



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

한국 스마트그리드 환경을 고려한
전기자동차 애그리게이터 운영 모델

濟州大學校 大學院

컴퓨터工學科

黃 忠 明

2014 年 08 月

한국 스마트그리드 환경을 고려한 전기자동차 애그리게이터 운영 모델

指導教授 宋 旺 徹

黃 忠 明

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2014 年 06 月

黃忠明의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長

한기증 

委 員

이성준 

委 員

송왕철 

濟州大學校 大學院

2014 年 06 月



Operation Model of the Aggregator for Electric Vehicles In the Korea Smart Grid Environment

Zhongming Huang
(Supervised by professor Wang-Cheol Song)

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

2014. 06.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, *Khi Jung Shin*
Thesis director, *Lim Jun Lee*
Thesis director, *Wang-Cheol Song*

June 2014

Department of Computer Engineering

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY



감사의 글

시간은 흐르는 물과 같아 벌써 2년간의 대학원 생활을 끝낼 때가 됐습니다. 무엇보다도 나를 믿고 연구에 참여해주신 여러분들께 진심으로 감사의 말씀을 전해 드리고 싶습니다. 여러분들이 없었더라면 이 논문은 시작조차 할 수 없었을 것입니다. 앞으로 더욱 좋은 모습으로 좋은 성과들이 나올 수 있도록 계속 노력하며 보답하겠습니다.

이 논문의 처음 연구계획에서부터 완성에 이르기까지 학문적 기틀을 잡아 주시고 친절하고 소상한 가르침을 베풀어 주셨던 송왕철 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 송왕철 교수의 신중한 학문 연구 태도, 박학한 지식, 창신이 풍부한 사고 방식과 고결한 성품은 저에게 가장 인상적이었고, 평생 유용할 지식을 많이 가르쳐 주셨습니다.

그리고 우리 학과의 교수님의 교육과 배양에 대해서도 감사의 말씀을 드리려고 합니다. 2년 동안의 석사 과정에서 교수님들에게서 많은 것을 배우게 되었습니다. 또는 일상생활에서 많이 도와 주신 조교님께도 감사의 말씀 드리려고 합니다.

뿐만 아니라 저를 교육시키기 위하여 한평생 고생하신 부모님과 제가 유학 동안에 저 대신 부모님을 모시고 효도를 드리는 누나와 형부께 감사의 말씀을 드리려고 합니다.

예과학원과 제주대학교어학당의 선생님들께 감사의 뜻을 표하려고 합니다. 왜냐하면 저는 선생님들 덕분에 한국어를 많이 배우게 되었고 한국 생활에도 빨리 익숙해졌기 때문입니다.

제가 이 논문을 쓰는 과정에서 도움을 많이 주신 연구실의 선배님들과 학우님께 감사의 말씀을 드리려고 합니다. 특히 송초라는 중국인 유학생께 감사의 말씀을 드리려고 합니다. 2년 동안에 송초님이 대가 없이 도와주신 덕분에 순조롭게 TOPIK시험을 통과했기 때문입니다.

마지막으로 저와 같이 한국 유학을 오게 된 친구들에게도 감사의 뜻을 표하려고 합니다. 친구들은 공부에 지친 저에게 무궁한 힘을 주었습니다. 그 덕분에 좀 힘들었지만 너무 재미있게 지내 왔습니다.

황 충 명 올림

목 차

목 차.....	I
그림 목차.....	III
표 목차.....	IV
국문 초록.....	V
영어 초록.....	VII
약어표.....	IX
I. 서론.....	1
II. 관련연구.....	4
1. 스마트그리드(SMART GRID).....	4
1) 스마트그리드가 무엇인가?.....	4
2) 스마트그리드의 특성.....	5
3) 스마트그리드에서의 고려 점.....	7
2. 전기자동차(ELECTRIC VEHICLES).....	10
1) 전기자동차의 종류.....	10
2) V2G 기술.....	11
3. 애그리게이터(AGGREGATOR).....	12
1) 애그리게이터의 개념.....	12
2) 애그리게이터 및 기타 개체와의 관계.....	13
3) 애그리게이터의 비즈니스 모델.....	15
III. 한국 전력시장에 적합한 애그리게이터의 운영 모델.....	17
1. 한국 전력 시장.....	17
2. 애그리게이터의 운영 모델 비교.....	21
3. 한국 전력시장에 적합한 애그리게이터 운영 모델.....	26

IV. 시뮬레이션 및 결과	30
1. 실험 환경	30
2. 실험 결과	31
V. 결론	36
참고문헌.....	37

그림 목차

그림 2-1 미래 스마트그리드의 기본 구조.....	5
그림 2-2 스마트그리드의 각 단계에서의 통신 범위.....	8
그림 3-1 한국 전력 시장 운영 시스템	18
그림 3-2 한국 전력 시장 운영도.....	19
그림 3-3 애그리게이터의 동작 방식.....	19
그림 3-4 애그리게이터와 사용자간의 협상도.....	20
그림 4-1 하루 전과 한 시간 전의 전력 시장에서의 상향 저축 입찰 상황	32
그림 4-2 상향 예비 부족의 백분율	32
그림 4-3 에너지 시장에 참여하는 총 감소의 비용	33
그림 4-4 그룹 A 와 그룹 B 의공급되지 않은 상향 예비 비율	34
그림 4-5 그룹 A 와 그룹 B 의 RNS 에 대한 시간 수의 비율	35
그림 4-6 세 가지 경우에 대한 비용 감소.....	35

표 목차

표 4-1 전기 자동차의 가우스 분포.....	30
표 4-2 하향 예비에 대한 그룹 A 와 그룹 B 의 지표.....	33

한국 스마트그리드 환경을 고려한 전기자동차 애그리게이터 운영 모델

컴퓨터공학과 황충명

지도교수 송왕철

세계적으로 환경 문제가 심각해지면서 친환경 에너지의 개발이 지속적인 발전을 이루도록 하는 과제는 각 나라 학자들의 관심을 이끌고 있다. 모터와 배터리 생산 기술의 발전에 따라서 장거리를 운전할 수 있는 전기자동차를 생산해 내게 되었고, 많은 사람들의 각광을 받게 되었다. 전기자동차가 많아짐에 따라, 이들을 효율적으로 충전 할 수 있는 방식에 대한 연구가 진행되어 있다.

스마트그리드는 여러 분산 에너지와 접목하고 그리드 사용자와 친화적인 상호작용을 한다. 스마트그리드는 전기자동차의 부하로 인한 영향을 해결할 수 있다. 전기자동차는 스마트그리드의 V2G 기술과 ICT 기술을 통해서 부하 특성 및 시스템 운영을 할 수 있다. 부하가 낮을 때는 전기자동차를 충전해 주고 피크 부하 때는 전기자동차는 반대로 전기를 그리드에 공급함으로써 전기 공급의 부담을 줄일 수 있다.

전기자동차 배터리는 자체적인 전기 저장 용량이 작기 때문에 독립적으로 전력 판매 시장에 참여할 수가 없다. 전기자동차 및 전력시스템 사이에 전기자동차 배터리에 저장된 전기를 모으고 그리드에 판매할 수 있는 매개체가 필요한데, 이 것이 바로 애그리게이터이다. 애그리게이터는 각 전기자동차의 전력을 큰 묶음으로 모아서 전력 거래소에 판매하는 일을 한다. 또한, 애그리게이터는 수많은 전기자동차 배터리에 저장되어 있는 전력을 모아서

그리드에 보조 서비스를 제공해 줄 수 있다. 보조 서비스의 기본적인 기능은 그리드에 신뢰성과 안정성을 주는 데에 있다.

본 논문은 몇 가지 애그리게이터의 운용 모델을 비교하고 한국 전력 시장에 알맞은 애그리게이터의 운용 알고리즘을 제안한다. 애그리게이터는 한국 전기 시장의 입찰에 참여할 수가 있다. 실험 결과에 따라서 애그리게이터는 효능이 있는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

Operation Model of the Aggregator for Electric Vehicles in the Korea Smart Grid Environment

HUANG ZHONGMING

Department of Computer Engineering

Graduate School

Jeju National University

Since the global recognition on environmental protection changed, clean energy and sustainable development emerged as the critical task in human society. The development of motor and battery technology for electric vehicles, zero release, low noisy and long distance running for electric vehicles becomes possible. Therefore, all countries are actively promoting the development of electric vehicle industry. However, with the increasing of electric vehicle charging, it will lead to side effects on power grid.

Smart grid can be a very good solution to electric vehicles as the effect of load network brought. Electric vehicles through the use of V2G technology and ICT technology, can optimize the network load, improve the power grid stability. As in the use of electric power shortage, the electric vehicle can deliver power to the grid, to reduce the peak; the electric energy is sufficient, electric cars could be charged, reducing the power to fill the valleys.

But electric vehicles because of less power, cannot be independent of the involved in the electricity market, therefore, between the electric vehicle and the electric power market need a middleman-aggregator. Supplementary service electric vehicles aggregators can collect scattered energy to participate in electricity market. The basic function of ancillary service is to maintain the reliability and stability of power grid. In order to electric vehicle owners to

participate in the electric power market, the aggregator to provide certain fiscal policy compensation to the electric vehicle owners.

Therefore, this paper compared some of the operation of aggregator optimization models and introduced an Aggregator which is more suitable for Korean electric market and its reserve bid. The experimental results verify the effectiveness of the polymerization reactor.

약어 표

BEVs	Battery Electric Vehicles
DER	Distributed Energy Resources
DSM	Demand Side Management
DSO	Distribution System Operator
HEVs	Hybrid Electric Vehicles
ICT	Information Communication Technology
ISO	Independent System Operator
IT	Information Technology
KEPCO	Korea Electric Power Corporation
PHEVs	Plug-in Hybrid Electric Vehicles
SI	Systems Integrators
SLP	Stochastic Linear Programming
SO	System Operator
SOA	Service Oriented Architecture
SOC	Status Of The Initial Capacity
TSO	Transmission System Operator
UN	United Nations
V2G	Vehicle to Grid

I. 서론

세계적으로 환경 문제가 심각해지면서, 친환경 에너지의 개발과 경제가 지속적인 발전을 이루도록 하는 과제는 여러 나라의 관심의 대상이다. 유엔(UN)의 조사결과에 따르면 자동차 배출 가스는 지구의 온실가체 배출량의 13%를 차지한다[1]. 기후 변화는 과거 어느 때보다도 심각하고 사람들의 주목을 받고 있다. 이에 따라 자동차 배기 가스에 따른 세계적인 기후 변화를 방지하기 위하여 해결 방법을 찾아 왔다.

모터와 배터리 생산 기술의 발전에 따라서 장거리 운전할 수 있는 전기자동차를 개발해왔으며, 병렬 하이브리드 전기자동차(PHEVs)와 배터리 전기자동차(BEVs) 시장의 활성화에 따라 전기자동차는 각광을 받게 되었다. 이에 따라 전기자동차 이용자는 지속적으로 증가하였고, 전기자동차 충전이 그리드에 부하를 주지 않고 원활하게 유지될 수 있는 방안이 필요하게 되었다[2][3].

전기자동차 충전은 불규칙적인 특성을 가지고 있다. 만일 전기자동차를 전력 피크 기간에 충전시킬 경우에는 그리드에 부담을 증가시킬 수도 있으며 정상적인 전력 공급에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 또한, 전기자동차 충전 지역도 불규칙적인 특성을 가지고 있다. 일부 지역에서 많은 전기자동차가 동시에 충전되는 경우 전력 공급 부족 상황이 발생할 수 있다. 이러한 경우 그리드가 안정적으로 작동하는 데에 어려움이 발생할 수 있다. 또 다른 측면은, 전기자동차를 충전할 때는 AC-DC 충전 모델로 하는데, 충전할 때는 주파수 많이 나타난다는 경우에는 그리드와 사용자들의 전기 에너지 사용 품질에 영향을 줄 수 있다. 이와 같이 전기자동차의 빠른 발전과 함께 그리드에 대한 요구도 다양하게 관리 될 필요가 있다.

스마트그리드는 양방향 고속의 통신 네트워크와의 통합을 기반으로 다양한 기술과 장비, 제어 방법 등을 통해서 전력수급에 신뢰성과 안정성과 효율성을

향상 시킨다. 스마트그리드의 구축은 지구 기후변화를 방지하고 세계경제의 지속적인 발전을 촉진하는 데에 중요한 역할을 하고 있으며 구체적으로 다음과 같이 고려 할 수 있다[4]. 스마트그리드는 여러 분산된 에너지원과 연계하고 그리드 사용자와 친화적인 상호작용을 한다. 스마트그리드는 전기자동차의 부하로 인해 생길 수 있는 전력 그리드의 영향을 해결할 수 있다. 전기자동차는 V2G 기술과 ICT 기술을 통해서 부하 특성 및 시스템 운영의 역할을 할 수 있으며 에너지의 상호 작용은 V2G 기술에 기초한다. 부하가 낮을 때 전기자동차는 충전 및 에너지를 저장 할 수 있고, 시스템의 안정성을 효율적으로 개선 할 수 있다. 피크 부하 때 전기자동차는 전기를 전력 그리드에 공급하여 시스템 전기 공급의 부담을 줄일 수 있고, 비상 상황에서는 기상의 전기발전소로서의 역할을 수행할 수 있다. 차량과 전력 그리드간의 메시지 상호교환은 양방향 계량 장치 및 통신 네트워크를 통하여 달성될 수 있다. 교환되는 메시지의 내용은 배터리 상태 정보, 가격 정보, 차량의 가용성 상태를 포함한다. 이런 정보를 통하여 그리드 및 전기 차량 간의 양방향 상호 작용이 가능하다. 그리드 측에서는 전기자동차의 현재 부하 용량을 얻어 전력 부하 조정에 도움을 얻을 수 있고, 사용자 측에서는 전력 거래 가격 정보를 통해 전력을 판매할 때 비용을 절약 할 수 있다.

전기자동차는 간단한 인터페이스를 통해서 스마트그리드와 연결하기만 하면 모든 문제를 다 해결할 수 있는 것이 아니다. 전기자동차 배터리는 전기 저장 용량이 부족하기 때문에 독립적으로 전력 판매 시장에 참여할 수가 없다. 전기자동차 배터리에 저장된 전기를 그리드에 팔려면 전기자동차 및 전력시스템 사이에 중간 역할을 하는 회사 같은 매개가 필요하다. 애그리게이터(agggregator)는 한 대 전기자동차의 작은 양의 전력을 모아서 일정 이상의 전력량을 확보하려 전력 거래소에서 거래에 참여 할 수 있다[5][6].

본 논문의 연구 내용은 다음과 같다. 제 1 장은 서론으로서 본 논문의 연구 배경을 소개한다. 제 2 장에서는 관련된 연구들에 대해 소개한다. 구체적으로 전기자동차와 관련된 자동차의 종류, 애그리게이터를 소개한다. 스마트그리드의 개념, 장점과 도전을 포함하고 전기자동차의 종류, V2G 기술과 전기자동차가 제공할 수 있는 보조 서비스. 그리고 애그리게이터의 개념, 애그리게이터와 다른 개체와의 관계, 애그리게이터의 사업 모델을 소개한다. 제 3 장에서는 몇 가지 애그리게이터의 운영 모델의 비교하여 한국 스마트그리드 환경을 고려한

전기자동차 애그리게이터 운영 모델을 제시한 후 애그리게이터 알고리즘의 구현을 설명한다. 제 4 장에서는 실험 시뮬레이션 결과를 제시한다. 제 5 장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 관련연구

1. 스마트그리드(Smart Grid)

1) 스마트그리드가 무엇인가?

스마트그리드는 믿을 만하고, 친환경적이며, 경제적이고 안전한 그리드이다. 그것은 소비자의 참여를 격려하고 소규모 분산 발전 자원을 통합하여 여러 계층에서의 통합 해결 방안이다. 또한 스마트그리드는 고속 양방향 통신네트워크, 디지털 모니터링 및 제어 시스템, 고급 자동화 및 실시간 운영체제에 의존하며 방대한 정보를 제공하는 플랫폼이다[7]. 스마트그리드는 대체적으로 스마트 조절시스템, 스마트 계산시스템, 스마트 기술시스템을 포함한다. 그림 2-1 은 스마트그리드의 기초적인 구조를 보여준다. 그리드는 다양한 형태의 에너지는 물론 재생 가능한 청정 에너지를 포함한다. 전력은 발전소에서 송전망과 배전망을 경유하여 사용자까지 공급된다.

스마트그리드는 다음과 같이 한 몇 가지 다른 방식으로 정의되어 있다:

① 유럽 기술 플랫폼(The European Technology Platform)의 정의[8]:

스마트그리드는 지능적으로 효율적, 지속 가능한 경제 및 안전한 전기 공급을 제공하기 위해 지적에 연결된 모든 사용자의 작업을 통합할 수 있는 전기 네트워크이다.

② 미국 에너지 부서(The US Department of Energy)의 정의[9]:

스마트그리드는 디지털 기술을 사용하여 안정성, 보안성과 전기시스템의 효율(경제와 에너지측면 모두)을 높인다. 대형 발전으로 수송 시스템을 통해 전력 사용자와 늘어나는 분포식 발전과 자원을 저축한다.

③기타 문헌에서의 정의[8]:

스마트그리드는 유연성, 액세스 가능성, 신뢰성과 경제성이 있는 전력 네트워크를 제공하는 기술의 광범위한 모음이다.



그림 2-1 미래 스마트그리드의 기본 구조

2) 스마트그리드의 특성

스마트그리드 기술을 이용하며 에너지를 더 잘 관리하고 절약하며 감시하면서 사용할 수 있다. 에너지를 사용할 여부의 결정권을 소비자들에게 넘겨주고 소비자들은 에너지를 언제 어디에서 어떻게 사용하는지 결정 할 수 있게 한다.

(1) 신뢰성(Reliability)

현재 스마트그리드를 구축할 때에는 신뢰성부터 먼저 고려해야 한다. 그리드는 교란이나 고장이 날 때 넓은 지역의 정전 사고가 나지 않도록 스마트그리드는 사용자들에게 전력 공급 능력을 지속적으로 유지해야 한다. 자연 재해와 극단 기후 조건이나 인위적인 외력 파괴 상황에서도 안전한 운영을 보증해야 한다. 정보 안전을 확보하고 컴퓨터 바이러스로 인한 파괴를 예방하는 능력을 가진다. 스마트그리드 기술은 인위적이지만, 자연 파괴에 대한 정보를 더 잘 식별하고 반영한다.

(2) 자가 치유성(Self-healing)

실시간 센서와 자동화 통제 설비를 사용하여 전력 시스템의 고장에 대한 예측과 검출을 진행할 수 있고 문제를 해결한다. 자동적으로 정전과 전력 품질 악화를 피한다. 스마트그리드의 일부 시스템은 고장이 발생하더라도 어떤 구역의 정전을 일으키지 않는다.

(3) 상호 작용상(Interactive)

스마트그리드는 아주 핵심적인 이념은 바로 쌍방향으로 정보를 전송함으로써, 전력 사용자의 소비 방식을 바꾼다. 실시간, 쌍방향적으로 통신하는 스마트그리드는 사용자들이 에너지를 아껴 쓰도록 할 수 있다. 동시에 사용자가 그리드에게 전기를 파는 것 또한 허락한다. 홈 태양전지 판 발전, 소형 풍력 발전, 전기자동차까지 그리드에 연결될 수가 있다. 일반 가정 및 소기업 사용자들이 쓰고 남은 전기에너지를 스마트그리드를 통해 이웃이나 다른 전기 사용자들에게 줄 수 있다.

(4) 침략에 저항성(Resist aggression)

그리드의 안전성은 그리드 물리 공격과 사이버 공격에 대한 취약성을 낮추고 송전이 중단된다면 송전을 빠르게 회복하도록 하는 솔루션을 유지하고 있다.

스마트그리드의 설계 및 운영은 공격을 방지하고 공격을 당한 후에 빠르게 회복할 수 있는 능력을 가지고 있다. 물리공격이든 네트워크 공격이든, 스마트그리드가 위험을 줄이고 네트워크 보안을 강화하기 위해 전력기업과 정부 사이의 중대한 위협 정보의 밀접한 소통을 강화 시킬 수 있다.

(5) 에너지 절약 및 환경 보호(Energy conservation and environmental protection)

풍력 에너지, 태양 에너지와 같은 재활용 에너지를 개발하고 이용한다. 스마트그리드는 청결 에너지에 대한 개발, 이용 능력을 향상시킬 수 있다.

3) 스마트그리드에서의 고려 점

스마트그리드는 그리드 미래의 발전 추세를 대표하고 전망이 아주 좋은 그리드 네트워크 플랫폼이다. 그런데, 스마트그리드는 아주 많은 도전을 직면한다.

(1) 스마트그리드의 통신

스마트그리드의 관리 시스템은 능력이 비범한 통신 네트워크가 필요하다. 이 통신 네트워크는 보장이 있는 대역폭 및 대기 시간이 긴 성능을 제공해 줄 수가 있다. 그림 2-2 는 스마트그리드의 배포 수준과 통신 범위를 보여준다[10].

유통 네트워크의 확장에 통신 범위는 여러 배전자동화 기능을 지지할 수 있고, 빠른 회복과 치료 효과를 실현하기 위해 스위치 장치의 제어를 포함한다.

이제는 대리점마다 스마트그리드 솔루션을 개발해야 하는 문제점을 직면하고 있다. 앞으로 몇 년 동안, 그들의 반응 운영 시스템을 자신의 사업과 쉽게 통합할 수 있도록 하는 커뮤니케이션은 조직의 효율성을 결정할 수 있다. 핵심 문제는 개방 통신 표준 및 네트워크 보안을 포함한다.

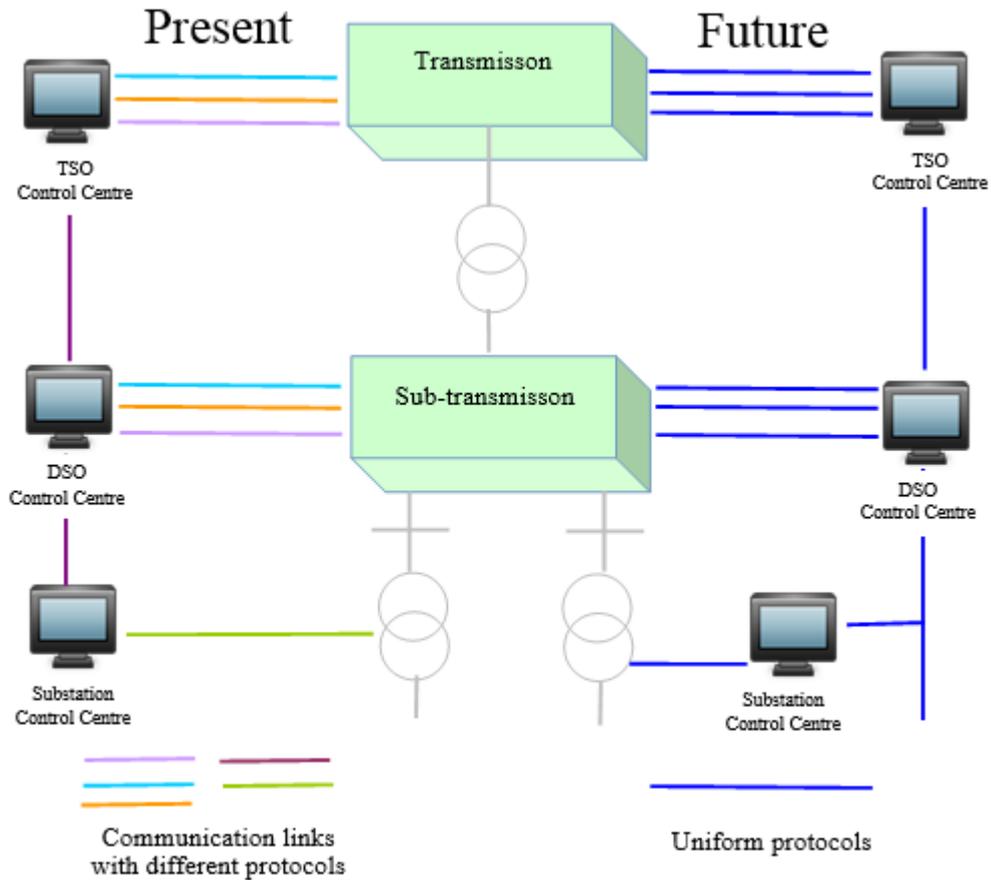


그림 2-2 스마트그리드의 각 단계에서의 통신 범위

(2) 분산식의 에너지 자원의 통합 도전

선진적인 계량 기술과 개선적인 통신은 센서를 더 지능적으로 이용할 수가 있다. 그러나, 분산 에너지(풍력이나 태양광 등)는 불규칙적인 날씨에 따라서 달라진다. 분산 발전의 증가로 인하여 시스템의 신뢰성을 유지하기 위해 전원 시스템은 더 선진적인 통제가 필요하다. 이러한 컨트롤 수요 반응 및 에너지 저장보다 효율적인 사용을 포함 할 수 있다. 통합을 만들기 위하여, 적절한 부하 모델 수요의 예측에 대하여 유통성이 있는 시스템을 제조할 수 있는 것이 중요하다. 신 재생 에너지는 전통적인 시스템 동작에 문제가 발생할 수 전통적인 의미에서 스케줄링 될 수 없다. 스마트그리드는 통신 및 정보 기술의 적용을 통해 잠재적

미래 및 예측이 개발되어야 한다. 스마트그리드의 실제 운영 상황과 장점 개선을 필요하다. 신 재생 에너지의 정확한 예측은 스마트그리드의 중요한 부분이다.

(3) 배전 자동화

스마트그리드 계획 플랫폼은 판매 네트워크 운영 모델에 영향을 미친다. 전력 시장 참여자들은 모두 어떤 네트워크를 사용할 지 고려하고 있다.

전통적인 전력 분배 네트워크는 단방향적으로 흐른 반면에 새로운 스마트그리드는 전력이 양방향적으로 흐른다. 따라서 분배 네트워크는 자기의 시스템을 바꿈으로써 새로운 기술을 받아들인다. 일부 자동화 기능은 이미 전류 분포 격자에 도입되었다[11].

(4) 통합 및 에너지 관리

현재 대부분의 유틸리티 및 공급 업체에서는 AMI 와 그리드 애플리케이션의 구현에 집중하였는데, 이제는 다른 시스템의 통합에 집중하게 되었다.

시스템 통합(SI)은 스마트그리드 투자 결정이 있어서 되면 될 수록 큰 영향을 미친다. SI 가 종사하기 전에, 유틸리티는 시스템 통합의 역할을 신중한 소득을 필요하다. 또한 그들은 스마트그리드 활동을 지원하기 위해 시스템 통합을 위한 보기를 설정했는지 확인을 해야 한다[11].

수요 관리(DSM)는 부하 프로파일과 전력 유틸리티 에너지에 대한 한 종류의 알고리즘이다. 현재, 전력 회사는 부하 모델과 가격 모델을 기반으로 된 알고리즘을 사용하고 있다[12]. 그러나, 중요한 것은 스마트그리드 인프라는 새로운 규제와 정책을 실시한다는 것이다. 동기 벡터 프로세서(SVP) 는 지능형 DSM 에 쓰일 수 있는 활성 처리 장치다[13].

(5) 상호 운용성

서비스 지향 아키텍처(SOA)는 궁극적인 통합 시스템이다. 이는 매개의 독립적인 공급 업체와 동적 데이터 교환을 할 수 있는 것을 허용한다.

불행스럽게도 이는 현실에서 이루어지기가 아주 어렵다. 왜냐하면 아키텍처와 공급 업체와 함께 일을 하느냐 마느냐에 달려 있기 때문이다. 계속 SOA 를 개발하고 유지하고 보호하여 새로운 기능을 이루도록 한다. 한 가지의 실현이 가능한 해결 방안이 있다. 이는 바로 MultiSpeak 이다. 이는 다른 다른 업체와 자원적으로 데이터 교환을 진행하는 데에 의거해야 되는 기준이다[14].

2. 전기자동차(Electric Vehicles)

1) 전기자동차의 종류

현재 캐나다에서 전기자동차의 유형은 세 가지로 나누어져 있는 배터리 전기자동차(BEV), 플러그인 하이브리드 전기자동차(PHEVs), 하이브리드 전기자동차(HEVs) 이다. 각 종류의 전기자동차는 모두 고객들에게 연료 비용을 감소시킬 수 있지만 단점도 있다[15].

(1) 배터리 전기자동차(BEV)

배터리 전기자동차(BEV)는 전통적인 내연기관이 없이 전적으로 배터리와 전기 드라이브 트레인에 의해 구동된다. 그리고 전동차를 외부 전원과 연결시켜서 충전을 해야 된다. 또한, 배터리 전기자동차는 모든 전기자동차와 마찬가지로 회생제동이라는 과정을 통해 배터리에 충전해 준다. 배터리 전기자동차는 전기모터로 운전을 한다.

(2) 플러그인 하이브리드 전기자동차(PHEVs)

플러그인 하이브리드 전기자동차는 배터리와, 배터리의 파워 그리드에 의존하여 구동된다. 그리드에 의존하여 배터리에 충전을 해 준다. 뿐만 아니라 플러그인

하이브리드 전기자동차 안에 설치되어 있는 내연 기관을 이용하여 배터리에 충전을 해 줄 수 있다. 전량이 부족할 경우에는 내연 기관의 힘을 빌려서 계속 운전할 수 있다. 왜냐하면 플러그인 하이브리드 전기자동차의 대부분 전력은 그리드에서 받는 것이기 때문이다. 이는 원가를 절감할 수가 있다.

(3) 하이브리드 전기자동차(HEVs)

하이브리드 전기자동차는 현재 두 가지의 서로 보완해 줄 수 있는 드라이브 시스템을 가지고 있다: 가솔린 엔진과 연료 탱크; 그리고 전기 모터, 배터리와 제어기이다. 엔진과 전기모터 둘 다 동시에 변속기를 구동시킬 수 있고, 그 다음 변속기가 바퀴들을 구동하여 자동차를 가게 한다. 하이브리드 전기자동차는 전기 그리드를 이용하여 충전할 수 없다. 모든 에너지는 가솔린과 회생제동에서 온다.

2) V2G 기술

V2G 는 Vehicle - to - Grid 의 준말이다. 전기자동차가 안 쓰일 때는 배터리에 저장되어 있는 전력을 그리드에다가 반납할 수 있고 전기자동차가 쓰일 때나 충전을 해야 할 경우에는 그리드를 이용하여 충전을 할 수가 있다.

전력시스템을 안정화하기 위하여 전기자동차(EV)를 활용하는 발상은 일반적으로 V2G 라고 불리고 있으며, 이 개념은 1997년 W. Kempton 교수가 처음 제안하였다. V2G 시스템은 전력망과 EV 배터리 전원을 연계하여 양방향으로 전력을 전송 기술로서 실시간 전력시장 요금에 근거하여 효율적인 계통 연계 및 운용 방안을 구축하는 시스템이다. V2G 시스템이 적절하게 동작하려면 서비스 공급자(Aggregators)는 전압조정 서비스, 순시 예비전력 및 최대부하 시 전력판매에 활용할 수 있도록 MW 규모로 EV의 배터리 전력을 조직화해야 한다. 따라서 서비스 공급자는 EV 위치, 배터리 충전상태 및 EV 운전자 요구 등을 얻고 충전과 방전 신호를 전달할 수 있도록 EV와 통신할 수 있어야 한다.

대부분의 차량은 평균 95% 시간에 주차되어 있으므로, 배터리에 저장되어 있는 전력이 그리드로 흘러간다. 그리드는 전력이 필요할 때는 V2G 기술을 통하여

자동차 배터리에 저장되어 있는 전력을 주입할 수가 있다. V2G 를 통하여 수익을 얻을 수 있기 때문에 전기차 소유자의 사용 원가를 절감할 수 있고 그리드의 신뢰성도 높인다. 이는 석유에 대한 수요를 감소시키고 풍력 에너지와 태양 에너지의 제한성을 낮춘다[16].

3. 애그리게이터(aggregator)

수요 반응은 미래의 스마트그리드 플랫폼의 중요한 부분이다. 여기에서의 반응은 전력 시스템에서 오는 전력 소비자 신호를 변경할 수 있는 능력, 또는 상태 기반 전력 시장의 용도로 정의된다. 애그리게이터는 전기자동차의 소유자가 수요 대응 활동에 참여하는 데 도움이 되는 중간회사이다. 전기자동차 소유자들로 하여금 전력 시장에 참여하도록 하기 위하여 애그리게이터는 전기 차량 소유자들에게 다양한 방식으로 이익을 줄 수 있을 것이다. 애그리게이터는 스마트그리드에서 보조 서비스를 제공하기 위하여 많은 전기자동차를 모아야 된다. 애그리게이터가 제고하게 되는 보조 서비스 주요 기능은 그리드의 신뢰성과 안정성을 보장해 줄 수 있다.

1) 애그리게이터의 개념

2001 년에 Kempton 등은 문헌에서 애그리게이터의 개념을 소개했다[17]. 이 모델에서 각 전기자동차의 낮은 전력 때문에, 전기자동차 소유자들은 전력 시장 거래에 참여할 수 없다고 가정한다. 이에 대한 해결 방법으로 전력시장과 전기자동차 소유자 사이에 애그리게이터를 추가하였다. 애그리게이터의 역할은 전원(예비 방적 피크, 또는 규제) 용량을 통합하고 가장 높은 값으로 시장에 판매하는 것이다.

Brooks et al 는 중개 회사의 개념을 제시하였다[18]. 이 개념에서는 애그리게이터는 전기자동차를 많이 모아서 자동차 대신에 시스템 운영자와 연락을 한다고 제시하고 있다. 전기자동차 소유자가 전기자동차의 사용 계획에 대한 정보를 애그리게이터에 전송해 주고 애그리게이터는 그 정보를 관리한다. 애그리게이터는 정보를 수집하여 ‘가상 발전소’ 라는 기본적인 프로필을 만든다. 이 프로필은 전기자동차가 하루에 필요한 에너지를 충전해 주고 또한 전력이 얼마만큼 더 남았는지 알아볼 수 있게 동작할 것으로 예상된다.

Quinn et al 문헌[19]에서는 시스템 오퍼레이터와 애그리게이터 간의 통신 상황 몇 시스템 운영자와 전기자동차 소유자들 간의 통신 상황을 비교 했다. 첫째, 애그리게이터는 시스템 운영자에게서 동작 요구 신호를 수집하고, 전기자동차가 그리드에 보조 서비스를 제공해 주는 것을 원할 때 애그리게이터는 수집한 신호를 전기자동차에 전송해 준다. 전기자동차와 애그리게이터가 연결되어 있을 때 애그리게이터는 보조 서비스 시장에서 언제든지 입찰에 참여할 수가 있다.

2) 애그리게이터 및 기타 개체와의 관계

(1) 애그리게이터와 전기자동차 소유자의 관계

애그리게이터와 전기자동차 소유자의 관계는 애그리게이터와 애그리게이터 서비스 구매자(TSO, DSO 라는 운영자)의 관계보다 더 중요하다. 왜냐하면 전기가 상품이니깐 애그리게이터 서비스의 품질은 구매자들의 요구에 달할 수 있고 가격도 싸다면 일부러 판촉 할 필요가 없다. 전기자동차 소유자들은 자기의 결정 권한을 둘 사이에 맺은 계약에 근거하여 애그리게이터에 양도 한다. 애그리게이터는 전기자동차 소유자의 특성에 맞춰 그에 따른 계약서를 작성한다. 애그리게이터는 전기자동차의 전력 에너지 자원을 시장에서 판매하거나 전기자동차 소유자에게 돈을 지불한다.

(2) 애그리게이터와 소매 업체의 관계

애그리게이터는 자체가 자동차 소유자들에게 실시간 전력 가격을 제공해 주는 공급 업체이다. 그러나, 이 가격은 자동차 부하에 따라서 정한 것이 아니다. 이로 인한 가격 부동이 종종 있다. 가격 부동이 발생하는 것을 방지하기 위하여 어떤 방법을 써야 된다. 애그리게이터는 고객들이 기초 시설을 설치하는 것을 허락하지 않지만 가격 정보를 공유할 수가 있다.

또한 애그리게이터는 소매 업체들에 대해 서비스를 제공하는 회사일 수 있다. 애그리게이터는 예측, 스케줄링의 최적화 및 부하 제어 등의 기능을 제공할 수가 있다. 소매 업체는 애그리게이터의 조언에 따라, 전기 자동차의 전력을 판매할 수 있다. 애그리게이터는 직접적인 혜택을 얻을 수 없다. 그러나, 애그리게이터는 소매 업체와 계약을 맺기 때문에 애그리게이터의 소득을 확인한다.

(3) 애그리게이터와 DSO의 관계

DSO(Distribution System Operator)는 애그리게이터의 구입 업체이다. 다른 말로 하자면, DSO는 필요에 따라 문제를 해결할 수 있고, DSO는 입찰 정보를 애그리게이터에 보내서 서비스를 달라고 한다. 현재, 제어 분산 에너지 자원(Distributed Energy Resources)의 규모가 작고, 유통 네트워크에 미치는 영향도 작다. 유통 네트워크는 문제없이 이벤트를 처리할 수 있으면 미래에 DSO는 DER 검사를 활성화해야 한다. 우리는 이 프로세스를 DSO는 DER 검증 서비스라고 한다. 애그리게이터는 자신의 메시지를 고객들에게 전달하기 위해 DSO의 통신 인프라를 사용할 수 있다. 그러나, 통신에 대한 국제 표준이 없기 때문에 호환성 문제가 발생할 수 있다.

(4) 애그리게이터와 TSO의 관계

TSO(Transmission System Operator)는 애그리게이터 보조 서비스 구매자의 역할을 할 수 있다. TSO는 부하 제어 동작을 조정하기 전에 검증될 수 있다. 이는 DSO를 통해 수행해야 한다. 전체 검증하는 절차는 다음과 같다: 첫째, 애그리게이터가 DSO에게 제안한 제어 동작에 대한 요약물을 전송한다. 둘째, DSO가 다른 애그리게이터에서 검증 요청을 수집하고 계산한다. 문제가 분명해

보일 경우, DSO 는 특정 장점 순서에 따라 애그리게이터의 요구의 일부를 확인한다. 셋째, DSO 는 TSO 에 제안 된 제어 동작을 전달한다. 마지막으로 DSO 는 TSO 에 의해 주어진 제약 조건에 따라 유효성 검사 결과를 업데이트하고 애그리게이터에게 결과를 보낸다.

3) 애그리게이터의 비즈니스 모델

Kempton 등은 [17]에서 애그리게이터의 비즈니스 모델을 설명했다. 이 모델에서 애그리게이터는 전기자동차의 배터리 에너지를 사용하기 위해 전기자동차 소유자들에게 배터리를 무료로 교체해 주고 저렴하거나 무료로 충전하는 서비스를 해 준다. 이 애그리게이터의 장점은 전기자동차 소유자가 배터리 충전에 대하여 신경을 쓸 필요가 없다. 애그리게이터는 배터리 관리, 배터리 충전, 방전 및 교체에 대한 책임이 있는 유일한 존재이다.

Andersen 등은 문헌 [20]에서는 다른 비즈니스 모델을 분석했다. 이 모델에서는 애그리게이터의 세 가지 기본 요소를 설명하고 있다. ① 인터넷을 통해 스마트 충전 그리드 인프라와 연결시킨다; ② 자동차, 배터리 및 하드웨어 제조 업체와 협력 관계가 있다; ③ 비용을 줄이는 방법이 있다. 모델은 배터리 및 소프트웨어 운영 시스템에 투자 할 수 있도록 준비하는 공급자로 회사의 인프라에 따라 달라진다. 전기자동차 충전 네트워크는 소프트웨어에 의해 운전자가 가장 가까운 충전 포인트를 찾을 수 있도록 해야 한다. 이 그리드의 역할은 네트워크 정보 수집 및 저장 유연성의 집계를 위해 좋은 장소를 제공한다.

Guille 와 Gross 는 전기자동차 소유자를 유지하기 위해 "package deal"이라는 비즈니스 모델을 제안했다[21]. 이 모델에서, 애그리게이터는 사용자의 배터리를 우대 가격으로 구입하고 배터리 유지 보수 또는 배터리에 대한 우대 가격으로 제공하고 전기자동차의 주차를 우선 제공한다. 대신에, 전기자동차 소유자는 애그리게이터와 계약한 내용을 엄격하게 적용해야 한다. 계약에 있는 지정된 시간에 그리드 연결을 확보한다. 전기자동차 소유자가 계약의 규정을 준수 할 수 없는 경우, 할인 혜택을 받을 수 없고 계약이 해지 될 수 있다. 이 모델에서,

애그리게이터는 배터리 유지 보수를 제공하기 때문에, 전기자동차 소유자는 전기자동차 배터리의 손실에 대해 걱정할 필요가 없다.

Kempton 와 Tomic 는 세 가지 비즈니스 모델을 제안했다[22]. 첫 번째 모델에서, 애그리게이터는 시간 내에 전기자동차의 가용성을 관리하고 시스템 운영자 또는 전력 시장에 보조 서비스를 판매한다. 이 모델에서, 전기자동차는 지정된 위치에 주차해야 한다. 예를 들면, 슈퍼마켓이나 관광지의 대형 주차장 등이 있다. 두 번째 모델에서, 애그리게이터는 분산 된 전기자동차의 전원을 수집하고 전력 소매 업체와 비즈니스 관계를 가지고 있다. 이 모델에서, 애그리게이터는 소매 전력 업체에 해당한다, 이 회사는 많은 전기자동차들로부터 전력을 구입하고서 그 지역의 전력 시장에 전력을 판매한다. 이 모델에 있는 애그리게이터가 각각 전기자동차를 제어하지 않고 전기자동차 소유자가 전기자동차를 온라인으로 연결하기 위해 다양한 인센티브를 제공한다.

III. 한국 전력시장에 적당한 애그리게이터의 운영 모델

1. 한국 전력 시장

한국에서는 그리드 시장은 독특한 특성을 가지고 있다. 그림 3-1 은 한국 전력 시장 운영 시스템을 보여준다. 그림에서 발전소, 전송 시스템 운영자(TSO), 유통 시스템 운영자(DSO), 전기 공급 업체, 전력 시장, 애그리게이터(Aggregator), 전기자동차(EV), 전기 소비자를 포함한다. 한국에서 한국 전력 공사(KEPCO)는 전통적으로 전력을 생성, 전송 및 배포에 대한 책임 회사이다. 그러나, 최근 여러 종류의 신 재생 에너지를 개발하고 한국 전력 공사(KEPCO)에 판매 하고 있다. SK 에너지 같은 이러한 민간 기업은 한국의 스마트그리드 테스트 베드 프로젝트에 참여했기 때문에 가까운 장래에 스마트그리드 기술의 발달에 따라 이와 같은 많은 기업들이 고객에게 전력을 공급하는 역할의 일부를 가질 것으로 예상된다.

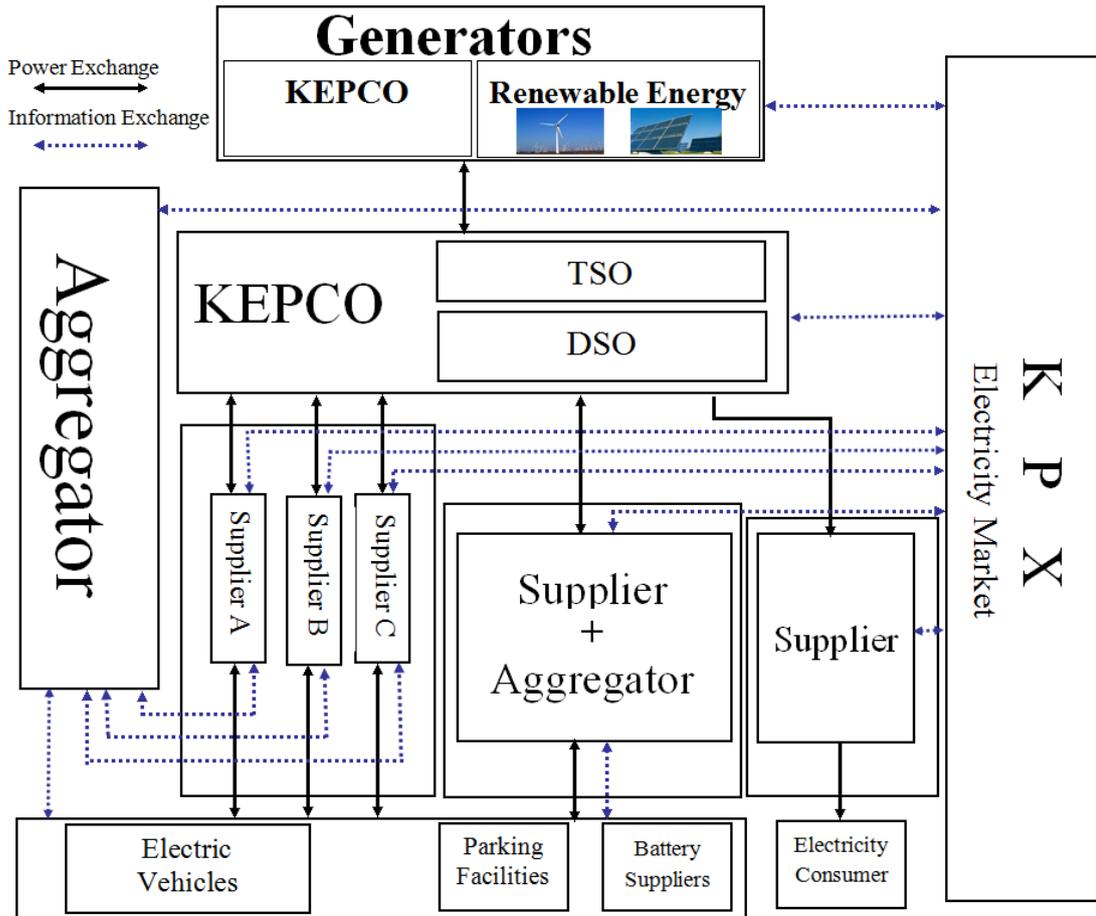


그림 3-1 한국 전력 시장 운영 시스템

한국에서는 전력시장이 두 개의 시장으로 구성된다: 하루 전 시장과 한 시간 전 시장이다. 하루 전 시장은 전일 15 시에 열리고 전일 16 시까지 마감한다. 그리고 결정한 매장량 및 감축량은 전일 17 시에 시장에 참여하는 개체에게 통지된다. 한 시간 전 시장은 실제 전력 전송 3 시간 전에 열리고 2 시간전에 종료한다. 또한, 결정한 감축량은 한 시간 전에 개체에게 통지된다. 한국어 전력 시장은 30 분 단위로 전력을 다룬다. 그림 3-2 은 한국 시장에서 전력 거래소의 시간 순서를 보여준다.

그림 3-3 은 애그리게이터가 그리드와 전기자동차의 전력 교환 방법을 보여준다. 전기자동차는 전력을 교환하기 위해 그리드에 연결하고 애그리게이터 및 기타 그리드 운영자를 통하여 통신을 위해 인터넷에 연결한다. 그리드 운영자는 지속적으로 그리드 작업을 모니터링하고 애그리게이터 집계 부하를 제어하기

위해 디스패치 명령을 보낸다. 애그리게이터는 명령을 받으면 일정 개수의 전기자동차를 선택하고 특정 작업 명령을 수행한다.

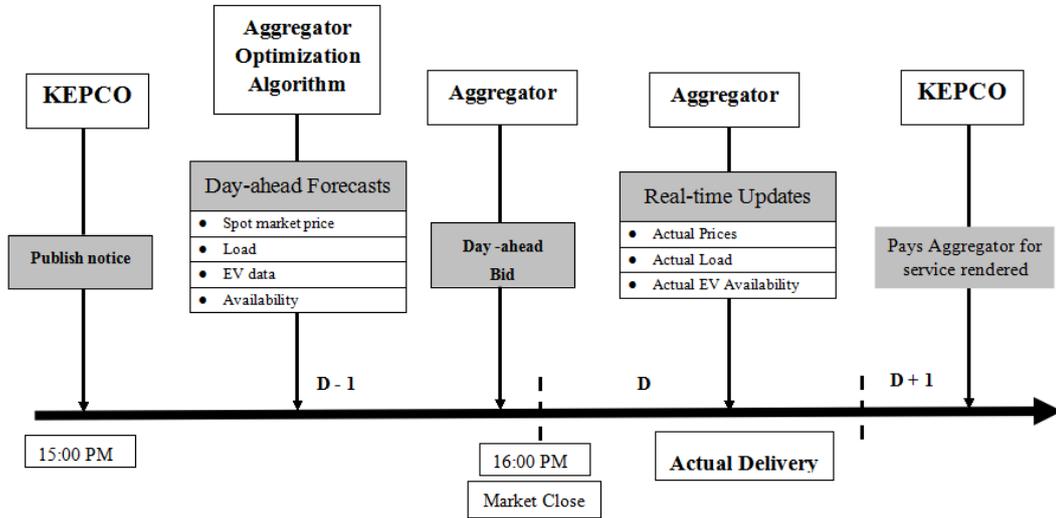


그림 3-2 한국 전력 시장 운영도

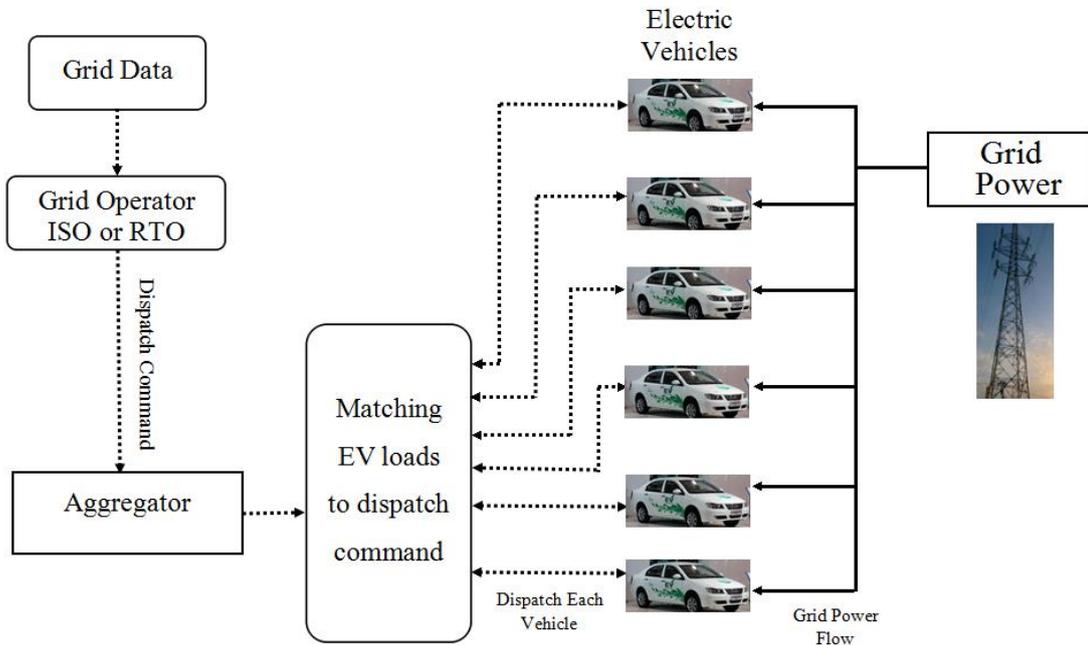


그림 3-3 애그리게이터 동작 방식

본 논문에서는 애그리게이터가 전기자동차 사용자 자신의 수요 패턴을 변경하는 금전적 인센티브를 제공하는 것을 고려한다. 각 애그리게이터의 목표는

자신의 단기 순이익을 극대화하는 것이다. 순이익은 그리드 운영자에 의해 수신된 마이너스 전기자동차 사용자에게 제공하는 보상이다. 그림 3-4 은 애그리게이터와 사용자간의 협상 도를 보여준다.

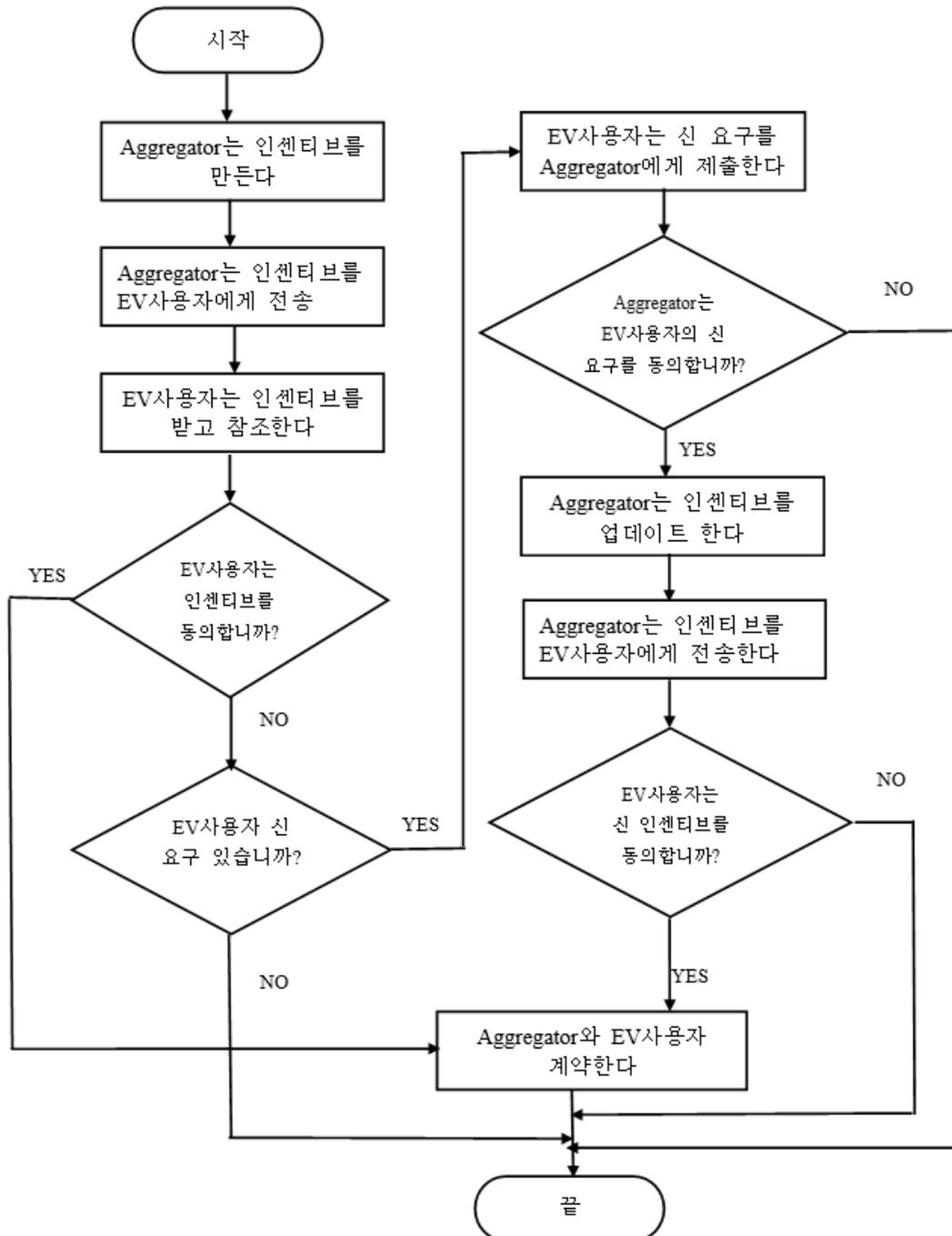


그림 3-4 애그리게이터와 사용자간의 협상도

2. 애그리게이터의 운영 모델의 비교

[23]에서는 애그리게이터가 전력 시장에서의 방적 예약 (Spinning Reserve) 에 참여하는 운영 모델을 제안했는데 이 모델의 주된 목적은 최대한 애그리게이터의 이윤을 높이는 데에 두고 있으며, 다음의 기준으로 동작한다:

$$\max\{Profit\} = \max \sum_{t=1}^T \{-Cost_1(t) - Cost_2(t) + Income_1(t) + Income_2(t) + Income_3(t)\} \quad (1)$$

여기에서 $Cost_1$ 는 전기자동차에 충전을 하기 위하여 애그리게이터는 에너지 시장에서 전기 구매할 때 드는 비용이고 $Cost_2$ 는 방적 예약 시장에서 ISO(Independent System Operator)가 애그리게이터에서 전력을 공급 받을 필요가 있을 때 애그리게이터가 현물 시장에서 에너지 구매할 때 필요한 비용이며 $Income_1$ 는 애그리게이터가 방적 예약 시장에서 얻은 수익이고 $Income_2$ 는 ISO가 애그리게이터로 하여금 방적 예약 시장에 참여하게 할 때 애그리게이터가 얻은 수익이며 $Income_3$ 는 전기자동차 소유자가 애그리게이터를 통한 최소의 계약 충전 시간을 안 지킬 때 애그리게이터의 수입이다.

이 모델은 simulated annealing(SA) 알고리즘을 이용하여 애그리게이터와 전력 시장을 연결시키는 데에 존재하는 문제를 해결한다. 이 모델에 있어서 가장 중요한 것은 전기자동차와 애그리게이터 간의 최소한 연결 시간을 제약하는 것이다. 동시에 전기자동차 소유자의 충전 요구를 만족시키기 위하여 애그리게이터는 전기자동차와의 연결이 끊어지기 전에 전기자동차에 충전을 완료해야 된다.

이 모델의 실험 결과에 의하면 어떤 때는 애그리게이터의 요구가 아주 작거나 0 에 가까이할 때도 있다. 왜냐하면 그 시간에 애그리게이터와 연결되어 있는 전기자동차는 별로 많지 않거나 전기자동차의 배터리가 이미 충전 완료될 수 있기 때문이다. 어떤 때에는 애그리게이터가 작업을 안 한다. 이런 때는

애그리게이터가 전기자동차 충전 만료를 기다려야 된다. 충전이 완료되어야만 작업을 할 수가 있다. 실험 결과에 따라서 전기자동차 용량이 적을 때 애그리게이터의 총 전기 수요량도 적고 에너지의 시장이 높을 때에는 애그리게이터가 높은 입찰 서비스를 제공해 줄 수가 없다. 왜냐하면 에너지 값은 비쌀 때 애그리게이터는 되도록 전기자동차 충전 회수를 감소한다.

[24]에서는 애그리게이터가 전력 시장에서의 입찰 방식을 기술했다. 주로 쌍방향적으로 감시하거나 데이터 교환을 할 때 발생할 수 있는 문제에 해결 방안을 논의했다. 애그리게이터는 전기자동차의 충전 속도를 통제할 뿐만 아니라 다 많은 보조적인 서비스도 제공해 줄 수가 있다. 애그리게이터의 주된 목적은 전기자동차의 충전 및 전기 방출을 통제함으로써 전력 시장 운영에 보조적인 서비스를 제공해 주는 동시에 자기의 이익을 낸다. 아울러 전기 구매 원가를 되도록 낮춤으로써 전기자동차 소유자의 지출을 낮춘다.

문헌에서는 전기자동차를 2 개 팀을 나누었는데 한 팀은 애그리게이터가 전기자동차의 충전 및 전기 방출에 대한 참여를 허락한다, 다른 한 팀은 반대이다. 뿐만 아니라 문헌에서는 애그리게이터가 세 가지 서로 다른 전력 시장에 참여하는 것으로 나타나 있다. 첫째, 애그리게이터는 현재의 전력 시장에 참여한다. 둘째, 애그리게이터는 현재의 전력 시장과 하향 저축 시장에 참여한다. 셋째, 애그리게이터는 현재 전력 시장 형성 및 하향 저축 시장에 참여한다.

애그리게이터가 현재 전력 시장에 참여하는 목표는 현재 전력 시장에서 전기자동차에 충전하는 데 필요한 원가를 최소화한다. 운영 모델은 $\min \sum_{t \in H} p_t \cdot E_{t,k}^F$ 인데, $E_{t,k}^F$ 는 애그리게이터가 현재 전력 시장에서 구매한 전기자동차 충전을 위한 전기 에너지이고 p_t 는 현재 전력 시장에서의 전기 에너지의 가격이다. 여기는 2 개의 제약 조건이 있는데 하나는 애그리게이터 구매한 전기 에너지는 전체 전기자동차 충전 때 필요한 가장 큰 출력보다 적거나 같아야 된다, 다른 하나는 시간대마다 구매한 전기 에너지는 전기자동차의 충전 수요량에 맞아야 한다.

애그리게이터가 현재 전력 시장에 참여하는 목표는 현재 전력 시장이나 하향 저축 장치 시장에서 전기자동차 충전을 위한 전기 구매 원가를 최소화하는 데 두고 있다. 운영 모델은

$$\min \sum_{t \in H} (p_t \cdot E_{t,k}^F + p_t^{down} \cdot P_{t,k}^{down} \cdot \gamma_t^{down} \cdot pf_t^{down} \cdot \Delta t - p_t^{cap} \cdot P_{t,k}^{down} \cdot \gamma_t^{down}) \quad (2)$$

여기에서 $p_t \cdot E_{t,k}^F$ 는 현재 시장에서 에너지 구매 원가이고 $p_t^{down} \cdot P_{t,k}^{down} \cdot \gamma_t^{down} \cdot pf_t^{down}$ 는 하향 저축 장치 시장에서 에너지 구매 원가이다. 하향 저축 장치 시장의 에너지 가격인 p_t^{down} 는 현재 시장의 가격인 p_t 보다는 저렴하다. $p_t^{cap} \cdot P_{t,k}^{down} \cdot \gamma_t^{down}$ 는 애그리게이터가 쓰일 만한 하향 저축 용량이 있다고 의미한다.

여기에서의 γ_t^{down} 의 가치는 1 인데 애그리게이터가 아래쪽으로 에너지 저축을 진행한다고 의미한다. 두 개의 제약 조건을 포함하고 있는데 하나는 애그리게이터가 현재 시장과 하향 저축 장치 시장에서 구매한 에너지 합이 모든 전기자동차 충전 시의 총 출력보다 적거나 같아야 한다, 다른 하나는 시간대마다 현재시장과 하향 저축 장치 시장에서 구매한 전기 에너지는 전기자동차의 충전 수요에 만족을 해야 한다. 실험 결과에 의하면 애그리게이터는 에너지 구매할 때에 전략 시장보다는 하향 저축 장치 시장을 더 많이 이용한다. 이는 에너지 구매 원가를 절약할 수가 있다.

애그리게이터가 현재 전력 시장이나 상향 및 하향 저축 장치 시장에 참여하는 목표는 현재 전력 시장이나 하향 저축 장치 시장에서 전기자동차 충전을 위한 에너지 원가를 최소화하는 데에 두고 있다. 동시에 상향 저축 장치 시장에 참여하는 수익을 올린다, 운영 모델은 다음과 같다:

$$\min \sum_{t \in H} \left(\begin{array}{l} p_t \cdot E_{t,k}^F + p_t^{down} \cdot P_{t,k}^{down} \cdot \gamma_t^{down} \cdot pf_t^{down} \cdot \Delta t - p_t^{cap} \cdot P_{t,k}^{down} \cdot \gamma_t^{down} \\ - p_t^{cap} \cdot P_{t,k}^{up} \cdot \gamma_t^{uo} - p_t^{up} \cdot P_{t,k}^{uo} \cdot \gamma_t^{up} \cdot pf_t^{up} \cdot \Delta t \end{array} \right) \quad (3)$$

그 중에서의 $p_t^{cap} \cdot P_{t,k}^{up} \cdot \gamma_t^{uo}$ 는 애그리게이터에 쓰일 많은 상향 저축 용량 수입이 있다고 의미하고 $p_t^{up} \cdot P_{t,k}^{uo} \cdot \gamma_t^{up} \cdot pf_t^{up} \cdot \Delta t$ 는 애그리게이터가 상향 저축시장에 참여하여 얻은 수입이다. 이 모델도 3 개 제약 조건을 포함하고 다. 첫째, 애그리게이터가 현재 시장과 하향 저축 장치 시장에서 구매한 에너지 합이 모든 전기자동차 충전 시의 총 출력보다 적거나 같아야 한다. 둘째, 상향 전력 시장에서의 입찰 에너지는 현재 시장에서 구매한 에너지보다 적거나 같아야 한다. 셋째, 시간대마다 현재 시장과 하향 저축 시장에서 구매한 에너지 합에서 상향

저축 시장에서 구매한 에너지를 빼더라도 전기자동차 충전 수요를 만족할 수 있어야 한다.

실험 결과에 의하면 애그리게이터가 현재 전력 시장에 참가할 때는 애그리게이터가 전기자동차의 충전 수요를 예측할 수가 있는데 애그리게이터와 연결되어 있는 전기자동차가 저렴한 가격으로 충전할 수 있는 반면에 높은 가격으로 충전해야 된다. 이는 애그리게이터가 에너지 구매 원가를 낮출 수가 있다고 의미한다. 전기자동차 충전을 통제하는 동시에 자동차 소유자의 충전 지출을 낮출 수가 있다. 애그리게이터가 현재 전력 시장이나 하향 저축 장치 시장에 참여할 때 애그리게이터는 현재 전력 시장보다 하향 저축 장치 시장을 더 많이 이용하여 에너지를 구매한다. 이는 에너지 구매 원가를 낮출 수가 있다.

문헌[25]에서는 애그리게이터가 현재 전력 시장과 감독 관리 시장의 입찰 전략을 운영하는 데에 참여한다고 언급했다. 문헌 중에서 애그리게이터가 서로 다른 두 개의 전력 시장과 입찰을 진행한다고 말했다. 하나는 애그리게이터 현재 전력 시장에만 참여한다. 다른 하나는 애그리게이터가 동시에 전력 시장과 감독 관리 시장에 참여한다. 문헌에서는 가장 주된 공헌은 SLP(stochastic linear programming)를 바탕으로 된 운영 모델을 개발해 낸다는 것이다. 모델을 에너지 구매할 때 오차가 일어날 때는 서로 다른 처리 방법을 채택할 수가 있다.

애그리게이터가 현재 전력 시장에만 참여할 경우에는 애그리게이터의 목표는 에너지 구매 원가를 최소화하는 데에 두고 있다. 운영 모델은 다음과 같다.

$$\min \sum_t [\lambda_t^{DA,E} E_t^{DA}] + \sum_{\omega} \pi_{\omega} \sum_t [-\lambda_{t,\omega}^{RT,E} \Delta E_{t,\omega} + (Pnlty_{t,\omega}^{U,UP} + Pnlty_{t,\omega}^{U,Dn})] \quad (4)$$

그 중에서의 $\lambda_t^{DA,E} E_t^{DA}$ 는 애그리게이터가 현재 전력 시장에서 에너지 구매 원가이고 π_{ω} 는 w 의 발생 확률이며 $\lambda_{t,\omega}^{RT,E} \Delta E_{t,\omega}$ 는 구매시의 실시적인 원가이고 $Pnlty_{t,\omega}^{U,UP} + Pnlty_{t,\omega}^{U,Dn}$ 는 애그리게이터가 상향과 하향의 감독 및 관리에 참여하여 오차가 일어날 때 내야 되는 벌금이다. 애그리게이터 현재 전력 시장과 감독 관리 시장에 참여할 때에 애그리게이터의 운영 모델은 다음과 같다.

$$\min \sum_t [\lambda_t^{DA,E} E_t^{DA}] - \sum_{\omega} \pi_{\omega} \sum_t [\lambda_t^{DA,R+} R_{t,\omega}^{RT+} + \lambda_t^{DA,R-} R_{t,\omega}^{RT-}] + \sum_{\omega} \pi_{\omega} \sum_t [-\lambda_{t,\omega}^{RT,E} \Delta E_{t,\omega} + (Pnlty_{t,\omega}^{U,UP} + Pnlty_{t,\omega}^{U,Dn})] \quad (5)$$

그 중에서의 $\lambda_t^{DA,E} E_t^{DA}$ 는 애그리게이터가 상향 및 하향에 대한 감독 관리 원가이다. 위에서 말했던 공식은 일정한 제약 조건이 있는데 애그리게이터의 실시적은 에너지 소모는 모든 전기자동차 충전 시의 에너지 소모의 합이다. 상향 감독 관리의 에너지는 애그리게이터가 부하를 낮추는 최대한 능력을 넘으면 안 된다. 하향 감독 관리의 에너지는 애그리게이터가 부하를 늘리는 데에 최대한 능력을 넘으면 안 된다. 애그리게이터가 제공해 줄 수가 있는 에너지는 애그리게이터가 현재 시장에서 구매한 에너지를 넘으면 안 된다.

문헌에서 모델에 대한 실험 결과에 따르면 전기자동차가 애그리게이터의 통제를 받고 지능적으로 충전하면 저렴한 가격으로 충전을 진행할 수가 있는 것으로 나타났다. 동시에 실험 결과에 따르면 서로 다른 처벌 방법을 채택하면 애그리게이터의 입찰 전략에 아주 중요한 영향을 미친다.

문헌[26]에서는 애그리게이터가 수동 저축 시장의 운영 모델에 참여한다고 자세히 말했다. 이 모델은 수동 저축 시장이 현재 전력 시장과 한 시간 전의 전력 시장을 포함한다. 애그리게이터가 전력 시장의 에너지 구매에 참여하는 동시에 상향 및 하향의 수동적인 저축 서비스를 제공해 준다. 애그리게이터는 전력 시장에 참여할 수가 있고 저축을 진행하는 동시에 일정한 수익을 얻을 수가 있다. 문헌 중에서 애그리게이터 모델 중에서의 두 개 전기자동차의 변수를 말했다. 전기자동차의 배터리는 저축하거나 전기자동차가 충전하는 데에 쓰일 수가 있다. 저축을 진행 할 때에 두 가지의 가격이 있는데 한 가지는 사용 가능한 저축 가격이고 다른 한 가지는 과전 저축 가격이다. 문헌에서 제출한 애그리게이터가 현재 전력 시장에 참여하는 운영 모델은 다음과 같다.

$$\min \sum_t (E_t^{cons} \cdot p_t + E_t^{down} \cdot p_t^{down} - E_t^{up} \cdot p_t^{up} + \psi(E_t^{cons}, E_t) + \phi(E_t^{up}, E_t^{up*}, E_t^{down}, E_t^{down*})) \quad (6)$$

그 중에서의 $E_t^{cons} \cdot p_t$ 는 애그리게이터가 전기자동차 충전을 위한 에너지 소모 원가이고 $E_t^{down} \cdot p_t^{down}$ 는 애그리게이터가 하향 저축 장치 시장에 참여할 때의 에너지 소모 원가이다. $E_t^{up} \cdot p_t^{up}$ 는 애그리게이터가 상향 저축 장치 시장에 참여할 때 에너지를 절약함으로써 얻은 수익이다. $\psi(E_t^{cons}, E_t)$ 는 에너지 구매할 때

일어난 오차로 인한 지출이고 $\phi(E_t^{up}, E_t^{up*}, E_t^{down}, E_t^{down*})$ 는 애그리게이터가 저축을 제공해 주지 못할 경우에는 내야 된 벌금이다.

이 모델은 제약적인 조건을 가지고 있다. 애그리게이터가 현재 시장과 하향 저축 장치 시장에서 구매한 에너지의 합은 전기자동차의 최대 충전 출력보다 낮아야 된다. 애그리게이터 상향 저축 할 때 절약한 에너지는 전기자동차의 총 충전 수요보다 적어야 된다. 애그리게이터가 현재시장과 하향 저축 장치 시장에서 구매한 에너지 합은 상향 저축 시장에서 절약한 에너지를 빼면 전기자동차의 충전 수요와 같아야 된다.

문헌에서의 모델에 대한 실험 결과에 따르면 애그리게이터는 일정한 시간에만 저축 시장에 참여하고 기타 시간에 저축을 거의 안 한다. 이는 전기자동차 소유자의 행위와 일치한다. 서로 다른 저축 방안은 애그리게이터의 수입에 영향을 미친다. 다른 방안을 채택하면 전기자동차 소유자로 하여금 애그리게이터에 참여를 많이 하도록 할 수가 있다. 동시의 완벽한 예측은 애그리게이터의 지출을 낮춤으로써 수입을 늘릴 수가 있다.

3. 한국 전력시장에 적당한 애그리게이터의 운영 모델

이제 한국 전력 시장의 수요관리(DSM)는 인센티브와 요금을 기반으로 하는 수요반응(DR)과 고효율 기기 보급 등을 내용으로 하는 에너지효율로 구분하고 있다. 수요반응은 제어 가능한 자원을 대상으로 하는 인센티브 기반과 제어 불가능한 자원을 대상으로 하는 요금 기반, 기타 제도로 구분하고 있다. 인센티브 기반 수요관리제도는 한전이 운영하는 지정기간, 주간예고, 긴급절전 등과 전력거래소가 운영하는 수요입하, 지능형 DR 등이 있다. 이들 수요관리제도는 모두 신뢰성 DR 성격으로 시행시기, 통보시점, 참여의무, 지원방식 등에 약간의 차이점이 있다. 향후 수급상황에 따른 사업의 불확실성 증대로 사업자의 투자

위축, 전력시장과의 분리로 수요자원의 가치 산정 곤란하다. 계통 신뢰도 확보 위주의 수요관리제도 운영으로 전력공급비용 최소화를 위한 경제성 DR의 전력시장이 필요하다. 경제성 DR는 실시간 급전지시 이행 의무 없이 시장가격에 반응하여 하루 전 시장에서 감축량과 가격을 입찰하는 자원이다.

한국 전력시장 환경을 고려하고 몇 가지 운영 모델의 비교에 따라, 한국 전력시장에 적당한 애그리게이터의 운영 모델을 제안한다. 모델에는 결정적인 변수가 있는데 애그리게이터는 t 시간에 j 전기자동차를 위하여 구매한 에너지인 $E_{t,j}$, 전기자동차가 제공하는 하향 저축 능력인 $P_{t,j}^{down}$, 애그리게이터가 제공하는 상향 저축 능력인 $P_{t,j}^{up}$ 이다. 이런 입찰들은 같은 t 시간에 흩어져 있는 전기자동차에서 모은 것이다. 목표 함수의 최하 원가는 다음 세 부분으로 나뉘어 질 수 있다. ① 애그리게이터는 전기자동차 충전을 위하여 전력 시장에서의 에너지 구매 원가이다. ② 애그리게이터는 전기자동차 충전을 위하여 하향 저축 시장에서의 에너지 구매 원가이다. ③ 애그리게이터가 상향 저축 시장에 참여하여 얻은 수입이다. 함수 수식은 다음과 같다:

$$\min \sum_{t \in H} \left(\lambda_t \cdot \sum_{j=1}^{M_t} (E_{t,j}) + \lambda_t^{down} \cdot \sum_{j=1}^{M_t} (P_{t,j}^{down} \cdot \Delta t) - \lambda_t^{up} \cdot \sum_{j=1}^{M_t} (P_{t,j}^{up} \cdot \Delta t) \right) \quad (7)$$

그 중에서의 \hat{p}_t 는 애그리게이터가 t 시간에 시장에서의 에너지에 대한 예정 가격이고 $\lambda_{t,j}^{down}$ 는 애그리게이터가 t 시간에 하향 저축 장치 시장의 에너지 가격에 대한 예측이며 λ_t^{up} 는 애그리게이터가 t 시간에 상향 저축 장치 시장의 에너지 가격에 대한 예측이다. Δt 는 시간대인 t 의 길이이고 H 는 시간대의 주기이며 M_t 애그리게이터와 연결되어 있는 전기자동차의 수량이다.

운영 모델은 다음과 몇 개 제약 조건이 있다:

애그리게이터는 t 시간대에 전력 시장과 하향 저축 시장에서 구매한 에너지 합은 전기자동차의 최대 충전 출력보다 적거나 같아야 된다. 즉

$$\frac{E_{t,j}}{\Delta t} + P_{t,j}^{down} \leq P_j^{max}, \quad \forall j \in \{1, \dots, M_t\}, \forall t \in H \quad (8)$$

애그리게이터는 매일 t 시간에 상향 저축 시장에 참여하여 절약한 에너지는 전력 시장에서 구매한 에너지에 비하여 적거나 같아야 한다.

$$P_{t,j}^{up} \leq \left(\frac{E_{t,j}}{\Delta t} \right) \cdot \hat{\tau}_t^-, \quad \forall j \in \{1, \dots, M_t\}, \forall t \in H \quad (9)$$

그 중에서의 $\hat{\tau}_t^-$ 는 상향 저축의 이진법 변수인데 수치가 0 일 경우에 상향 저축 에너지를 0 이다. 애그리게이터는 하향 저축 장치 시장에서 구매한 에너지는 전기자동차의 최대의 충전 출력보다 적거나 같아야 된다.

$$P_{t,j}^{down} \leq P_t^{\max} \cdot \hat{\tau}_t^+, \quad \forall j \in \{1, \dots, M_t\}, \forall t \in H \quad (10)$$

그 중에서의 $\hat{\tau}_t^+$ 는 하향 저축 이진법 변수이다

애그리게이터는 전기자동차 충전을 위하여 전력 시장에서 구매한 에너지와 하향 저축 시장에서 구매한 에너지의 합에서 상향 저축을 할 때 절약한 에너지를 빼고 남은 에너지는 전기자동차의 충전 수요와 일치해야 한다.

$$\sum_{t \in \hat{H}_j^{plus}} (E_{t,j} + P_{t,j}^{down} \cdot \Delta t - P_{t,j}^{up} \cdot \Delta t) = \hat{R}_j, \quad \forall j \in \{1, \dots, M_t\} \quad (11)$$

그 중에서의 \hat{R}_j 는 j 전기자동차의 충전 수요이다.

애그리게이터는 하루 전 시장에서 서로 다른 $\hat{\tau}_t^+$ 와 $\hat{\tau}_t^-$ 을 조절하고 전기자동차 충전을 통제한다. 이런 수치들은 처음으로 전기자동차를 충전시킬 때는 확정된 것 아니다. 애그리게이터의 운영 모델은 구축은 전기자동차 수요량과 하루 전 시장에서 구매한 에너지 간의 차이를 최소화하는 것을 바탕으로 진행되는 것이다. 이 모델은 다음과 같이 규정할 수가 있다.

$$\min \sum_{k=t_0}^T \left(\varphi \left(E_k + P_k^{down} \cdot \Delta t - P_k^{up} \cdot \Delta t - \sum_{j=1}^{M_t} E_{k,j}^* \right) \right) \quad (12)$$

그 중에서는 $E_{k,j}^*$ 는 j 대 전기자동차의 에너지 소모이고 t_0 는 작업의 한 시간대이며 Δt 는 시간대 길이이며 φ 손해 함수이다. 즉

$$\varphi(u) = \begin{cases} u \cdot \theta_k^+, & u \geq 0 \\ -u \cdot \theta_k^-, & u < 0 \end{cases} \quad (13)$$

그 중에서의 θ_k^+ 와 θ_k^- 는 상수인데 적극적인 오차와 소극적인 오차 간의 징벌 상황이다. 가장 이상적인 상태는 $u = 0$ 이다. 이런 경우에는 징벌을 안 받을

것이다.

전기자동차가 연이어 충전해야 될 때는 다음 순서대로 해야 된다: ① 충전하기 전에 애그리게이터는 충전 연결되어 있는 전기자동차의 충전 수요량과 전기자동차의 초기화 상태 실정을 함께 계산을 진행하여 전기자동차의 충전 수요와 사용 가능한 기간을 계산해 냈다; ② 애그리게이터는 새로운 계산 결과에 따라서 이 시간에 모든 전기자동차의 충전 문제에 대한 방안을 짜고 모든 전기자동차가 애그리게이터와 연결이 끊어지는 시간을 예측한다. ③ 애그리게이터는 t_0 시간 대에 충전 요구를 설정하여 발령 정보를 전기자동차에 전송해 준다. 애그리게이터는 한 단계의 발령 정보만 고칠 수가 있다. 동시에 다음 시간대의 전기자동차 충전 수요정보를 변경한다. ④ 다음 시간대에 위에서 세 단계를 다시 작업을 하고 새로운 주기를 진행한다.

애그리게이터는 한 시간 전 시장에 참여하면, 하루 전 시장에 참여하는 구입 프로그램을 업데이트 한다. 애그리게이터는 에너지 입찰 총량 및 입찰 가격을 업데이트 할 수 있다. 각 시간 대의 시작 하기 전에, $t_0 \in \{2, Z\}$, 애그리게이터는 전기자동차의 충전 방식을 결정한다. 목적 함수는 다음과 같다.

$$\min \sum_{k=t_0}^T \left(\phi \left(E_k^{DA} - \sum_{j=1}^{M_t} E_{k,j}^* \right) \right) \quad (14)$$

그 중에서의 E_k^{DA} 는 하루 전 시장에 계획했던 계획은 말했다. 한 시간 전 시장에 참여 하는 운영 알고리즘에 대한 자세한 내용은 문헌[26]를 참조 할 수 있다. 이 알고리즘은 다음과 같은 순서로 실행된다: ① 충전하기 전에, 애그리게이터에 대한 새롭게 연결된 전기자동차의 정보를 사용할 수 있다. 이런 정보를 통하여 한 시간 전에 충전 파견하는 정보를 예측 생성할 수 있다. ② 파견하는 정보에 따르면, 애그리게이터의 운영 문제를 해결하고, 전기자동차의 충전을 위해 에너지를 파견하는 결과를 얻다. ③ 에너지를 파견하는 결과에 따라, 다음 시간에 예비 계획을 업데이트한다. ④ t_0 시간 대에 충전 레벨에 해당하는 세트 포인트를 연결 되는 전기자동차에게 전송한다. ⑤ 이 프로세스는 다음 시간 간격 $t_0 + 1$ 에 대해 반복된다.

IV. 시뮬레이션 및 결과

1. 실험 환경

논문에서 제안된 알고리즘의 효과를 확인하기 위하여 여기는 제안된 알고리즘의 시뮬레이션을 실시한다. 시뮬레이션 소프트웨어는 MATLAB R2010a 를 사용한다.

한국의 수요 반응은 이제 시작했기 때문에, 아직까지 완전한 실험 테스트 데이터가 없다, 따라서, 본 논문에서 사용하는 전기 시장 데이터가 포르투갈의 전력 시장의 데이터이다[27]. 포르투갈 전력시장은 전력풀 형태의 도매시장과 쌍무계약으로 구성된다. 전력풀은 일일시장, 보조서비스시장, 일간시장을 포함한다. 일일시장은 1 일 전에 입찰을 통하여 이루어지는 시장이며, 1 시간단위의 한계가격 결정 및 급전계획을 수립한다. 이러한 입찰 결과를 바탕으로 기본 운영계획을 수립한다. 전력거래의 대부분은 일일시장에서 결정된 가격과 거래량으로 정산이 이루어진다. 따라서, 포르투갈의 전력 시장의 상황이 비슷한다.

표 4-1 전기 자동차의 가우스 분포

	평균값	표준 편차	최대 값	최소 값
배터리 용량 (kwh)	24.73	17.19	85.00	5.00
정격 충전 전력 (kw)	3.54	1.48	10.00	2.00
에너지 소모량 (kwh/km)	0.18	0.12	0.85	0.09
배터리 초기 상태 (%)	75.00	25.00	95.00	25.00

이 논문은 3000 대 전기 자동차가 있다는 것을 가정하고 두 그룹 A 와 그룹 B로 나누어다. 여기는 그룹 B의 전기자동차는 그룹 A의 전기자동차 보다 주행 시간이 더 길다. 따라서, 그룹 B의 전기자동차가 충전 요구가 비교적 높고 예비 시장의 유연성이 상대적으로 낮다. 전기자동차의 합성 시계 열이 가용성 및 충전

요구 사항은 마르코프 체인(Markov chain)을 사용하여 시뮬레이션 되었다. 시뮬레이션 시간 간격은 30 분으로 설정하였다. 각 전기 자동차 배터리 용량과 에너지 소비량의 값을 설정하고, 이러한 값은, 전기 자동차 제조 업체에서 제공하는 데이터를 통해 절단 된 가우스 확률 밀도 함수로부터 샘플링 했다. 평균값, 표준 편차, 최대 값, 최소값이 포함된다. 전기자동차의 초기 값이 표 4-1 에 나타냈다. MERGE 는 연구 결과를 기반으로 세 가지 다른 전기자동차 운전자의 동작을 모델링 한다[28]: ① 하루의 끝날 때 전기자동차를 충전; ② 언제든지 가능하면 전기자동차를 충전; ③ 전기자동차를 충전해야 할 때 전기자동차를 충전.

2. 실험 결과

이 절에서는 하루 전 전력시장과 한 시간 전 전력시장에 두 그룹 전기자동차의 참여 결과를 제시한다.

그림 4-1 에서는 하루 전과 한 시간 전의 전력 시장에서의 상향 저축 입찰 상황을 비교해 봤는데 한 시간 전의 시장은 하루 전의 시장 입찰에 대하여 많이 고친 것을 뚜렷하게 알 수 있게 되었다. 예를 들어서 4 시와 5 시에 한 시간 전의 계산법은 한 새로운 상향 저축 입찰 가격을 제출해 냈고 1 시와 19 시에 한 시간 전의 계산법은 상향 저축의 수치를 낮추었다.

그림 4-2 에서는 두 가지 입찰 상황 하의 저축 에너지 부족의 백분율을 사용했다. 예측한 바와 같이 일정한 시간 간격 하에 한 시간 전의 입찰 저축 부족은 상대적으로 더 낮은 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 주의해야 되는 것은 한 시간 전의 입찰이라도 저축이 부족한 경우도 있다. 왜냐하면은 이 시간에 지능이 아닌 전기 자동차가 충전하고 있을 수도 있기 때문이다. 이런 시간 간격에 맞춰서 전기 자동차와 애그리게이터 간에 충전 계약과 같은 것을 설치하는 게 실행이 가능한 해결 방안이 될 수도 있다.

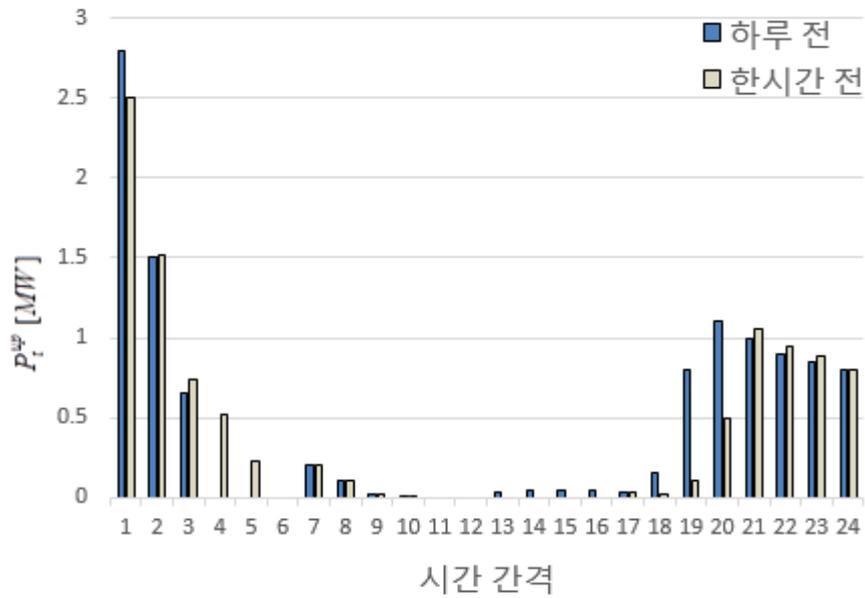


그림 4-1 하루 전과 한 시간 전의 전력 시장에서의 상향 저축 입찰 상황

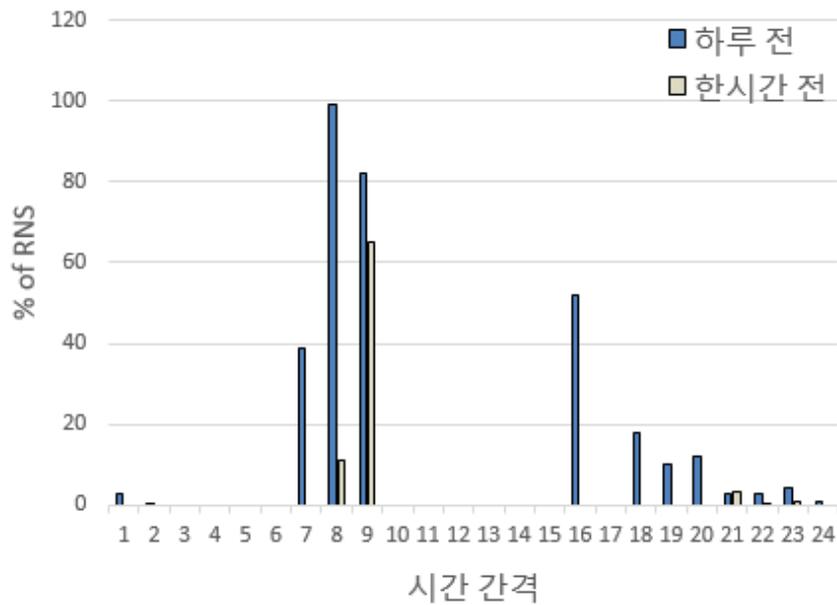


그림 4-2 상향 예비 부족의 백분율

그림 4-3 에서는 하루 전의 전력 시장과 한 시간 전의 전력 시장의 저축 입찰의 원가를 낮춘 것을 상세히 말했다. 두 개 서로 다른 전기 자동차로 된 팀은 한 시간 전의 시장 에너지 입찰하는 경우는 하루 전의 시장 입찰을 하는 경우보다 원가가 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 그러나 큰 차이가 안 난다: 한 시간 전 시장에 참여 입찰 비용을 그룹 A 의 전기자동차가 20.7 % 감소하고 그룹 B 의

전기자동차가 18.9 % 감소한다. 하루 전 시장에 참여 입찰 비용을 그룹 A 의 전기자동차가 18.7 % 감소하고 그룹 B 의 전기자동차가 15.5 % 감소한다. 이 차이 주된 이유는 예비 부족에 대한 처벌이다. 한 시간 전 시장에 입찰 예비 알고리즘의 주요 역할은 예비 입찰의 수정하고 부적절한 예비를 피한다. 그러나, 하루 전 시장에 입찰 예비 알고리즘은 상향이나 하향에 예비를 변경할 수 있는 충분한 유연성이 없다.

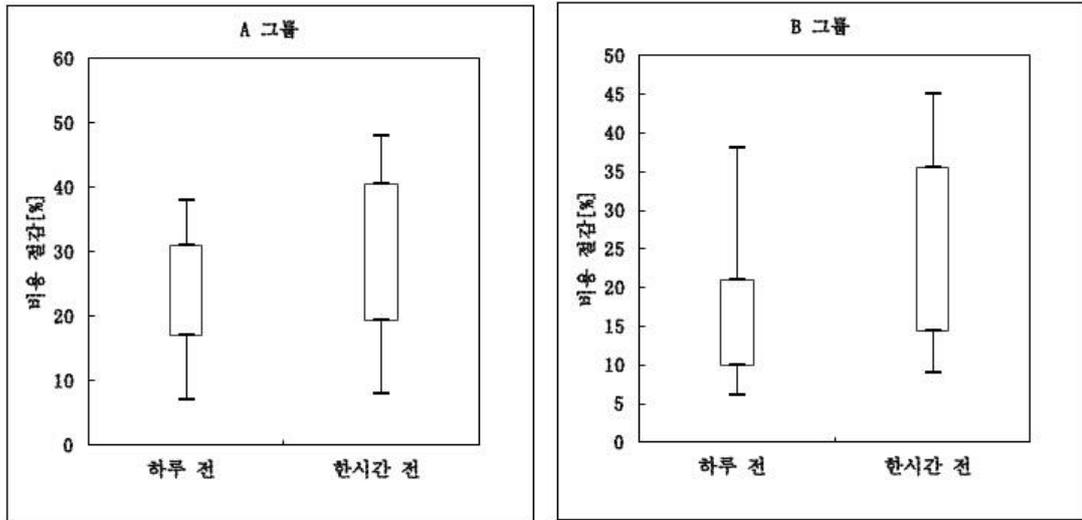


그림 4-3 에너지 시장에 참여하는 총 감소의 비용

예비 서비스 품질 평가 지표는 두 가지가 있다. ① 제공하지 않는 예비의 비율(RNS), 이 비율은 전체 예비의 부족과 시장에서 제공하는 전체 예비의 비율이다. ② RNS 에 대한 시간의 비율, 이 비율은 RNS 에 대한 시간 수와 예비 입찰에 대한 시간 수의 비율이다. 표 4-2 는 하향 예비에 대한 두 가지 지표를 제시한다(30 샘플의 평균 값). 앞서 언급 한 바와 같이, 한 시간 전 시장의 입찰은 하향 예비가 공급되는 것을 보장한다. 반대로, 몇 시간에서 하루 전 시장의 입찰은 예비 부족 때문에 입찰 총 비용을 증가시킬 것이다.

표 4-2 하향 예비에 대한 그룹 A 와 그룹 B 의 지표

	RNS [%]		RNS 에 대한 시간의 비율	
	하루 전	한 시간 전	하루 전	한 시간 전
그룹 A	2.4%	0.0%	3.6%	0.0%
그룹 B	3.7%	0.0%	10.2%	0.0%

그림 4-4 과 4-5 는 세 가지 허용 가능한 배터리 SOC 레벨을 고려하여 상향 예비에 대한 결과를 묘사한다. 몇 시간에서 하루 전 시정에 대한 입차가 RNS 로 이어지고 95 % 및 90 %의 허용 가능한 SOC 는 RNS 값의 감소를 제공한다. 이 값은 상향 예비의 신뢰성이 하향 예비에 비해 낮다는 것을 보여준다. 한 시간 전 시정에 대한 입차가 RNS 에 대한 시간 수의 비율을 묘사한다. 허용 가능한 SOC SOC 오차를 고려하면 이가 해결된다. RNS 에 대한 시간의 비율이 높은 있지만 한 시간 전 입차 및 허용 가능한 SOC 가 그것은 감소 시킬 수 있다.

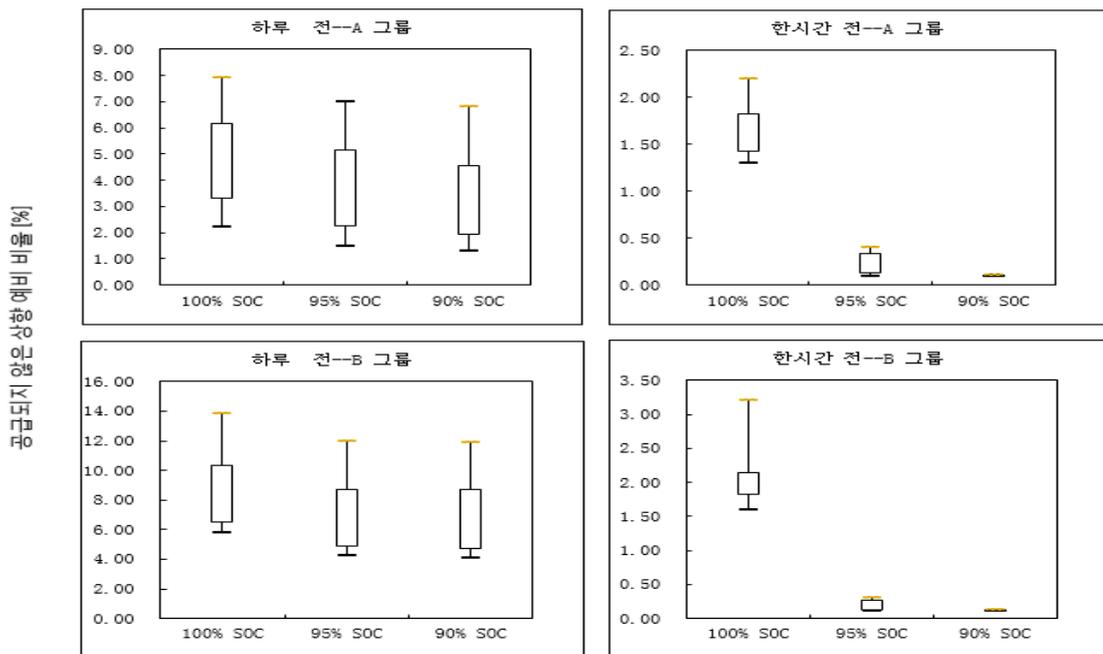


그림 4-4 그룹 A 와 그룹 B 의공급되지 않은 상향 예비 비율

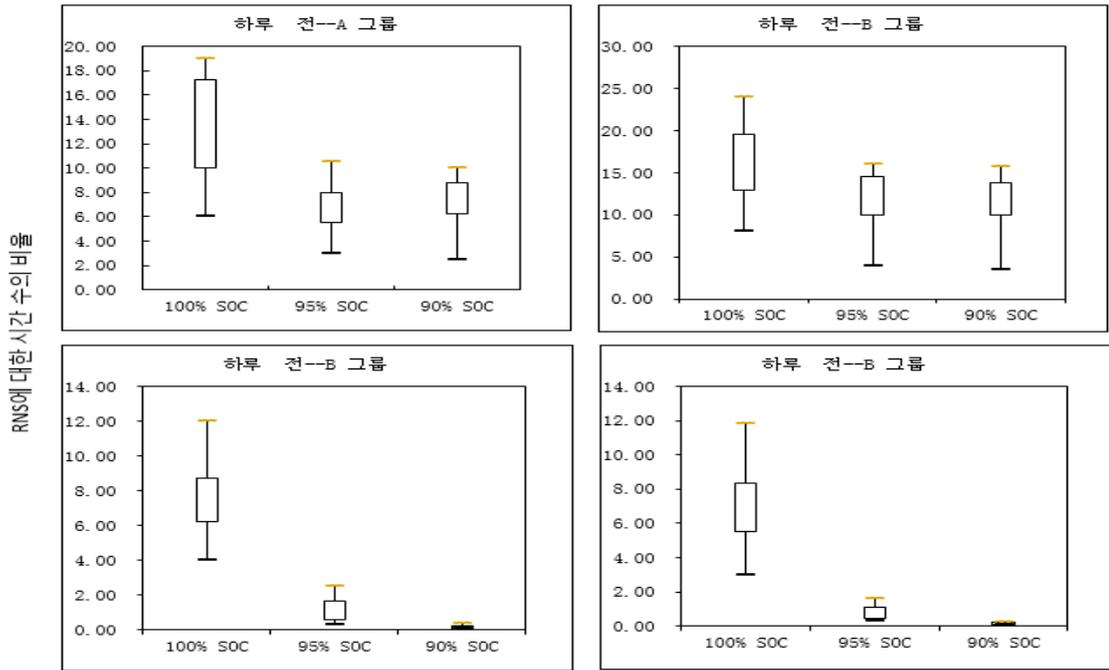


그림 4-5 그룹 A 와 그룹 B 의 RNS 에 대한 시간 수의 비율

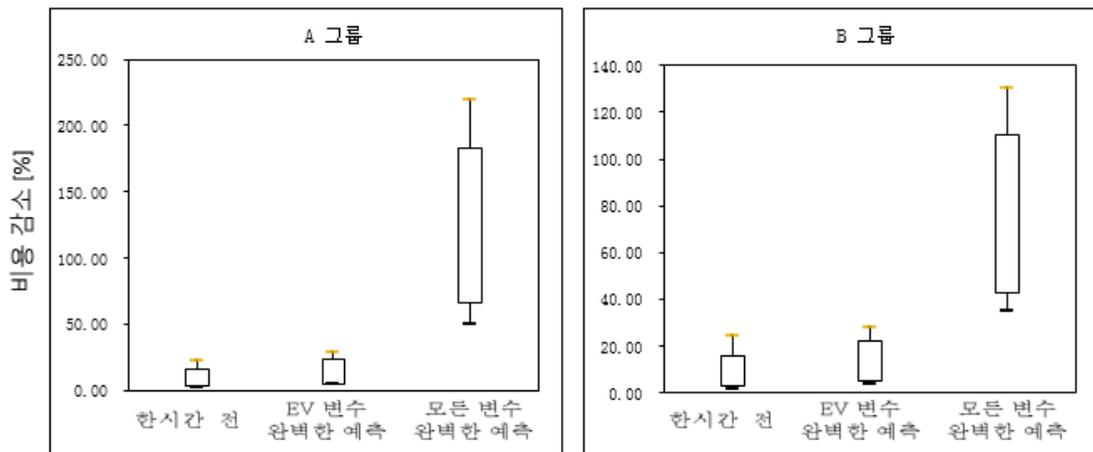


그림 4-6 세 가지 경우에 대한 비용 감소

그림 4-6 는 세 가지 경우에 대한 비용 감소를 보여준다: ① 한 시간 전에 예비 입찰; ② 전기자동차 변수에 대한 완벽한 예측; ③ 모든 변수에 대한 완벽한 예측. 비용 감소를 계산하는 기준은 하루 앞서 예비 입찰이다. 한 시간 전 입차 비용에 대한 그룹 A 전기자동차가 2.4%만 감소를 달성하고 그룹 B 전기자동차가 5.2%만 감소를 달성한다. 전기자동차 변수를 완벽한 예측에 대한 그룹 A 전기자동차가 9.5%만 감소를 달성하고 그룹 B 전기자동차가 10.4%만 감소를 달성한다. 이는 전기자동차 변수의 불확실성은 비용에 작은 영향을 미칠 수 있음을 나타낸다. 마지막으로, 모든 변수가 다 완벽한 예측을 때 비용 절감에 큰 영향이 있다.

V. 결론

본 논문에서는, 전력 시장에 애그리게이터의 역할에 대한 더 나은 이해를 제공한다. 애그리게이터가 하루 전 시장에 입찰을 위한 새로운 운영 모델을 제시한다. 이 모델 중에서 백업 배터리의 개념을 제안한다. 프로그램의 설명은 시장 입찰의 불확실성과 가능한 수요의 유연성을 고려한다. 이 논문은 애그리게이터가 코디네이터의 역할이 있고 전기자동차는 충전 또는 방전을 결정하는 새로운 메커니즘을 제안한다는 것을 보여준다. 스마트 충전/방전 가격정책을 사용하여, 전기자동차가 최적의 성능을 달성 할 수 있는 것으로 나타났다.

전력 시장에서 예비량이 부족하는 경우가 있을 것이다. 이러한 상황을 방지하기 위해 적절한 시장 규칙과 프로토콜을 정의해야 한다. 애그리게이터는 빠른 응답을 제공할 수 있기 때문에 애그리게이터가 중요하다는 것을 강조해야 한다. 결과를 통해서 시장의 가격을 예측 오류와 전기자동차 변수의 역할을 무시할 수 없는 것을 볼 수 있다. 이러한 예측의 편견은 예비 에너지와 에너지 공급의 안정성에 영향을 있다.

향후 연구 과제로는 전략적 경쟁 시장의 개선이나 실시간 시장 거래를 추측하거나 고려하여, 충전의 실시간 조정을 위한 예측 제어에 대한 초점을 맞출 것이다.

참고문헌

- [1] John McDonald, "Leader or Follower: Developing the Smart Grid Business Case", Power and Energy Magazine, IEEE, 2008 Issue 6.
- [2] Willett Kempton, Steven E. Letendre. Electric Vehicles as a new power source for electric utilities [J]. Transpot Res, 1997,2(3) : 157-175.
- [3] S. W. Hadley and A.A. Tsvetkova, "Potential impacts of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Regional Power Generation," Elect. J., vol. 22, no.10, pp. 56-8, 2009.
- [4] Community Research, European Commission, "European SmartGrids Technology Platform: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future", Luxembourg, 2006.
- [5] Ricardo J. Bessa, Manuel A. Matos, "The Aggregator Agent for EV Role in the Electricity Market", MedPower 2010, Cyprus, November, 2010.
- [6] C. Guille and G. Gross, "A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation," Energy Policy, vol. In Press, Corrected Proof.
- [7] <http://www.osii.com/cn/solutions/initiatives/smartgrid.asp>, accessed: 2014.03.
- [8] <http://www.globalsmartgridfederation.org/smart-grids/>, accessed: 2014.04.
- [9] https://www.smartgrid.gov/sites/default/files/resources/systems_report.pdf, accessed in 2014.04.
- [10] Peter Wolfs, Syed Isalm, "Potential Barriers to Smart Grid Technology in Australia", Curtin University of Technology, Perth, Australia
- [11] T. Ueno, "Effectiveness of an energy-consumption information system on energy savings in residential houses based on monitored data", Graduate School of Engineering, Japan, 2005
- [12] C.M. Affonso, L.C.P. da Silva, W. Freitas, "Demand-Side Management to Improve Power System Security", Transmission and Distribution Conference and Exhibition, pp. 517-522, May 2006.

- [13] SELINC, "Real Time Power System Control", AustralAsian Power Technologies Transmission and Distribution, November 2008
- [14] H. Tai, E. Hogan, "Behind the Buzz", IEEE Power & Energy magazine, March/April 2009.
- [15] <http://electricvehicles.caa.ca/types-of-electric-vehicles/>, accessed: 2014.03.
- [16] http://www.magicconsortium.org/research_partners.html, accessed: 2014.03.
- [17] W. Kempton, J. Tomic, S. Letendre, A. Brooks, and T. Lipman, " Vehicle to grid power: battery, hybrid, and fuel cell vehicles as resources for distributed electric power in California," Technical Report ECD-ITS-RR-OI-03, UC Davis Institute for Transportation Studies, Jun. 2001.
- [18] A. Brooks and T. Gage, "Integration of electric drive vehicles with the electric power grid - a new value stream," in Proceedings of the 18th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition, Berlin, Germany, Oct. 2001.
- [19] C. Quinn, D. Zimmerle, and T.H. Bradley, "The effect of communication architecture on the availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric vehicle-to-grid ancillary services," Journal of Power Sources, vol. 195, no. 5, pp. 1500-1509, March. 2010.
- [20] P.H. Andersen, J.A. Mathews, M. Raska, "Integrating private transport into renewable energy policy: The strategy of creating intelligent recharging grids for electric vehicles", Energy Policy, vol. 37, no. 7, pp. 2481-2486, July 2009.
- [21] C. Guille and G. Gross, "A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation," Energy Policy, vol. 37, no. 11, pp.4379-4390, Nov. 2009.
- [22] W. Kempton and J. Tomic, "Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy," Journal of Power Sources, vol. 144, no. 1, pp. 268-279, Jun. 2005.
- [23] <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6253961>, accessed: 2014.03.
- [24] <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6003808>, accessed: 2014.03.
- [25] http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6582687, accessed: 2014.03.

- [26] <http://www.rbessa.com/uploads/1/3/4/0/13407469/2evp.pdf>, accessed: 2014.03.
- [27] <http://www.mercado.ren.pt/Paginas/default.aspx>. accessed: 2014.03.
- [28] S. Bendinget al., Specification for an Enabling Smart Technology, Deliverable D1.1 European Project MERGE, 2010.