

미국의 PNGV 계획

김민희

(영남이공대학 전기전자계열 교수)

1. PNGV 계획의 배경

전기자동차(Electric Vehicle, EV)는 1900년대가 시작되면서 우리 주변에서 관심을 가져 왔었다. 그러나 운송분야에서 전기자동차의 중요성은 내연기관 시스템의 끊임없는 개선과 발전으로 아주 크게 관심 밖으로 밀려나게 되었으며, 단지 전기에너지를 이용한 셀프 스타트업에만 상업적으로 이용되었다. 그러므로 전기자동차는 내연기관을 사용한 자동차들과는 경쟁대상이 될 수 없었으며 1930년대까지 도로 위에서는 거의 찾아 볼 수가 없었다. 그러나 1970년대의 오일쇼크 사건과 1980년대의 환경문제로 우리사회는 다시 전기자동차에 점차적으로 관심을 가지게 되었으며, 연료절약과 심각한 대기환경오염문제는 전기자동차의 연구개발 노력에 다시 주된 동기를 가져다주었다.

1990년 10월, 캘리포니아 대기자원협회(CARB)는 1998년부터 캘리포니아주 내에서 팔려지는 자동차의 2%는 매연이 전혀 없는 자동차(Zero Emission Vehicles, ZEV)를 공급해야 되는 규정을 설정하였으며, 이 제도(quota)에서 2001년까지는 5%로, 2003년까지는 10%로 확대하여 ZEV의 사용을 증가시키기로 결정하였다.

이와 같은 영향으로 1993년 9월 29일 Clinton 대통령과 Gore 부대통령은 3대 자동차제조회사(Chrysler, Ford, GM) 대표들과 차세대 새로운 자동차의 기술개발에 의한 경쟁력 있는 강한 미국의 건설을 목표로 역사적인 새로운 협력의 계획을 알리는 PNGV(Partnership program for Next Generation Vehicles) 계획의 조인식을 가졌다. 이 계획의 장기적인 최종 목표는 현재 제조하여 시판되고 있는 대표적인 자동차(1994년을 기준으로 Chrysler Concorde, Ford Taurus와 Chevrolet Lumina)의 성능 이상으로 동작하면서 가격은 더 비싸지 않고, 연료효율을 3배 이상으로 올릴 수 있

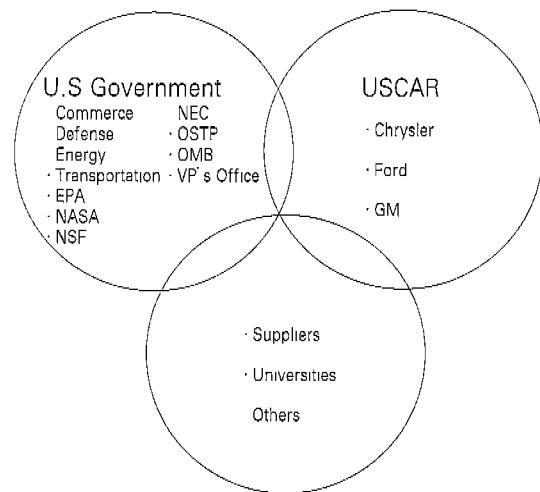


Fig. 1 PNGV Relationships

는 자동차를 개발한다는 것이다. 동시에 이것은 모든 안전성과 배기 가스의 배출량은 허용되는 범위 내에서 실내공간 및 설비와 운전특성이 유지되어야 한다는 조건이다.^[1]

PNGV 목적을 성취하기 위하여 필요로 하는 기술개발은 기업체의 시장 단독으로는 해결 될 수 없다는 판단아래 정부 기관과 기업체가 서로 협력하는 정책이 요구되었다. 이에 따라 PNGV 계획은 연방정부와 3대 자동차 제조회사로 구성된 자동차협회(United States Council for Automotive Research, USCAR)와 역할 분담하여 이 목적을 달성하도록 구성되었다. 미국의 기술적인 도전의 강력한 힘은 국립연구소, 대학교, 산업체, 그리고 그들과 연관된 우수한 회사들의 연구개발에 의존되므로, PNGV로 정의된 프로그램과 프로젝트의 협력관계는 그림 1에서 보여준 것과 같이 대부분의 연방 정부기관이 참여하도록 편성되어 있다.

2. PNGV의 조직

연구개발 계획을 원만하게 이끌기 위하여 협력과 관심 및 노력이 집결되도록 조직의 전향적인 계획에서 연구조사 되었으며, 그림 2와 같은 조직으로 편성하여 연구 프로그램이 이끌어 지도록 조직되었다. 이 조직은 연방정부와 자동차협회 사이에서 협의하여 조절된 형태의 모델을 기초로 설립된 것으로 크게 두 부분으로 나누어 운영그룹과 기술 팀으로 구성되어 있다. 운영그룹은 초기에 정책과 그룹과의 의견조정 및 결정을 담당하며 임무는 중요한 계획, 프로그램 검토와 기획, 프로그램의 자원과 재정을 확보, 법률적인 조정과 사회적인 업무, 기술 팀에게 개발방향 제공 등이며, 기술 팀은 결정된 정책의 수행을 전담하며 임무는 개발 및 구현을 위한 기획, 프로젝트 관리, 정부와 산업체 사이의 기술적인 문제를 조정, 운영그룹과 진행을 위한 협의, 시스템분석, 자동차의 기술개발, 개선된 설계와 제작, 부품관리 등의 책임 있는 진행과정을 담당하도록 되어 있다.

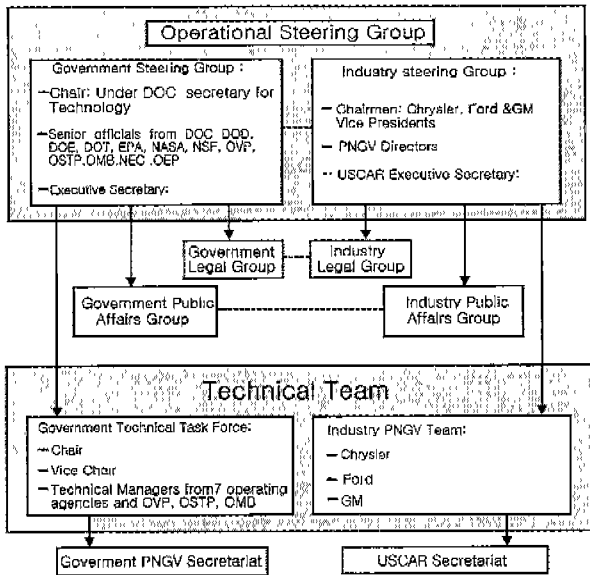


Fig. 2 PNGV Organization

3. PNGV 계획의 목표

PNGV 연구개발의 기본적인 목표(Goal)는 제조회사인 산업체와 정부기관의 기술 팀에 의하여 다음 3가지의 특성화된 단계적 목표를 설정하였으며, 최종적인 목표(Goal 3)는 자동차의 대기환경오염 방지와 연료효율 개선으로 국제경쟁력을 확보하는 데 있다.

Goal 1. 제조회사의 생산성 향상과 국제경쟁력을 개선한다.
 - 만족할 만한 제작기술의 증진에 따라 공장의 생산성 향상.

- 원가절감을 위한 발빠른 적용과 유연한 제작.
- 환경적인 충격 감소와 품질향상에 따른 적응기간 단축.

Goal 2. 지금까지 진행되어온 관행적인 자동차 연구로부터 상업적으로 생존 가능한 기술혁신의 연구개발을 실행한다.

- 연료효율과 배출에서 개선할 수 있는 표준자동차의 설계를 추진.
- 연구방향은 엔진과 구동으로부터 에너지 절약의 기술에 초점을 둠.
- 연구 프로그램에 의하여 얻어진 만족할만하게 증가된 자동차 연료 효율과 개선된 배출기술을 제조회사인 산업체에서 상업적으로 적용하도록 함.

Goal 3. 현재 사용되고 있는 자동차의 연료효율보다 3배 이상 향상된 자동차를 개발한다.

- 소비자가 필요로 하는 성능과 질적인 수준의 설비범위에서, 현재 경제적인 승용차의 가격으로 평균 3배 이상 연료효율을 개선.
- 경제성과 환경적인 측면을 고려하여 에너지 효율의 사회적 가치를 홍보함과 동시에 자동차 기술시 저공해 배출에 대한 사회적인 관심을 고조시킴. (현재 일천삼백만 이상의 인구가 미국 자동차 산업에 관련된 회사에서 고용되고 있으며, 이중 2백만 이상이 자동차 회사나 그들의 공급과 수요에 직접 연관되어 고용되고 있으며, 미국 에너지 소비의 1/4 이상이 지상운송에 쓰이고 있다)

4. 단계적 목표에 따른 세부사항과 기술도전

4.1 Goal 1의 단계적 세부계획

차세대 자동차 제조기술들은 기술개발에 따른 생산능력은 물론 상승하는 국제시장 경쟁력에 전적으로 의존되므로 Goal 1의 성취를 위한 중점적인 영역은 다음으로 설정되었다.

- 기간단축과 원가절감을 위한 설계 및 기술개발 향상.
- 생산력 증대를 가져오는 새로운 제조시스템 개발.
- 생산성 증대를 가져오는 새로운 자동차 조립시스템 개발.
- 조합된 기술들의 집약과 타당성을 위한 확고한 검증능력 개발.

이 단계의 연구개발은 Goal 3을 수행하기 위한 개선된 기술개발의 필요성과 확실한 제조능력을 요구하므로 다음의 기술영역을 포함하고 있다.

- 원가절감과 모델변경을 위한 유연하고 빠른 기구와 장치 개발
- 타이어의 로터저항과 브레이크 특성 등에 적용되는 복잡한 연구설계를 위한 아주 정교한 컴퓨터 시뮬레이션 시스템 개발.
- 구조의 강도특성 계산을 구하는 설계 및 분석방법 등을 개발.

4.2 Goal 2의 고려사항

Goal 2는 이미 산업체에서 가지고 있는 기술과 진행되고 있는 기술개발을 기본적으로 지원하는 연구이며, 2000년 이후부터는 USCAR와 연방 정부기관이 수평적 위치에서 서로 협력하여 연구하는 것을 근본으로 정하고 있다. 이 기간동안에 산업체에서는 종전의 전통적으로 설계된 자동차의 연료효율을 크게 개선시키는 연구영역에 우선적으로 집중계획을 세워 진행하는 것이다. 연료효율의 최대화와 배출가스의 최소화를 위하여 내연기관의 에너지 분사와 대기오염 형태를 아주 정교한 모델로 하여 동작과정이 진단되는 형태로 만드는 것이다. 이 연구 역시 엔진과 구동 시스템으로부터 에너지 소비를 감소시키는 자동차 기술개발로 가까운 장래에 이 목표를 달성하여 장기적으로 다음 단계인 Goal 3을 성취하기 위한 연구이다.

4.3 최종목표의 고려사항

Goal 3은 PNGV계획의 최종목표인 핵심과제로 현재 사용 중인 대표적인 자동차의 연료효율을 3배까지 증가시키는 것이다. 다음은 연료효율을 3배 이상으로 증가하기 위한 세부적인 지침을 나타낸 것이다.

- 단위연료 양에 대한 효율적인 운전거리(Miles per Gallon, mpg, 또는 114,132 BTUs)가 유지되어야 한다.
- 정해진 레벨에서 배출 가스의 허용치가 100,000 Mile에서 HC는 0.129, CO는 1.7, NOx는 0.2 이하가 되어야 한다.
- 재생능률(recyclability)은 80%이상이어야 한다(현재는 75%).
- 처음 시작품으로 개발된 자동차(Concept cars)는 6년 이상, 생산을 위한 개선된 자동차(Production prototype)는 10년 이상 사용할 수 있어야 한다.
- 6인승 인상의 일반형 승용차(1994년형을 기준으로 Chrysler Concorde, Ford Taurus와 Chevrolet Lumina는 26.6(mpg) 또는 26.6 Miles per 114.132 BTUs)의 3배인 80 mpg(또는 Miles per 114.132 BTUs)이상의 주행에 따른 연료효율이 되어야 한다.
- 0 속도에서 100 Kilometer per Hour(또는 0-60 mph)

이상까지 가속하는데 걸린 시간이 12초 이내가 되는 자동차 엔진(자동차의 무게와 승객 및 연료탱크를 포함한 무게는 300 Lbs 기준)이 되어야 한다.

- 적재용량(475 liters 또는 16.8 cubic feet)과 화물운반 용량은 현재 기준으로 정한 자동차와 같은 용량(화물운반의 용량은 승객 6명 이상과 연료탱크 및 화물 200 pound 를 포함)으로 한다.
- 고속도로에서 1회 주입된 연료 양으로 주행거리는 610 Km(380 Miles)이상이 되어야 한다(1994년 Federal Drive Cycle 기준).
- 기타 환경 및 설비는 기존 자동차의 성능이상이 되어야 한다.
- 자동차 수명은 160,000 Km(100,000 miles) 이상이 되어야 한다.
- 세계시장의 수출입에서 쉽게 승인을 받을 수 있을 것.

4.4 기술도전

현재 일반적인 중형 승용차의 에너지 소비의 분포는 그림 3에서 보여준 것과 같다. PNGV 계획의 최종 목표인 연료효율을 80 mpg 이상으로 달성하기 위하여 기술적인 주된 개선이 필요하여 다음과 같이 3가지의 경제성 있는 연료 에너지 분배 기술로 집약되며, 그림 4는 각 요소들의 예상되는 효율관계를 "Design Space"의 한 예로 나타낸 것이다.

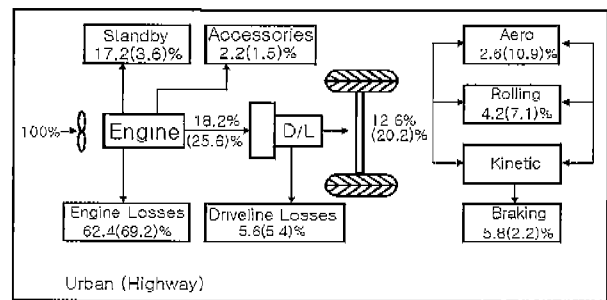


Fig. 3 Energy Distribution in a Typical Mid-Size Vehicle

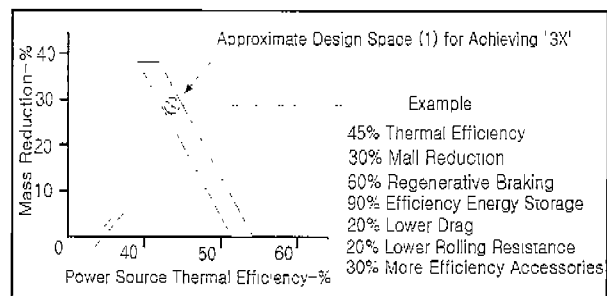


Fig. 4 Achieving "3X" Fuel Economy Requires Major Improvements in all Powertrain and Vehicle Characteristics

- 보다 효율성 있는 에너지 변환
- 에너지 회수를 위한 회생제동의 구현
- 자동차에서 요구하는 에너지 감소

5. 잠재적 연구영역의 표시

최종 목표를 위하여 기술적인 영역을 이끌어 가는 중심적인 연구개발은 자동차의 연료효율계통과 추진시스템의 개선에 있으므로, PNGV 계획이 포함하고 있는 잠재적인 연구개발 영역은 크게 다음의 5가지로 나누어진다.⁽¹⁾⁽²⁾

- 가벼운 재료 개발에 따른 자동차 구조설계
- 고효율의 전기장치 시스템⁽²⁾⁽³⁾
- 고효율 에너지 변환시스템(내연기관과 연료전지)⁽⁴⁾⁽⁵⁾
- 에너지 저장장치(배터리, 후라이휠, 울트라 캐패시터)⁽⁵⁾
- 폐열회수 기술

전기분야에서 주된 관심은 고효율의 전기장치 시스템과 에너지 변환시스템 및 에너지 저장기술이 중심적인 연구개발 분야로 되어있다. 이에 따라 PNGV 계획의 실행은 고효율의 에너지 변환에는 전기로 구동되는 전동기 사용, 효율성 있는 에너지 저장장치는 배터리에, 전 시스템은 조합된 하이브리드형 추진 시스템에 있음을 암시하고 있다.⁽²⁾ 내연기관을 가지고 있는 자동차에서 전기시스템은 많은 보조장치에서 무게와 손실을 감소시킬 수 있는 장점 등을 가지고 있으며, 특히 전력전자의 지속적인 급속한 발전은 전동기 설계, 전동기 제어기, 영구자석 전동기 등의 크기와 무게 및 효율개선에 크게 기여하고 있으므로 이 계획의 연구개발에 초점이 맞추어지고 있다.

6. 기술개발의 상호관계

PNGV 계획의 단계적인 3개의 목표상호 관계는 그림 5에서 보여주고 있다. 계획에 의하여 처음으로 만들어진 시작품의 이름은 "Concept Car"로 부품들의 실용성을 평가하는데 적용하며, 2차로 개선된 제품은 "Production Prototype"으로 더 엄격한 생산성의 한계점은 물론 제작에 따른 가능성을 평가하는데 이용한다. 이 계획의 검토와 조정의 과정은 업체와 연방정부에 의하여 세워지며, 연방정부의 연구소에서 진행한다. 3개의 제조회사는 목적을 성공적으로 수행하기 위하여 표 1과 같은 연구조합(Consortia)을 이용하여 연구개발을 진행한다.

7. 자원과 자원

이 프로젝트의 연구개발을 실행하는데 필요한 자원과 자원이 대단한 많이 요구되나 정부와 기업체 모두에게 대단한 힘

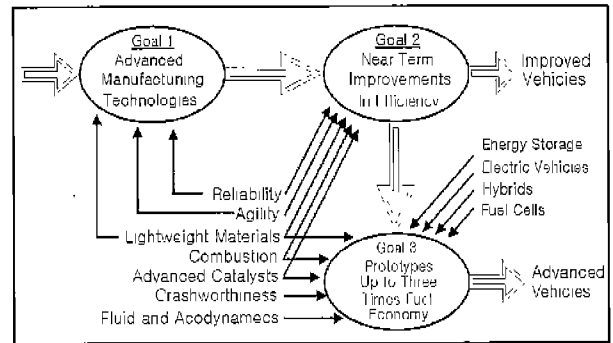


Fig. 5 Three Mutually Supportive and Interactive Goals

Table 1 Industry Consortia for the PNGV Research Goals

CONSORTIA	EXAMPLES OF HOW THEY RELATE TO PNGV GOALS
Auto/Oil Air Quality Improvement Research Program	Develop data on potential vehicle emissions improvements from reformulated gasoline, alternative fuels, and new automotive technology
CAD/CAM Partnership	Promote and apply feature-based technology to reduce the complexity and costs of product and process design and tool manufacture
Environmental Research Consortium	Conduct research on the environmental impact of vehicle and manufacturing emissions
Low Emissions Technologies R&D Partnership	Coordinates R&D activities on vehicle emissions technologies
Supercomputer Automotive Applications Partnership	Perform high-performance parallel computing and communications research applied to vehicle design and development
U.S. Advanced Battery Consortium	Pursue research and development of advanced energy systems capable of improving range and performance of electric vehicles
U.S. Automotive Materials Partnership	Conduct vehicle-oriented research and development in lightweight and other advanced materials and materials processing
Vehicle Recycling Partnership	Con research on recycling, reuse, and disposal of motor vehicles and vehicle components

을 가져다줌으로 이 계획은 빠른 기간 내에 실행에 옮기는 것을 원칙으로 정하고 있다. 그림 6은 PNGV 계획을 위한 시간 테이블을 보여준 것이다. 정부는 개인회사를 이용하지 않고도 특수한 군사용이나 우주산업 개발에 직접적인 관계를 가져오는 고도로 발달된 기술과 연구자원을 산하연구기관에서 수급 처리 할 수 있으므로 이를 적극 활용하여 자원조달에 이용한다. 연방정부의 재정은 기술적인 결함이나 대단히 큰 사업을 위하여 정부와 기업체의 자금으로 직접 사용 할 수 있기

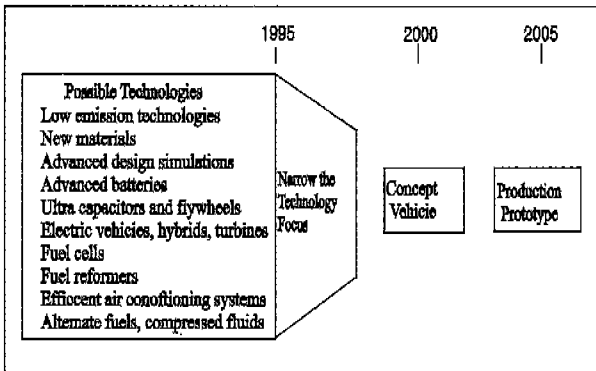


Fig. 6 Aggressive Timetable for the Program Plan

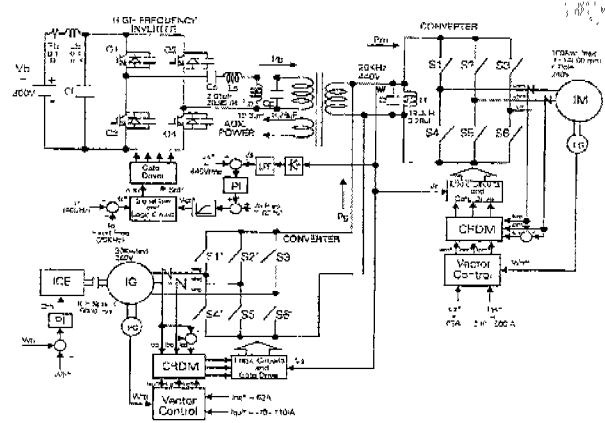


Fig. 8 A Next Generation HEV System for the PNGV Plan

때문에, 연방정부는 연구결과가 확실치 않고 위험부담이 많으면서 장기적으로 비용이 대단히 많이 요구되는 프로젝트에 재원을 지원하며, 기업체는 단기적으로 시장성 있는 기술분야의 프로젝트에 재원을 지원한다는 원칙을 정하였다. 이 프로젝트에 참여하는 동참자는 산업체나 대학교의 설비를 이용하여 연구개발에 사용되는 모든 재정적인 비용은 나누어서 부담하도록 되어있다.

8. PNGV 계획의 진행

PNGV 계획의 목적은 10년 이내에 연료효율 80 [mpg] 이상, 100 [kmh]까지의 가속시간이 12 [sec] 이하, 주행거리 610 [km] 이상, 용량 6 인승 이상, 사용수명 160,000 [km] 이상의 특성을 가지는 자동차를 전적으로 개발하여 제작하는데 있다. 그림 7은 Goal 3에서 요구되는 자동차의 특성을 나타낸 것이다.

최근의 연구들은 도심지의 대기환경 오염문제로 편리하게 이용되어온 내연기관 자동차가 전기자동차로 대체되는 경향으로 되고 있다. 전기자동차는 보다 경제적인 유지와 연료를

요구하나 현재까지 개발된 배터리는 가격이 비싸고, 수명이 짧으며, 무게가 무겁고, 용적이 큰 관계로 이용에 어려움이 따른다. 대기환경 오염문제를 근본적으로 해결한다는 차원에서 이와 같은 배터리의 문제점을 해결하기 위하여 미 항공우주국(NASA)이 주관하여 10년 주기로 30년 동안(Near, Mid, Long Term) 개발한다는 계획을 세워 많은 재정적인 지원과 연구인력을 총 동원하여 연구개발에 힘쓰고 있는 실정이다.^[215] 이 보고에 의하면 10년 이내에는 PNGV 계획의 지침을 만족시킬 수 있는 에너지 저장장치의 개발은 어려울 것으로 판단하고 있다.

이에 따라 PNGV 계획의 지침에는 “전기자동차”라는 언급은 없지만, 요구하는 연료효율의 최종 목표를 구현하기 위하여 에너지 회생제동 시스템을 가지는 하이브리드형 전기자동차(Hybrid Electric Vehicle, HEV)의 개발계획으로 유추된다.^[2]

그림 8은 PNGV 계획의 구현 가능한 차세대 하이브리드형 전기자동차 구동시스템의 বল력도를 보여준 것이다. 일반적으로 전동기 구동에 DC Bus 전력 시스템이 고려되고 있으나, 구동시스템 자체의 무게를 감소시킬 수 있는 미래의 우주항공 분야에 이용을 고려하여 높은 주파수 AC Bus 전력분배 시스템(20 KHz, 440V)이 채택되었으며^{[3][6][7]}, 배터리가 70 [Kw], 내연기관 엔진(ICE)에 의하여 구동되는 유도발전기가 30 [Kw]를 분담하여 유도전동기 100 [Kw]를 구동하는 하이브리드형 전기자동차 구동시스템이다. 이 시스템은 시뮬레이션을 통하여 운전특성이 PNGV 지침의 요구에 만족되어 “Concept Vehicle Car”로 선정되어 Ford 회사에서 제작되어 현재 특성시험 중에 있다.

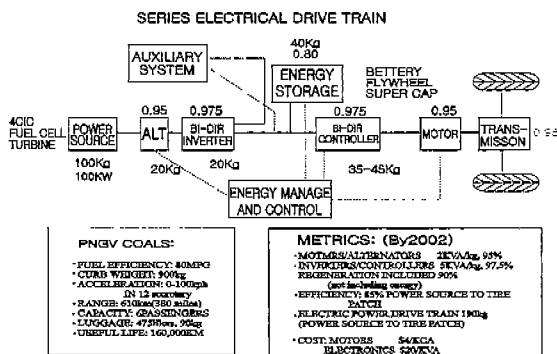


Fig. 7 PNGV Goal 3 Vehicle Requirements

9. 결 언

최근 도심지의 대기환경 오염문제와 연료절약을 해결하기 위하여 지금 까지 편리하게 이용되어온 내연기관 자동차가

전기자동차로 대치 하고자 하는 경향의 연구개발이 활발하게 이루어지고 있다. 1993년 가을 미국 정부는 사용중인 자동차의 연료효율을 10년 내에 3배까지 획기적으로 증대시키는 연구개발 계획인 PNGV계획을 발표하여 추진하고 있다. 이 계획은 하이브리드형 전기자동차의 개발을 의미하므로 앞으로 전기자동차 개발에 따른 방향설정에 참고자료로 활용하는데 도움이 되었으면 하여 이 계획에 대한 기본지침과 내용 및 방향을 간단하게 소개하였다. 이 원고가 자동차산업 기술개발에 조금이나마 도움이 있기를 기대한다. ㉸

참 고 문 헌

- [1] US Government, "Partnership for a New Generation of Vehicles (PNGV) Program Plan", pp. 1-32, July, 1994
- [2] Bimal K. Bose and Min-Huei Kim, "Advanced Propulsion Power Distribution System for Next Generation Electric/Hybrid Vehicle, Phase 1: Preliminary System Studies", Final Report Submitted to NASA Lewies Research Center, pp. 1-217, June, 1995
- [3] Min-Huei Kim, Bimal K. Bose and M. D. Kankam, "High Frequency AC vs. DC Distribution System for Next Generation Hybrid Electric Vehicle", IECON'96, pp. 707-712, 1996
- [4] Min-Huei Kim, "Advanced High Frequency AC Propulsion System for Next Generation Electric Hybrid Vehicle", 전력전자학회 논문지, Vol. 2, No. 1, pp. 12-25, 1997
- [5] Min-Huei Kim, "Power and Energy Storage Devices for Next Generation Hybrid Electric Vehicle", 한국산업응용학회 논문지, Vol. 1, No. 1, pp. 31-41, 1998
- [6] P. K. Sood and T. A. Lipo, "Power Conversion Distribution System using a High Frequency AC Link System", IEEE Trans. IA, Vol. 24, pp. 288-300, March/April, 1988
- [7] S. K. Sul and T. A. Lipo, "Design and Performance of a High Frequency Link Induction Motor Operating at Unity Power Factor", IEEE Trans. IA, Vol. 26, pp. 434-440, May/June, 1990

〈 저 자 소 개 〉



김민회(金玟會)

1953년 7월 23일생. 1974년 영남대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1988년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1979년 3월~현재, 영남이공대학 전기 전자계열 교수. 1993년 7월~1995년 8월, 미국 테네시 주립대학(낙스빌), 전기공학과 전력전자응용 연구센터 연구교수. 1996년 8월 IECON'96, 최우수 논문상 수상. 현재 당 학회 학술이사.