

# 새로운 에너지저장 매체로서의 연료전지자동차 계통 연계기술



최진혁  
한전 전력연구원 ESS연구사업단 선임연구원

## 1. 개황

### 가. 에너지저장기술

최근 들어 산업용 등 소비자의 전기소비 패턴의 변화는 부하 변동에도 영향을 미치고 있으며 평균부하의 증가율에 비해 최대전력의 상승률이 급격히 증가하고 있다. 전체적인 부하율은 점차 낮아지고 있는 반면에, 시간대별 부하변동 뿐만 아니라 하절기 및 동절기 같은 계절별 부하에서의 차이가 커지는 경향을 보이고 있다.

이와 같이 시간대별, 계절별 최대부하가 지속적으로 증가하면 이에 대응하기 위한 전력공급설비를 확충해야 한다. 그러나

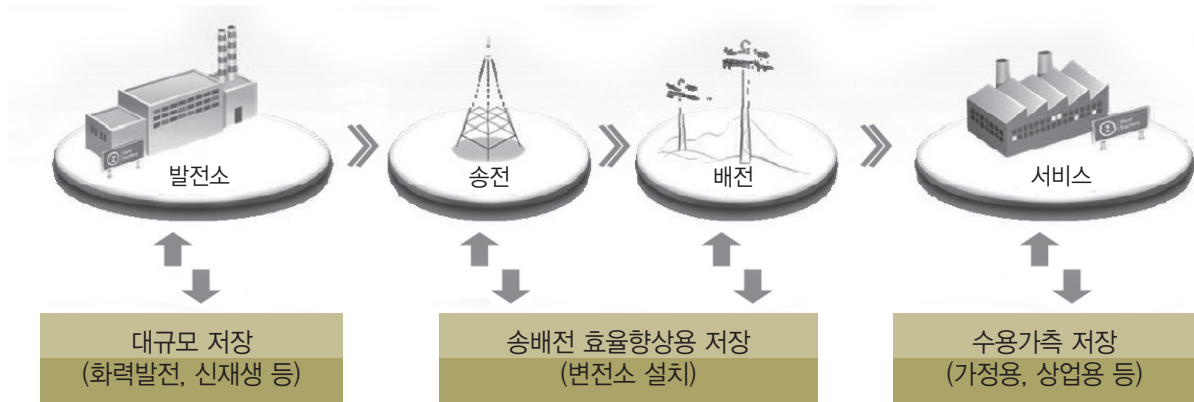
우리나라의 경우 전반적인 부하율은 점점 낮아지는 등 설비 이용률이 떨어지고 있는 상황에서 최대부하에 대응하기 위한 전력설비를 증설할 경우 유휴설비가 늘어나게 되고 경제성 측면에서의 문제가 발생할 수 있다.

전력부족 현상을 해결하기 위해서는 장기적으로 전력공급의 확충, 전력 수요관리, 전기요금의 현실화, 신재생에너지 보급 등 다양한 대안이 제시되고 있다. 그러나 시간대별, 계절별 변동이 큰 전기부하

[표 1] 국내 최대전력 전망 값

연도	최대전력(하계)	최대전력(동계)
2014	80,328	80,969
2015	81,577	82,677
2016	84,576	84,167
2017	88,218	86,922
2018	91,509	89,581
2019	93,683	91,424
2020	95,316	94,014

(출처 : 제6차 전력수급기본계획, 산업통상자원부, 2013)



[그림 1] 에너지저장시스템 개념도(출처 : 산업통상자원부)

[표 2] 에너지저장 기술의 종류(출처 : 산업통상자원부, LG화학)

종류	특징
리튬이온전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>원리 : 리튬이온이 양극과 음극을 오가면서 전위차 발생</li> <li>장점 : 고에너지밀도, 고에너지효율, 고출력으로 적용범위 넓음</li> <li>단점 : 안전성, 고비용, 대형시스템 장기운전 경험부족</li> </ul>
압축공기저장	<ul style="list-style-type: none"> <li>원리 : 공기를 밀폐공간 내에 압축저장 후, 가열하여 터빈구동</li> <li>장점 : 100MW이상의 대규모 시스템 구현 가능</li> <li>단점 : 초기설비구축비용 과다, 지형조건 등 지리적 제약</li> </ul>
나트륨-황전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>원리 : 고온(~300oC)에서 용융상태의 나트륨이온을 이용한 전기저장</li> <li>장점 : 저비용, 대용량화 용이</li> <li>단점 : 저출력, 고온유지에 따른 소내전력손실에 따른 저효율</li> </ul>
플라이휠	<ul style="list-style-type: none"> <li>원리 : 전기에너지를 운동에너지로 저장 후 다시 전기에너지로 활용</li> <li>장점 : 고출력, 장수명</li> <li>단점 : 초기구축비용과다, 저에너지밀도</li> </ul>
레독스흐름전지	<ul style="list-style-type: none"> <li>원리 : 전해액 내 이온의 산화/환원 전위차를 이용하여 에너지저장</li> <li>장점 : 저비용, 대용량화 용이, 출력/에너지 분리설계 가능</li> <li>단점 : 저에너지효율, 저에너지밀도</li> </ul>
슈퍼캐패시터	<ul style="list-style-type: none"> <li>원리 : 탄소 또는 금속산화물 표면에 대전되는 형태로 전기에너지 저장</li> <li>장점 : 고출력밀도, 고수명</li> <li>단점 : 저에너지밀도, 사용시간 짧음</li> </ul>

를 평균화시켜 전반적인 부하율을 향상시킬 수 있다면, 전력생산자 입장에서는 발전단가를 낮출 수 있으며, 전력설비 증설에 필요한 투자비와 운전비 등을 절감할 수 있다. 이러한 전기부하의 평균화를 위해서 에너지저장매체를 보급·확산함으로써 하절기 및 동절기의 전력피크에 적극 대응할 수 있다.

에너지저장시스템은 생산된 전력을 전력계통에 저장했다가 전력이 필요한 시기에 공급함으로써 에너지효율을 높이는 시스템이다. 즉 에너지저장시스템이란 생산과 동시에 소비가 이루어지는 전기의 특성에 저장기술을 도입하여 전기수요가 적을 때 생산된 전기를 저렴한 가격으로 저장하고 수요가 많을 때 저장된 전기를 공급하는 시스템이다. 에너지저장장치는 화학에너지, 운동에너지, 위치에너지 등의 여러 가지 형태를 활용하여 에너지를 저장한 후 다시 전기에너지로 변환하여 활용할 수 있으며 그 종류는 [표 2]와 같다.

**나. 연료전지자동차**

연료전지는 연료의 화학에너지를 전기화학반응에 의해 전기에너지로 직접 변환하는 발전장치로서 연료저지 스택, BOP(Balance of Plant), 연료변환장치 및 제어기술을 통합하는 융복합 기술이다.

연료전지자동차는 내연기관 자동차의 동력변환장치에 해당하는 엔진을 연료전지로 대체함으로써 연

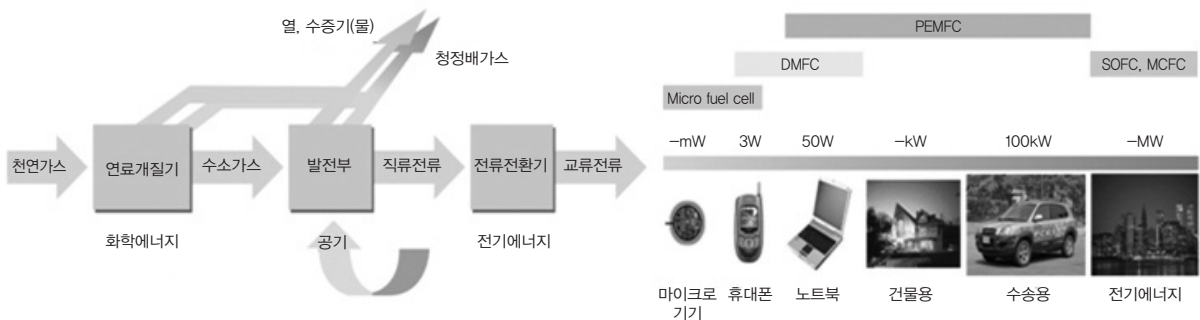
료전에서 생산된 전기로 모터를 구동시켜 주행하는 자동차이다. 연료전지는 수소와 산소의 전기화학반응을 통해 직접 전기를 발생시키기 때문에 기존 내연기관이 갖는 열역학적 제한을 받지 않기 때문에 자동차의 평균 운전영역에서 내연기관 자동차보다 2~3배 높은 효율을 나타낸다.

또한 연료전지는 수소를 연료로 이용하기 때문에 내연기관을 이용하는 경우에 비해 유해물질을 비롯하여 지구온난화의 주범인 이산화탄소를 전혀 배출하지 않는 무공해 자동차이다. 그러나 연료전지자동차의 상용화를 위해서는 시스템 가격 절감과 스택 내구성 향상을 통한 장수명화가 필요하다.

**다. V2G(Vehicle to Grid) 기술**

V2G 기술은 배터리 전지자동차 또는 연료전지자동차를 계통에 연계하여 필요 시 전력을 공급할 수 있는 매체로 활용하는 기술이다. 연료전지자동차는 이동형 전원으로 사용 가능하며, 전력계통에 연계 시 에너지저장 매체로 활용이 가능하므로 배터리 전지자동차를 활용하는 기존 V2G 기술에 비해 충전과정이 필요하지 않기 때문에 여러 가지 장점을 갖는다.

배터리 전지자동차를 에너지저장 매체로 활용할 경우에는 전지자동차 보급 확대에 따라 충전기가 다수 보급되어야 하며, 정부에 따르면 2016년까지 15만 대의 충전기를 보급할 계획에 있다. 급속충전기



[그림 2] 연료전지의 발전방식 및 응용분야(출처 : 그린에너지전략로드맵, 한국에너지기술평가원, 2011)

(50kW) 및 완속충전기(7.7kW) 비율 1:9, 부하율을 50%로 가정할 경우 2016년 배터리 전기자동차 충전 을 위해 약 900MW의 추가적인 부하로 작용하게 된다. 그러나 연료전지자동차는 충전과정이 필요하지 않기 때문에 피크 시 계통에 전력을 공급하는 소규모 분산발전소의 역할을 수행하면서도 추가적인 부하로 는 작용하지 않는 이점을 갖는다.

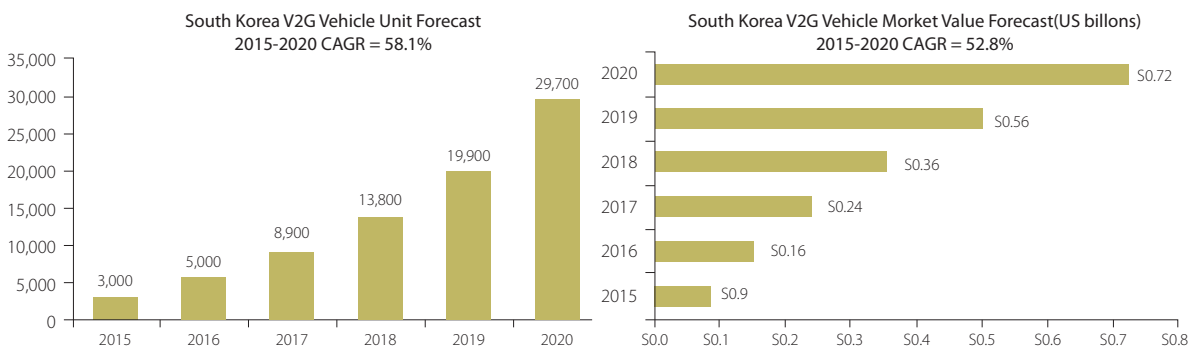
## 2. 시장 현황

2020년 전 세계 시장의 V2G용 배터리 전기자동차 보급대수는 105만6,000대, 매출액은 266억 달러, V2G용 인프라 매출액은 66.8억 달러, 기술관련 매출액은 105억 달러로 예측된다. V2G 기술에 적용 가능한 배터리 전기자동차 판매량은 전 세계적으로 2011년 100만대에서 2015년 678만대, 2020년 1,000만대로 연평균 30% 증가할 것으로 전망되고 있으며, 자동차 연비규정 강화, 고유가 및 정부의 정책지원으로 보급 확대가 예상된다. V2G 기술에 적용 가능한 연료전지자동차의 경우, 세계 수소연료 수요 량이 2010년 775톤에서 2015년 5만5,000톤, 2020 년 41만8,000톤으로 급격히 확대될 것으로 추정되고, 전 세계 연료전지자동차 시장은 2015년을 기점

으로 고속 성장해 2020년 누적 판매량 120만대를 기록할 것으로 예상된다.

현재 국내 V2G 관련 시장은 초기단계로서 기술개발을 시작하고 있고, 제주 실증단지를 통해 기술 검증 중에 있다. 국내 시장의 경우, V2G용 차량 보급 대수는 2020년 3만대, 매출액은 7.2억 달러, 관련 인프라 매출액은 1.75억 달러, 기술관련 매출은 2.83억 달러이며, V2G 서비스로 인한 매출은 0.53억 달러로 예측된다.

배터리 전기자동차의 경우 2012년 3만7,000대의 하이브리드차와 750대의 순수 배터리차가 판매되어 각각 1조1,850억 원 및 338억 원 규모의 시장이 형성되었으며, 2020년 약 6조6,000억 원 정도의 시장을 형성할 것으로 전망된다. 연료전지 자동차의 경우, 환경부 친환경 자동차 보급계획에 의해서 2013년 5대, 2014년 50대를 보급할 예정이며, 2020년 차량 500대 및 수소 충전소 10기 보급 이후, 2025년 차량 2만대 및 수소 충전소 200기를 보급할 계획에 있다. 그리고 에너지저장 시장규모는 2012년 약 710억 원 규모에서 2017년 이후 본격화 될 것으로 전망되어 2020년 약 8,629억 원으로 성장할 것으로 예상된다. 한전에서 발표된 주파수 조정용 에너지저장장치 투자계획 약 6,300억 원을 포함할 경우 시장규모는 더 큰 폭으로 성장할 것으로 보인다.



[그림 3] 국내 V2G 보급 대수 및 시장 전망(출처 : Smart Grid Insight-V2G, ZPryme, 2010)

### 3. 기술 현황

배터리 전기자동차, 연료전지 전기자동차 등 V2G 관련 차량설계 및 제조기술이 전 세계적으로 활발하게 개발되고 있으며, 계통연계를 위한 양방향 인버터 기술 및 연료전지 전기자동차 보급 확대를 위한 수소스테이션 인프라 구축, 차량과 EMS(Energy Management System) 간 통신 솔루션 및 충·방전 표준 또한 개발되고 있다. 대부분의 기술은 배터리 전기자동차를 계통에 연계하여 에너지저장장치로 활용하기

위한 기술이며, 본 고에서 소개하고자 하는 연료전지 자동차를 이용한 V2G관련 기술개발은 아직 초기 단계에 있다.

연료전지자동차를 계통에 연계하여 활용하기 위해서는 소형 발전기 형태로 운전이 가능한 스택이 장착된 연료전지자동차, 계통 연계를 위한 컨버터 및 인버터, 연료전지 발전 출력을 제어하기 위한 제어시스템, 통합관제 시스템과 제어시스템 간의 통신 시스템 및 규격의 개발이 필요하다.


[표 3] 국내 V2G 관련 기술현황 및 전망(출처 : V2G 시스템 관련 기술개발 현황, 이현구 외, 2011)

기술 분류	기술현황 및 전망
배터리 전기자동차	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V2G 기반 기술인 충전기 기술개발을 위해 코디에스 및 동하정보기술(주), 피엔이솔루션, LS산전, LS전선, 효성, 중앙제어 등에서 개발하고 있으며 차량탑재형 충전기인 OBC의 경우 시그넷시스템(주)가 개발 중</li> <li>• LG화학은 리튬폴리머 배터리를 2010년부터 양산되는 GM 쉐보레 볼트에 공급하고 있으며, 다양한 EV 적용을 위해 GM과 협약 체결</li> <li>• 삼성SDI는 EV용 배터리 생산을 위해 보쉬와 합작사 SB리모티브 설립</li> <li>• 코캄은 2008년 휴대폰 배터리보다 300배 수명이 긴 4.5kg 리튬배터리를 유럽 전기버스 제조사에 납품</li> </ul>
연료전지 자동차	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 현대자동차는 98년 G7사업에 연료전지 차량 제작을 시작으로 2013년 2월 세계 최초로 보급형 Tucson ix35 FuelCell 양산</li> <li>• 현대자동차는 초기시장 형성 전단계인 실증단계로 연료전지 자동차 가격저감 및 내구성 확보를 위한 기술 개발 중</li> </ul>
에너지저장장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내에서 개발 중인 에너지저장장치 기술은 주로 리튬이온전지, 플로우전지, 나트륨-황 전지와 슈퍼캐패시터 등이며, 최근 압축공기저장 사업이 추진되고 있음</li> <li>• 제주 조천변전소에 4MW/8MWh급 리튬이온전지 에너지저장장치가 한전, 삼성SDI 및 효성에 의해 개발 및 실증 중</li> <li>• 대구에서 PV 연계 10kWh급 가정용 에너지저장장치가 KT, 삼성SDI, 효성 및 EnTech이 참여하여 개발</li> </ul>
수소스테이션	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2003년부터 분산공급방식 수소 제조기술 개발</li> <li>• 30Nm<sup>3</sup>/hr급 천연가스, 나프타, LPG 개질기 및 수전해 원천기술 개발</li> <li>• 2013년 세계 최대규모인 300Nm<sup>3</sup>/hr급 수소스테이션 개발 착수</li> <li>• 정부지원 과제로 350bar, 700bar 압축기 개발</li> <li>• 서울시는 상암동에 Land Fill Gas 기반 수소충전소 운영 중(30Nm<sup>3</sup>/hr)</li> </ul>
표준	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 산업통상자원부 기술표준원에서는 2011년 3월 EV 표준 코디네이터를 임명, EV 표준화 마스터플랜을 수립하고 국제표준에 대응</li> <li>• 장점 : EV 중앙관리시스템을 위한 공통 데이터 모델 표준인 IEC 61850, 61970, 61968 등은 국제표준에 대응하고 있으며, V2G 양방향 요구사항은 2012년, V2G 성능 및 환경 요구조건은 2015년까지 단체표준 또는 KS로 제정하여 NP 제안 계획</li> <li>• 국내 수소스테이션의 경우 적합 용량 및 설치기준에 대한 표준 부재로 실질적인 제품화가 이루어지고 있지 않음</li> </ul>

## 4. 향후 전망

연료전지 자동차를 계통에 연계하기 위해서는 승압형 컨버터 및 계통 연계형 인버터, 고전압 커넥팅 안전설계 기술, 제어 소프트웨어 및 데이터분석 기술 등 추가적인 기술개발이 필요하다. 또한 연료공급을 위한 수소스테이션 인프라 확대, 차량-계통 연계를 위한 관리시스템 및 규격, 계통연계 시 계통보호시스템, 차량 및 관리시스템 상태감시 위한 네트워크 기술, 에너지 통합관제시스템 개발 또한 필수

적이다.

연료전지 자동차 계통연계 기술은 정부에서 추진하고 있는 분산발전 강화 및 수요관리 정책에 부합하며, 배터리 전지자동차와는 달리 충전이 필요하지 않기 때문에 계통 내 추가부하로 작용하지 않는 동시에 피크 시 전력공급이 가능하다. 이를 통해 수요관리 및 전력예비율 개선에 기여할 수 있으며, 친환경 연료전지 차량 보급을 통해 이산화탄소 배출량을 2020년 8,000톤, 2030년 160만톤 저감이 가능할 것으로 전망된다. 

---

### 참고문헌

1. 전력수급균형 및 스마트그리드 활성화를 위한 에너지저장시스템, 한국산업연구원, 2012
2. 제6차 전력수급기본계획, 지식경제부, 2013
3. 그린에너지전력로드맵, 한국에너지기술평가원, 2011
4. 2013 스마트그리드연감
5. Smart Grid Insights: V2G, Zpryme, 2010
6. 전기자동차가 몰고 올 변화의 물결, LGerri 리포트, 2009
7. 2012 Pike research
8. 2013-2014 에너지기술 국내시장전망, 한국에너지기술평가원
9. 창조경제 구현을 위한 ESS 종합 추진계획(안), 한국전력공사, 2013
10. V2G 시스템 관련 기술개발 현황, 이현구 외, 2011
11. 에너지기술개발사업 기획보고(V4G 기술개발), 한국에너지기술평가원, 2014