

# 차량 전자제어 기술

丁吉道, 咸雲哲\*  
 全北大學校 制御計測工學科  
 \*全北大學校 電子工學科

## I. 서론

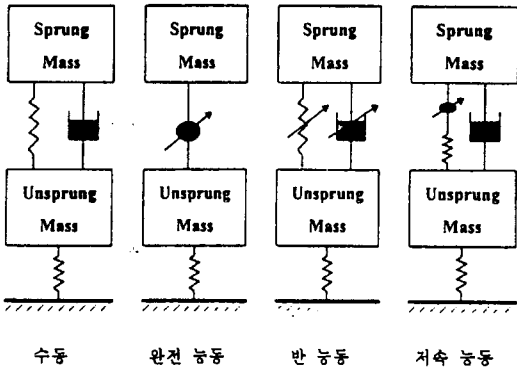
자동차 산업의 짧은 역사에도 불구하고 1996년 현재 세계 제 7위의 자동차 생산국으로 발전하고 있는 한국은 다가오는 2000년대에 세계 5대 자동차 생산기술국으로 발돋움하기 위하여, 산학관연이 합심하여 이 분야의 관련기술에 대한 장기발전 전망을 예측하고 이에 필요한 소요기술을 파악하는 등 장기적인 기술개발전략을 수립하고 추진하고 있는 실정이다. 본 고에서는 국내외에서 연구되어 전기자동차 및 차량의 능동현가장치의 기술동향 및 발전추이에 대하여 고찰하여 본다.

## II. 능동 현가 장치의 제어/전자 기술

### 1. 능동 현가 장치의 개요

현가 장치는 스프링과 댐퍼를 이용하여 승차감과 조종 안정성을 향상시키는 장치이다. 즉 차체 중량에 대한 차고 유지와 노면으로부터 전달되는 충격을 흡수함으로써 승차감을 향상시키고, 차량 주행시 적합한 자세를 유지하여 조종 안정성을 향상시키는 것을 주목적으로 한다. 댐퍼의 상수가 일정한 수동 현가 장치는 승차감의 향상을 위해 작은 댐핑 상수를 그리고 조종 안정성을 위해서는 높은 댐핑 상수가 요구되는 상반된 특성을 가지고 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 상반된 특성을 기존의 수동 현가 장치로서는 성능의 향상에 한계가 있다. 이러한 상반된 특성을 동시에 해결하기 위하여 현가 장치의 댐핑 상수를 능동적으로 필요에 따라 조절 가능한 능동 현가 장치를 개발하기에 이르렀다.

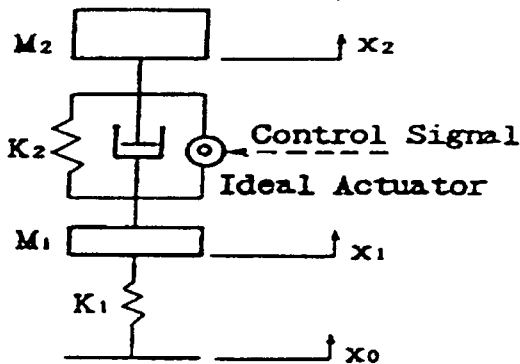
능동 현가 장치로는 그림 1에 나타난 바와 같이 완전 능동 현가 장치, 반능동 현가 장치, 저속 능동 현가 장치가 있다<sup>[2]</sup>. 능동 현가 장치는 유압 시스템, 공압 시스템, 그리고 자성을 이용한 구동장치가 이용되고 있다<sup>[1]</sup>. 완전 능동 현가 장치는 스프링과 댐퍼를 능동 구동장치로 대체시킨 장치이며, 전 주파수 대역에서 작동이 가능하다. 그렇지



(그림 1) 현가 장치의 종류

만 기계적인 템퍼가 없기 때문에 과도한 에너지 소모와 오동작시 안전성 문제가 제기된다<sup>[3]</sup>. 지속 능동 현가 장치는 고주파 충격을 완화시키기 위해 스프링과 능동 구동 장치를 직렬로 연결하였다. 제어 대상은 차체 모드만을 대상으로 하며, 제한된 주파수 대역에서 작동한다. 또한 지속 능동 구동장치는 고주파에서 강제 역할을 한다. 그리고 반능동 현가 장치는 수동 현가 장치에 차체와 차륜의 운동 방향에 따라 스프링과 댐핑의 계수를 능동적으로 조절한다. 그래서 수동 현가 장치와 능동 현가 장치의 장점을 취하도록 설계된 현가 장치이다<sup>[4, 5, 6, 7]</sup>.

현가 장치의 능동 제어는 구동장치를 그림 2에서와 같이 부착하여 노면으로부터 들어오는 입력 $x_0$ 에 대하여 차량 운행시 안정성과 조작성 등의 현가 장치 목적을 유지할 수 있도록 필요한 반대 급부의 힘을 만들어 낸다. 그림 2에서  $M_2$ 는 차량 질량

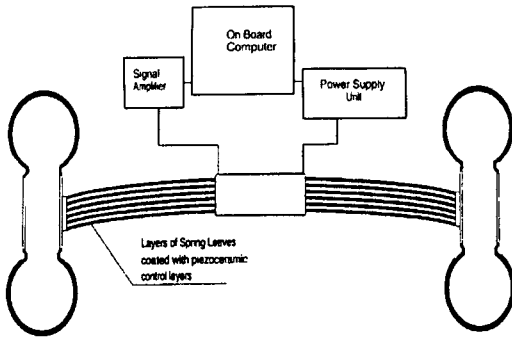


(그림 2) 반능동 현가 장치의 개략도

을,  $M_1$ 은 차륜 질량을 나타내고 Control Signal은 제어 입력을 나타낸다. 여러 가지 제어 방법에 의해 얻어진 제어 입력이 화살표 방향이 표시된 부분으로 연결되고 구동 장치는 제어 입력에 따라 작동하여 수동 현가 장치의 문제점을 해결한다.

능동 현가 시스템의 구동장치는 주로 유압, 공압 및 자성이 이용되어 왔으나 최근에는 피에조세라믹(Piezoceramics)을 이용한 연구가 보고된 바 있다<sup>[43]</sup>. 피에조세라믹 능동 현가 장치는 피에조 물질에 스트레인(Strain)이 가해질 때 전압이 발생하며, 또한 반대로 전압을 가하면 스트레인이 발생하는 원리를 이용하였다. 피에조 물질의 전기 발생과 작동은 대부분 극히 작은 범위에서 일어나지만 자동차 현가 장치의 작동 범위까지 확장할 수 있도록 설계하였다. 피에조 물질을 이용한 능동 현가 장치와 관련된 연구들을 살펴보면, 1979년에 Das Gupta<sup>[39]</sup>가 플라스틱 이론을 적용하여 피에조 물질에 발생하는 전기력에 비례하는 힘과 모멘트를 구했고, 1987년에 Crawley와 Luis<sup>[38]</sup>은 탄성열(Elastic Layer)에 부착한 피에조 물질의 구동 역할에 대한 연구를 발표하였다. 또한 Dimitriadis<sup>[40]</sup>은 피에조 물질을 이용하여 능동 진동 제어기의 응용 연구를 발표하였고, Newman<sup>[41]</sup>은 대형 축제어에 피에조 물질을 이용한 연구를 하였다. 능동 현가 시스템의 응용으로는 1991년에 Shiozaki<sup>[42]</sup>가 가변 능동 댐퍼와 속속저버의 개발을 제안한 바 있다.

Sirdhar<sup>[43]</sup>과 연구원에 의해 제안된 피에조세라믹 능동 현가 시스템의 구성은 그림 3과 같다. 다열로 만들어진 탄성의 판 스프링과 얇은 피에조세라믹 판을 차례로 연결하여 그림3과 같이 설계하였다. 피에조세라믹 구동장치는 센서와 구동장치의 역할을 동시에 수행할 수 있다. 센서의 역할은 노면으로부터 전달되는 입력으로 인한 판스프링의 휨 정도에 따라 변위를 측정하며, 구동장치 역할은 제어 입력에 따라 가해지는 전압의 크기로 스프링의 강도를 조절하는 것이다. 노면으로부터 전달되는 입력은 장착된 컴퓨터로 보내어지며, 컴퓨터에서는 들어온 센서 신호에 따라 필요한 구동 제어 입력을 계산하여 다시 피에조세라믹 열로 보내게



〈그림 3〉 피에조세라믹 능동 현가 장치

된다. 피에조세라믹은 제어 입력에 따라 스프링의 강성을 달라지게 함으로 능동 현가 장치의 구동장치 역할을 할 수 있게 한다. 이러한 방법으로 적절하게 스프링 상수를 변화시킬 수 있으며, 가볍고 성능이 뛰어나다. 피에조세라믹 능동 현가 장치는 가볍고, 피에조세라믹의 높은 고유 진동수로 인한 넓은 대역 폭에 작동할 수 있으며 구동 속도가 빠르고, 적은 전력으로 구동할 수 있는 장점을 가지고 있다.

## 2. 능동 현가 장치 제어

능동 현가 장치에 적용되는 제어 방법으로는 최적 제어, 적응 제어, 비선형 제어, 강인 제어, 회전 운동 제어 및 예견 제어 등을 들 수 있다. 능동 현가 시스템의 제어 모델은 연구 목적에 따라 1/4, 1/2 그리고 전체 차량 모델이 이용되고 있다.

Tseng<sup>[47]</sup>은 상하(heave) 가속도, 현가 장치와 차량의 상대 거리, 제어 입력 등을 고려한 Linear Quadratic 제어 기법을 1/4차량 모델에 적용하여, 다양한 노면 상태, 차량 속도 등의 운전 상황에서 능동 현가 장치가 수동 현가 장치보다 우수함을 보였다. 또한 Jerk를 감소함으로써 승차감 향상에 대해 언급하고 모의 실험 결과를 나타내었다. Krtolica<sup>[49]</sup> 등은 1/2차량 모델에 가속도, 조정성, 제어 입력과 페루프 고유 값을 고려한 최적 제어 기법을 적용하였으며, Centralized와 Decentralized 최적 제어 기법을 능동 현가 장치에서의 효율성도 살펴보았다. Hedrick<sup>[45]</sup>에 의해 sky-hook 제어와 Kalman Filter를 이용한 상태

환과 전체 상태궤환의 제어기법의 비교연구도 보고되었다. Elsayed<sup>[46]</sup>은 준 최적(Suboptimal) LQG (Linear Quadratic Generator) 방법을 이용하여 7 DOF의 전차량(Full-Car) 모델에 수동, 능동 그리고 반능동 현가 장치의 최적화 제어 이론을 적용하였다. 현가 장치의 성능 지수에 가장 크게 영향을 미치는 주요 궤환 이득 값은 부분적으로 측정된 값에 비례하는 것으로 밝혀졌다.

탑승객의 수와 불확실한 시스템의 변수, 비선형성 등으로 인하여 고정된 모델에서의 최적 제어 이득 값은 더 이상 최적 제어가 되지 못하며 이러한 문제의 해결을 위해 적응 제어 기법이 발달하였다. Sunwoo<sup>[50]</sup>은 자동차가 노면이 거칠더라도 뛰어난 승차감을 갖게 되고, 주행 중의 성능을 개선시키기 위해 적응 제어를 능동 현가 장치에 이용하였다. 적응 제어의 방법으로 자기 동조 제어(Self-Tuning Controller)를 이용하였다. 이 방법은 현가 장치 특성의 변화와 차량 질량의 변화에 빠르게 적응하며, 원하는 표준 현가 장치 모델 특성이 컴퓨터 알고리즘을 통해 쉽게 승차감을 적절히 조정한다. 1/4차량을 이용했으며, 자기 동조 제어에서 중요한 변수 추정은 RLS(Recursive Least Squares) 방법을 이용하였다. 자기 동조 제어 방법을 이용한 능동 현가 장치는 수동 현가 장치에 비해 승차감이 약 40-50%개선되었고, 약 10% 정도의 조정성 향상도 가져올 수 있음을 보였다. Isermann<sup>[8]</sup>은 차량의 매개변수가 변화하는 상태를 고려한 적응 제어 기법을 반능동 현가 장치에 적용하였다. 먼저 비선형모델을 실시간 규명하였고 시스템의 상태 변수와 매개변수를 측정하여 궤환시키는 적응 제어기를 설계하여 변화하는 상황에 잘 적응함을 보였다. Alleyne<sup>[46]</sup>은 비선형 서보 밸브를 제어하기 위해 궤환 선형화 방법을 Lyapunov 방법에 기초한 적응 제어기를 사용하여 승차감의 향상을 보였다.

최적 제어의 강인성 및 강인성 확보를 위한 방법으로 수동 소자의 적절한 설계가 필수적이다. 강인 제어 방법은  $H_{\infty}$  최적화에 기초하여 많은 연구가 보고되었다<sup>[10, 11, 12, 13]</sup>.

또한 자동차의 복잡한 구조와 비선형성으로 인

해 정확한 수학적 모델링과 해석의 어려움이 있다. 이러한 어려움의 해결이 가능한 퍼지이론이나 신경회로망을 이용하여 능동 현가 장치에 응용한 다양한 연구가 보고 되었다<sup>[14, 15, 16]</sup>.

종횡 방향 가속도에 비례하는 좌우, 앞 뒤 바퀴에 반대의 힘을 가해서 피치각, 롤각을 줄임으로 가감속 및 선회시 회전 안정성을 확보하는 회전 운동 제어도 연구되었다<sup>[17]</sup>. 케환 제어 방식의 현가 장치 제어는 시간 지연 때문에 노면의 상황에 퇴적으로 대응하기가 어렵다. 그리하여 센서를 통한 노면 상태의 정보를 미리 탐지하고 대처하는 예견 제어의 연구가 발표되었다<sup>[18, 19, 20]</sup>. 현재 측정 장비의 신뢰도와 복잡한 제어 때문에 실용 단계는 아니다.

### 3. 국내의 현가 장치 개발 현황

능동 현가 관한 연구는 1950년대에 시작되어 1980년대부터 활발하게 이루어졌으며, 1987년 Lotus사가 최초로 능동 현가 시스템을 장착시켜 가능성을 보여주었다<sup>[2]</sup>. 또한 1987년에 Ford사의 Thunderbird Turbo Coupe에 PRC (Programmable Ride Control)의 반능동형 현가 장치를 장착하였고, 1989년에는 일본 Nissan사의 Infinity Q45에 완전 능동 현가 장치를 장착하여, 일본의 TOYOTA CELICA, Toyota, Soarer에 능동 현가 장치와 ABS, 4WD, TRC 등을 장착하여 실용화에 이르렀다<sup>[21]</sup>. 지금까지의 연구 결과 능동 현가 시스템이 수동식에 비해 진동 가속도를 50% 까지도 감소시킬 수 있는 것으로 보고되고 있으며<sup>[22]</sup>, 전체적으로 차량의 성능을 크게 향상시키는 장점이 있다.

일본, 미국, 유럽 등에서는 부분적으로 실용화시켜 고급 승용차에 장착되고 있으나 국내에서는 현대, 기아, 대우 자동차 및 만도기계 등 여러 회사에서 활발히 연구 개발하고 있는 단계이다<sup>[23, 24, 25, 26, 27, 28, 29]</sup>. 실차 적용 사례를 보면 현대의 New Grandeur에 차고를 2단계로 조절할 수 있는 공기 스프링을 사용한 반능동 현가 시스템을 들 수 있다. 학계에서의 능동 현가 시스템의 연구 개발은 주로 제어 이론에 편중되어 있다. 연구 내용을 살

펴보면 외국의 경우와 유사하며, 신경회로망이나 퍼지이론을 이용한 지능 제어 연구<sup>[15, 16, 30]</sup>, 최적 제어<sup>[31, 32, 33]</sup>, 예견 제어<sup>[19, 20]</sup>, 비선형제어<sup>[34]</sup> 등 현가 장치의 제어 알고리즘 개발과 성능 평가<sup>[35, 36, 37, 38]</sup>에 다수의 연구 논문이 발표되어 있다.

### 4. 향후 연구 분야

능동 현가 장치는 현가 장치가 지향하는 목적을 달성하고 특성을 향상시킬 수 있는 가장 좋은 현가 방법이다. 그러나 차체의 전체 질량을 제어해야 하는 구동장치가 요구된다. 이러한 구동장치는 출력이 커야 하므로 비용이 많이 소요된다. 이러한 고가의 현가 장치를 저가로 개발하는 것이 중요하며 이 분야에 연구가 진행되리라 본다. 또한 현가 장치와 ABS 및 TCS와의 통합 시스템 구축을 위한 연구가 이론적 연구와 병행되며, 주파수 응답의 연구에서 엔진 진동 및 소음과 승차감의 악영향을 제거하기 위한 능동형 현가 마운트 개발도 연구되어야 할 분야이다. 차체와 좌석 사이에 공기 스프링을 설치함으로써 승차감을 향상시키는 연구도 기대되는 연구 분야로 생각된다. 그리고 자동차의 전력 소모가 증가함에 따라 자동차의 전기 장치의 고압으로 변환되어야 할 필요가 대두되고 있으며, 이에 따라 현가 시스템의 구동장치도 직류 350볼트 전원에 의해 작동되는 시스템에 관한 연구가 진행되리라 생각한다<sup>[44]</sup>.

## III. 전기자동차

현재 차세대 자동차기술개발에서 주요점을 두는 사항은 대체적으로 저공해, 저연비, 경량화, 안락성/안정성이며 이러한 사업의 일환으로 추진되고 있는 국내 HAN프로젝트인 전기자동차개발은 2000년대를 대비한 범국가적 정책적인 연구분야라고 할 수 있다.

지구의 환경보호와 에너지원의 다양함을 수용할 수 있다는 장점으로 인하여 전기자동차가 21세기의 운송수단으로 자리잡을 것이라 전망하고 있

〈표 1〉 2001년도 양산될 국내 전기자동차의 성능사양

최 고 속 도	120km
일 총 전 거 리	300km(40-60 km/hr)
가 속 성 능	15sec, 0-100km/hr
무 계	1,200kg
전 지 무 계	300-500kg
승 차 인 원	4명
보 조 장 치	공조

며, 1990년 10월 27일에 대기보전법(Clean Air Act)의 캘리포니아 의회통과 및 다가오는 1998년부터 캘리포니아주 연간 차량판매 가운데 2%의 무공해 차량 강제판매 방침이 전기자동차의 주행 성능미비 및 개발지연으로 인하여 다소 수정되어 2003년에 10%의 무공해 차량의 강제판매 방침으로 변경되기는 하였지만 어쨌든 이분야의 발전속도는 매우 빠를 것으로 예측된다.

국내 HAN프로젝트의 하나인 전기자동차개발은 2001년까지, 표 1에 보여진 사양을 만족시킬 수 있는 전기자동차개발에 필요한 핵심요소기술을 중점 개발하는 것을 목표로 하고 있다.

참고적으로 미국에서의 전기자동차에 관한 기술 동향을 살펴보면 GM에서 제작된 전기자동차 GM EV1이 개발완료되어 올해 9월중에 미국 로스엔젤레스, 샌디에고, 피닉스 등지에 판매될 예정으로 밝히고 있으며 가격은 \$35,000에 해당될 것으로 전망되고 있다. 2인승인 이 차종은 24개의 12Volt 배터리를 장착하고 있으며 배터리의 무게만도 1,175파운드에 해당하며 차량 전체 하중 2,970파운드의 40%에 해당하고 있다. 엔진으로는 137마력의 삼상AC모터를 사용하고 있으며 한 번 충전에 의하여 갈수 있는 거리는 약 70내지 90마일 정도이다. 개괄적인 사양이 표 2에 나타나 있다.

전기자동차개발을 위한 핵심이 되는 기반기술은 고성능 전지개발기술, Power train개발기술, 차체 및 샴시기술로 크게 세분야로 나눌 수 있으며 본고에서는 Power train개발에 관한 미국의 80년대 중반서부터 90년대 초반에 추진되었던 기술에 대하여, 특별히 미국의 Ford자동차회사와 GE가

〈표 2〉 General Motors EV 1 성능사양

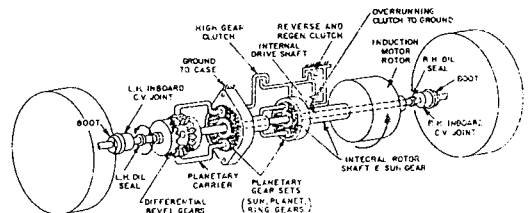
OVERALL LENGTH	4309mm
OVERALL WIDTH	1766mm
OVERALL HEIGHT	1281mm
RATED MOTOR POWER	137 HP(102kw)
RATED BATTERY CAPACITY:	16.2Kw-hr
26 Modules/312 volts	
RECHARGE TIME	3 hours 15hours
- 220volt 6.6kW: - 110volt 1.2kW:	
RANGE	70 miles 90 miles
- EPA City Schedule: - EPA Highway Schedule:	
0-60 MPH ACCELERATION:	under 9 seconds
TOP SPEED	80 mph

1982년도 DOE 과제를 수행하면서 함께 개발한 2-Speed Automatic Transaxle(개괄적인 구조는 그림 4. 참조), 일명 ETX(Electric TransaXle)에 관하여 중점적으로 고찰하여 보기로 한다<sup>[51~54]</sup>.

### 1. Power Train의 구조

그림 4 에서 알수 있듯이 개발된 Power train은 동일 축으로 설계가 되어 있으며, 트랜스미션 기어비도 동일 축 상에서 이루어 질 수 있는 구조로 되어 있는데, 이는 차량의 진동 및 소음을 최대한 줄임은 물론, 소형화를 위한 구조임을 알 수 있다.

초창기의 Power train개발시 구동모타로 DC 모타가 채택되었다. 이러한 이유는 DC 모타의 제어성이 우수함에 있었으나, DC 모타는 발생동력에 비하여 중량이 많이 나가고 또한 Blush교체에 따



〈그림 4〉 Powertrain의 구조

른 유지보수라는 측면에서 적합지 않다는 판단하에, 또한 마이크로프로세서 응용기술의 발달로부터 AC 전동기의 제어기술이 발달함에 힘입어, 현재는 삼상 유도전동기, Blush Less DC모타가 사용되는 실정으로 ETX에서는 삼상 AC 유도전동기가 사용되었으며 이에 대한 제어시스템의 가격을 고려하여 양쪽 바퀴에 각각 부착시키는 구조 대신에 한쪽 바퀴에만 부착하고 다른 한쪽 바퀴는 차동기어를 이용하여 구동하는 매우 경제적인 구조로 설계되어 있다.

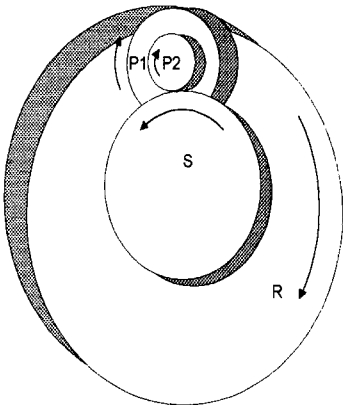
개발시에 주안점을 둔 사항은

- 1) 기존의 DC 모타에서 삼상 AC 유도전동기를 동력원으로 하고
- 2) 대량생산에 적합한 구조
- 3) 경량화
- 4) 소형화

에 주안점을 두었다.

실장테스트는 Mercury LN-7을 사용하였으며 당시의 기능사양은 다음과 같다.

- 30% 1단기어의 등판능력
- 80 km/hr within 20sec
- maximum speed 96km/hr
- 0.16kwh/km



〈그림 5〉 Gear Train

1) Gear Train의 기어비

ETX에서 사용된 Gear Train의 기어비에 대하여 간략히 고찰하여 본다.

그림 5 와 같은 Gear Train에서의 각 기어에서의 속도에 관한 일반식은 다음과 같다.

$$\frac{\omega_R - \omega_C}{\omega_S - \omega_C} = -\frac{P_1 S}{R P_2} \quad (1)$$

상기식을 ETX에 적용할 경우, 각 Gear Train에서 성립되는 식은 다음과 같으며

$$\omega_{R1} + \lambda_i \omega_{S1} = (1 + \lambda_i) \omega_{C1} \quad (2)$$

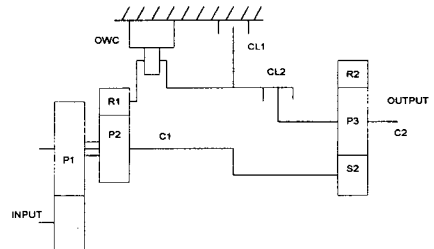
$$\omega_{R2} + \lambda_e \omega_{S2} = (1 + \lambda_e) \omega_{C2} \quad (3)$$

여기서

$$\lambda_i = \frac{S_1 P_2}{P_1 R_1}, \lambda_e = \frac{S_2}{R_2} \quad (4)$$

이다.

그림 6 과 같은 ETX의 기어비 계산은 다음과



〈그림 6〉 Gear 와 클러치의 구성도

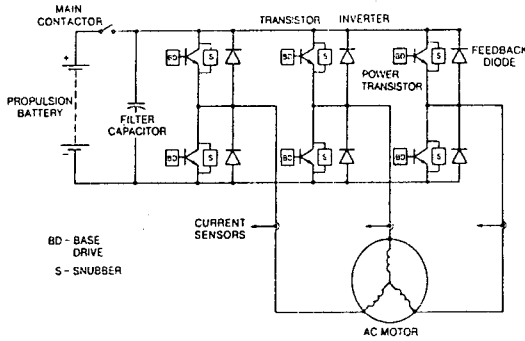
같다.

1단기어 시에는  $\omega_n = \omega_{S1}, \omega_{R1} = \omega_{R2} = 0, \omega_{C1} = \omega_{S2}, \omega_{out} = \omega_{C2}$ 를, 2단기어 시는  $\omega_n = \omega_{S1}, \omega_{R2} = 0, \omega_{C1} = \omega_{S2}, \omega_{out} = \omega_{C2} = \omega_{R1}$ 을 대입하여 다음과 같은 식의 기어비를 얻을 수 있다.

$$1\text{단 기어비} = [1 + \frac{R_1}{S_1} (\frac{P_1}{P_2})] [1 + \frac{R_2}{S_2}] \quad (5)$$

$$2\text{단 기어비} = [1 + \frac{R_1}{S_1} (\frac{P_1}{P_2})] [1 + \frac{R_2}{S_2}] - \frac{R_1}{S_1} (\frac{P_1}{P_2}) \quad (6)$$

ETX설계시 트랜스미션의 기어비는 1단 기어시에 15.52의 기어비를 2단 기어시에 10.15로 선정하였다.



〈그림 7〉 삼상모터 Inverter 회로

2) 인버터 구성

ETX의 인버터 구성시 사용된 전력소자는 GE에서 자체 제작한 Darlington Transistor를 활용하여 그림 7과 같이 구성하였다.

인버터에 사용되는 전력소자로서는 Bipolar Transistor, Two-stage Darlington, Three-stage Darlington, IGBT, MOSFET, GTO, SCR등이 검토되었으나 현재는 점차 IGBT를 활용하는 추세로 가고 있다.

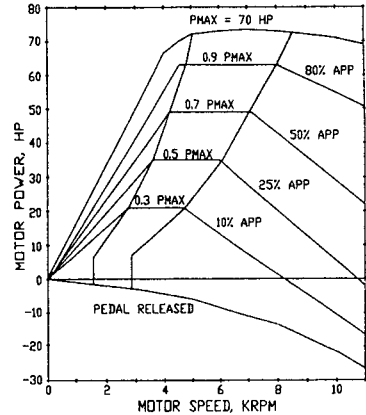
전력소자를 선택함에 있어서 고려되어야 할 사항으로는 Conduction Voltage drop, Maximum operating frequency, Maximum input power, Cost, heatsink 설치의 용이성 등이다.

2. Accelerator Torque Schedule :

Ford 자동차에서 추진하고 있는 전기자동차의 Power train ETX 개발시에 안전하고, 쾌적한 승차감 및 에너지효율을 극대화하기 위한 연구된 Accelerator Torque Schedule에 대하여 간략히 고찰하여 보자.

이는 기존의 가솔린자동차의 승차감을 극대화할 수 있는 Data에 근거하여 운전자의 가속페달위치, 구동모터의 속도에 따른 구동모터의 공급 토크/전력에 대한 최적의 해를 구하여 구동모터의 토크 및 전력을 마이크로프로세서를 통하여 자동적으로 공급하려는 연구이며 가속구동력계획은 크게 다음과 같은 3가지 동작영역으로 나누어 설계하고 있다.

1) 저속, 일정토크영역



〈그림 8〉 가속 구동력 계획 및 기어변속

- 2) 중속, 일정전력영역
- 3) 고속영역

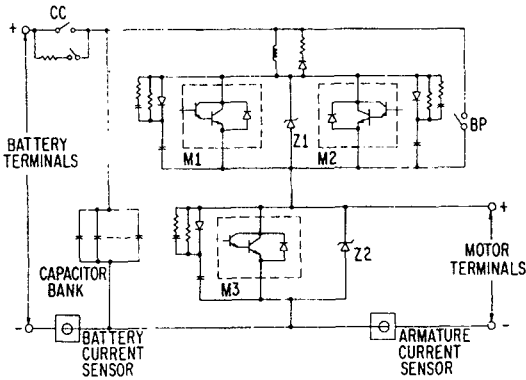
ETX 개발시 최적화된 가속구동력계획 및 쾌적한 승차감을 위한 자동기어변속 시점(Down Shift 와 Up Shift 시점)이 그림 8에 보여지고 있다.

3. Brake Torque Schedule :

전기자동차의 추진장치 설계시의 에너지 효율을 극대화 하기 위하여 반드시 고려해야 할 사항 중의 하나가 바로 회생제동회로이다. 회생제동을 활용할 경우 약 10-15%의 에너지를 절감할 수 있음이 연구되었으며 이는 전기자동차의 일출전거리를 같은 비율로 증대시킬 수 있음을 뜻한다.

회생제동의 원리를 위하여 그림 9과 같은 GE에서 초창기에 개발한 ETV-1의 DC 모터 구동회로를 살펴보자.

스위치 M1 및 M2가 단락되고 스위치 M3가 개방되어 충전용 배터리전압 Vcc에 의하여 DC모터가 정상상태에서 아마추어제어방식을 통하여 일정한 속도로 회전하고 있다고 한다. 현재 운전자가 Break페달을 밟는 순간 이를 센서를 통하여 감지한 후, 스위치 M1과 M2를 개방하고, 기존의 유압장치식 Break를 작동하면서 한편으로는 Reg/Rev 클러치를 작동하게 되면 구동모터의 부하는 차체



(그림 9) ETV-1 DC모터 구동회로와 회생제동회로

■ 기계적인 부품 및 시스템을 신뢰성있는 전자 시스템으로 구성하여 고장을 개선

### IV. 결 론

자동차 전자화는 고성능, 안전성 및 편의성의 추구하고 더불어 제어통합화, 인텔리전트화의 방향으로 발전하여 나아가고 있으며, 2000년대 초반에는 능동현가시스템이 모든 차량에 도입되리라 전망하고 있다. 한편 전기자동차에 대한 국내 기술동향을 살펴보면 만도기계, 현대자동차, 기아자동차 등의 완성차업체와 한국전기연구소, 한국과학기술원 등의 정부출연기관, 한국전력연구원 등에서 이미 기존의 차량을 개조하여 전기자동차 시스템을 구축하고 있는 실정이며, 따라서 이러한 국내 기술 경험을 최대한 활용하고, 전기자동차 부품기술에 대한 국내 저변을 확대할 수 있도록 산학연이 함께 협조체제를 구축하여 나아가야 할 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Masas NAGAI, "Recent Researches on Active Suspensions for Ground Vehicles", pp 161-170.
- [2] 김완일, 전진훈, 이병운, 김상우, 원상철, "능동현가 시스템에 관한 최근 연구 동향", 한국자동차공학회, pp. 166-175, 1995.
- [3] Appleyard, M. and Wellstead, P.E. "Active suspensions : some background", IEE Proc. Control Theory Appl. Vol. 142, No. 2, March 1995.
- [4] M. Appleyard, P.E. Wellstead, "Active suspensions : some background", IEE, Vol. 142, No. 2, pp123-128, 1995.
- [5] Truscott, A. J. and Burton, A.W., "On the analysis, Modeling and Control of Active

바퀴의 관성모멘트는 잃게 되지만, 여전히 1단기어만큼의 부하가 계속 걸리게 되어, 이에 따른 관성모멘트에 의하여 서서히 모터가 감속되면서 회전하게 된다. 이 순간 DC 모터의 양단은 모터의 회전속도에 비례하는 양의 전압이 걸리게된다. 이 순간 스위치 M3를 개방하여 아마추어로부터 M3 방향으로 전류가 흐를 수 있는 경로를 열어주며, 잠시후 다시 스위치 M3를 개방하면 아마추어의 인덕턴스 성질에 의하여 아마추어 양단에 고전압이 순간적으로 발생하게 되며, 발생하는 즉시 제너다이오드 Z1을 통하여 충전 배터리로의 전류 공급하여 충전하게 된다. 이 과정을 계속 되풀이하여, 제동 시의 공회전에 의한 기계적인 에너지를 전기 에너지로 변환하여 에너지를 절감하고자 하는 것이 바로 회생제동회로의 원리이다.

ETX 와 같이 삼상모터를 구동모터로 사용하는 경우에는 역방향으로 구동시키기 위한 인버터의 구동타이밍을 제동시에 활용할 경우, ETV-1에서와 같은 스위치 M1과 같은 별도의 회로가 필요하지 않고 인버터 회로 자체가 발전용 충전회로로 동작하게 된다.

위에서 간략히 전기자동차의 Power Train에 대한 연구동향에 대하여 검토하였다. 또한 이를 토대로 Power train 제작시 고려할 점은 다음과 같다.

- 기존의 생산라인 방식이 활용될 수 있는 조립장착이 용이하도록 설계
- 수리자의 보수시간 단축을 위하여 시스템 고장검출확인이 용이하도록 설계

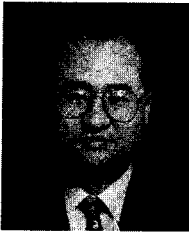


- Automobile suspension systems for limited Bandwidth”, Vehicle System Dynamics, Vol. 16, 1987.
- [6] Sharp, R.S.I and Hassan, S.S., “On the performance Capabilities of Active Automobile Suspension Systems for Limited Bandwidth”, Vehicle System Dynamics, Vol. 16, 1987.
- [7] Crolla, D.A., Soliman and et.al., “Experimental Results from a Slowactive Suspension System”, Int. J. of Vehicle Design, Vol. 14, No 2/3, 1993.
- [8] Joachim Buchart and Rolf Isermann, “Realization of Adaptive by Estimation Physical Process Coefficients of a Vehicle Suspension System”, Proceedings. of ACC, pp532-535, 1992.
- [9] Andrew Alleyne and J.K. Hedrick, “Nonlinear Control of a Quarter Car Active Suspension”, Proceeding of ACC, pp21-25, 1992.
- [10] M. Yamashita, K. Fujimori, and C. Uhlik, “ $H_\infty$  Control of an Automotive Active Suspension”, Proc. of 29th Conf on Decision and Control, pp2244-2250, 1990.
- [11] M. Yamashita, K. Fujimori, K. Hayakawa and H. Kimura, “Application of  $H_\infty$  Control to Active Suspension Systems”, 1993 IFAC World Congress, Vol 3. p143-146, 1993.
- [12] Kisaburo Hayakawa, Keinichiro Matsumoto, Masashi Yamashita, Yoshiaki Suzuki, Kazuo Fujimori and Hidemori and Hidemori Kimura, “Robust  $H_\infty$  Output Feedback Control of Decoupled Automobile Active Suspension Systems”, 1993 IFAC World Congress, p2931-2936, 1993.
- [13] Toshiaki Hirata and Ryoichi Takahashi, “ $H_\infty$  Control of Railroad Vehicle Active Suspension”, 1993 IFAC World Congress, p2937-2942, 1993.
- [14] Richard J. Hampo and Kenneth A. Marko, “Investigation of the Neural Networks to Fault Tolerant Control of an Active Suspension System”, ACC, pp11-15, 1992.
- [15] 김 혁, 이광표, 윤용산, “시간역과 주파수역의 복합 형태의 성능 지수를 이용한 피드백과 피드포워드형 신경제어 능동 현가장치”, 한국자동차공학회, pp.344~349, 1995
- [16] 오정철, 김영배, “신경회로망을 이용한 능동형 현가장치 제어기 설계”, 한국정밀공학 회, pp.414~419, 1995
- [17] Aoyama, Y., Kawabata, K., Hasegawa, S., Kobari, Y., Sato, M. and Tsuruta, “Development of the Full Active Suspension by Nissan”, SAE 901747.
- [18] Nagiri, S., Doi, S., Shoh-no, S. and Hiraiwa, N., “Improvement of Ride Comfort by Preview Vehicle-Suspension System”, SAE 920277.
- [19] 윤일중, “Jerk를 고려한 능동과 반능동 현가장치의 예견제어”, 한국자동차 공학회 추계 학술대회, p43-49, 1994
- [20] 윤일중, “능동 현가장치의 이산 예견제어”, 한국자동차공학회 춘계학술대회, pp. 127 - 133, 1996
- [21] Aburyya, T., Kondo, H., and Hamada, T., “Development of an Electronic Control System for Active Suspension,” Proc. of the 29th Conf. on Decision and Control, pp. 2220-2225, Hawaii, 1990.
- [22] Rajamani, R. and Hedrick, J. K., “Performance of Active Automotive Suspensions with Hydraulic Actuators : Theory and Experiment”, Proc. of the 1994 ACC, pp.1214~1218, 1994.
- [23] 윤태희, 김효근, 김영철, “능동현가 시스템의 성능평가를 위한 실차시험”, 한국자동차 공학회, pp. 23~29, 1994
- [24] 유영면, 최규제, 이관호, “실시간 차량 동역

- 학 시뮬레이션 S/W 개발”, 한국자동차공학회, pp.312~318, 1994
- [25] 임승호, 이종범, “승차감 향상을 위한 민감도 해석의 적용”, 한국자동차공학회, pp. 396~401, 1995
- [26] 박세진, 민홍기, “노면모델을 이용한 가변감쇠 제어 시스템의 설계”, 한국자동차공학회, pp.50-55, 943942
- [27] 손희성, 송용만, 김건상, “쿼드라 링크 현가장치 성능의 절점에 대한 민감도”, 한국자동차공학회, pp.242-248, 95-17-0036
- [28] 신현정, 조성호, 이상권, 두민수, “전자제어 현가장치용 차고센서”, 한국자동차공학회, pp.249-254, 943971
- [29] Young Il Yoo and Byung Woon Jin, “The Characteristic of the Shock Force induced in the Switchable Damper During its Mode Change”, pp. 243-250, 950587.
- [30] 김용택, 김용호, 이흥기, 전홍태, “신경회로망 적용 제어 시스템의 설계”, 한국자동차공학회의논문집, pp.150~155, 1993
- [31] 원종석, 이건복, “제어력 발생 동력학을 고려한 능동 현가장치 제어기 설계”, 한국자동차공학회, pp.16~22, 1994
- [32] 이광표, 윤용산, “가속도의 상태변수화를 이용한 강인한 LQ 능동형 현가장치의 설계”, 한국자동차공학회, pp.10~15, 1994
- [33] 김우영, 안기원, 이정환, 황인걸, “최적화 기법을 이용한 현가계 댐퍼의 설계”, 한국자동차공학회, pp.324~330, 1996
- [34] 박재석, 박혁성, 김효준, 박영필, 양현석, “차량 현가계의 슬라이딩 모드 제어”, 한국자동차공학회, pp.302-307, 95-17-0045
- [35] 장유진, 최영태, 정원식, 최승복, 서문석, 여문수, “ER 댐퍼를 적용한 반능동형 현가장치의 성능 분석”, 한국자동차공학회, pp.262-266, 95-17-0039
- [36] 장효환, 김주용, 정남훈, 송동우, “차량 능동현가 시스템의 제어 알고리즘 구현 및 실차 성능시험”, 한국자동차공학회, pp.252-259, 953899
- [37] 안기원, 김우영, 황원걸, 곽광신, 채준석, “대형 버스의 승차감 평가에 관한 연구”, 한국자동차공학회, pp.337-343, 95-17-0050
- [38] Crawley, E.F. and De Luis, J., “Use of Piezoelectric Actuators as Elements of Intelligent Structures”, AIAA J., Vol. 25, No. 10 pp 1377-1385 October 1987.
- [39] Das Gupta, S., “On bending of Piezoceramic Multilayer Plates,” IEEE Trans Components Hybrids Manufacturing Technology, Vol. CHMT-2, pp.537-540, Dec 1979.
- [40] Dimitriadis, E.K., Fuller, C.R. and Rogers, C.A., “Piezoelectric Actuators for Distributed Vibration excitation of Thin Plates”, J. of Vibration and Acoustics, Vol. 113, pp.100-107, Jan. 1991.
- [41] Newnham, R., et. al., “Moonie Actuator,” Proc. of the 1991 Adaptive material Conference, Alexandria, VA, Nov. 1991.
- [42] Shiozaki, M., Kamiya, S., Kuroyanagi, M., Matsul, K. and Kizu, R., “High Speed Control of Damping Force using Piezoelectric Elements,” Vehicle Dynamics and Electronic Controlled Suspensions, SAE International, SP-861, pp 149-154, Feb. 1991.
- [43] Sridhar R. Thirupathi and Nagi G. Naganathan, “A New Class of smart Automotive Active Suspensions using Piezoceramic Actuation,” pp251-261, SAE950588.
- [44] IEEE Spectrum-The Future of Automotive Electrical Systems, pp22-27, August 1996.
- [45] Yue, C. Butsuen, T. and Hedrick, J.K., “Alternative Control Laws for Automotive Active Suspensions,” ASME Journal of Dynamics Systems Measurements and Control, Vol. 111, June 1989.

- [46] Alleyne, A., and Hedrick, J.K., "Nonlinear Adaptive Control of Active Suspension," IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol.3, No.1, March 1995.
- [47] T. Tseng, and D. Hrovat, "Some Characteristics of Optimal Vehicle Suspensions Based on Quarter-Car Models," Proc. of the 29th Conference of Decision and Control, pp2232-2237, Dec. 1990.
- [48] Elsayed M, Elbeheiry and Dean C. Karnopp, "Optimization of Active and Passive Suspensions Based on a Full Car Model," pp 263-272, SAE 951063.
- [49] Krtolica and D. Hrovat, "Optimal Active Suspension Control Based on a Half-Car Model," Proc of 29th Conference on Decision and Control, pp. 2238-2243, 1990.
- [50] Myunggho Sumwoo, and Ka Cheok, "An Application of Explicit Self-Tuning Controller to Vehicle Active Suspension Systems", Proc. of 29th Conference on Decision and Control, pp 2251-2257, Dec 1990.
- [51] P.T.Koneda and T.R.Stockton, "Design of Two-Speed Automatic Transaxle for an Electric Vehicle", Paper No. 850198 presented at the International Congress & Exposition, Detroit, MI, February, 1985.
- [52] R.D.King and J.N.Park, "Integration and System Tests of the Ford/General Electric AC Electric Drive System," Paper No. 850199 presented at the International Congress & Exposition, Detroit, MI, February, 1985.
- [53] J.W.A. Wilson, "The Drive System of the DOE Near-Term Electric Vehicle(ETV-1)," Paper No. 800058 presented at the International Congress & Exposition, Detroit, MI, February, 1985.
- [54] R.G.Landman, P.B.Patil and J.C.Burba, "Control System Architecture for an Advanced Electric Vehicle Powertrain," Paper No. 871552 presented at the Future Transportation Technology Conference and Exposition, Seattle, WA, August, 1987.
- [55] P.B.Patil, J.C.Burba and G.A.reitz, "The ETX-II Drive and Brake-By-Wire System," Paper No. 885084 presented at the 1988 FISITA Congress, Dearborn, MI, September, 1988.
- [56] P.E.Morris and D.S.Adams, "Design Considerations and Component Selection for Volume-Produced EV Controllers," Paper No. 900578 presented at the International Congress & Exposition, Detroit, MI, February, 1990.
- [57] J.M.Slicker and Ilmars Kalns, "Advanced AC Powertrain for Electric Vehicles," Paper No. 850200 presented at the International Congress & Exposition, Detroit, MI, February, 1985.
- [58] B.Bates and J.C.Leslie, "An Advanced Electric Vehicle Powertrain," Proceedings of the 17th IECEC, August, 1982.
- [59] 이재한, 김호경, 문형태, 이성택, 공영문, 김기남, "전기자동차용 BLDC-MOTOR 제어기에 관한 연구," 한국자동차공학회 추계학술대회, 1994

## 저자 소개



丁吉道

1960年 7月 24日生

1984年 6月 美 오레곤 주립대(OSU) 기계공학 학사

1986年 12月 美 조지아 공대(Georgia Tech) 기계공학 석사

1993年 5月 美 텍사스 A&amp;M 대학(Tx A&amp;M U.) 기계공학 박사

1984年 6月~1984年 12月 美 Exodus Inc. 研究員

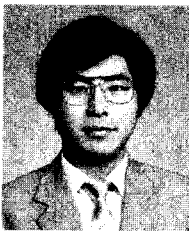
1984年 1月~1984年 9月 美 Exodus Inc. 研究員

1993年 9月~1995年 2月 영남대학교 전임강사

1995年 3月~1996年 2月 전북대학교 전임강사

1996年 3月~현재 전북대학교 조교수

주관심 분야: 자동제어, 공장자동화, 신경회로망 이론과 응용



咸雲哲

1956年 10月 14日生

1979年 2月 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)

1982年 2月 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1988年 8月 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1982年 10月~1986年 3月 전북대학교 전자공학과 전임강사

1986年 4月~1989年 3月 전북대학교 전자공학과 조교수

1990年 8月~1991年 8月 PURDUE 대학교 전기공학과 객원교수

1989年 4月~1994年 2月 전북대학교 전자공학과 부교수

1994年 4月~현재 전북대학교 전자공학과 교수

주관심 분야: 로보틱스, 비선형제어, 가변구조제어이론, 적응제어이론