

# 반능동형 전자제어 현가장치의 제어기 개발 연구

## Development of a Controller for Semi-Active Electronic Control Suspension System

이 형 복,\* 김 현 수  
H. B. Lee, H. S. Kim



이 형 복  
• 1958년 12월생  
• 승용차 샤시 시스템 연구  
• 기아자동차 승용샤시설계부  
선임연구원 근무



김 현 수  
• 1953년 5월생  
• 동력전달요소 및 시스템 연구  
• 성균관대학교 기계공학과

능동형 현가장치의 이러한 단점을 보완하면서 이와 유사한 성능을 얻고자 하는 것이 반능동형 현가장치이다. 반 능동형 현가시스템은 차체에 가해지는 원란을 각종 센서로 검출하여 공압식 구동기에서 발생하는 힘으로 일정한 자세와 차 높이를 유지하는 제어방식과, 간단한 제어로직에 의해 감쇠기의 오리피스경의 크기를 달리하여 감쇠계수를 변화시키는 다단식 가변댐퍼를 이용하여 차량을 제어하는 방식을 채택하고 있다. 반 능동형 현가장치는 간단한 구조, 낮은가격에 비해 신뢰도가 높다는 장점이 있으나 계의 응답속도가 늦어 어느 정도의 성능한계를 가지고 있다. 본 연구의 목적은 상용 동력학 프로그램을 이용하여 승용차의 반능동형 현가장치 제어기의 이론적 설계방법을 제시하고 차후 새로운 시스템 개발을 위한 기초를 확립하는데 있다.

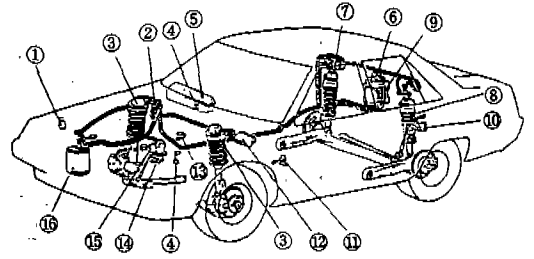
### 1. 서 론

현가장치는 차량의 조안성과 승차감을 위해 각종 링크, 스프링, 감쇠장치, 안정장치 등으로 구성된다. 기존의 현가장치들은 구성요소들의 특성상 조안성과 승차감을 동시에 향상시키는 데는 한계가 있다. 이러한 기존 현가장치의 문제를 해결하기 위하여 유압을 이용한 능동형 현가장치가 개발되어 사용되고 있다. 능동형 현가장치는 노면조건과 운전자의 작동 입력에 대하여 차량의 자세와 감쇠력을 능동적으로 제어하여 승차감과 조안성을 최적으로 유지하는 것이다. 그러나 능동형 현가장치는 에너지 소모량이 크고 무거우며 가격이 비싸다는 단점을 가지고 있다.

### 2. 시스템 개요

ECS란 Electronic Control Suspension의 약어로, 공압식 차고제어 시스템(Height Control System : HCS)과 감쇠력 가변 시스템(Auto Adjustable System : AAS)을 사용하여 각종 주행조건에서 차고와 감쇠력을 적절히 변화시켜 주는 장치이다. Fig.1에 반능동형 현가장치 시스템의 ECS가 도시되어 있다. 차의 높이를 판별하는 차고센서<sup>10,14)</sup>

가 앞뒤 현가장치에 각각 1개씩 장착되어 있고 공기를 급배기하기 위하여 9개의 솔레노이드밸브<sup>20)</sup>가 차체에 부착된다. 차고 센서의 신호는 제어기로 보내진다. 액튜에이터를 구동하는 압축공기는 저장탱크<sup>16)</sup>내에 저장된다. 저장탱크는 고압과 저압탱크로 나뉘어져 있으며 탱크내 압력은 고압과 저압 스위치가 각각 탱크내에 부착되어 있어 고압이 약 8bar, 저압이 약 1bar로 항상 일정한 압력을 유지한다. 또한 주행상황에 따라 감쇠력을 3단계(Soft, Medium, Hard)로 전환해 주는 감쇠력 절환 액튜에이터<sup>21)</sup>가 스트러트<sup>38)</sup> 상단에 부착되어 있다. 그외에 차량의 속도를 감지하는 차속센서<sup>4)</sup>, 조향 각속도 센서<sup>5)</sup>, 가속도 센서<sup>11)</sup>등이 차체에 부착되어 있다.



- 1. Compressor relay 2. Front solenoid valve 3. Front strut
- 4. Velocity sensor 5. Handle angular velocity sensor
- 6. Rear solenoid valve 7. Air actuator 8. Rear damper
- 9. Control unit 10. Rear height sensor 11. Gravity sensor
- 12. ECS indicator 13. Accel open sensor 14. Front height sensor
- 15. Compressor 16. Reservoir tank

Fig.1 A schematic of semi-active electronic control suspension

### 3. 제어 이론

전체적인 ECS의 제어흐름선도를 Fig.2에 도시하였다. ECS 제어는 크게 차고제어와 가변댐퍼 제어로 구분되며 Fig.2에서 볼수 있듯이 제일 먼저 차고제어를 실행한다. 차고제어는 차고센서의 신호를 검출하여 액튜에이터에 의해 수행된다. 다음이 속도신호에 의한 감쇠력제어를 하게된다. 또한 차량의 차체운동중 선회시의 횡가속도 신호에 따른 감쇠력에 의한 롤제어를 하게되며, 전후 감(가)속도신호에 따라 피치제어를 하게된다. ㉓, ㉔, ㉕, ㉖는 각각의 제어도중 귀환되는 경로를 표시한다.

#### 3.1 AAS 제어 이론

##### 3.1.1 롤제어

AAS 롤 제어는 차량의 횡가속도를 검출하여 설정치 이상이면 감쇠계수를 하드로 전환하여 롤각을 줄여주는 것이다. 차량의 횡가속도는 차속과 조향각속도를 측정하여 계산된다. Fig.3에 차속과 조향각 또는 각속도에 따른 횡가속도와 댐퍼 감쇠계수의 범위를 도시하였다.

위의 ①, ②, ③, ④는 저속(20~40km/h)과 고속(40~120km/h)에서의 횡가속도 선도이다. ①, ③ 경우와 ②, ④의 경우는 각각의 설정된 횡가속도 값을 나타낸다. 롤제어의 판정기준은 식 (1)로

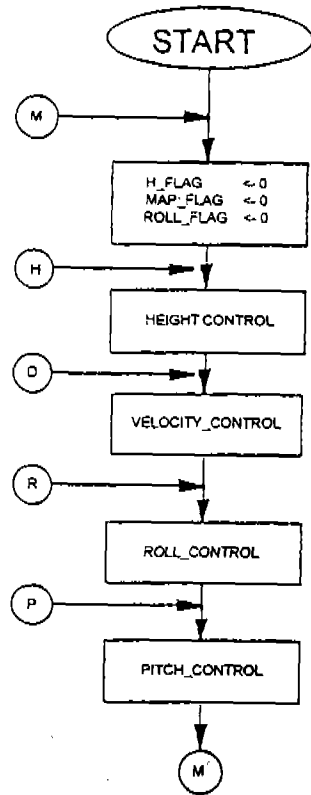


Fig.2 ECS control flow chart

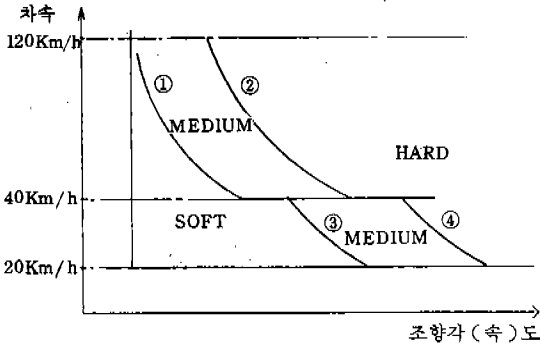


Fig.3 AAS roll control map

표현 되어진다.

$$(y+a)(x+b)=c \quad (1)$$

식 (1)에서 저속에서는 조향각 변화에 따라 횡가속도 값이 민감하게 변화하므로  $x$ 축을 조향각으로 나타내고, 고속에서는 조향각속도의 변화에 따른 횡가속도의 변화가 크므로  $x$ 축을 조향각속도로 표시한다.

### 3.1.2 피치제어

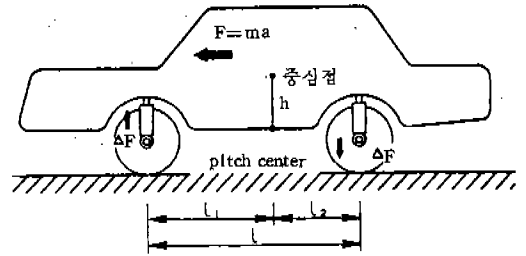
피치제어는 식 (2)에 의하여 차속센서에서 검출된 차속신호에 의해 가속도를 계산하여 제어를 수행한다.

$$a = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

여기서  $V_2$ 는 후기속도(m/sec),  $V_1$ 은 초기속도(m/sec),  $t_2$ 는 후기시간(sec)  $t_1$ 은 초기시간(sec)을 나타낸다. 여기서 양의 값이 검출되면 급가속도로 판별하여 스퀘트(Squart)제어를 하게되고, 음의 값이 검출되면 제동으로 판별하여 다이브(Dive)제어가 시작된다. 전후 가(감)속도가 설정치 이상이면 댐퍼의 감쇠력이 주어진 탭에 따라 자동으로 하드로 변환된다.

### 3.1.3 고속 제어

고속제어에서 댐퍼의 감쇠력은 차속이 일정차속 이상이면 전륜은 직진성을 위하여 하드로 후륜은 승차감을 위하여 소프트로 전환하게 된다



- F : 관성력(Inertia Force)
- l : 축거(Wheel Base)
- h : 피치중심과 차량 무게중심 간 거리
- a : 차량 가속도(Acceleration)
- m : 스프링 윗질량(Spring Mass)
- ΔF : 액츄에이터 힘(Actuator Force)

Fig.4 Force diagram of pitch control

일정차속 이하에서는 자동 모드로 소프트, 미디움, 하드에 정해진 로직에 의해 설정되어진다.

## 3.2 HCS 제어 이론

### 3.2.1 롤 제어

HCS에 의한 롤 제어는 차량의 선회시 외륜을 공압에 의하여 들어 올려 롤각을 최소화하는 것이다. 롤제어는 Fig3의 AAS 롤제어 맵의 결과에 의한 횡가속도를 검출하여 설정치 이상이던 제어가 수행된다.

### 3.2.2 피치 제어

피치 제어는 AAS에서 제안된 전후 가속도를 검출하여 설정치 이상이던 제어가 수행된다. 피치제어는 급발진이나 급제동시 차량의 관성력을 액츄에이터의 구동력으로 상쇄시키는 것이며 Fig. 4에 피치제어시의 구동력과 관성력과의 관계가 도시되어 있다. 이때, 액츄에이터의 구동력은 다음 식에서 결정된다.

$$F h = \Delta F (l_1 + l_2) \quad (3)$$

$$\Delta F = \frac{F h}{l_1 + l_2} = \frac{m a h}{l} \quad (4)$$

### 3.2.3 목표 차고 제어

목표 차고제어는 악로판정 단계, 목표 차높이 설정 단계, 차높이 검출 단계 및 목표 차높이와 현재 차높이를 비교하여 목표 차높이와 같아지도록 밸브를 조작하는 단계로 크게 3단계로 구분될 수 있다.

1) 목표 차높이 설정 단계

목표 차높이 설정은, 악로 판정에 의해 4륜을 동시에 최고 높이까지 올리는 모드, 고속주행시 안정성을 위해 전후 차고를 저 차고로 하는 모드, 승객 및 화물의 하중변화에 따라 항상 일정한 차 자세를 유지하는 3가지 모드로 되어있다.

2) 차고 검출 및 제어단계

차 높이를 검출 단계에서는 차고센서로 부터의 차고신호를 50ms마다 검출하고 0.6초간(약 12회)을 합하여 평균한 값을 이용하며 현재 차높이가 어떤 상태인가를 판정하게 된다. 이와같은 판정을 N회 실시하여 검출된 차고가 목표 차높이보다 낮은 영역이면 차높이를 상승을 위하여 급기밸브를 열어 차고를 상승시키고, 반대로 높으면 배기밸브를 열어 차고를 낮추게 된다.

4. 전체차량 및 ECS 모델링

본 연구에서는 DADS를 이용하여 전체차량 및 ECS 모델링을 수행하였다. DADS는 다중 자유도의 복잡한 기구를 모델링 할 수 있으며, 이 모델은 여러개의 강체, 선형 또는 비선형 힘과 구속조건으로 표현되어 진다. 전체차량의 모델은 전·후륜의 동적 현가장치 및 조향장치의 조합과, 차량의 차체(Body)로 구성되며 필요에 따라 엔진과 구동계까지 포함시킬 수 있다. 여기에 별도의 타이어 모델(Tire Model)이 필요하다.

4.1 차량 모델링

DADS의 전체차량 모델링에서 고려해야 될 기하학적 요소들이 Fig.5에 도시되어 있으며 전체차량 모델은 크게 다음의 5가지 부분으로 구성된다.

- ① Geometry
- ② Rigid Part
- ③ Bush(Linear, Nonlinear)

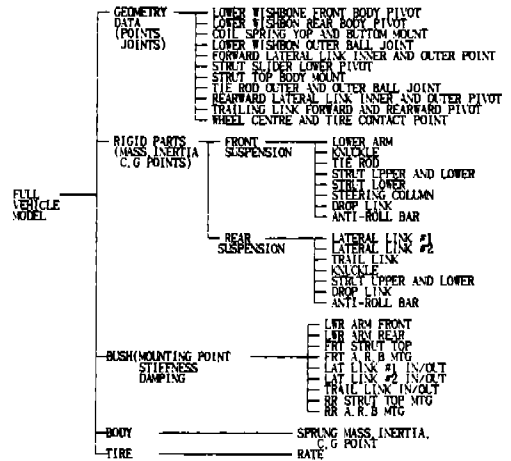


Fig.5 Full vehicle model elements

- ④ 차체(Body)
- ⑤ 타이어(Tire)

Geometry는 각종 조인트(Joint) 및 부시(Bush), 강체의 3차원 좌표값이며 모든 강체는 무게중심에 집중질량과 관성모멘트 값을 갖는다. 부시는 주로 비선형 값을 사용하며 3방향(Axial, Radial X, Radial Y)의 Translational과 Rotational Stiffness값으로 모델되어 있다.

4.1.1 조향장치 및 전륜 현가장치

조향장치는 가능한 단순화 시킨것으로 조향핸들, 조향축, 조향기어, 타이로드의 4개의 부품으로 구성할수가 있다. Fig.6는 조향 및 전륜 현가장치의 DADS 모델로 보여주고 있다. 조향축과 조향기어는 랙과 피니언으로 연결되어 있고, 타이로드와 조향기어는 유니버설 조인트로 연결되어 진다. 또한 타이로드와 너클은 스페리컬 조인트로 연결되어 진다. 전륜 현가장치는 맥퍼슨 스트러트형이며 이는 차체에 2개의 부시로 연결된 A형 로우아암과 스트러트(스프링과 댐퍼), 너클, 또한 스트러트 상부에 차체와 연결된 부시로 구성되어 있다. 여기에 차체의 물을 줄여주는 엔드플바가 부착되어 있다. 조향 및 전륜현가장치의 모델은 27 자유도를 갖는다.

4.1.2 후륜 현가장치

Fig.7는 후륜 현가장치의 DADS 모델을 보여주고 있다. 그림에서 볼수 있듯이 후륜은 맥퍼슨

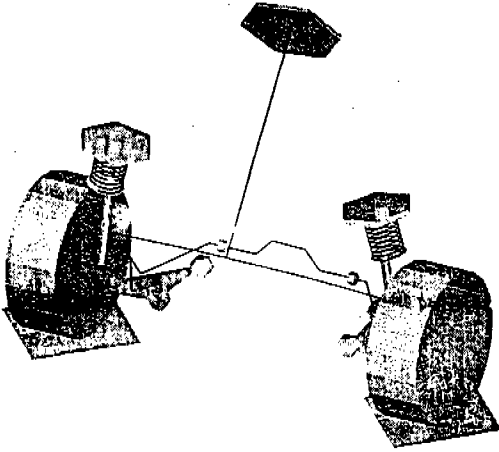


Fig.6 Computer model of front suspension and steering system

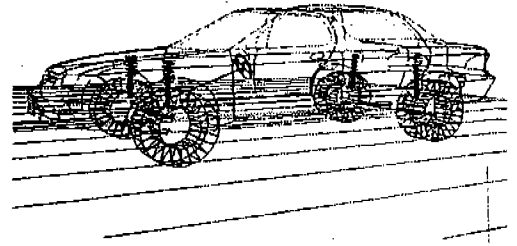


Fig.8 Full vehicle model

여기에 각각의 현가장치, 조향장치, 동력장치 등이 연결되어 있다.

#### 4.14 타이어

타이어는 측정 데이터와 함수계산의 인터폴레이션의 조합으로 차량의 중심에 몇개의 비선형 반력과 모멘트로서 전륜은 너클에 후륜은 스펀들에 레볼류트 조인트로 연결되어 진다. 본 해석에서 사용된 데이터는 타이어 회사에서 실험으로 얻은 카펫플롯 데이터를 사용하였다.

#### 4.15 전체 차량의 모델

Fig.8은 전체차량의 DADS 모델을 보여주고 있다. 이 모델은 Kinematic, Quasi-Static 해석에서 이용한 데이터를 조합하여 구성하며, 34개의 강체와 24개의 조인트, 24개의 선형 혹은 비선형 힘과 부시로 구성되어 있다. Compliance 데이터는 실제 단품실험을 통하여 각 방향에 대한 강성을 구하였다. 전체차량 모델은 90 자유도를 갖는다.

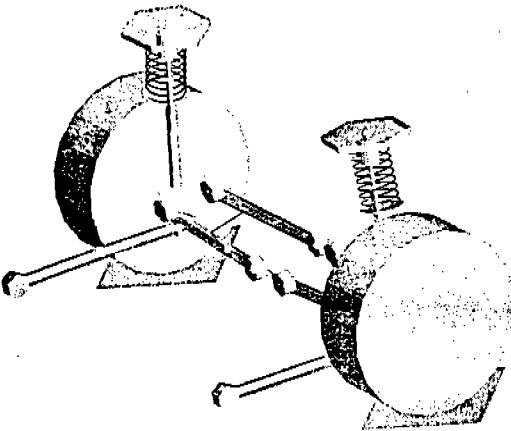


Fig.7 Computer model of rear suspension

멀티링크형의 4륜독립 현가장치이다. 이는 2개의 횡방향 링크와 전후방향의 링크로 구성되며 각각의 링크는 차체 및 스펀들에 비선형 부시들로 연결되어 있고, 여기에 전륜과 같은 스트러트가 차체에 부시로 연결되어 있다. 후륜 현가장치의 모델은 61 자유도를 갖는다.

#### 4.13 차 체

차체는 강체로 구성되는데 차량의 무게 중심점에 차량제원에 해당하는 중량이 가해진다. 본 해석의 그래픽은 차량의 디자인 CAD선도를 IGEAS 파일로 받아 DADS로 인터페이스 하였다.

## 4.2 E.C.S 모델링

본 절에서는 대상 차량의 자세제어를 위한 공압 액튜에이터와 가변댐퍼의 모델을 완성한다.

또한 DADS의 User Subroutine으로 되어 있는 Source File을 이용하여 AAS제어 Subroutine과 HCS Subroutine을 완성한다. 각종 센서에서 감지하는 값들을 제어기로 보내면 제어기는 이값들을 읽어 3장에서 설정된 알고리즘에 의하여 댐퍼들의 특성을 소프트, 하드, 미디움으로 변환하고, 또한 액튜에이터를 구동시켜 공압에 의한 제어를 수행하게 된다.

### 4.2.1 ECS 장착차량 모델 구성

E.C.S 장착 차량모델을 앞 절에서 구성한 차

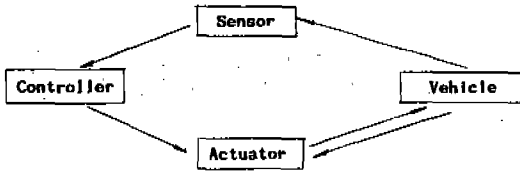


Fig.9 Schematic diagram of integrated mechanical controlled system

량모델에 제어알고리즘과 센서, 공압, 액츄에이터 및 가변 댐퍼를 추가하면 된다. 제어기와 차량과의 관계는 Fig.9와 같다.

4.2.2 센서

센서는 DADS의 INPUT FUNCTION Element를 이용하여 모델링한다. 센서를 통하여 감지하는 값들로는 차고, 차속, 증가속도, 횡가속도, 롤각, 롤레이트, 롤가속도, 조향각, 조향각속도 들이다. 롤각과 롤레이트는 롤가속도를 적분하여 구한다.

4.2.3 공압 액츄에이터

공압 액츄에이터에 대한 모델 식 (5)를 DADS에 첨가하기 위하여 General Element와 User Subroutine을 수정하여 모델을 구성한다.

$$p\dot{l} = \left( \sqrt{(P_s - P_l)} - \frac{A d}{2} \theta \right) \frac{P_l B_0}{V_0 + AX} \quad (5)$$

여기서  $p_l$ 은 액츄에이터내의 압력,  $p_s$ 는 저항탱크내의 압력,  $A$ 는 액츄에이터의 면적,  $d$ 는 Half Track,  $p_0$ 는 초기 액츄에이터 압력,  $B_0$ 는 초기 Bulk Modulus,  $V_0$ 는 초기 체적,  $X$ 는 액츄에이터 변위를 나타낸다.

4.2.4 가변댐퍼의 모델

가변댐퍼를 모델하기 위하여 DADS의 TSDA Element를 수정하였다. 가변댐퍼의 특성은 댐퍼 속도에 대하여 별도의 실험으로 구하였다.

5. 컴퓨터 시뮬레이션

전체차량 및 ECS 모델을 이용하여 조종안정성 해석을 수행하였다. 전체차량 해석은 실차실험과 같은 조건으로 해석하는 것이 중요하며 이에 대한

실험규정은 ISO 4138, 7975에 명시되어 있다. 시뮬레이션은 다음의 3가지 항목에 대하여 수행하였다.

5.1 J-Turn

J-Turn 해석은 차량의 극한 상태의 미끄러짐 특성을 검토함으로써 Handling의 안전측면을 검토하게 된다. 이때 차속은 24.6m/sec(88.5km/h)로 일정하고 조향각의 입력조건은 0.2초동안 90도의 조향핸들 입력을 준다.

5.2 Lane Change

Lane Change 해석은 차량이 장애물을 피해가는 상황을 모사한다. 차속은 24.6m/sec(88.5km/h)으로 일정하며 조향 입력은 처음 0.2초동안 왼쪽 방향으로 90도 다음은 0.4초동안 반대방향으로 90도를 입력한다.

5.3 정상상태 선회주행

차량의 정상상태 선회주행의 응답으로 차량의 스티어 특성을 알 수 있다. 정상상태 선회주행 시뮬레이션시 사용된 차속은 5m/sec(18km/h)이며, 정상상태 선회주행 해석에서는 차량의 속도를 일정하게 유지하는 것과 정해진 반경을 유지하는 것이 매우 중요하다. 따라서 시뮬레이션시 일정 속도와 정해진 궤적을 따라가게 하기 위하여 다음 2가지 제어기를 DADS 모델에 추가하였다.

5.3.1 일정속도 제어

차량의 일정속도 제어를 위하여 본 해석에서는 비례제어를 이용하였다. Fig.10에서 볼 수 있듯이 DADS의 Control Element를 이용하여 차량의 종방향 속도를 측정하여 원하는 속도와의 오차에 비례한 종방향 힘을 차량의 무게중심에 가함으로써 제어를 수행한다. 여기서 비례제어 이득  $k$ 는 시행착오법으로 구하였다.

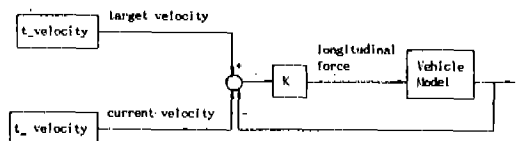


Fig.10 Constant speed control

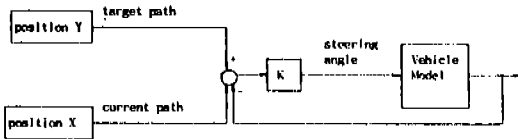


Fig.11 Path control

5.32 경로 제어

차량이 주어진 경로를 주행하도록 하기 위하여 보통 PID 제어법을 사용하지만 본 해석에서는 비례제어법을 이용하였다. DADS의 Control Element를 이용하여 차량의 현재 위치를 측정하고 원하는 경로와의 오차를 구하여 오차에 비례하여 조향핸들을 조향하게 된다. Fig.11에 경로제어 블록선도가 표시되어 있다.

6. ECS 장착차량 해석

6.1 차고제어 모드

6.1.1 J-Turn시 HCS에 의한 롤제어

Fig.12는 J-Turn시 수동형과 ECS 차량의 롤각을 보여주고 있다. 수동형은 약 -5.3도인데 비하여 ECS 차량은 약 -2도로서 HCS 차량의 자세변화가 수동형에 비하여 작은 것을 알 수 있다. Fig.13은 차량의 수직가속도로서 수동형의 가속도가 크며 오실레이션이 오래 지속됨을 알 수 있다. Fig.14는 액튜에이터내의 압력으로서 우측은 최고압력인 8.5Bar까지 올라가는 것을 알 수 있다. 이는 차량의 롤시 하중의 이동이 내측륜에서 외측륜으로 이동하며 이때 ECS 공압제어기의 작동에 의하여 외측륜의 공압기에 고압의 공기가 주입되기 때문이다.

6.1.2 Lane Change시 HCS에 의한 롤제어

Fig.15는 Lane Change시 롤각을 보여주고 있다. 수동형의 최고치는 약 4.5도이나 ECS 차량은 약 1.5도를 나타내고 있다. Fig.16에서 볼 수 있듯이 두번째 회전모드에서 차량의 수직 가속도는 ECS 차량의 값이 수동형에 비하여 약 2배의 값을 나타내고 있다. 이 결과는 공압장치의 반응속도가 늦기 때문에 생긴 것으로 추정되며 따라서 공압 액튜에이터를 이용한 롤제어는 문제가 있음을 알

수 있다.

6.1.3 악로에서의 차고 제어

공압 액튜에이터에 의한 악로 차고제어를 해석하기 위하여 Fig.17과 같은 임의의 수직 가속도를 타이어에 입력하였다. 차고제어 알고리즘에 의해 Fig.17처럼 차체의 수직가속도의 값이 연속적으로 크거나 차고 센서의 값이 연속적으로 최고높이 값을 기록하면 악로로 판정하고 차고를 High Mode로 변환한다. Fig.18은 악로판정에 따른 차체 무게중심의 수직변위 값으로 1초에서 차고가 증가하기 시작하여 약 3.5cm 상승시킨 결과를 나타내었으며 응답시간은 약 1.5초이다. 이에따라 악로에서 ECS 차량은 수동형 차량에 비하여 빠른 속도로 주행이 가능하다.

6.1.4 고속주행시 차고제어

ECS는 고속주행시 안전성과 공기저항을 줄이기 위하여 차고를 낮추게 되어 있다. 고속주행에 대한 기준은 120Km/hr로 제안하였으며 10초이상 지속되면 차고를 Low Mode로 바꾸게 되어 있다. Fig.19는 고속주행시 차고제어 결과이며, Low Mode로 바뀌면서 차체의 높이가 약 1.5cm 낮아짐을 알 수 있다.

6.2 가변댐퍼 제어 모드

6.2.1 AAS에 의한 롤 제어

차량이 급선회를 할 때 댐퍼를 하드하게 함으로써 롤을 감소시킬 수 있다. Fig.20은 수동형과 AAS 차량의 롤각을 보여주고 있다. 수동형에 비하여 AAS 차량의 롤값이 약간 작게 나타나는 것을 볼 수 있다. 가변댐퍼 사양의 조정으로 원하는 성능향상을 얻을 수 있다.

6.2.2 차속조건에 의한 댐퍼 제어

Fig.21은 차속에 따른 댐퍼모드 결과를 보여주고 있다. 단지 차속만으로 가변댐퍼 모드를 소프트/하드로 제어한다. 즉 차속이 120km/hr이면 전륜의 감쇠력은 직진주행성을 위해 하드로, 후륜의 감쇠력은 승차감을 위해 소프트로 제어한다.

6.2.3 AAS에 의한 피치 제어

급가속 급제동시에 댐퍼를 하드모드로 하여 차량의 자세 변화를 작게 하고자 하는 것이 피치제어 인데 피치제어의 기준은 종 가속도가 설

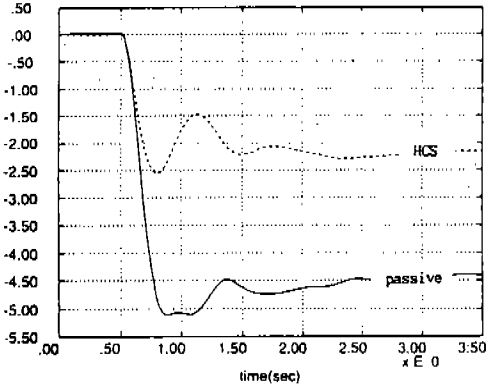


Fig.12 Roll angle in J-turn

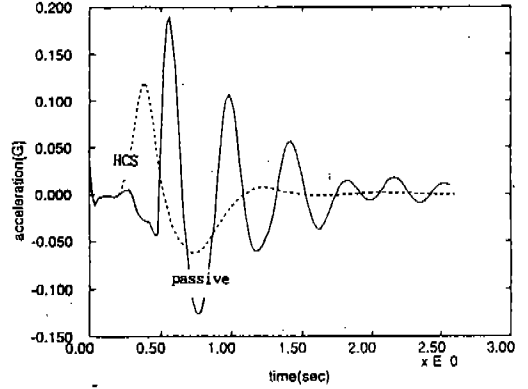


Fig.13 Vertical acceleration in J-turn

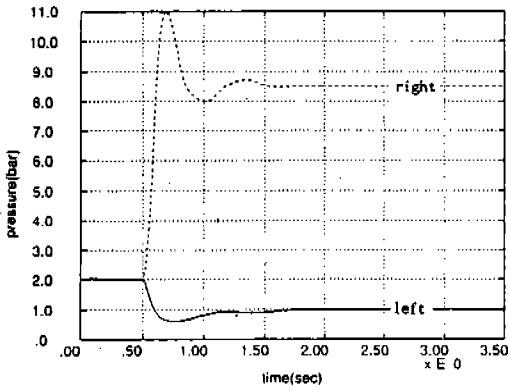


Fig.14 Actuator pressure in J-turn

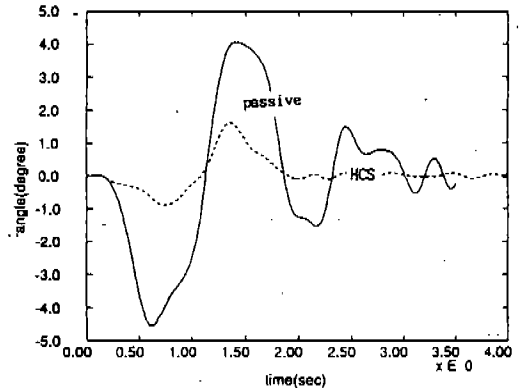


Fig.15 Roll angle in lane change

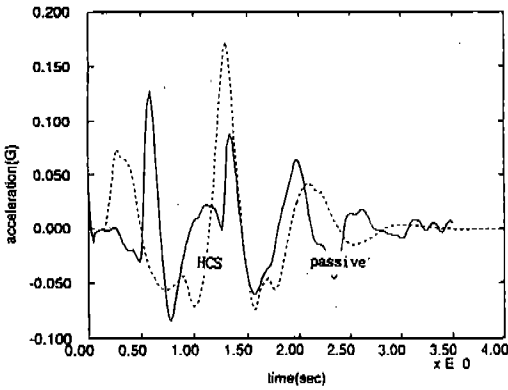


Fig.16 C.G vertical acceleration in lane change

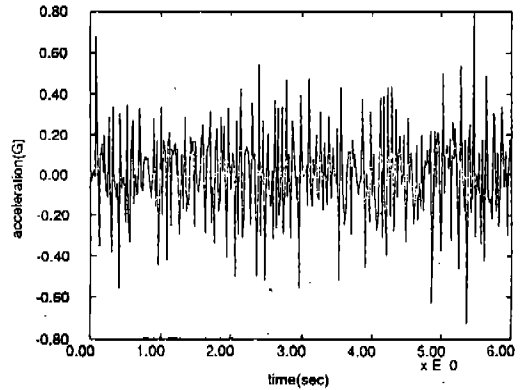


Fig.17 Vertical acceleration in ill road



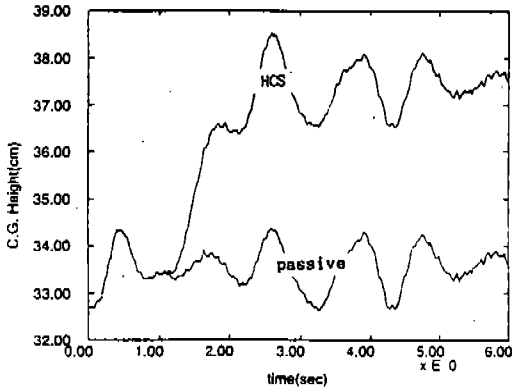


Fig.18 Vertical displacement of C.G

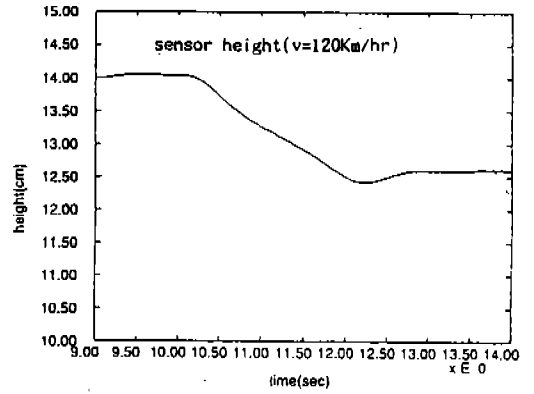


Fig.19 Signal of sensor height

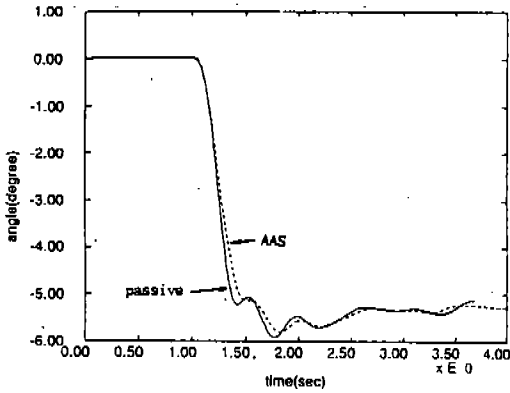


Fig.20 Roll angle in J-turn(AAS)

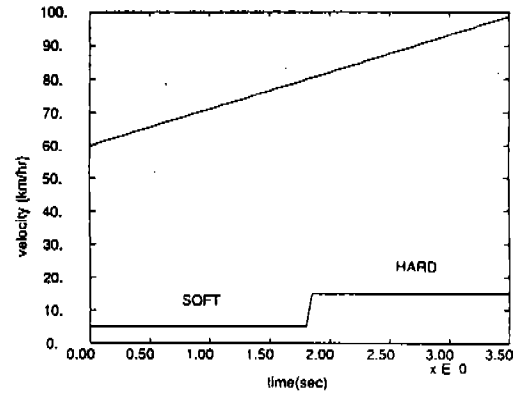


Fig.21 Change of damper mode by speed signal

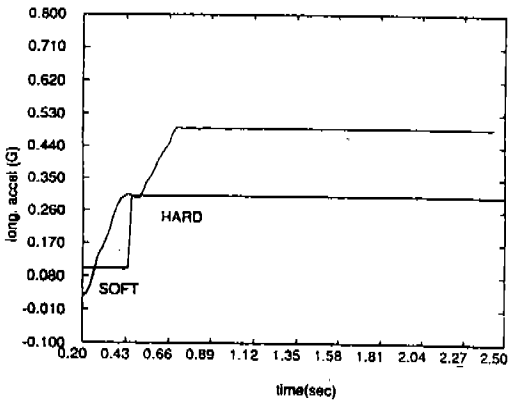


Fig.22 Change of damper mode by longitudinal acceleration signal

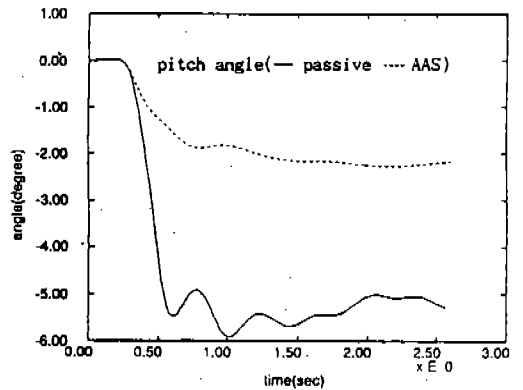


Fig.23 Pitch angle in J-turn(AAS)

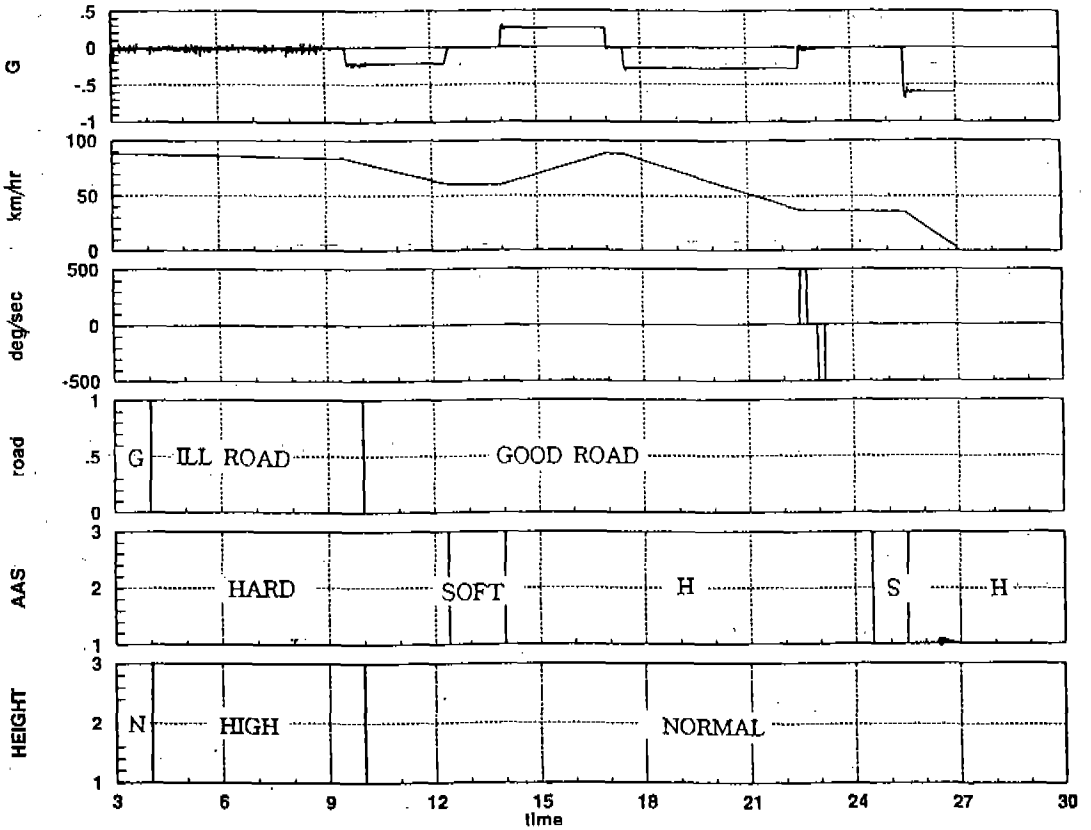


Fig.24 General control manoeuvre of ECS

정치 이상이면 전후 댐퍼의 감쇠력은 하드로 변환한다. Fig.22에서 차체 무게중심의 전후 가속도가 설정치 이상이 되면 댐퍼의 감쇠력이 하드로 바뀌는 것을 볼 수 있다. Fig.23은 제동시의 AAS와 수동형의 피치각을 도시한 것이다.

### 6.3 ECS 종합 Mode

본 해석에서는 ECS의 차고제어 모드와 가변 댐퍼 제어모드를 복합적으로 적용하여 수행하였으며, 수행목적은 차량이 여러 운행조건 하에서 설정된 제어로직에 따라 적절히 작동되는 것을 확인하기 위함이다. Fig.24에서 볼 수 있듯이 차량은 0-10초까지 악로를 주행하며 감속-가속-동속-감속-동속-감속을 한다. 주행입력 조건은 Fig.24의 도로조건(Road), 차속(km/h), 조향각속도(deg/sec)이다. 이러한 입력조건에 대한 ECS 응답은 AAS의 감쇠력 변화와 HCS의 차고

변화이며, Fig.24에서 AAS 모드 변화와 HCS 모드 변화를 동시에 확인할 수 있다.

### 7. 결 론

ECS 장착 차량의 동적거동 해석에 대한 이상의 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) ECS 차량의 차고제어 및 가변댐퍼제어에 대한 제어로직을 제안하였다.
- (2) 공압 액츄에이터와 가변댐퍼를 모델링하고 이 모델과 제어로직을 DADS로 모델링된 전체차량에 서브루틴으로 첨가함으로써 ECS 장착 차량 모델 구성기법 및 해석기법을 개발하였다.
- (3) ECS 장착차량의 각 제어 모드에 대하여 J-Turn, Lane Change, Steady State Cornering 해석을 수행하고 차고제어와 가변댐

- 퍼 제어에 의한 성능특성을 검토하였다.
- (4) HCS의 경우 악로에서 차고를 높여 주행시 차체를 보호하고 고속에서는 차고를 낮추어 고속주행시 안전성을 높일 수 있다.
  - (5) 가변댐퍼를 이용한 롤, 피치제어에 있어서는 AAS 제어결과가 수동형에 비하여 롤 및 피치량이 작은 값을 나타내었다.
  - (6) ECS 장착차량의 성능해석 검토결과, 공압을 이용한 제어는 차고제어에는 적합하지만 롤제어는 반응속도가 느린 단점이 있음을 확인하였다.
  - (7) 이상의 본 연구결과는 차후 개발차량의 실차량이 없는 상태에서도 ECS의 성능평가가 가능하며, 알고리즘을 실제에 유용하게 이용할 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. D.Karnopp, "Active Suspensions Based on Fast Load Levelers", Vehicle System Dynamics 12 (6), 1987, pp.355-380.
2. S.Rakheja and S.Sankar, "Vibration and Shock Isolation Performance of Semi-Active 'on-off' Damper", ASME. Vol.50, 1985, pp.398-403
3. D.A.Hullender, "Active Control of Vehicle Air Cushion Suspensions", ASME J. of Dynamic Systems, Measurement, and Control, March 1972, pp.41-49.
4. 이형복, "An theoretical introduction of electronic control suspension system", Kia technical report, 1992.
5. 김연한, 양상식, 이형복, "Design of a roll controller for a pneumatic semi-active suspension" 한국자동차공학회춘계학술대회, 1993.
6. P.Barak, D.Hrovat, "Application of the LQG approach to design of an automotive suspension for dimensional vehicle models" IMecE C421/88, 1988.
7. D.Karnopp, M.J.Crosby, "Vibration control using semi-active force generators", Journal of Engineering for Industry, Trans. ASME, 1974.
8. Thomas D Gillespie "Fundamental of Vehicle Dynamics" Published by : Society of Automotive Engineering, Inc. 400 Commonwealth Drive Warrendale, PA 15096-0001
9. D.E Cole "Elementary Vehicle Dynamics" Department of Mechanical Engineering The University of Michigan Ann Arbor, Michigan 48105
10. Simonone Mola "Vehicle Dynamics Fundamentals", Product Engineering Department GMI Engineering & Management Institute.
11. 이형복, "전산차량 동력학을 통한 승용차의 조정안정성 평가 및 성능개선에 대한 연구", 자동차공학회 학술강연 초록집, 1993.
12. "DADS Users Manual", Revision 7.0, Computer Aided Design Software, Inc.