

하이브리드 전기 자동차(HEV) 기술동향

나도백 · 신호순*

*한국과학기술정보연구원

(2009년 12월 9일 접수, 2010년 3월 23일 수정, 2010년 3월 29일 채택)

HEV: A Review

Do-Baek Nah and Hyo-Soon Shin*

*KISTI(Korea Institute of Science and Technology Information)

(Received 9 December 2009, Revised 23 March 2010, Accepted 29 March 2010)

요 약

하이브리드 전기자동차(HEV: Hybrid Electric Vehicle)와 플러그 인 하이브리드 전기자동차 (PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle)는 화석연료 배출가스를 제거하고 연료경제성을 개선하기 위하여 급속한 속도로 전통적 가솔린 엔진 자동차를 대체할 것이다. 이 리뷰는 병렬 하이브리드 전기자동차를 위한 퍼지로지 제어전략과 최적화를 설명하였다. HEV와 PHEV를 위한 전기모터와 리튬이온 배터리의 최근 발전을 기술하였으며 국제적 학술지에 출판된 논문수와 등록된 특허 수에 근거한 한국의 HEV와 PHEV 기술의 경쟁력 분석도 수행하였다.

주요어 : HEV, 퍼지제어 시스템, 전기모터, PHEV, 리튬이온 배터리

Abstract — Hybrid Electric Vehicle(HEV) and Plug-in Hybrid Electric Vehicle(PHEV) will replace Conventional Gasoline Engine Vehicle at a rapid rate to eliminate emission gases and improve fuel economy. This review describes Fuzzy Logic Control strategy and Optimization for Parallel Hybrid Electric Vehicle. Recent progress on Electric Motor and Li-ion Battery for HEV and PHEV are given. Analysis on competitiveness of Korean HEV and PHEV technology based on the number of papers published and patents registered are also performed.

Key words : EHEV, Fuzzy Control System, Electric Motor, PHEV, Li-ion Battery

1. 서 론

최근 10년간 지구 온난화, 석유연료 자원 고갈 및 대기 공해가 점점 더 심각해져서 대안의 자동차 동력전달기구에 대한 관심이 끊임없이 증가하고 있다. 지구 온난화의 주범인 CO₂ 배출가스 제한 여력이 크게 증가하고 있다.

석유사용 증대를 억제할 수 있는 가장 비용 효율적인 방법의 하나는 하이브리드 전기자동차(HEV:

Hybrid Electric Vehicle)기술 활용이다. 환경 친화적이고 고연료 효율을 위한 자동차의 수요증가로 HEV는 1997년에 일본의 Toyota가 개발해서 판매 중이며 일본 Honda의 Insight, Ford Escape SUV 하이브리드 및 현대 아반떼 LPI HEV도 시판 중이다. 자동차 생산 업체들이 플러그인 하이브리드 전기 자동차(PHEV: Plug -in Hybrid Electric Vehicle), 전기 자동차(EV: Electric Vehicle) 및 연료전지 전기 자동차(FCEV: Fuel Cell Electric Vehicle) 개발에 집중하고 있어 실용화가 촉진될 것이다.

LG가 개발한 리튬전지를 장착한 GM의 PHEV Volt가 2010년 말에 양산을 시작할 계획이며, FCEV가

[†]To whom corresponding should be addressed.
KISTI(Korea Institute of Science and Technology Information)
66, Hoegi-ro, Dongdaemoon-gu, Seoul 130-741 Korea
Tel : 02-3299-6114; E-mail : 0637shin@resear.re.kr

실용화 될 때까지 현재의 내연기관을 점진적으로 대체할 것이다.

2. HEV 기술개요

HEV는 가솔린 엔진과 회생제동을 통해 충전되는 배터리로 구동되는 전기 모터를 결합한다. HEV 기술은 엔진(고속순항)과 모터(저속주행 및 가속)의 가장 효율적인 운행모드의 장점을 취하고, 제동에서 낭비하는 에너지를 회복한다. 전기모터와 배터리의 추가 중량에도 불구하고 HEV 기술은 연료사용을 크게 감소시키면서 소비연료의 그램당 배기가스(emission)도 감소시킨다.

HEV 설계는 전기 자동차에서 에너지를 저장할 수 있는 장점과 기존차량의 대용량 연료소비 장점을 결합한 것이다. 전통적 마찰제동에 비해 회생제동(regenerative braking)은 차량의 동적에너지의 상당부분을 회수하여 연료를 절약한다.

HEV는 아이들/저출력 중에 내연기관을 꺼서 에너지 손실을 줄인다. 내연기관 크기와 동력을 줄이고, 작은 내연기관의 최대 출력 손실을 보상하기 위하여 전기모터에서 나오는 추가동력을 사용한다. HEV는 내연기관, 배터리 또는 연료전지 등 여러 가지 가능한 방법을 통합하여 사용하는데, 전기적 주행에 동력을 공급하기 위해 요구되는 전기를 함께 발전한다.

HEV 기술은 엔진이 첨두부하(peak load)보다 평균 부하를 수용하도록 크기를 정할 수 있어서 엔진중량과 비용을 감소할 수 있다.

3. HEV 구동렬 제어시스템

3-1. HEV 제어전략 분류 및 비교

차량의 동력 제어기에서 실행하는 제어전략은 속도, 가속도, 운전자가 요구하는 토크, 현재의 도로종류, 교통정보, GPS의 측정을 입력한다 [1]. HEV 구동렬 에너지 관리시스템의 주목적은 운전자의 견인력 수요를 만족하고, 배터리충전을 유지하고, 구동렬 효율을 최적화하는 것이다. HEV 구동렬의 제어 방법은 규칙기반(결정적 및 퍼지)과 최적화기반(글로벌 및 실시간)으로 분류하는 것이 일반적인 추세이다. Fig. 1은 주요 HEV 동력 전달 제어전략 해법들의 분류를 보여 준다.

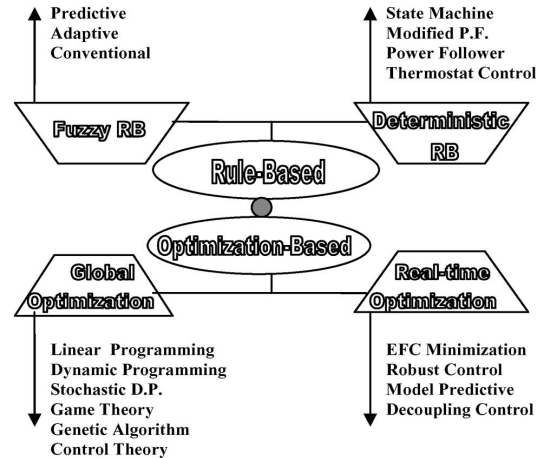


Fig. 1. Classification of the hybrid power train control strategies [1].

3-1-1. 규칙기반 제어 전략

규칙기반 제어 전략의 주 아이디어는 부하 균등화 개념에 근거하여 실제 ICE 작동점을 특정 엔진속도에서 최적효율, 연료경제 또는 배출물에 가능한 한 가깝게 이동하는 것이다. 일반적으로 이 시스템을 위한 최선의 연료경제는 효율의 최선점보다 더 낮은 토크와 엔진 속도에서 발견한다.

3-1-2. 최적화 기반 제어 전략

일반적으로 연료소모나 배출물을 나타내는 비용기능의 최소화가 동력 컨버터를 위한 최적 참조 토크와 최적 기어비를 계산한다. 만약 최적화를 고정된 주행 사이클에 대해 수행하면 글로벌 최적해법을 발견할 수 있다.

강건성과 적응능력 때문에 퍼지규칙 기반이 결정적 규칙기반 방법보다 확실히 우수하다.

3-2. HEV를 위한 퍼지 제어

3-2-1. 병렬 HEV를 위한 퍼지로직 제어

HEV 시스템은 내연기관(ICE)과 전기모터(EM)를 사용하여 ICE를 최적 효율 범위에서 운행하고, 감속 중 회생 제동기를 사용하여 연료 경제성을 개선할 가능성이 있다. 높은 연료 경제성을 갖기 위해서는 HEV의 구성과 부품들을 최적화하는 것이 매우 중요하지만, 전체 시스템을 제어하기 위해 사용하는 에너지 관리전략도 중요하다. 동력 제어기가 에너지 관리 전략을 이행한다. 이것은 모든 부품사이의 에너지흐름을 제어하고 개

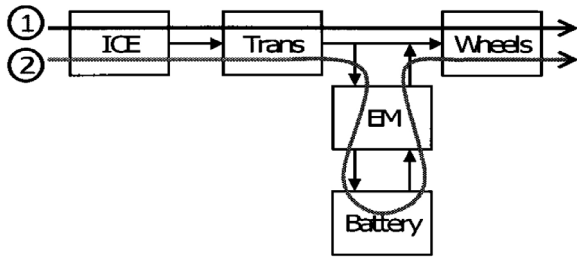


Fig. 2. Block diagram of the energy flow: (1) mechanical path and (2) electrical path [2].

별 구성요소들의 동력 발전과 변환을 최적화한다.

Shouten 등 [2]은 운전자 명령, 에너지 저장의 충전 상태, 모터/발전기 속도를 사용한 일련의 규칙이 ICE와 EM 사이의 분할을 효율적으로 결정하는 퍼지 로직 제어를 개발했다. ICE는 차륜을 구동하고 배터리를 충전하기 위해 동력을 제공해야 한다. ICE를 사용할 때 (Fig. 2 (1) mechanical path) 에너지는 ICE로부터 직접 변속기를 통해 차륜으로 유동한다. EM을 사용할 때 (Fig. 2 (2) electrical path) 에너지는 처음 ICE로부터 변속기를 통해 EM으로 유동하고 배터리를 충전하기 위해 발전기로 작동하고, 후에 에너지는 배터리에서 EM으로 유동해서 모터로 작동하여 차륜으로 유동한다.

동력 제어기가 운전자의 가속 및 브레이크 페달의 입력을 운전자의 동력 명령으로 변환한다. 퍼지 로직 제어기가 운전자의 동력명령, 배터리 충전상태 및 EM 속도를 사용하여 최적 발전기 동력과 계수 인자를 계산한다. 주어진 동력 수준에서 ICE 효율은 최적 속도 토크곡선과 속도제어를 위한 기어이동으로 최적화한다.

3-2-2. HEV의 엔진 동력과 속도를 개선하기 위한 퍼지 이득계획 PI 제어

동력분할 하이브리드 구성은 연속 가변 변속기 (CVT: Continuous variable transmission) 동작과 유사하므로 다수 에너지 소스의 토크, 속도 및 동력의 혼합이 더 중요하다. Fig 3은 동력 분할 구성과 그 제어 시스템을 보여준다.

Syed 등 [3]은 더 좋은 성능을 위해 퍼지제어 예를 사용하여 동력분할 HEV에서 엔진동력과 속도를 제어하는 비선형 비례통합(PI: Proportional Integral)제어 시스템을 개발했다. 퍼지 이득계획 PI 제어기가 엔진속도와 동력의 오버슈트를 제거하고 반응 및 정착시간을 50%이상 개선했다.

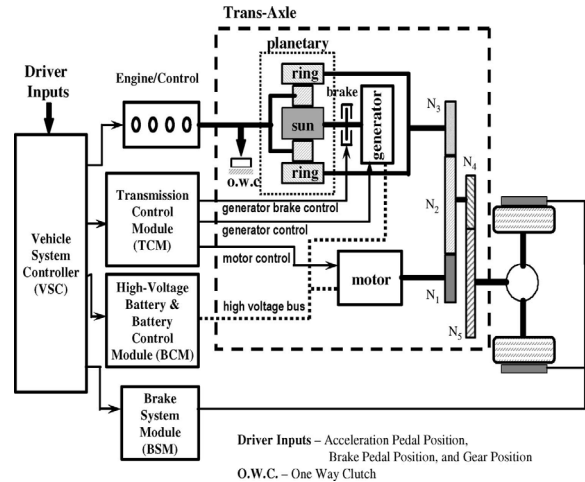


Fig. 3. Power-split-type HEV configuration [3].

3-3. HEV의 연료경제성과 동적 성능에 대한 구동별 하이브리드 화 영향

HEV의 최적 선택은 한편으로 열 엔진과 전기적 추진 시스템사이의 복잡한 절충과 다른 한편으로는 비용, 연료 경제성 및 성능을 포함한다. 각 부품 및 전체 시스템은 낮은 가격에서 최적 성능과 내구성을 주기 위하여 최적화한다.

Luckic 등 [4]은 병렬 HEV의 연료경제성과 동적 성능에 대한 하이브리드화의 영향을 조사하였다. Fig. 4와 같이 임계 최적점까지는 차량연료 경제성과 동적 성능을 개선한다. 이 임계점 후에는 전기 추진 시스템의 성능을 증가해도 추가적으로 만족스러운 성능을 제공하지 않는다.

작은 전기모터(작은 하이브리드 화 계수)를 장착한 차량이 상당한 연료경제 이익을 주는 것을 보여 주었다. 이들 차량이 작은 전기적 성분 때문에 최적 하이브

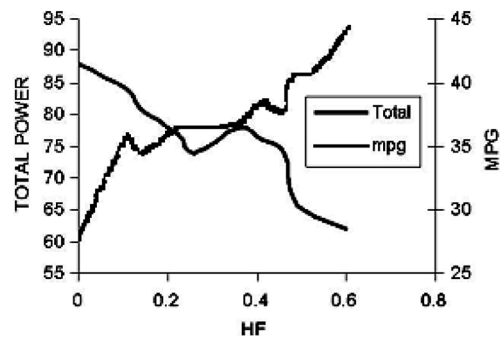


Fig. 4. Effects of hybridization on performance of the vehicle with constant performance [4].

리드보다 더 싼 경제적 장점을 갖는다.

4. 전기 모터

4-1. HEV를 위한 PM BL EVT

1997년에 Toyota는 완전 하이브리드 차량인 Prius를 위해 첫 전기적 가변 변속기(EVT :Electric Variable Transmission)를 개발하였다. 이 유성치차 EVT는 동력 전달손실, 치차소음 및 정기적 윤활 필요 등의 기본적인 결점을 가지고 있다.

최근에 Chau 등 [5]은 EVT 추진을 유지하면서 기계적 유성치차를 제거하기 위한 활발한 연구를 수행하였다. 한 가지 확실한 접근법은 완전한 하이브리드의 동력분할을 위해 동심원으로 배치한 기계를 사용하는 것이다.

Fig. 5는 통합형 영구자석 무 브러시 전기적 가변 변속기(PM BL EVT: permanent-magnet brushless electric variable transmission))를 보여 준다. 핵심은 1차 기계의 외부 회전자를 2차 기계의 회전자와 공유해서 고정자를 외부 회전자 주위에 동심원으로 배치하는 것이다.

완전 하이브리드에 이 PM BL EVT 시스템을 설치하면, 시동, 충전, 출발 및 연속가변변속(CVT)의 네 가지 모드를 제공한다. 시동 모드에서는 내연기관이 점화속도에 도달할 때까지 배터리가 1차 기계를 통해

ICE를 시동하기 위하여 동력을 공급한다, 충전 모드에서 차량이 정지 모드일 때는 1차 기계를 통하여 내연기관에 의하여 충전하거나, 회생 제동 중에는 2차 기계에 의하여 충전한다. 출발 모드에서는 배터리가 ICE를 사용하지 않고 2차 기계를 통하여 차량을 출발할 동력을 전달한다. CVT 모드에서는 1차 및 2차 기계가 Fig. 5 (b)에 보인 것처럼 ICE의 최적 작동선을 달성할 수 있도록 속도와 토크를 각각 변화시키기 위하여 제어된다. 이 EVT는 고도로 조밀하고 경량인 장점을 갖는다. PM BL EVT를 위한 완전 무 브러시의 개발이 HEV 분야의 주 연구 방향이 될 것이다.

4-2. HEV 추진 시스템을 위한 전기모터 구동선택

Zeraoulia 등 [6]은 병렬 HEV용으로 가장 적절한 전기 추진 시스템을 결정할 수 있는 비교연구를 수행하였다. HEV를 위해 채택하거나 신중히 고려중인 전기 모터의 주요 종류는 DC 모터, 유도 모터(IM), 영구자석 동기 모터(PM) 및 교환자기 저항 모터(SRM)이다. 전기모터의 최대 동력(P_{EM})과 내연기관(P_{ICE}) 사이의 비율이 다음과 같이 정의된 하이브리드 화 계수(HF)에 의하여 특성지어진다.

$$HF = \frac{P_{EM}}{P_{EM} + P_{ICE}} = \frac{P_{EM}}{P_{HEV}}$$

여기서 P_{HEV} 는 HEV를 추진하기 위한 최대 총 견인 동력이다. 하이브리드 화는 HEV의 연료경제성과 동력

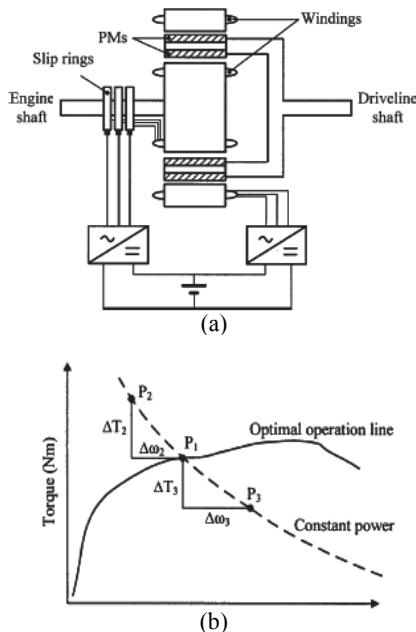


Fig. 5. Integrated PM BL EVT system. (a) Configuration. (b) Control strategy [5].

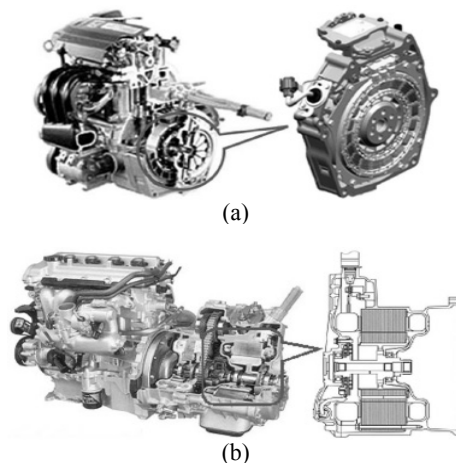


Fig. 6. Industrial PM synchronous motor. (a) 10-kW motor of the Honda Insight. (b) 50-kW motor of the Toyota Prius [6].

학적 성능을 임계 최적 점(HF=0.3~0.5)까지 개선하는 것을 실증하였다. 동기 모터는 HEV 전기 추진을 위해 IM과 가장 경쟁할 수 있는 모터이다. 이들은 HEV를 위해 유명한 자동차 회사가 채택하였고(Fig. 6), 높은 동력 밀도, 높은 효율 및 주위의 열을 효과적으로 확산하는 장점을 가지고 있다.

4.3. 후방 모터 제어를 사용한 4륜구동 HEV의 차량 안전성 향상

Kim 등 [7]은 퍼지기반 제어알고리즘을 제안하였는데, 이것이 측면 미끄럼 각, 좌우 흔들림 율의 오류를 상쇄하기 위하여 직접 좌우 흔들림 모멘트를 발생시킨다. 타이어, 현가장치 및 조종시스템과 같은 HEV의 차대(chassis) 요소는 ADAMS를 사용하여 차량의 동력학적 거동을 더 상세히 설명하기 위하여 모델링하였고, 엔진, 모터, 배터리, 변속기 같은 HEV 동력전달계열 요소는 제어 알고리즘을 갖는 MATLAB Simulink를 사용하여 모델링하였다. 후방 모터에서 주행 및 회생제동은 개선된 안정성을 제공할 수 있는 것을 시뮬레이션 결과 발견하였다. 또한 주행 및 회생제동 제어와 전자유압 제동(EHB)제어를 적용하여 더 좋은 성능을 달성할 수 있다.

5. 플러그인 하이브리드 전기차량(PHEV)

5-1. PHEV의 구성 및 특징

플러그인 하이브리드 전기 자동차(PHEV)는 차량추진 에너지를 공급하기 위해 전기배전망(electric grid)으

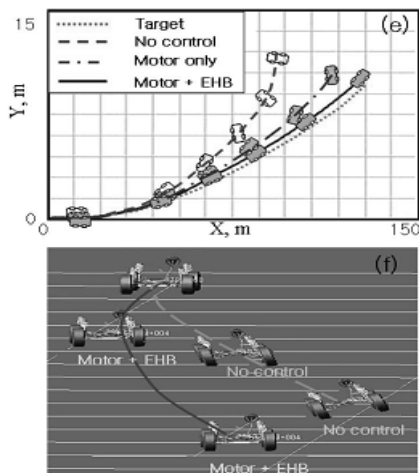


Fig. 7. Simulation results for a J-turn [7].

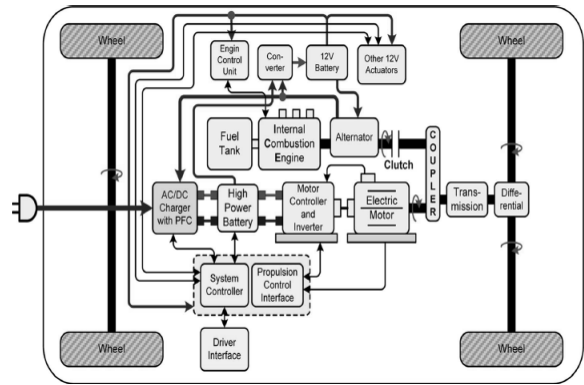


Fig. 8. Plug-in hybrid electric vehicle(parallel configuration [8].

로부터 에너지를 끌어와서 저장하는 하이브리드 차량이다. 전통적 전기차량의 간단한 기능적 변경으로 PHEV는 가솔린 에너지를 다양한 소스의 전기 에너지로 대체할 수 있다 [8]. PHEV의 부품과 차량구조는 전통적 HEV와 유사하다. 이 두 종류의 차량은 전기 구동력과 내연기관 구동력을 통합하여 상호간에 연결되고 도로에 연결되는 점이 동일하다(Fig.8).

5-2. PHEV의 운영 방식

PHEV는 전통적 HEV보다 더 좋은 성능, 더 높은 에너지 효율, 더 낮은 배출가스, 더 낮은 비용으로 주행하도록 설계하고 제어할 수 있다. 에너지 관리모드는 사용할 에너지를 선택하고 휠까지의 동력전달 계통을 제어한다. PHEV의 에너지 관리모드에는 충전유지 모드, 충전고갈 모드, 전기자동차 모드, 엔진단독 모드의 4가지 운영 모드가 있다.

주행거리연장 PHEV는 주로 전기자동차 모드로 운행하고 차량의 충전상태가 낮아지면 충전 유지 모드로 전환한다. 차량이 전기자동차 모드일 경우 연소 구동력은 완전히 차단되고 전기 구동력만이 가속과 차량 브레이크 기능을 수행한다. 직렬 설계의 경우 낮은 연료경제성, 낮은 효율 및 높은 부품 비용을 나타내기 때문에 병렬 PHEV 설계가 유리하다. 에너지 저장능력을 증대하고, 전기자동차 모드와 충전고갈 모드가 증가할수록 차량에너지 효율과 배기 성능을 개선한다.

5-3. PHEV의 지속성

40마일의 전기차량 주행거리를 갖는 중형 세단 PHEV를 야간에 충전하고 실차운전 시험한 결과 가솔린 소비가 71% 감소했다. 이에 비해서, 일반 중형

세단 HEV는 40~45%의 감소를 보였다. 20마일의 전기 차량 주행거리를 갖는 PHEV 중형세단은 야간에 충전하고 일반 운전자가 주행할 경우 등가 배기 가스를 44% 감소한다. PHEV 충전에 사용할 것으로 예상하는 발전소의 혼합을 사용한 경우, 배터리로 주행하는 동안 전통적인 HEV에 비해 PHEV가 단기적으로는 25%, 장기적으로는 50%까지 CO₂ 배출을 감소시키는 것을 보여 주었다 [9].

5-4. PHEV의 에너지 저장과 충전

PHEV는 에너지 저장을 위해 큰 배터리가 필요한데, 이것은 차량비용, 중량 및 성능에 영향을 준다. Shiau 등 [10]은 충전회수(충전 간 여행거리)의 범위에 걸친 연료소비, 비용 및 온실가스 배출에 대한 추가 배터리의 영향을 밝히기 위하여 PHEV 시뮬레이션 모델을 구성하였다.

미국 평균전기를 사용하여 매 20마일(32km)로 자주 충전했을 때 작은 용량의 PHEV가 HEV나 전통적 차량보다 더 싸고 더 적은 온실가스를 배출하는 것을 발견하였다. 불규칙한 충전은 제안한 평균 일간 거리보다 충전간 거리를 훨씬 더 길게 할 수 있다. 경제적, 환경적 및 국가 안보적 목적에서 PHEV를 실행에 옮기려는 정책은 자주 충전할 수 있는 도시 운전자에게 맞는 적은 용량의 PHEV에 집중하면 가장 효율적일 것이다.

6. HEV 및 PHEV용 리튬이온 배터리

6-1. 초고속 충전 리튬이온 배터리 재료

Kang 등 [11]은 재료 내면에 전하를 저장하여 고 에너지밀도를 얻는 배터리가 슈퍼커패시터와 비교할 수 있는 초 고방전율을 얻을 수 있는 것을 보여 주었다. 이들은 제어된 비화학량론(off-stoichiometry)을 통해 신속한 이온전도성 표면상을 생성하여 높은 리튬 내면 이동성을 갖는 재료를 LiFePO₄에서 보여 주었다. 10~20초에 완전한 배터리 방전에 상당하는 율 가능출력(rate capacity)을 달성할 수 있다.

다른 리튬배터리 재료와 마찬가지로 LiFePO₄는 각각 Li⁺이온과 전자의 동시 추출과 삽입에 의해 에너지를 흡수하고 방출한다. 이것과 다른 전극재료를 갖는 리튬배터리의 전력가능출력은 Li⁺이온과 전자가 전해질과 복합재료 전극구조를 통해 활성 전극 재료로 이동할 수 있는 율에 결정적으로 의존한다.

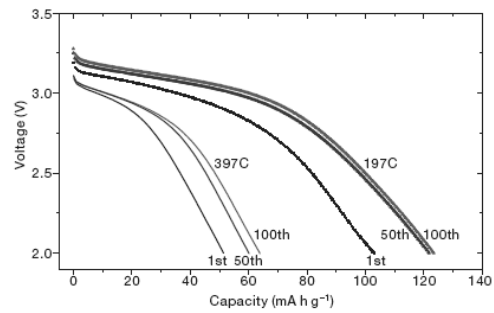


Fig. 9. Discharge capability at very high rate for LiFe_{0.9}PO₄.95O₄.2d synthesized at 600°C [11].

그러나 최근의 증거는 표면을 따른 Li⁺이동이 전자 이동만큼 중요할 수 있다는 것을 보여준다. LiFePO₄는 원칙적으로 Li⁺이온을 모든 표면에서 전해질과 교환할 수 있는 반면, Li⁺이온은 [010] 방향에서만 결정내부로 이동할 수 있는 것을 보여 준다. 그러므로 (010)면을 향한 표면을 거친 확산 증가는 율 가능출력을 향상시킨다.

Kang 등은 나노크기의 LiFePO₄ 표면에 인산리튬 코팅을 생성했고 이것이 대단히 높은 성능을 달성했다. Li₂O-P₂O₅ 2성분 변두리에 높은 인 성분을 가진 혼합물은 높은 리튬전도도를 갖는 매우 우수한 유리질 형성자이고, 질소 도포된 Li₃PO₄를 고체 리튬 전해질로 사용한다. 200C율(18초에 완전 방전)에서 100mAhg⁻¹ 이상을 달성할 수 있고, 400C율(9초에 완전 방전)에서 60mAhg⁻¹을 얻는다. 이와 같은 율은 오늘날 리튬이온 배터리보다 100배 더 큰 것이다(Fig. 9).

6-2. 술폰 기반 전해질 리튬이온 배터리

술폰기반 전해질이 LiMn₂O₄와 LiNi_{0.5}Mn_{1.5}O₄와 같은 스피넬을 고압 양극으로, Li₄Ti₅O₁₂ 스피넬을 음극으로 사용한 리튬이온 전지를 위한 전해질로 조사되었다 [12]. 이미드 솔트(LiTFSI)와 에틸메틸술폰이나 4메틸술폰(TMS) 전극에서 Li₄Ti₅O₁₂/LiMn₂O₄ 전지가 100 사이클 후에 우수한 전기용량을 유지하며 80 mAhg⁻¹의 비용량을 나타냈다. 술폰 전해질의 예외적인 전기화학적 안정성과 Li₄Ti₅O₁₂의 안전하고 안정적인 양극과의 적합성이 고 전위 스피넬 음극재료에서 관측된 뛰어난 전기화학적 성능의 주 이유이다. 이들 전해질은 장기간의 순환수명을 요구하는 플러그인 하이브리드 및 전기차량과 같은 고에너지밀도 배터리응용을 위한 대안의 전해질로 유망하다.

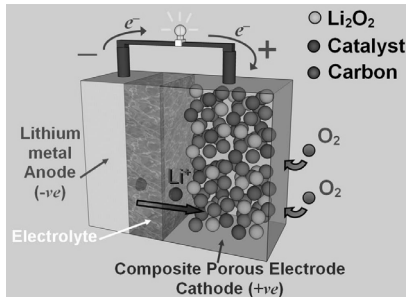


Fig. 10. Scheme of a rechargeable Li-O₂ battery. Lithium metal anode: porous α -MnO₂ catalyzed Li₂O₂ cathode, LiPF₆-propylene carbonate organic electrolyte.

6-3. 미래의 리튬이온 배터리

리튬을 공기 중의 산소와 직접 반응하여, 반응식 $2Li + 1/2O_2 \rightleftharpoons Li_2O$ 에 따라 $1,200mAhg^{-1}$ 의 높은 용량을 얻을 수 있다 [13]. 재충전 효율이 높은 리튬에어 배터리가 저 비용의 효율적인 α -MnO₂ 나노와이어 촉매를 사용하여 실현되었다(Fig 10).

Table 1. No of papers of major countries.

순위	국명	논문 건수	퍼센트
1	미국	382	41.12
2	중국	105	11.30
3	일본	79	8.50
4	한국	64	6.89
5	영국	44	4.74
6	프랑스	43	4.63
7	이탈리아	43	4.63
8	독일	29	3.12
9	캐나다	23	2.48
10	스웨덴	18	1.94

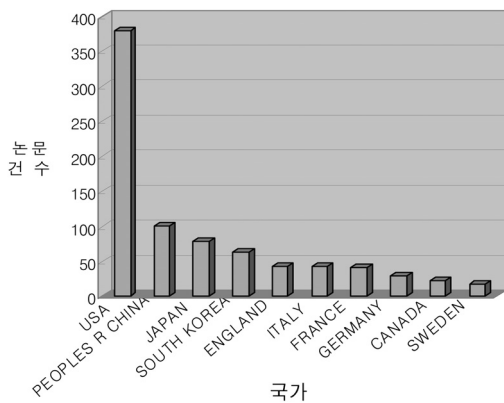


Fig. 11. No. of papers of major countries.

7. HEV 학술정보 분석

ISI Web of Science의 Advanced Search에 들어가서 검색식 TS=(hybrid electric vehicle* or hybrid-electric vehicle* or hybrid electric automotive* or hybrid-electric automotive* or hybrid electric automobile* or hybrid-electric automobile*)에 time span 1995~2009년을 검색한 결과 929건을 얻었다.

이 929건을 국가별 논문건수로 분석한 결과를 Table 1과 Fig. 11이 보여준다. 미국이 382건(41%), 중국이 105건(11%), 일본이 79건(9%), 한국이 64건(7%)의 순이고 EU(영국44건, 프랑스 43건, 이탈리아43건, 독일 29건, 스웨덴 18건)가 19%, 캐나다가23건이다.

Table 2와 Fi.g. 12는 연구 기관별 논문건수를 보여준다. IIT(28건)가 1위, ARGONNE NATL LAB (26건)이 2위, HARBIN INST TECHNOL(26건)이 3위이고 성균관대학교(18건)가 8위, 한양대학교(15건)가 9위 서울대학교(13건)가 10위이다.

Table 2. No. of papers published by research institutes.

순위	연구기관명	논문 건수	퍼센트
1	IIT	28	3.0
2	ARGON NATL LAB	26	2.8
3	HARBIN INST TECHNOL	26	2.8
4	UNIV MICHIGAN	25	2.7
5	SHANGHAI JIAO TONG UNIV	21	2.3
6	TEXAS A&M UNIV	19	2.0
7	성균관 대학교	18	2.0
8	한양 대학교	15	1.6
9	UNIV CALIF BERKELY	15	1.6
10	서울 대학교	13	1.4

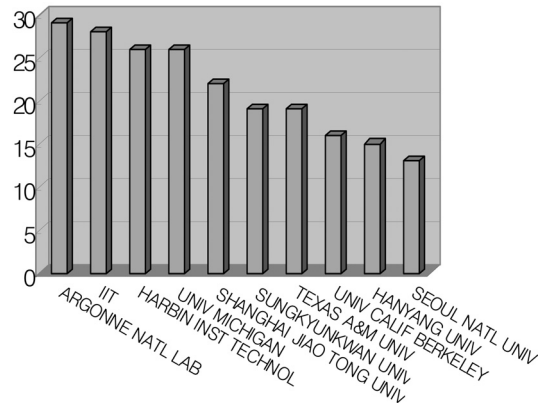


Fig. 12. No. of papers published by research institutes.

Table 3. No. of papers published each year.

연도	논문 수	퍼센트
2009	112	12.1
2008	139	14.96
2007	153	16.5
2006	110	11.8
2005	89	9.58
2004	66	7.10
2003	55	5.92
2002	50	4.74
2001	44	5.38
1999	37	3.98

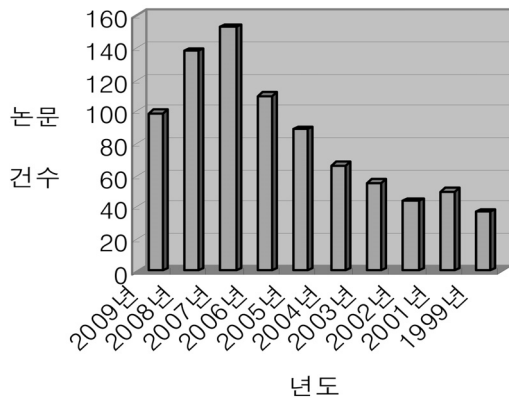


Fig. 13. No. of papers published each year.

Table 3와 Fig. 13은 년도 별 연구논문 건수이다. 1999년에 37건부터 계속 증가해서 2007년에 138건으로 가장 많고 2008년에 138건으로 줄어들었다.

8. HEV 특허 분석

8-1. HEV 전체 특허분석[14]

특허 점유율은 일본공개특허가 1603건 44%로 가장 많으며 그 다음에 한국공개특허가 22%, 미국등록특허 17%, 유럽공개특허 9%, 미국공개특허 8%의 순이다. Fig 14는 국가별 HEV 특허의 연간 출원 추세를 보여준다.

8-1-1. 주요국가의 기술력순위변화

2000~2008년 구간의 HEV 전체 기술력은 일본, 미국, 한국, 중국, 독일 순이다. Table 4는 국가별 HEV 전체 기술력 순위를 보여준다.

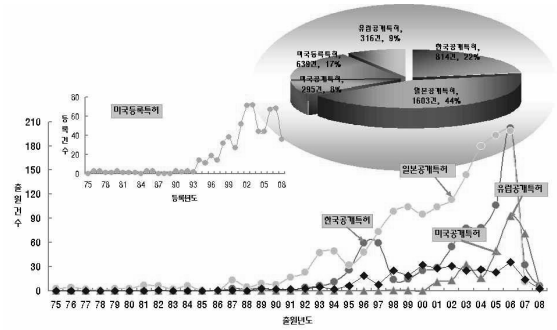


Fig. 14. The trends of Annual Applications for the patents of HEV by country.

Table 4. HEV Technology strength by country.

기술력	기술력 지수(TS)					
	1976-1986	순위	1990-1999	순위	2000-2009	순위
일본	12.26	1	118.08	1	451.34	1
미국	2.51	2	29.15	2	177.44	2
한국	0.00	5	6.02	3	20.03	3
프랑스	0.84	4	1.70	5	0.39	7
스웨덴	1.39	3	0.00	8	0.12	10
독일	0.00	5	1.54	3	3.84	5
스위스	0.00	5	4.69	4	0.20	9
캐나다	0.00	5	0.82	7	0.31	8
중국	0.00	5	0.00	8	6.04	4
대만	0.00	5	0.00	8	2.29	6

8-2. 승용 HEV 특허분석

8-2-1. 국가별 특허출원 추이

1) 동력전력분배시스템

일본공개특허가 232건 40%로 가장 많으며, 그 다음에 미국등록특허 33%, 미국공개특허 13%, 한국공개특허 9%, 유럽공개특허 5%의 순으로 나타났다.

2) 제어시스템

일본공개특허가 150건 34%, 한국공개특허가 154건의 34%로 가장 많으며 그 다음에 미국등록특허 14%, 유럽공개특허 10%, 미국공개특허 8%의 순으로 나타났다.

3) 모터시스템

일본공개특허가 115건 35%로 가장 많으며, 그 다음에 한국공개특허 26%, 미국등록특허 17%, 유럽공개특허 13%, 미국공개특허 9%의 순으로 나타났다.

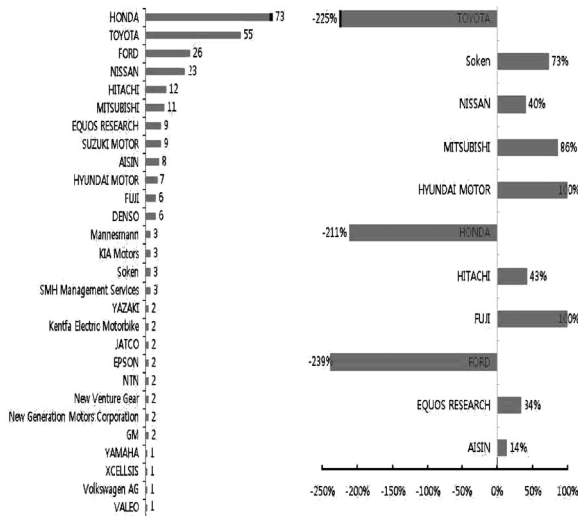


Fig. 15. (a) No. of patents by company (b) Increase Rate of patent application.

8-2-2. 국가별 특허경쟁력

승용 HEV 분야의 국가별 미국등록특허의 특허등록 건수를 조사하여 국가별 미국등록특허의 양을 파악하여 나타낸 것이다.

일본특허가 232건으로 가장 많은 건수를 차지하고 있으며, 다음으로 미국이 43건, 한국이 10건, 독일이 8건, 스위스가 3건, 프랑스가 2건, 중국이 2건으로 조사되었다.

8-2-3. 기업별 특허경쟁력

양적으로 미국 등록특허 건수가 많은 상위 20개 기업을 파악하여 도시하였다.

주요 출원인으로는 Honda(73건), Toyota(55건), Ford(26건), Nissan(23건), Hyundai(7건)으로 나타났다. 기업별로 2008년 9월까지 등록된 미국등록특허를 대상으로 특허건수 증가율을 산출하였다(Fig.15).

8-2-4. HEV의 고 피인용 상위 기업

Table 5는 HEV의 미국에서 등록받은 특허건수를 이용하여 산출한 특허점유율 값이 상위 20위 이내인 기업과 평균 피인용 횟수를 보인다.

8-2-5. HEV의 연평균 피인용 상위특허

Table 6는 주요 HEV 특허의 연간 평균 피인용수를 보여 준다.

Table 5. Key Player of HEV patents.

순위	출원인	특허 점유율 (건수)	평균 피인용 횟수
1	TOYOTA	18.5%(55)	15.7
2	SUZUKI MOYOR	3.0%(9)	1.8
3	Soken	1.0%(3)	44.0
4	SMH Management Services	1.0%(3)	12.3
5	NISSAN	7.7%(23)	10.0
6	MITSUBISHI	3.7%(11)	17.0
7	Mannesmann	1.0%(3)	14.7
8	HYUNDAI MOTOR	2.3%(7)	1.7
9	HONDA	24.5%(73)	6.7
10	HITACHI	4.0%(12)	8.6
11	FUJI	2.0%(6)	0.8
12	FORD	8.7%(26)	5.9
13	EQUOS RESEARCH	3.0%(9)	36.1
14	DENSO	2.0%(5)	13.7
15	AI SIN	2.2%(8)	1.9
16	ISUZU	0.3%(1)	22.0
17	Lockheed Martin Control Systems	0.3%(1)	42.0
18	ROBERT BOSCH	0.3(1)	15.0
19	XCELLSIS	0.3%(1)	13.0
20	JATCO	0.7(2)	13.5

8-3. PHEV 특허분석

8-3-1. 국가별 PHEV 특허출원 추이

1) 배터리 시스템

일본특허가 69건 40%로 가장 많으며 그 다음에 한국공개특허 30%, 미국공개특허 및 유럽공개특허, 미국등록특허는 각각 10%의 순으로 나타났다.

2) 제어 시스템

한국공개특허가 10건 53%로 가장 많으며, 그 다음에 미국공개특허 26%, 미국등록특허 16%, 일본공개특허 5%, 유럽공개특허 5% 순으로 나타났다.

8-3-2. 주요국가의 PHEV 기술력 순위변화

2000년~2008년 구간에서만 특허 활동이 있는 것으로 나타났으며, 일본이 1위(11건), 미국이 2위(7건), 중국이 3위(1건)이다.

8-3-3. PHEV의 고인용 상위 기업

PHEV의 미국에서 등록받은 특허건수를 이용하여 산출한 특허점유율 값이 상위의 기업과 각 기업별 평

Table 6. Annual average No. of cited for major HEV patents.

순위	특허번호	제목	출원인	등록 년도	연평균 피인용도
1	US5588498	Electric Hybrid Vehicle	NISSAN(일본)	1996	33.0
2	US5621304	Electric generation control system for hybrid vehicle	HONDA(일본)	1997	30.6
3	US5359228	Operating method for a hybrid car	MITSUBISHI(일본)	1994	30.5
4	US6026921	Hybrid vehicle employing parallel hybrid system, using both internal combustion motor and electric motor for propulsion	NISSAN(일본)	2000	23.1
5	US5786640	Generator control system for a hybrid vehicle driven by an electric motor and an internal combustion engine	Soken(일본)	1998	22.0
6	US5856709	Hybrid vehicle drive system having clutch between engine and synthesizing/distributing mechanism which operatively connected to motor/generator	TOYOTA(일본)	1999	20.8
7	US6176808	Hybrid Vehicle powertrain and control therefor	FORD	2001	17.6
8	US6364807	Control strategy for a hybrid powertrain for an automotive vehicle	FORD(미국)	2002	7.9
9	US6570265	Hybrid vehicle driven by composit torque generated by an internal-combustion engine and an electric motor, and method of operating same	HITACHI(일본)	2003	6.7
10	US6784563	Hybrid vehicle and method of controlling hybrid vehicle	TOYOTA(일본)	2004	4.6
11	US5433282	Hybrid vehicle powered by an internal combustion engine and an electric vehicle	EQUOS RESEARCH(일본)	1995	2.6
12	US6886648	Power output device, hybrid vehicle, and method of controlling them	TOYOTA(일본)	2005	2.6
13	US7053566	Drive train for Hybrid electric vehicles	NISSAN(일본)	2006	0.8
14	US7275610	Closed-loop power control for hybrid electric vehicles	FORD(미국)	2007	0.3
15	US7328091	Hybrid vehicle and hybrid vehicle controlling method	TOYOTA(미국)	2008	00

Table 7. Key Player of PHEV patents.

순위	출원인	특허점유율(건수)	평균 피인용횟수
1	NGK(일본)	47.4%(9)	1.8
2	Rockwell Automation Technologies(미국)	15.8%(3)	0.7
3	Toyota(일본)	10.5%(2)	1.0
4	Ovanic Battery(미국)	10.5%(2)	0.5
5	Hei Long Jaing Zhong Qiang Power-tech(중국)	5.3%(1)	0.0
6	Quallion(미국)	5.3%(1)	0.0
7	International Business Machines(IBM)(미국)	5.3%(1)	0.0

Table 8. Annual average No. of cited major PHEV patents.

순위	특허번호	제목	출원인	등록 년도	연평균 피인용도
1	US6379840	Lithium secondary battery	NGK(일본)	2002	5.5
2	US6258487	Lithium secondary battery including a devided electrode base layer	NGK(일본)	2001	2.0
3	US6595307	Hybrid Vehicle capable of reducing NOx emissions and method of operating same	Toyota(일본)	2003	1.0
4	US6858348	Lithium Secondary battery with low internal resistance	NGK(일본)	2005	0.8
5	US6994737	High-capacity Polymeric Li-ion cell and its production method	Hei Long Jiang Zhong Qiang Power-Tech(중국)	2006	0.3
6	US7189475	Lithium secondary battery	Toyota(일본)	2007	0.0
7	US6753104	Lithium secondary battery	NGK(일본)	2004	0.0

균 피인용 횟수를 선정하였다. Table 7은 PHEV 특허 점유율 상위 기업과 각 기업별 평균 피인용 횟수를 보여준다.

8-3-4. PHEV의 연평균 피인용 상위특허

Table 8은 주요 PHEV 특허의 연간 평균 피인용 횟수를 보여준다.

9. 결 론

석유사용 증대를 억제하고 지구 온난화를 막을 수 있는 가장 비용 효율적인 방법의 하나는 하이브리드 전기 자동차(HEV: Hybrid Electric Vehicle) 기술 활용이며, 범세계적으로 이루어지고 있는 환경규제 강화 움직임이 친환경 하이브리드 자동차의 시장형성을 가속화 시키는 요인으로 작용하고 있다. LG가 개발한 리튬전지를 장착한 GM의 PHEV Volt가 2010년 말에 양산을 시작할 계획이며, FCEV가 실용화 될 때까지 현재의 내연기관을 점진적으로 대체할 것이 예상된다.

HEV 구동력 제어에서 강건성과 적응능력 때문에 퍼지규칙 기반이 결정적 규칙기반 방법보다 확실히 우수하다. 결과적으로 온라인 실시를 위해서는 퍼지규칙기반 및 분석적 최적 실시간 방법이 적절한 선택이다. EM과 ICE 사이의 분할을 효율적으로 결정하는 퍼지로지 제어를 개발해서, 주어진 동력 수준에서 ICE의 효율이 ICE의 최적 속도 토크곡선과 속도제어를 위한 기어 이동으로 최적화 한다.

EVT는 고도로 조밀하고 경량인 장점을 갖는다. 완전 무 브러시 PM BL EVT 개발이 HEV 분야의 주 연구 방향이 될 것이다.

PHEV는 전통적 HEV보다 더 좋은 성능, 더 높은 에너지 효율, 더 낮은 배출가스, 더 낮은 비용으로 주행하도록 설계하고 제어할 수 있다. 미국 평균전기를 사용하여 매 20마일(32km)로 자주 충전했을 때 작은 용량의 PHEV가 HEV나 전통적 차량보다 덜 비싸고 더 적은 온실가스를 배출하는 것을 발견하였다.

PHEV가 HEV에 비해 성공적인 차량이 되기 위해서는 장기적으로 기존 배터리성능보다 10배 이상 개선되어 한번 충전으로 최대 800km까지 주행 가능한 IBM의 차세대 고효율 저비용 리튬-공기 배터리의 실용화가 필요하다 [13,15].

한국은 HEV 논문 발표 건수에서 미국, 중국, 일본에 이어 세계 4위이고, 특허 기술력에서 일본, 미국에

이어 세계 3위이나 PHEV의 특허 기술력에서는 일본, 미국, 중국에 이어 세계 4위이다.

승용 HEV의 모터와 엔진의 동력을 전달하고 분배하는 동력분배/전달 시스템과 관련하여 Toyota는 기어식 무단 변속기 및 전자식 무단 변속기와 관련된 특허를 다수 출원하였으며, 효율을 향상시키기 위해 내연기관과 전동 모터를 제어하는 제어관련 특허를 출원하여 HEV 기술을 주도하고 있다.

금전적 인센티브에 추가해서 정부의 HEV 및 PHEV 선단(fleet) 구매, PHEV용 공공충전 인프라 지원, 고객 교육, 탄소세금의 효과, 화석연료 대신 풍력과 태양광 발전과 같은 재생 에너지 증가 및 PHEV의 가솔린과 전기소비의 명확한 계기표시가 PHEV의 확산을 위해 중요하다.

이를 위해 국가적 차원의 지원과, 차량 메이커는 대학 및 연구기관과 연구능력을 집결해서 우수한 PHEV를 양산하는 것이 한국자동차산업의 경쟁력을 계속 높이고 지구를 살리는 길이다.

감사의 글

이 원고는 한국과학기술정보연구원(KISTI)이 수행하고 있는 교육과학기술부의 과학기술진흥기금 출연사업인 “고경력과학기술인을 활용한 지원사업(ReSEAT PROGRAM)”의 일부입니다. 이에 교육과학기술부에 심심한 사의를 표합니다.

참고문헌

1. Farzad Rajaei Salmasi et. al., “Control Strategies for Hybrid Electric Vehicles: Evolution, Classification, Comparison and Future Trends”, *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, 56, 5, pp. 2393-2404, 2007.
2. Niels J. Schouten et. al., “Fuzzy Logic Control for Parallel Hybrid Vehicles”, *IEEE TRANSACTIONS ON CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY*, 10, 3, pp. 460-468, 2002.
3. Fazal U. Syed et. al., “Fuzzy Gain-Scheduling Proportional-Integral Control for Improving Engine Power and Speed Behavior in a Hybrid Electric Vehicle”, *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, 58, 1, pp. 69-84, 2009.
4. Srdjan M. Lukic et. al., “Effects of Drive train Hybridization on Fuel Economy and Dynamic Performance of Parallel Hybrid Electric Vehicles”, *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, 53, 2, pp. 385-389, 2004.
5. K. T. Chau et. al., “Overview of Permanent-Magnet Brushless Drives for Electric and Hybrid Electric Vehicles”, *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 55, 6,

- pp. 2246-2257, 2008.
6. Mounir Zeraoulia, Mohamed El Hachmi Benbouzid and Demba Diallo, "Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: A Comparative Study", *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, 55, 6, pp. 1756-1764, 2006.
 7. Donghyun Kim et. al., "Vehicle Stability Enhancement of Four-Wheel-Drive Hybrid Electric Vehicle Using Rear Motor Control", *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, 57, 2, pp. 727-735, 2008.
 8. Thomas H. Bradley, Andrew A. Frank, "Design, demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in hybrid electric vehicles", *Renewable and sustainable Energy Reviews*, 13, pp. 115-128, 2009.
 9. Ali Emadi et. al., "Power Electronics and Motor Drives in Electric, Hybrid Electric, and plug-In Hybrid Electric Vehicles", *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 55(6), pp. 2237-2245, 2008.
 10. Ching-Shin Norman Shiau et. al., "Impact of battery weight and charging patterns on the economic and environmental benefits of plug-in hybrid vehicles", *Energy Policy*, 37, pp. 2653-2663, 2009.
 11. Byoungwoo Kang et. al., "Battery materials for ultrafast charging and discharging", *Nature*, 458, pp. 190-193, 2009.
 12. A. Abouimrane et. al., "Sulfone-based electrolytes for high-voltage Li-ion batteries", *Electrochemistry Communications*, 11, pp. 1073-1076, 2009.
 13. A. Debart, A. J. Peterson, J. Bao, P.G. Bruce, *Angw. Chem Int. Ed.*, 47, 4521, 2001.
 14. <http://www.patentmap.or.kr>.
 15. SERI 경영 노트, "급부상하는 자동차용 2차 전지", 2009. 7. 23(제16호).