의 실시간 요금제를

2) 충전방법 추천 관리자 모듈

충전방법 추천 관리자 모듈은 일정시간이 되면 유전자 알고리즘을 통해 최적화된 데이터를 받는다. 사용자에게 몇 시에서 몇 시까지 충전하라는 충전 요구사항을 받으면 최적화된 패턴 요금데이터에서 사용자 요구사항에 따라 충전되는 시간 정보를 제공한다. 예를 들어 사용자가 퇴근 후 저녁 9시에서 내일 아침6시 출근 전까지 충전하라는 요구사항이 있을 경우 충전 관리자 관련 모듈은 9시에서 6시까지 중 가장 저렴한 요금패턴 충전시간인 오전 1시 2시, 3시, 5시의 요금이 제일 저렴할 것이라고 사용자에게 제공해준다. 그림 17은 충전방법 추천 관리자 모듈을 나타냈다.

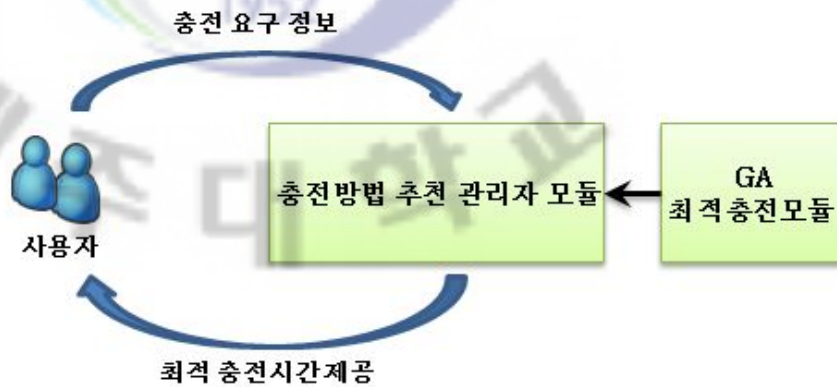


그림 17. 충전방법 추천 관리자 관련 모듈

3) 전기자동차 최적 충전과정

본 논문에서는 스마트 그리드 환경에서 효율적인 전기자동차 충전을 위해 유전자 알고리즘을 이용한 최적화 관리자와 연동한다. 충전 방법 추천 관리자는 사용자의 요구사항을 입력받으면 GA기반 최적화 관리자가 분석한 충전시간을 최적화된 데이터를 바탕으로 사용자에게 알려준다. 사용자는 받은 정보를 바탕으로 이 방법으로 충전할 것인지에 대한 응답을 보내 전기자동차 충전을 한다. 그림 18은 유전자 알고리즘을 이용한 최적충전 처리과정이다.



그림 18. 유전자 알고리즘을 이용한 최적충전 처리과정

IV. 실험

1. 개요

본 논문에서는 스마트 그리드 환경에서 사용자가 전기자동차를 저렴하고 편리하게 충전 할 수 있는 충전시간정보를 제공할 수 있도록 과거 실시간 요금을 바탕으로 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화한다.

최적화와 탐색 등에 주로 이용되는 유전자 알고리즘의 적용 절차에 따라 날짜에 따른 선택 데이터와 평가 데이터를 사용하여 유전자 구조를 만들고, 만든 유전자 데이터를 사용하여 선택, 교배, 돌연변이 연산을 통해 실시간 요금데이터의 최적화 정보를 생성하고, 생성된 최적 데이터를 바탕으로 사용자의 최적충전요구가 있을 경우, 사용자가 입력한 상황에 맞게 전기자동차 충전시간정보 제공 서비스를 실험한다. 이 장에서는 III장에서 유전자 알고리즘 기반으로 설계한 전기자동차 최적충전시간 정보 제공 서비스를 구현하여 작성된 시나리오를 바탕으로 효율성 및 자체 테스트를 수행하여 결과를 분석한다.

2. 실험 환경

본 논문에서 제안한 전기자동차 최적충전은 표 6의 환경에서 실험하였다.

표 6. 구현 환경

구분	하드웨어	소프트웨어	비고
최적화 알고리즘 구현 및 실행	Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E8400 @3.00Ghz, 3.00GB RAM	Microsoft Windows 7 Pro Sun Java SDK 1.60_23 Eclipse SDK 3.2	Java
사용자 인터페이스	Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E8400 @3.00Ghz, 3.00GB RAM	Microsoft Windows 7 Pro Sun Java SDK NetBeans IDE 6.7.1	Java
데이터 베이스	Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E8400 @3.00Ghz, 3.00GB RAM	Microsoft Windows 7 Pro My-Sql My-Sql 5.5	My-Sql

유전자 알고리즘을 이용한 전기자동차 최적충전은 이클립스를 이용하여 Java 언어로 구현하였고, 간단한 실험 사용자 인터페이스는 NetBean의 인터페이스 틀로 구현하였다. 사용되는 과거 요금데이터는 My-Sql을 이용한 DB에 저장하였다.

3. 주요 클래스

전기자동차 최적충전 주요 클래스는 그림 19와 같이 구현하였다. 전기자동차 최적충전 패키지는 유전자 알고리즘을 적용하는 유전자 알고리즘 (genetic_algorithm) 패키지, 초기 유전자 데이터와 과거 실시간 요금 데이터를 관리하는 데이터(data) 패키지, DB와 연결하는 dbconnect 패키지, 최적화된 결과를 보여주는 display 패키지가 있다. 프로그램은 유전자 알고리즘 패키지의 Gen_Main.java 클래스에서 시작된다.

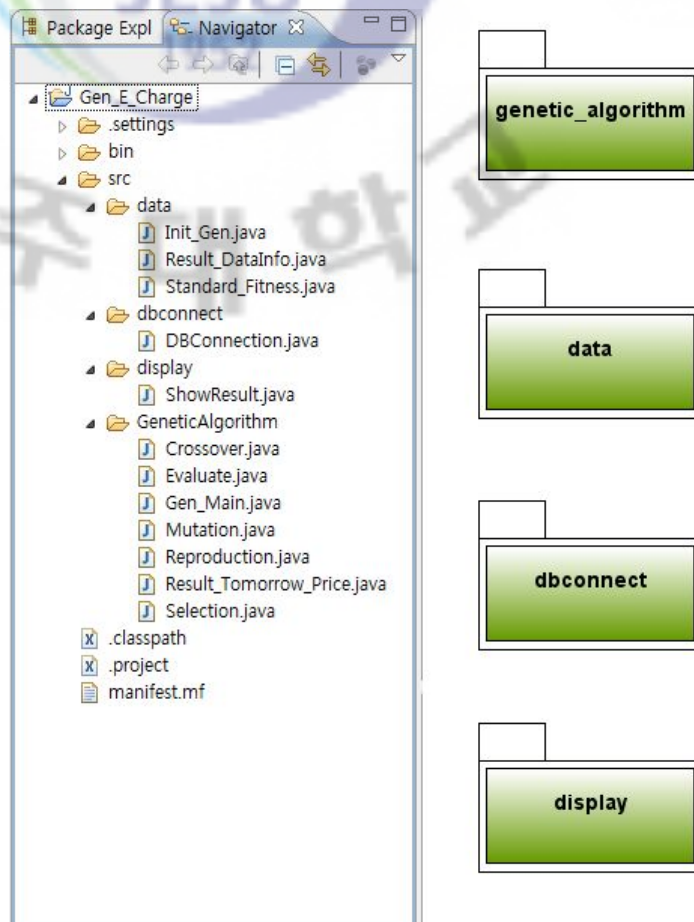


그림 19. 전기자동차 최적 충전 패키지 구현

1) 유전자 알고리즘 패키지(genetic_algorithm package)

유전자 알고리즘 패키지는 전기자동차 최적충전에서 가장 중요한 역할을 담당하는 패키지이다. 생성된 초기 유전자 데이터를 가지고 평가, 선택, 교배, 돌연변이 연산을 통해 사용자에게 제공할 최적 충전시간 데이터를 생성한다. Gen_Main 클래스는 전체 클래스들을 관리하는 메인클래스이다. Evaluate 클래스는 유전자를 평가하여 교배될 유전자를 선택하기 위한 조건과 알고리즘 종료 조건을 검사하는 클래스이다. Selection 클래스는 교배될 유전자를 선택하는 클래스이고, Crossover 클래스는 선택된 클래스에 대해 교배연산을 수행한다. Mutation 클래스는 유전자를 일정확률로 돌연변이 시키는 클래스이다. Reproduction 클래스는 진화된 유전자와 새로운 유전자를 포함시켜 새로운 유전자 풀을 만드는 클래스이다. 그림 20은 유전자 알고리즘 패키지 클래스를 나타냈다.

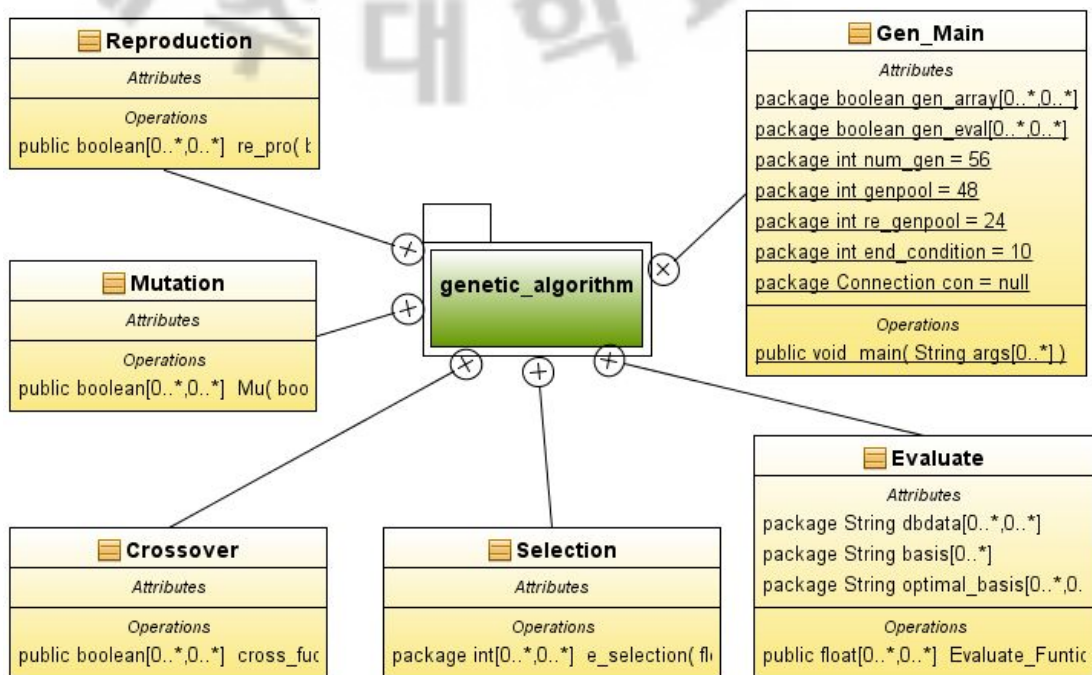


그림 20. 유전자 알고리즘 패키지 클래스

2) 데이터 패키지(data package)

데이터 패키지는 유전자 알고리즘에 사용되는 데이터들을 생성하거나 추출하는 패키지이다. Init_Gen 클래스는 초기 유전자와 Reproduction 과정에서 유전자를 생성시키는 클래스이다. 0 과 1을 이용하여 특정 확률로 유전자를 생성한다. Standard_Fitness 클래스는 생성된 유전자를 바탕으로 DB에서 수집된 요금 데이터 중에 평가 조건이 될 유전자를 수집하는 클래스이다. Result_DataInfo 클래스는 유전자 알고리즘의 진행된 세대수와 최적화에 이용된 유전자들의 인덱스를 불러오는 클래스이다. 그림 21은 데이터 패키지의 클래스를 나타낸다.

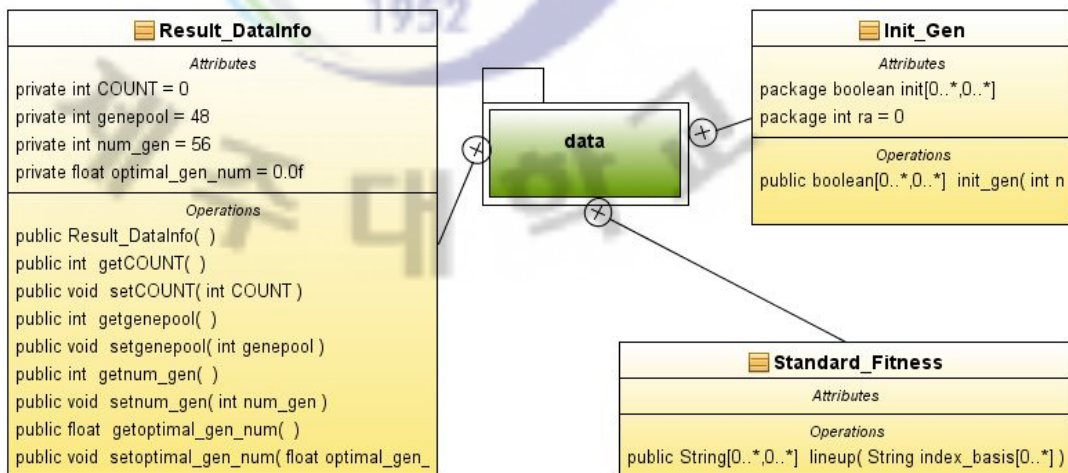


그림 21. 데이터 패키지 클래스

3) display, dbconnect 패키지

dbconnect는 과거 요금데이터 DB에 대한 연결을 관리하는 패키지이다. DBConnetion 클래스가 이 역할을 담당한다. display 패키지는 유전자 알고리즘을 최적화된 결과를 출력하는 패키지이다. ShowResult 클래스는 유전자 알고리즘이 진행되는 과정과 최적화 결과를 보여준다. Result_Tommorrow_price 클래스는 최적화된 실시간 요금 패턴을 사용자에게 보여준다. 그림 22는 display, dbconnet 패키지를 보여준다.

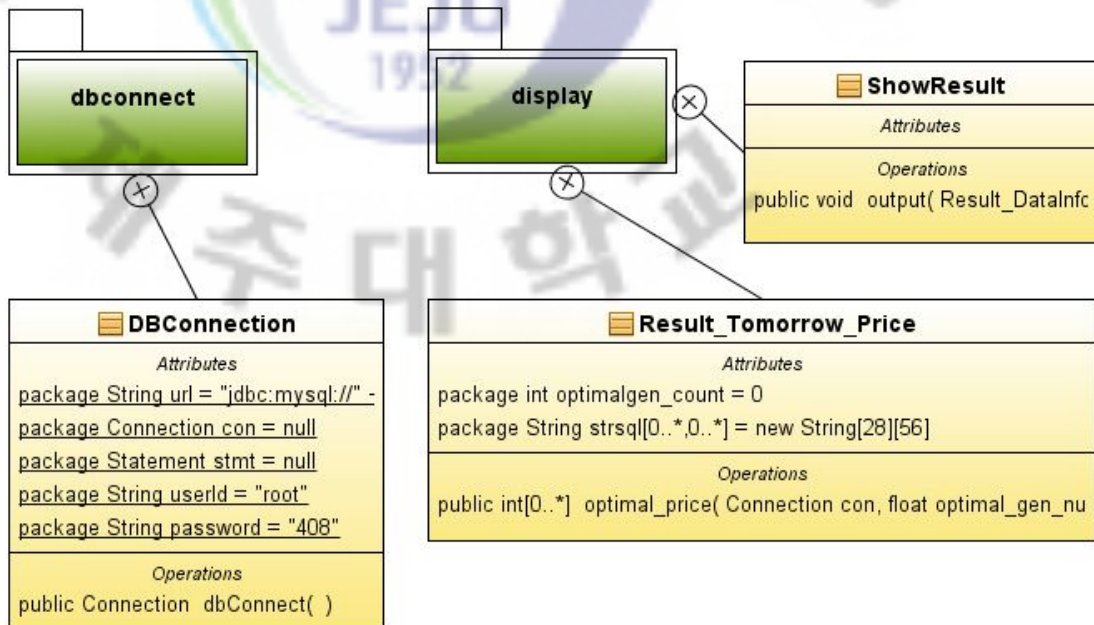


그림 22. display, dbconnect 패키지 클래스

4. 실험 결과

1) 가정 시나리오

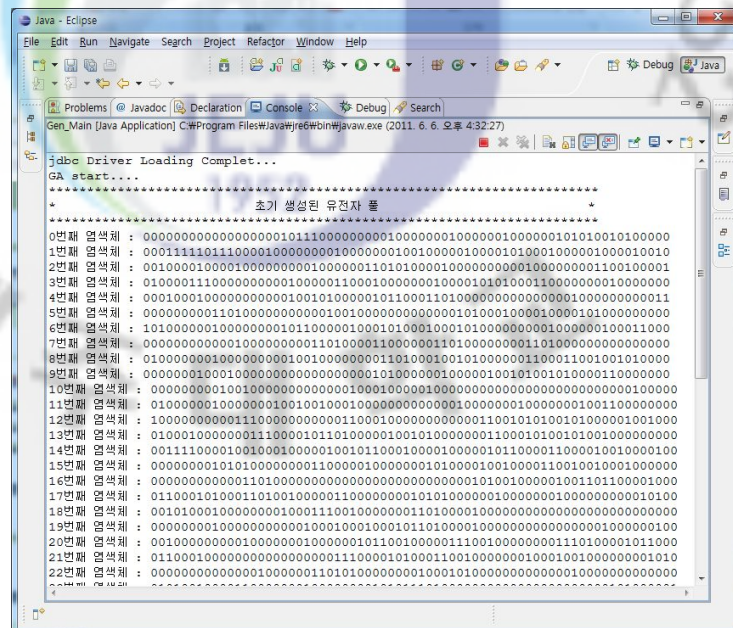
본 실험에서는 일정시간이 되면 유전자 알고리즘을 이용한 전기자동차 최적 충전 시간을 찾기 위해 프로그램이 실행된다. 과거 요금 데이터는 실시간 요금제를 채택하고 있는 미국 일리노아주의 ComEd 전력회사의 3월1일 ~ 4월 25일까지의 실시간 요금 데이터를 이용하여 DB에 56일치의 데이터를 미리 저장하였다. 사용자의 요구사항 상황은 24시간 동안 충전할 수 있도록 하루 종일 자동차를 사용안하도록 설정 하였으며, 전기자동차의 배터리의 충전상태는 현재 0%이고 약 70%충전을 목표로 하였다. 가정에서 충전하기 때문에 배터리 교체용이 아닌 PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle) 차량만을 고려하였고, 가정용 충전기를 사용하여 전기자동차를 4시간 동안 충전할 경우 충전이 완료된다[16]. 충전 시간은 4시간 연속으로 충전하지 않고 1시간씩 요금이 변동하므로 4구간으로 나누어 충전된다. 날씨 혹은 기온 데이터, 발전소 보수, 전력의 보완재(천연가스, 석탄 등) 비용 등의 기타 정보는 고려하지 않았다. 표 7은 가정 시나리오 환경을 정리한 내용이다.

표 7. 가정 시나리오 환경

구분	내용
전기자동차 배터리 (준중형세단, Compact Car PHEV, 현대 아반떼 급)	<ul style="list-style-type: none"> 충전용량 : 12.4kWh 가정 충전 용량 : 8.8kWh
총 충전시간	<ul style="list-style-type: none"> 24시간
목표 충전까지 걸리는 시간	<ul style="list-style-type: none"> 4시간, 0% ~ 70%
충전기	<ul style="list-style-type: none"> 가정용, 220V, 15A
과거 요금 실시간 전기요금 데이터	<ul style="list-style-type: none"> 미국 일리노아주 ComEd 실시간 요금, 3월1일 ~ 4월 25일

2) 실험 결과

유전자 알고리즘을 적용하여 최적화하는 과정과 내용을 설명하면 다음과 같다. 그림 23은 랜덤으로 처음에 생성한 유전자 풀이다. 0번째 염색체를 분석해보면 0~55 유전자는 1값을 가진 위치의 날의 요금정보를 바탕으로 최적화 충전시간을 찾는 정보로 이용한다는 뜻이다. 56~68 유전자는 평가기준 날의 유전자 선택을 의미한다.



```
Java - Eclipse
File Edit Run Navigate Search Project Refactor Window Help
Gen_Main [Java Application] C:\Program Files\Java\jre6\bin\javaw.exe (2011. 6. 6. 오후 4:32:27)
jdbc Driver Loading Complet...
GA start...
*****
* 초기 생성된 유전자 풀 *
*****
0번째 염색체 : 00000000000000000101110000000100000010000001000000101010010100000
1번째 염색체 : 0001111101110000100000001000000100100000100001010001000001000010010
2번째 염색체 : 0010000100001000000001000000110101000010000000001000000001100100001
3번째 염색체 : 0100001100000000001000001100010000000100001010100011000000001000000
4번째 염색체 : 00010001000000000010010100000101100001101000000000000001000000000011
5번째 염색체 : 0000000001101000000000001001000000000001010001000010000101000000000
6번째 염색체 : 10100000010000000010110000010001010001000101000000001000000100011000
7번째 염색체 : 0000000000010000000011010000100000010100000001101000000001010000000000000
8번째 염색체 : 01000000000000000010010000000110100000001101000000011000011001001010000
9번째 염색체 : 00000001000100000000000000101000000100000100101001010000110000000
10번째 염색체 : 00000000010010000000000001000100000100000000000000000000000000000000000
11번째 염색체 : 01000001000000010010010001000000000001000000100000001001100000000
12번째 염색체 : 100000000011100000000001100010000000000011001010100101000001001000
13번째 염색체 : 010001000000011100001011010000010010100000001100010100101001000000000
14번째 염색체 : 00111100001001000100001001011000100001000001011000011000010010000100
15번째 염색체 : 00000000101010000000110000010000000101000010010000110010010010001000000
16번째 염색체 : 00000000000011010000000000000000000000000000000101001000001001101100001000
17번째 염색체 : 011000101000110100100000110000000010101000001000000010000000000010100
18번째 염색체 : 0010100010000000010001110010000001101000010000000000000000000000000
19번째 염색체 : 000000001000000000010001000100010110100001000000000000000000000000000001000
20번째 염색체 : 0010000000001000000010000001011001000001110010000000011101000001011000
21번째 염색체 : 011000100000000000000000011000010100011001000000010001001000000001010
22번째 염색체 : 000000000000001000000110101000000001000101000000000000100000000000000000000
```

그림 23. 초기 생성된 유전자 풀

그림 24는 생성된 유전자 각각을 평가한 것을 나타낸다. 평가된 유전자 분포도 값이 작을수록 최적화 되었다고 볼 수 있다. 현재 진행된 0세대에서는 평가한 결과 유전자 분포도 값이 유전자가 338, 468, 377 등으로 나타났고, 이는 세대가 진행될수록 평가된 평균 유전자 분포도 값이 낮아질 확률이 높다. 종료조건의 세대수는 7000세대로 설정하였다. 이는 상황에 따라 바뀔 수 있다. 일반적으로는 평가값이 높아야 최적이므로 평가값의 역수를 취해 평가값이 높은 것이 최적인 유전자로 설정할 수 있다. 이렇게 결정된 평가값을 바탕으로 진화시킬 유전자, 도태시킬 유전자를 선택하는데 본 연구에서는 50%를 도태시켜 총 48개의 염색체 중 24개의 염색체를 선택하여 교배, 돌연변이 연산을 수행하였다.

```

Java - Eclipse
File Edit Run Navigate Search Project Refactor Window Help
Gen_Main [Java Application] C:\Program Files\Java\jre6\bin\javaw.exe (2011. 6. 6. 오후 5:01:58)
jdbc Driver Loading Complet...
GA start...
*****
*                평가 데이터                *
*****
0번 유전자 분포도: 338
1번 유전자 분포도: 468
2번 유전자 분포도: 377
3번 유전자 분포도: 426
4번 유전자 분포도: 308
5번 유전자 분포도: 961
6번 유전자 분포도: 256
7번 유전자 분포도: 362
8번 유전자 분포도: 232
9번 유전자 분포도: 316
10번 유전자 분포도: 299
11번 유전자 분포도: 876
12번 유전자 분포도: 432
13번 유전자 분포도: 329
14번 유전자 분포도: 202
15번 유전자 분포도: 187
16번 유전자 분포도: 254
17번 유전자 분포도: 1036
18번 유전자 분포도: 331
19번 유전자 분포도: 308
20번 유전자 분포도: 390
21번 유전자 분포도: 353
22번 유전자 분포도: 235
23번 유전자 분포도: 231
24번 유전자 분포도: 216
25번 유전자 분포도: 295
  
```

그림 24. 유전자 평가

그림 25는 본 논문에서 구현한 유전자 알고리즘을 이용하여 세대가 진행됨에 따라 각 세대수에 따른 유전자의 평균 분포도의 변화를 나타낸다. 세대수가 진행됨에 따라 최적화된 평균 평가값이 일정해지고 있는 것을 볼 수 있다.

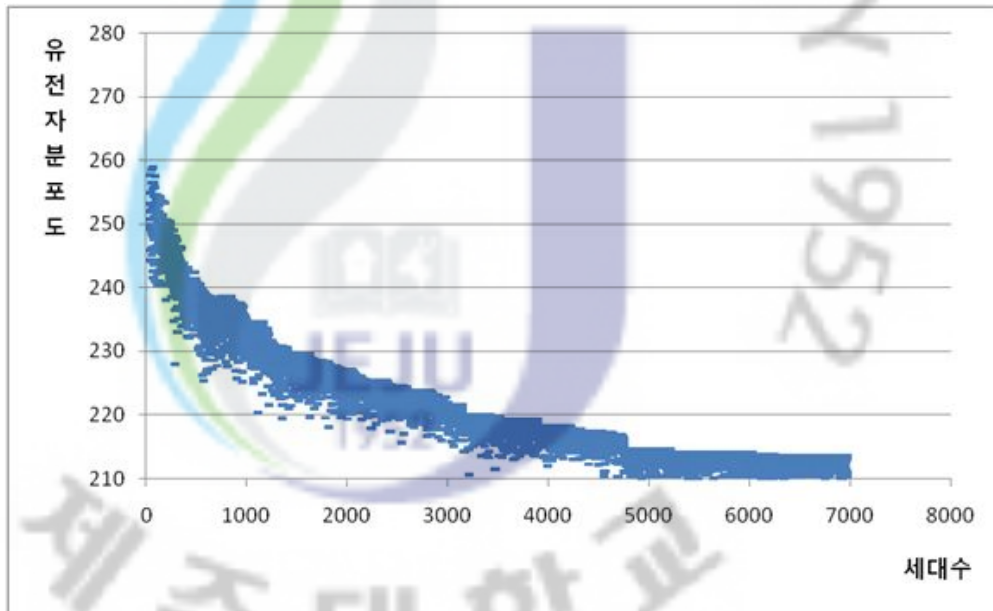


그림 25. 유전자 평가값 수렴

그림 26은 유전자 알고리즘을 이용한 결과 데이터를 나타낸다. 최적화된 충전 시간을 찾기 위해서 총 7000세대에 걸쳐 유전자 알고리즘이 진행되었고, 최적화 실행결과 3월 21일, 4일, 8일 등의 과거 요금데이터의 평균값을 사용하여 최적화된 유전자를 찾아냈다. 24시간 자동차를 이용하지 않고 전기자동차를 충전할 경우 AM 2시, 3시 4시, PM11시에 충전하면 가장 저렴하게 충전시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

```

Java - Eclipse
File Edit Run Navigate Search Project Refactor Window Help
Problems @ Javadoc Declaration Console Debug Search
<terminated> Gen_Main [Java Application] C:\Program Files\Java\jre6\bin\javaw.exe (2011. 6. 6. 오후 9:58:25)
*****
총 걸린 세대수 : 6000
최적 유전자는 0번째 : 0001101000000000001100101000000100000001000000000001001000000100000000
*****
최적화된 충전에 활용된 유전자
*****
3,3월 4일, 금요일, 33,33,32,32,33,32,33,38,41,44,47,40,37,31,34,33,36,37,41,39,41,37,35,32,
4,3월 5일, 토요일, 34,32,32,32,31,30,29,33,34,34,40,40,34,33,32,34,34,34,53,46,39,36,34,32,
6,3월 7일, 월요일, 39,38,38,38,36,37,118,59,61,55,88,50,40,47,41,38,39,42,68,119,52,42,37,34,
18,3월 19일, 토요일, 30,30,10,32,30,35,33,37,38,40,38,37,35,34,33,32,33,31,31,37,36,35,23,18,
19,3월 20일, 일요일, 16,17,15,15,5,15,13,25,21,32,34,35,34,32,30,31,32,31,41,41,44,22,29,10,
22,3월 23일, 수요일, 34,20,18,33,30,43,42,41,44,44,46,46,44,46,44,41,50,41,44,47,42,39,35,32,
24,3월 25일, 금요일, 33,32,31,8,33,41,89,48,45,48,38,40,45,40,37,37,36,35,41,40,41,40,37,29,
31,4월 1일, 금요일, 34,22,24,10,26,34,43,45,41,39,39,38,40,35,33,34,35,34,42,40,42,36,36,23,
39,4월 9일, 토요일, 9,36,30,25,29,32,33,31,36,39,42,42,46,38,37,37,37,36,36,18,24,33,21,29,
51,4월 21일, 목요일, 40,35,33,33,35,37,41,41,41,40,39,38,40,38,35,36,35,33,32,37,42,40,38,30,
54,4월 24일, 일요일, 38,35,30,30,31,31,33,37,61,42,44,45,34,35,32,37,29,32,39,40,50,40,36,32,
30,30,26,26,29,33,46,39,42,41,45,41,39,37,35,35,36,35,42,45,41,36,32,27,
*****
최적화된 유전자
*****
0시:30, 1시:30, 2시:26, 3시:26, 4시:29, 5시:33, 6시:46, 7시:39, 8시:42, 9시:41, 10시:45, 11시:41,
12시:39, 13시:37, 14시:35, 15시:35, 16시:36, 17시:35, 18시:42, 19시:45, 20시:41, 21시:36, 22시:32, 23시:27

```

그림 26. 유전자 알고리즘 진행결과

그림 27은 충전 방법 추천 관리자 인터페이스이다. 사용자가 전기자동차를 원하는 충전시작시간과 충전종료시간을 입력하면 유전자 알고리즘을 사용한 최적화된 데이터를 바탕으로 가장 저렴한 시간에 전기자동차를 충전하게 된다. 최적 충전 요청 결과, 총 충전 시간과 각 충전구간을 사용자에게 제공하여 응답을 받는 형식을 갖춘다.

그림 27. 충전 방법 추천 관리자 인터페이스

스마트 그리드 환경에서 전기자동차를 효율적으로 충전하기 위해 유전자 알고리즘을 사용하여 전기자동차 충전을 최적화하였다. 요금정책마다 약간의 차이는 있겠지만 하루 전 혹은 일반적으로 같은 요일에 따라 비슷하게 책정된다 [4][10]. 검증을 위해 미국 일리노아주의 ComEd 전력회사의 과거 실시간 요금을 바탕으로 사용하였다. 충전하고자하는 전기자동차 충전 일은 4월 26일이다. 하지만 검증시점에서는 이미 과거 데이터이므로 실제 26일 실시간 요금 데이터를 기준으로 하여 일반적인 사용자의 충전 패턴을 바탕으로 비교하였고 25일 시점에서 유전자 알고리즘을 통해 얻은 실험데이터와 이용하여 비교하였다. 비교한 3가지 사용자 패턴은 다음과 같다. 첫 번째 사용자 패턴은 평균적인 데이터 요금을 사용하여 전기사용이 가장 적은 새벽시간에 충전하여 실험하였다. 이는 통계적인 데이터와 비교를 의미한다. 두 번째 사용자 패턴은 비용의 고려 없이 아무 때나 충전하는 사용자 패턴이 되겠다. 세 번째 사용자 패턴은 전 날 실시간 요금 데이터를 바탕으로 가장 저렴한 시간에 충전하는 경우이다. 표 8은 3가지 사용자 패턴을 가정하여 검증한 결과이다. 결과적으로 본 논문의 방법을 사용하여 전기자동차를 충전한 방법이 충전하는데 가장 저렴한 것을 확인할 수 있었다.

표 8. 시나리오에 따른 실험 결과 비교

구분	날짜
전기자동차 충전	2011-4-26

구분	충전완료 실제요금(단위 : 원)
평균 요금데이터 바탕	1055
랜덤 충전	1733
전 날 데이터 바탕	1109
유전자 알고리즘	1012

V. 결론 및 토의

최근 경제적인 성장으로 인하여 에너지의 사용이 급증함에 따라 효율적인 에너지 사용방법에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 중 현재 전력망에 IT를 접목하여 에너지효율을 최적화하는 스마트 그리드 환경에 대한 기술들이 각광을 받고 있다. 스마트 그리드 환경에서 전기자동차를 충전할 경우 충전 인프라나 하드웨어 측면에서의 기술을 많이 발전되고 있지만 효율적인 충전방법을 통한 에너지 사용 비용 절감 측면의 연구는 미진하다. 따라서 본 논문에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 스마트 그리드 환경에서의 실시간으로 변하는 요금을 분석하여 사용자에게 상황에 맞는 최적 충전 시간을 제공함으로써 효율적인 전기자동차 충전을 제안하였다.

이를 위하여 스마트 그리드 환경에서의 실시간 요금제와 유전자 알고리즘의 특징에 대해 설명하였고, 유전자 알고리즘을 이용해 설계자와 사용자가 요금에 영향을 미치는 날씨, 시간당 전력 사용량, 시장정책 등 여러 요인들을 따로 고려하지 않도록 하여 어려운 연산을 따로 처리하지 않았다.

제안하는 방법을 사용하면 사용자가 실시간 요금 변동 상황의 대한 특별한 고려 없이 충전 요구 상황만 입력하면 저렴한 비용으로 편리하게 전기자동차를 충전할 수 있다. 본 방법은 일반적인 사용자의 전기자동차 충전 패턴을 분석하여 전기자동차를 충전한 결과와 유전자 알고리즘을 이용하여 전기자동차 최적 충전과 비교하여 유용성을 입증하였다.

본 논문에서는 미국의 실시간 요금제를 바탕으로 유전자 알고리즘을 통하여 전기자동차의 최적충전을 수행하였다. 향후 스마트 그리드 환경이 현실적으로 도입되거나 확장될 때 한국의 시장, 전력정책에 맞는 스마트 그리드 환경에서의 다양한 환경조건을 분석하고, 날씨 혹은 기온 데이터, 발전소 보수, 전력의 보완재(천연가스, 석탄 등) 비용 등의 기타 정보를 참고하여 유전자 알고리즘을 이용한 다면 현실성 있는 소비자 입장에서의 전력소비 효율화에 기여할 것이다.

참고문헌

- [1] 고종민, 송재주, 김영일, 정남준, 김상규, "스마트 그리드 기반의 실시간요금제 및 DR운영시스템 구현", 전기학회논문지 59권, 11호, p.1964-1970, 2010.11.
- [2] 양현석, "지경부 실시간 전기요금제 시범 실시", 전력문화사 Electric Power 제3권, 제9호, p56-59, 2009.9.
- [3] 김은태, "자동차 관련 기술 및 업계소식", 오토저널 제32권, 제6호, p69-72, 2010.10.
- [4] 조춘택, "07년 5월 월간 부하곡선 분석 보고서", 전력거래소, p3-9, 2007. 6.
- [5] 정영환, 장길수, "스마트 그리드: 해외 동향 분석", 전기의 세계, 제58권, 제8호, p.37-41 2009.8.
- [6] 이일우, 박완기, 박광로, 손승원, "스마트 그리드 기술 동향", 한국통신학회지, 제26권, 제9호, p24~33, 2009.8
- [7] 김재철, 김철환, 원동준, "한국의 스마트 그리드 추진 현황" 전기의 세계, 제 58권, 제8호, p.27~36, 2009.8
- [8] Jinho Kim, Hong-il Park, "Policy Directions for the Smart Grid in Korea" Power and Energy Magazine IEEE vol 9, p.40-49, 2011.
- [9] 손홍관, "전기자동차 충전인프라와 스마트 그리드", 전기의세계, 제59권, 4호, p47-53, 2010.4.
- [10] 고동수, "스마트 그리드의 핵심인 실시간 요금제의 미국 사례와 시사점", 산업연구원, 2010.9.
- [11] 유인협, 이진기, 김선익, "실시간 요금제도 및 기술 전망", 대한전기학회 하계학술대회, p435-437, 2002.7.
- [12] 고준호, "전기자동차와 충전인프라", 한국도로학회, 도로, 제11권, 4호, p45-49, 2009.12.
- [13] Rotering N, Ilic M, "Optimal Charge Control of Plug-In Hybrid Electric Vehicles in Deregulated Electricity Markets", Power Systems IEEE, p.1-9, 2010.

- [14] 이현기, “전기자동차 충전인프라 개발현황과 전망” 전력전자학회, 전력전자학회지, 제15권 제6호, p73~76, 2010.12.
- [15] 고준호, “전기자동차와 충전인프라”, 한국도로학회 도로, 제11권, 4호, p45-49, 2009.12.
- [16] 박희범, “전기자동차 보급에 따른 전력수급영향 및 시사점”, 전력거래소, 2009. 11.
- [17] 정동규, “스마트충전시스템을 위한 새로운 충전기술” 한국정보기술학회논문지, 제8권, 제11호, p9-15, 2010.11.
- [18] 노철우, 김민수, “PHEV 시장 형성 시 전력망에 미치는 영향 및 최적 충전 제어 전략에 대한 연구”, 대한기계학회 논문집 B권, 제33권, 제4호, p278-287, 2009.4.
- [19] 공성배, 이재희, 주성관, 송태용, 김용준, 고려대학교, 한국전력거래소, “전기자동차 보급에 따른 시장가격 영향 분석”, 대한전기학회 제41회 하계학술대회, p509-510, 2010.7.
- [20] 임형길, 유기선, 강현일, 김윤식, 심재석, 이기승, “도시철도 전력을 이용한 전기차 충전장치 현장시스템 구현”, 대한전기학회 전기설비부문회 추계학술대회 논문집 ,p457-459, 2010.11.
- [21] 조영임, “인공지능시스템” 홍익과학출판사, p177-246 2009.3.
- [22] Man K.F, Tang K.S, Kwong S, “Genetic algorithms: concepts and applications”, Industrial Electronics IEEE, vol 43, p.519-534, 1996.
- [23] Daniel W. Boeringer, Douglas H. Werner, David W. Machuga, “A simultaneous parameter adaptation scheme for genetic algorithms with application to phased array synthesis”, Antennas and Propagation IEEE, vol 53, p356-371, 2005.
- [24] Deb K, Pratap A, Agrawal, S. and Meyarivan, T, “A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization”, NSGA-II Technical Report No. 200001, Kanpur Indian Institute of Technology Kanpur india, 2000.
- [25] Bhanu B, Sungkee Lee, Ming J, “Adaptive image segmentation using a

genetic algorithm”, Systems, Man and Cybernetics IEEE, vol 25, p.1543-1567, 1995.

[26] 이형용, “한국 주가지수 등락 예측을 위한 유전자 알고리즘 기반 인공지능 예측기법 결합모형”, Entrue Journal of Information Technology, p33-43, 2008.

[27] 김대극, 이재곤, 이상희, “변형된 유전자 알고리즘을 이용한 참조벡터의 최적화” 한국통신학회논문지, vol.24, No.6T, p93-98, 1999.6.

[28] 이근대, 이유수, “수요 측 반응을 고려한 실시간요금제 도입방안 연구”, 에너지경제연구원 기본연구보고서 p.49-54, 2010.12.