

현가장치 설계용 그래픽 사용자 접속 프로그램 개발

Development of a Graphic User Interface Program for Suspension Design

김 희 관*, 유 홍 희**, 최 경 록***, 이 명 식***
H. K. Kim, H. H. Yoo, K. R. Choi, M. S. Lee

ABSTRACT

A graphic user interface program for the design of vehicle suspension system is developed in this work. Graphic templates are designed by using a graphic language and a library and given to users for interactive data input. Several suspension types are graphically given, and the information of hard points can be directly provided on the graphic templates by users. The information is saved in a data structure which can be efficiently accessed, and transformed into another data format. The data transformation is for the interface to an analyzer by which suspension design characteristics can be calculated.

주요기술용어 : Vehicle Suspension(차량 현가장치), Design(설계), Graphic User Interface(그래픽 사용자 접속), Data Structure(데이터 구조), Software Integration(소프트웨어 합성), Pre-processor(전처리 장치), Analyzer(해석 장치), Post-processor(후처리 장치)

1. 서 론

차량 현가장치의 설계는 우수한 차량의 설계에 필수적이므로 이 작업을 효율적으로 하기 위한 많은 프로그램들이 자동차 생산업체들에 의해 개발되어 왔다. 그러나 이러한 프로그램들은 대개 각 기업체가 자신들만을 위해 개발해 놓은 것들이 대

부분이며 누구나 사용할 수 있는 상용 프로그램으로 개발된 것으로는 ADAMS/VEHICLE¹⁾과 같은 것이 있다. 이 프로그램은 차량 현가장치 설계를 위해 차량에 관한 여러 가지 데이터를 테이블 형태로 작업자가 입력하고 해석장치를 통해서 설계에 필요한 차량특성값을 제공받게 되어있다. 그런데 설계 초보자의 경우는 입력 테이블에 나타나 있는 현가장치 관련 명칭들과 그 내용들에 익숙지 않은 경우가 대부분이어서 데이터를 적절하게 입력하기까지는 상당한 기간의 시간과 노력이 필요하다. 또한 숙련자의 경우에도 데이터의 입력시

* 한양대학교
** 정회원, 한양대학교 기계공학부
*** 대우자동차

실수나 오류를 범하더라도 이를 즉각적으로 인식하고 고치기가 쉽지 않은 실정이다.

최근 어떠한 프로그램이라도 사용자의 편의를 제고하기 위한 연구개발이 경주되고 있으며 이는 설계를 위한 작업 효율성을 높임으로써 생산성을 향상시키기 위한 노력의 일환이라 판단되어진다. 프로그램 사용의 편의성을 제고시키기 위해서는 입·출력을 위한 모듈을 해석장치와 분리하여 입·출력을 대화식으로 수행시키는 방법, 입·출력에 그래픽 기능을 이용하는 방법, 사용시 오류를 자동적으로 파악하여 사용자에게 즉시 알려주는 방법, 사용자가 입력해야 할 값을 잘 모를 때에는 경험적으로 흔히 쓰이는 적절한 값을 Default값으로 제공하거나 적절한 범위를 제시해주는 방법 등이 있다. 이중에서도 특히 입·출력에 그래픽을 이용하는 방법은 그 시각적인 우수성으로 인해 프로그램을 이용한 작업효율을 크게 향상시키게 되므로 가장 많이 쓰이고 있다.

본 연구에서는 차량현가장치 설계 프로그램을 개발함에 있어서 사용자의 데이터 입력을 위한 그래픽 기능 및 환경구축에 중점을 둠으로써 프로그램의 사용효율제고를 제일의 목표로 하였다. 특히 설계초보자가 익숙지 않은 여러 가지 현가장치에 대해 그림을 통해 각부의 명칭, 그리고 대략적 데이터 값 등을 제공함으로써 초보자가 쉽게 익숙해질 수 있게 하였으며 입력된 기하학적 제원이 화면을 통해 변화되어 나타나게 함으로써 숙련자도 흔히 범할 수 있는 입력실수를 인지하고 시정할 수 있도록 하였다. 따라서 본 연구에서 개발한 프로그램은 현가장치설계를 위한 교육적 효과와 작업효율성 제고를 그 개발목표로 하였으며 여기서 개발된 프로그램은 현가장치의 기하학적 형상을 작업자가 화면으로 보면서 작업을 진행한다는 점에서 기존의 프로그램들과 차이점이 있다.

2. 현가 장치

2.1 현가장치의 종류

현가장치는 기구학적 연결 형태, 스프링의 종류, 독립성 여부 등에 따라 여러 종류가 있다. 독립 현가장치만을 예로 들더라도 대표적 전륜 현가

장치로서 맥퍼슨 스트럿형과 더블위시본형이 있고, 후륜 현가장치로서는 전륜구동 자동차의 스트럿형, 토션빔 액슬형, 트레일링암형, 더블위시본형 등과 후륜구동 자동차의 스트럿형, 세미트레일링암형, 더블위시본형 등이 있다. 최근에는 이들로 부터 파생된 멀티링크형 등의 여러 종류가 등장하여 점차 그 형태가 다양하게 확산되어 가는 추세이다. 본 연구에서는 맥퍼슨스트럿형, 더블위시본형, 멀티링크형, 세미트레일링암형, 토션빔액슬형, 맥퍼슨에이치형, 쿼드러링크형, 호치키스형의 8가지 현가장치들을 대상으로 그래픽 기준판이 그래픽 언어와 Library 등을 이용해 설계되어 전처리 장치에 설치되었다.

2.2 설계 특성치 및 계산방법

자동차 현가장치의 특성을 나타내는 변수들은 크게 두 그룹으로 분류할 수 있다. 첫째는 차량의 직진성 및 조종안정성과 관련된 휠 얼라인먼트 요소의 기구학적 특성값들이고, 둘째는 힘과 변위, 변위와 변위 사이를 연결시키는 계수들인 준정적 특성값들이다.

캐스터각, 캠버각, 토우각 등 휠 얼라인먼트 특성변수들은 현가장치의 하드포인트들의 위치로부터 직접 계산할 수 있으며 준정적 특성값들은 일반적으로 유연성 행렬을 사용하여 계산한다. 여기서 유연성 행렬이란 바퀴에 차례로 단위 힘을 가했을 때 그 결과로 발생하는 변위량을 통해 정의된다. 두 바퀴는 각각 6개의 자유도를 갖고 있으므로 전체적으로 모멘트를 포함한 12개의 힘에 대한 각변위를 포함한 12개의 변위가 관계되므로 12×12 크기의 행렬이 구해지게 된다. 따라서 현가장치의 성능을 나타내는 특성치들은 하드 포인트들의 위치와 현가시스템의 강성에 의해 결정되는 유연성 행렬을 이용해 구해지며 이에 관한 상세한 설명은 참고문헌 [1]과 [2]를 참조할 수 있다.

본 연구에서 개발하려 하는 프로그램의 경우는 사용자가 현가장치의 특성파악에 필요한 최소한의 데이터들을 입력하도록 해야 하므로 필요제원들에 관한 확인과 분류작업이 필요하다. 그것은 이러한 작업이 선행되어야만 사용자 편의의 전처리 장치를 효율적으로 개발할 수 있기 때문이다. 따라서

각종 현가장치 및 그 특성변수들에 대한 파악이 프로그램 개발에 필수적이다. 본 논문에서는 그러나 이러한 내용을 새삼 기술하는 것이 불필요하다 판단되어 이 내용을 기술하지 않았다. 이에 관한 자세한 내용은 예를들어 참고문헌 [3]을 참조할 수 있다.

3. 해석 모델링

3.1 다물체 모델링

현가장치의 특성해석을 위해서는 이를 이상화시키는 작업이 필요하다. 현가장치의 동특성 해석을 위해 가장 널리 사용되는 방법은 다물체 동역학 해석 방법이다. 이것은 임의의 동적 시스템을 강체, 조인트, 스프링, 댐퍼, 부상, 그리고 작용힘 등으로 요소화하고 이로부터 운동방정식을 자동 생성시켜 해석하는 방법이다. 각각의 현가장치마다 이러한 다물체 동역학 모델링을 통해 해석 프로그램을 위한 표준 입력 데이터 파일을 형성시켜야 한다. 다음에 나타나는 모델링들은 현가장치 설계 분야에서 통상적으로 사용되어온 형태를 기술하고 있다. 본 논문에서는 이들에 관한 내용을 새로 개발하는 것이 목적이 아니고 이미 존재하는 내용들을 종합하는데 중점을 두었으므로 본 절에서는 다만 이러한 통상적 지식들을 요약하기로 한다.

3.2 현가장치별 모델링

그림 1은 조향이 구속된 맥퍼슨 스트럿형 현가장치의 기구학 해석 모델이다. 바퀴와 허브캐리어는 동일한 강체로 이상화한다. 차체를 고정시키면 4개의 Body가 존재한다. 여기에는 구면 조인트가 2개, 유니버설 조인트가 2개, 실린더식 조인트가 1개, 핀 조인트가 1개 존재하므로 쿠즈바하 조건식에(참고문헌 [4] 참조) 사용될 구속조건식의 수가 23개가 된다. 따라서 총자유도 24에서 구속조건식 23을 감하면 시스템의 자유도는 1이 되어 바퀴의 상하운동 해석이 가능하다. 바퀴의 상하운동의 해석을 위해서는 허브캐리어에 바퀴가 부착되는(Tyre Mount) 위치에 가상적 잭을 설치해야 한다. 잭과 허브캐리어의 사이에는 지면 상하방향의 병진운동에 대한 구속만 존재하며 그 외의 방향으로는 모두 자유롭게 움직일 수 있게 한다. 잭

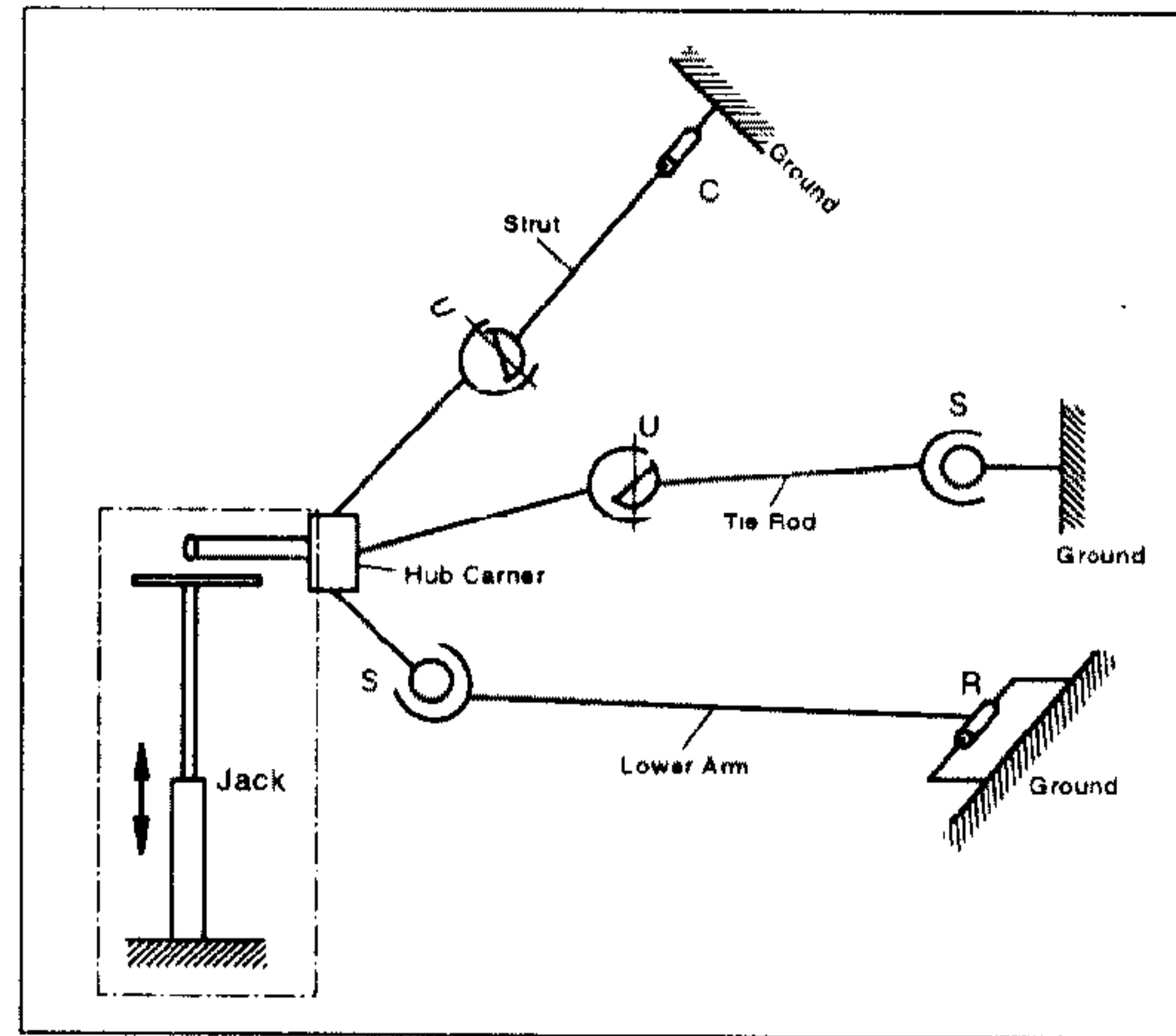


Fig.1 Kinematic modeling of a McPherson strut suspension

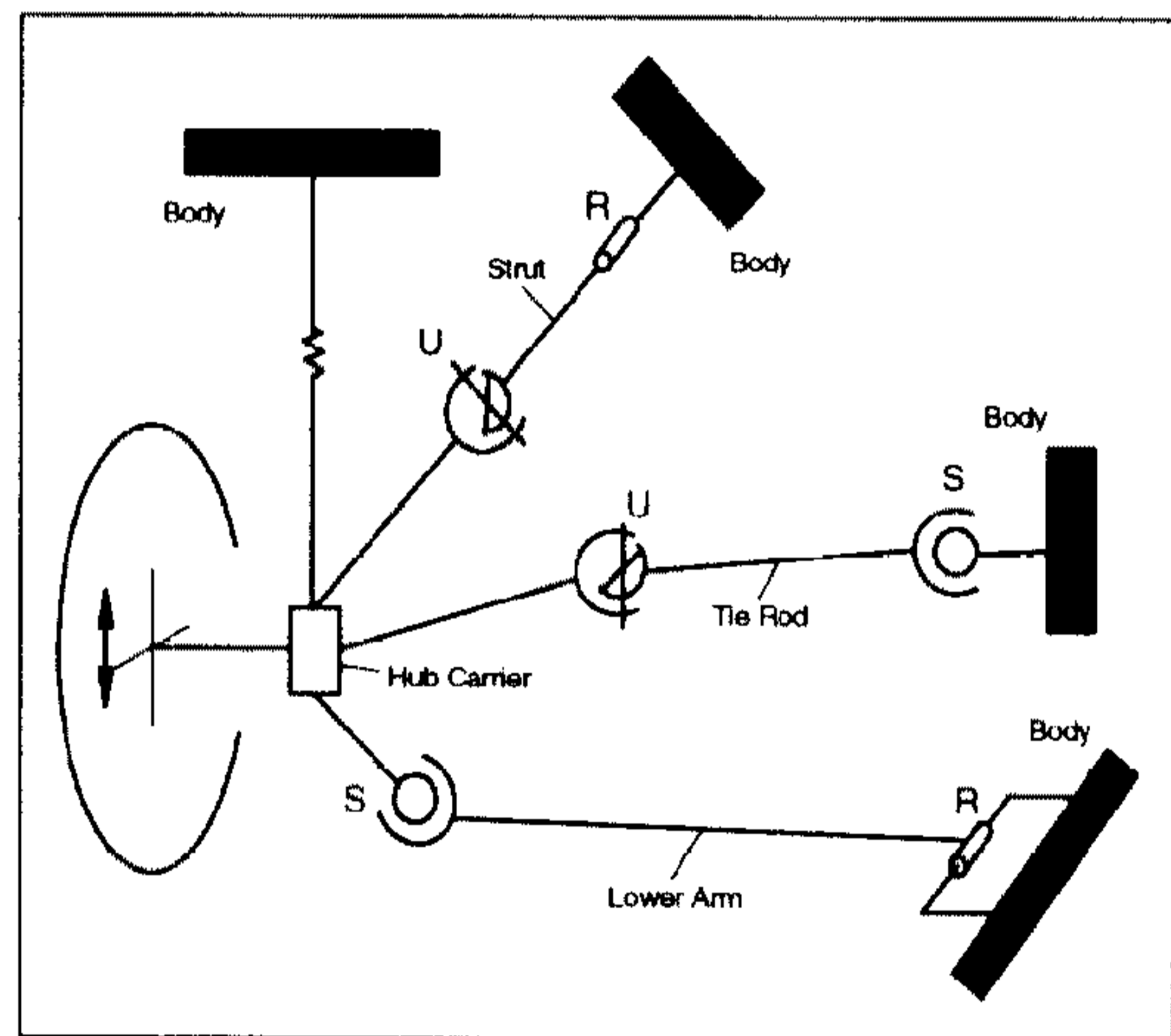


Fig.2 Quasi-static modeling of a McPherson strut suspension

과 지면은 상하방향의 병진 조인트로서 구속되며 이 조인트에 구동구속이(Motion Constraint)가 해진다. 또한 그림 2는 조향이 구속된 맥퍼슨 스트럿형 현가장치의 준정적(Quasi-static) 해석 모델이다. 이 모델에는 기구학적 모델에는 포함되어 있지 않던 스프링과 부상 등이 나타나 있다.

그림 3에서 6은 대표적 현가장치들로 더블 위시본형, 멀티링크형, 토션빔 축형, 세미트레일링 암형 현가장치들의 다물체 동역학 모델링들을 보여준다. 이들 모델링들에 대한 설명은 그림 1과 2에 대한 설명과 유사하게 주어질 수 있다. 그림 1부

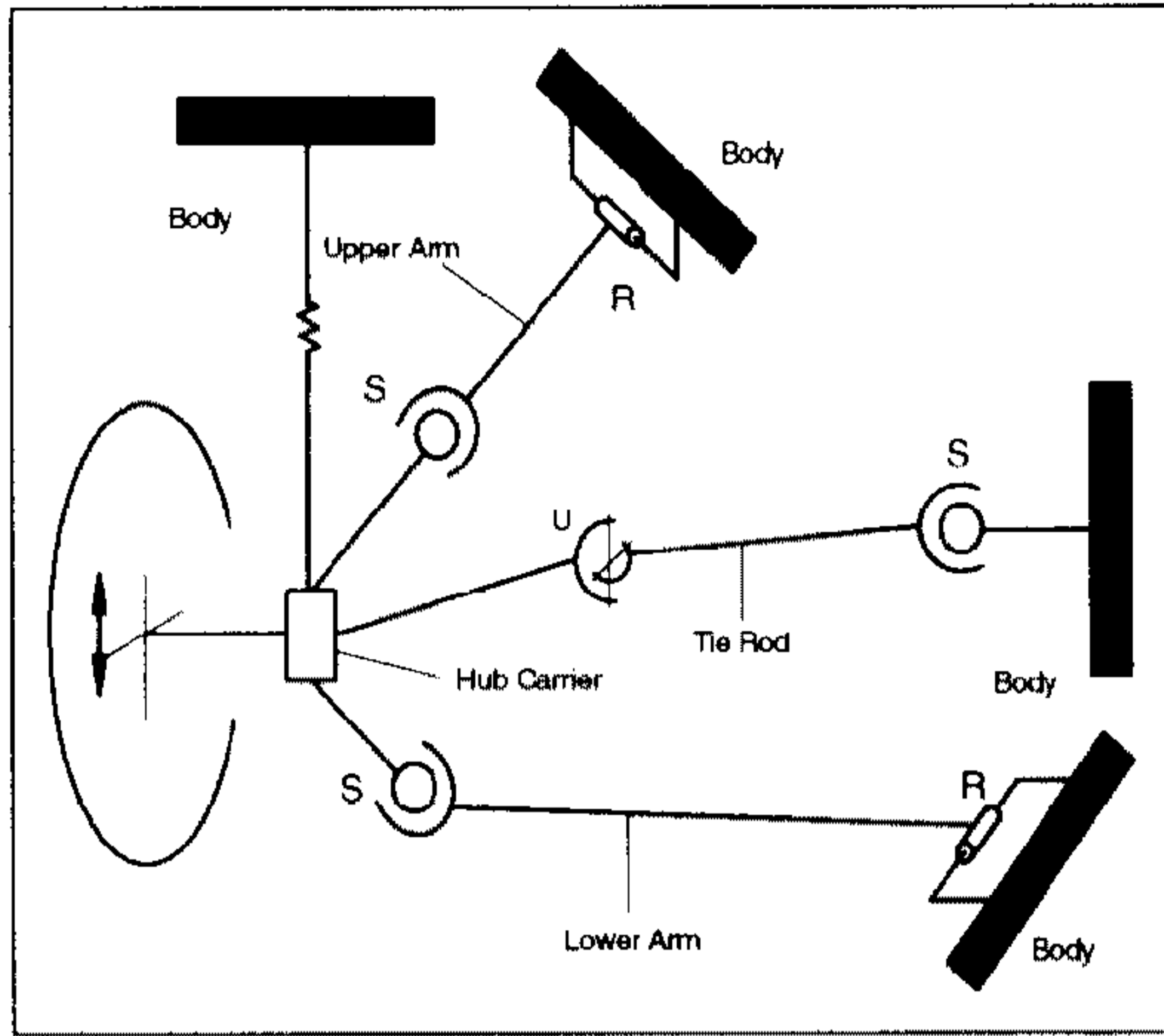


Fig.3 Quasi-static modeling of a double wishbone suspension

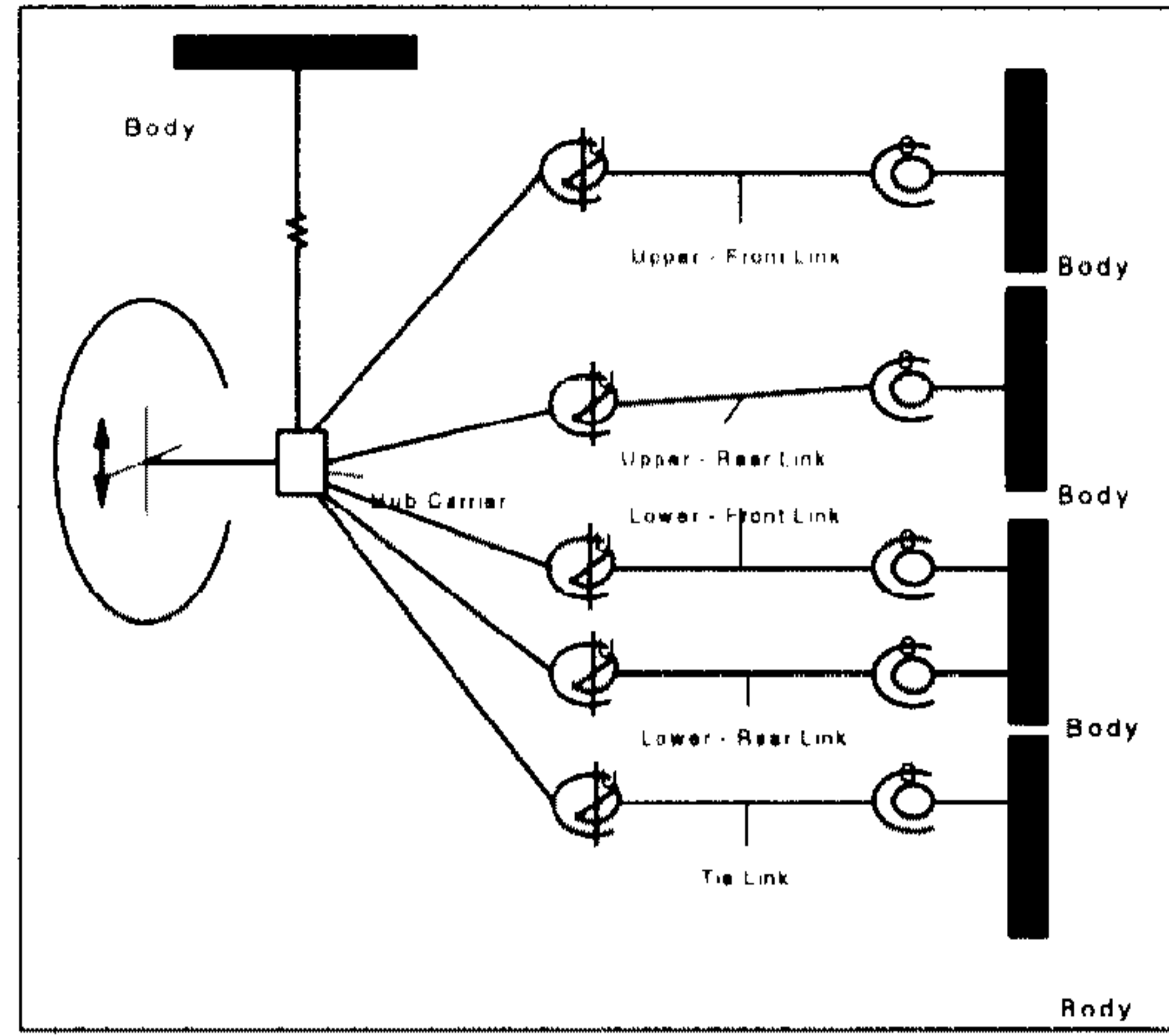


Fig.4 Quasi-static modeling of a multi-link suspension

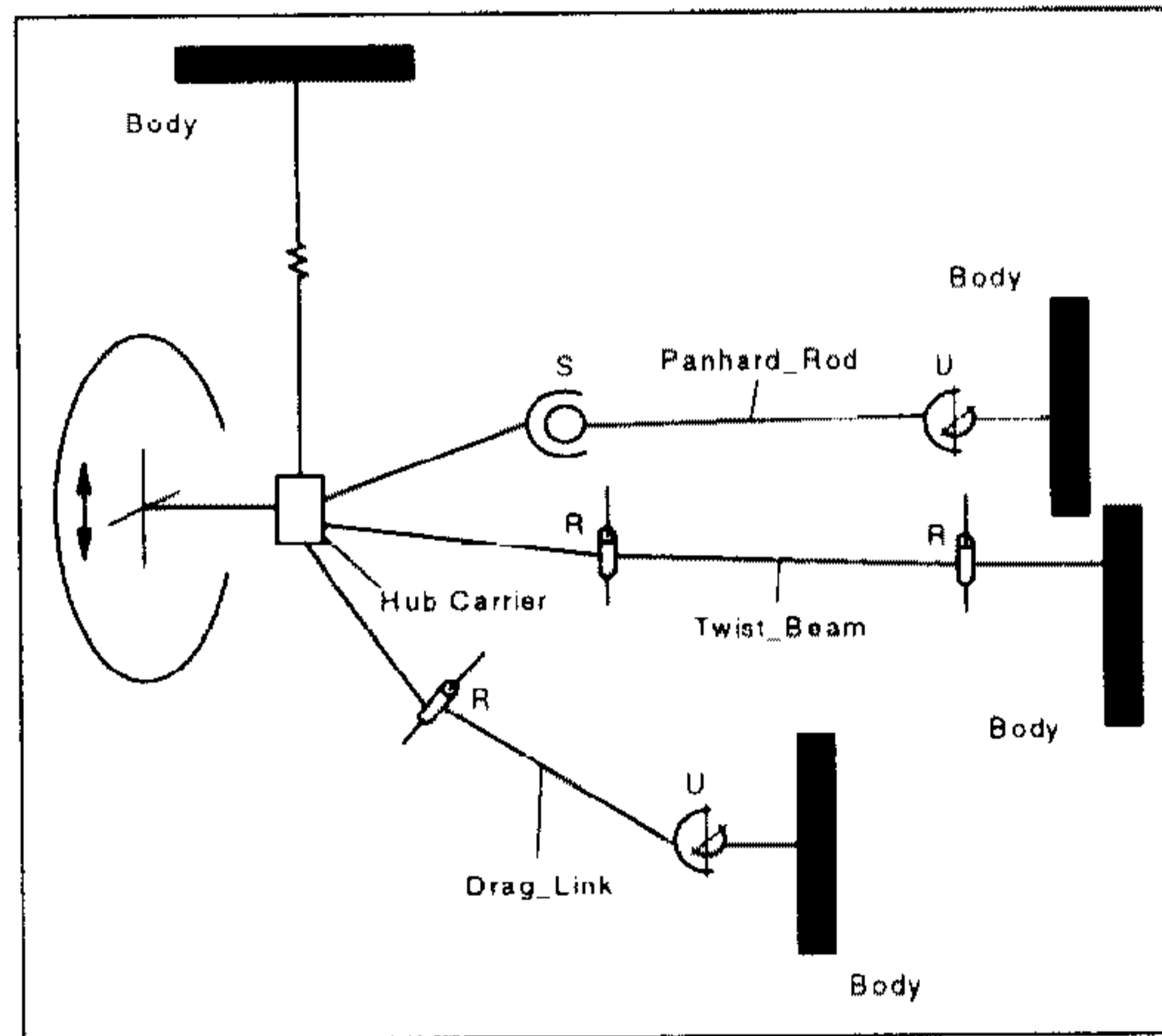


Fig.5 Quasi-static modeling of a torsion beam axle suspension

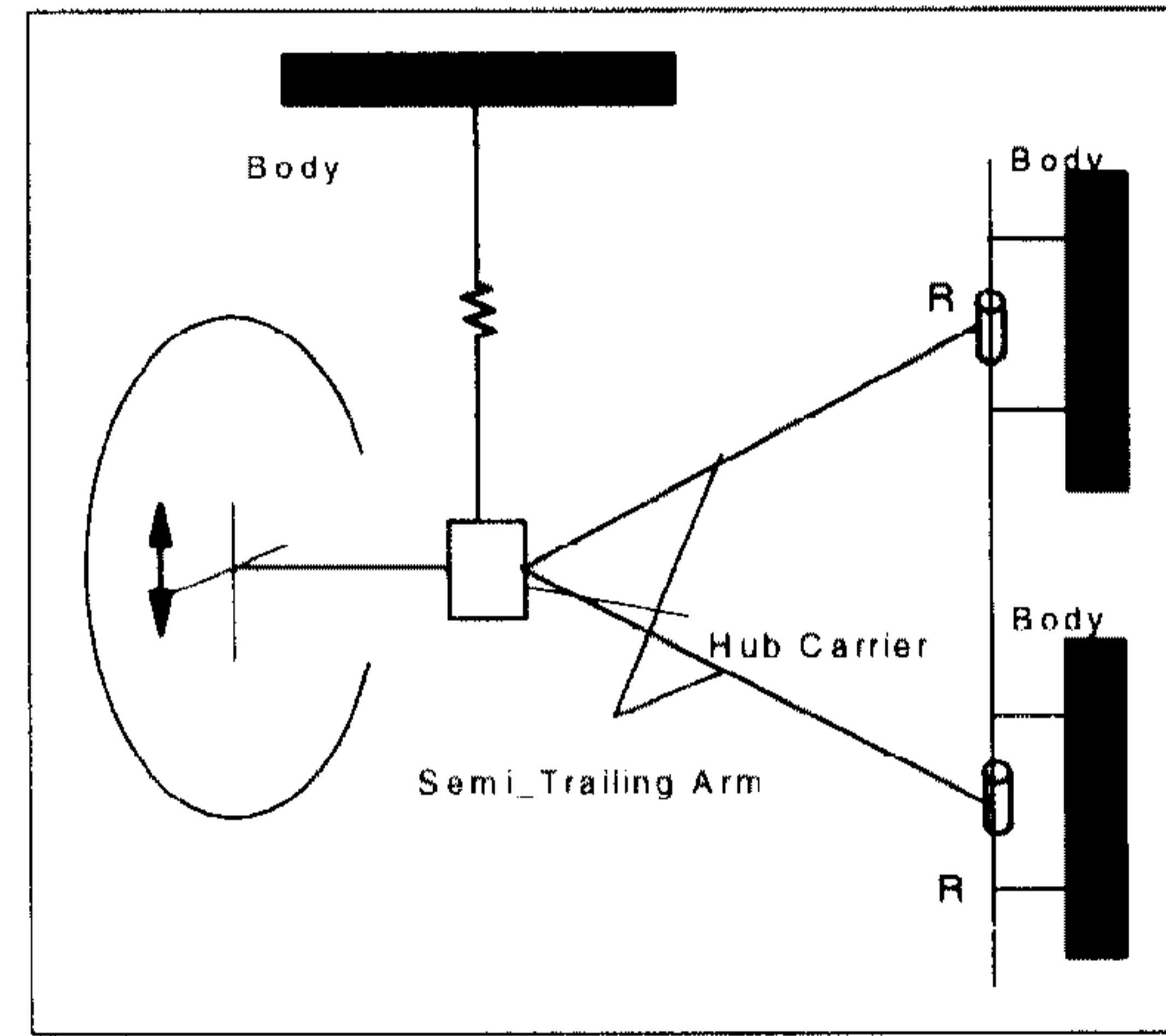


Fig.6 Quasi-static modeling of a semi trailing arm suspension

터 그림 6까지에서 조인트 표시중 S는 구면 조인트, U는 유니버설 조인트, 그리고 R은 핀 조인트를 각각 나타낸다.

4. 그래픽 사용자 접속 프로그램

4.1 메뉴판 설계

본 프로그램은 사용자가 현가장치 모양을 그래픽 화면을 통해 보면서 스크린상의 그래픽 메뉴를 통하여 현가장치 설계작업을 수행할 수 있도록 형

성되었다. 이를 위하여 메뉴판 설계는 Forms Library를 사용하였는데 메뉴 디자인 전용프로그램인 Forms Library의 성능 및 사용방법에 관해서는 참고 문헌[5]를 참조할 수 있다. 그림 7은 본 프로그램에서 구현한 그래픽 메뉴환경을 계층적으로 나타낸 전체 구성도이다.

4.2 그래픽을 위한 데이터 구조

현가장치에는 다양한 종류들이 있으며, 이들을 화면에 나타내기 위해서 각각의 현가장치에 대한

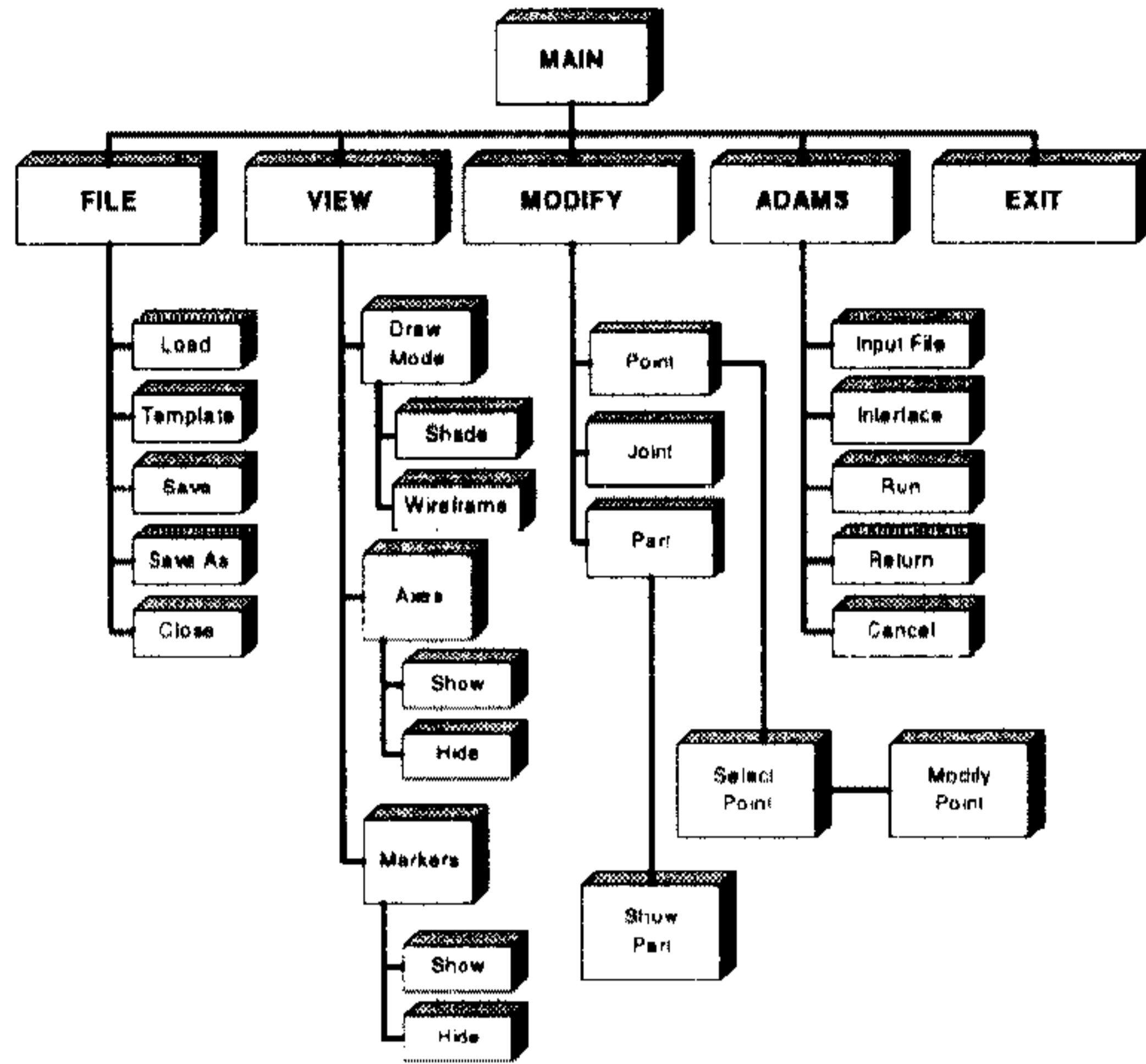


Fig. 7 Menu hierarchy

그래픽 데이터 구조를 구성하여야 한다. 현가장치의 그래픽 데이터 구조는 하드포인트들과 파트들로 구성된다. 하드포인트의 데이터 구조는 다음과 같이 구성되는데 이는 기존의 데이터 베이스 프로그램을 사용하지 않고 자유로운 형태로 만들어 졌다.

Point

- (1) Id
- (2) Name
- (3) x, y, z Coordinates

필요한 하드포인트들이 모두 지정되면 이들을 통하여 현가장치의 각종 구성 요소들을 기술할 수 있다. 예를 들어 대표적 현가장치인 맥퍼슨 스트럿형 현가장치를 나타내기 위해서는 다음과 같은 구성요소들이 필요하다.

- Tyre
- Hub carrier
- Strut
- Lower arm(A-arm)
- Spring

이들을 파트라 부르는데 이는 실제의 구성품을 화면상에 나타내기 위한 그래픽 요소들이다. 여기 쓰인 5가지 구성 요소들 외에도 현가장치 종류에 따라 다양한 구성 요소들이 사용될 수 있다. 예를 들어 A-arm 대신에 I-arm이 쓰일 수도 있으며 후륜용 현가장치의 경우는 Trailing Arm이나 La-

teral Link 등의 요소가 사용되는 경우가 있다. 이밖에도 현가장치의 종류에 따라 다양한 파트들이 사용된다. 이러한 점을 고려하여 파트의 데이터 구조를 정형화하는 작업이 필요하며 본 연구에서는 이를 다음과 같이 구성하였다.

Part

- (1) Id
- (2) Type
- (3) Name
- (4) Hardpoint numbers
- (5) Part values

표 1은 파트들을 화면에 그려서 나타내는데 필요한 하드 포인트와 수치들을 나타낸다. 표 1에서 position (i) (i=0-7)는 파트를 구성하는 하드 포인트들의 명칭들이고 value (i) (i=0-7)는 구성 파트들을 화면에 그리기 위하여 필요한 수치들이다. 하드포인트와 파트들에 관한 데이터들은 적절한 형식으로 입력되어 보관되어야 하는데 본 연구에서는 이 형식이 프로그램 내부에 정해져 있어서 사용자는 미리 정의된 파일들을 불러들여 화면상에서 수정하고 수정된 데이터는 다시 일정한 데이터구조를 갖는 파일로 자동 저장되게 하였다.

그림 8은 멀티링크형 현가장치의 화면을 보여 준다. 화면의 좌측상단에는 상위 레벨의 메뉴들이 위치하며 하단에는 데이터의 수정을 위한 메뉴가 위치하고 우측은 하드 포인트의 위치를 수정하는 과정을 보여주고 있다. 그림의 하단에는 하드포인트들의 명칭이 나타나 있고 마우스를 이용하여 선택된 하드포인트의 명칭은 색깔이 나타나 그것이 선택되었다는 것을 확인하며 그림상에서 해당 하드포인트의 주위에는 화면상에 원이 그려져서 사용자가 그 위치를 바로 확인할 수 있게 하였다. 이것은 초보자의 편의를 크게 증진시킨 기능이다. 그림 상단에는 선택된 하드 포인트의 공간좌표를 수정하기 위해 입력하는 Pop-up 메뉴가 나타나 있다. 그림 9는 맥퍼슨 스트럿형 현가장치의 입력 작업중 볼 조인트의 위치를 나타내는 하드 포인트의 위치를 실수로 잘못 입력하여 나타난 화면의 모습을 보여주고 있다. 여기에서 보듯이 이러한 불의의 실수로 인한 결과는 작업자가 화면을

Table 1 Parts and their data structures for the McPherson strut suspension

Part Type	A arm	Strut	Spring	Hub carrier	Damper	Tyre
Type Number	1	4	5	6	7	10
position[0]	ball point	upper mount	upper seat	tyre mount	upper seat	tyre mount
position[1]	front pivot	lower mount	lower seat	spindle center	lower seat	spindle
position[2]	rear pivot			strut mount		ceter
position[3]				ball point		
position[4]						
position[5]						
position[6]						
position[7]						
No. of points	3	2	2	4	2	2
value[0]	b.i. rad	upper strut rad	radius		upper part rad	inner rad
value[1]	b.j.thick rad	upper strut len	turn		upper part len	outer rad
value[2]	front bush rad	lower strut rad	upper seat rad		lower part rad	width
value[3]	front bush len	lower strut len	lower seat rad		lower part len	
value[4]	rear bush rad					
value[5]	rear bush len					
value[6]						
value[7]						

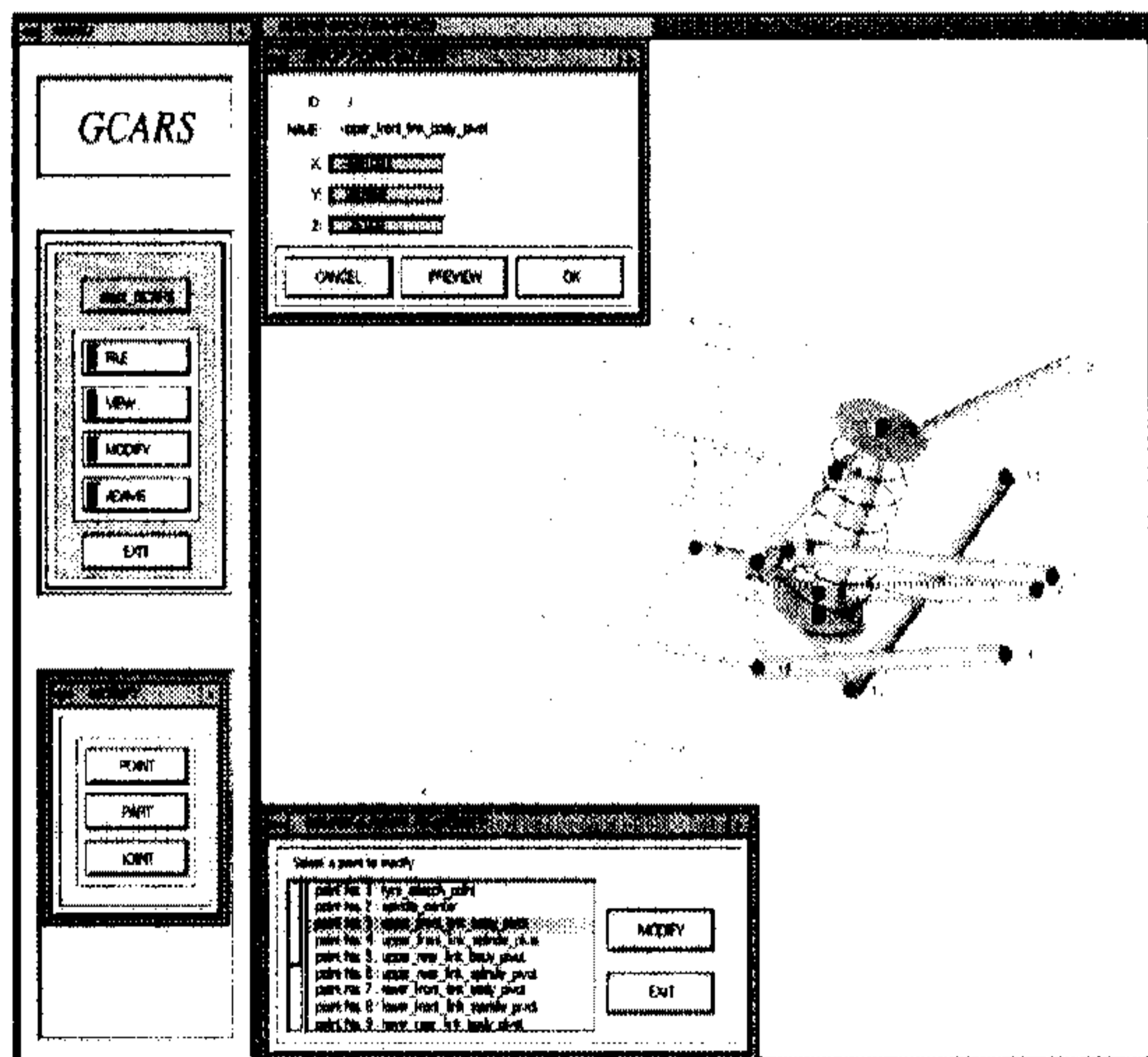


Fig. 8 Modification of hard points

보며 작업을 하므로 즉시 알아차릴 수 있게 되어 있다. 이러한 시각성이 본 프로그램의 작업 효율 및 안정성을 제고시키는 특징이기도 하다.

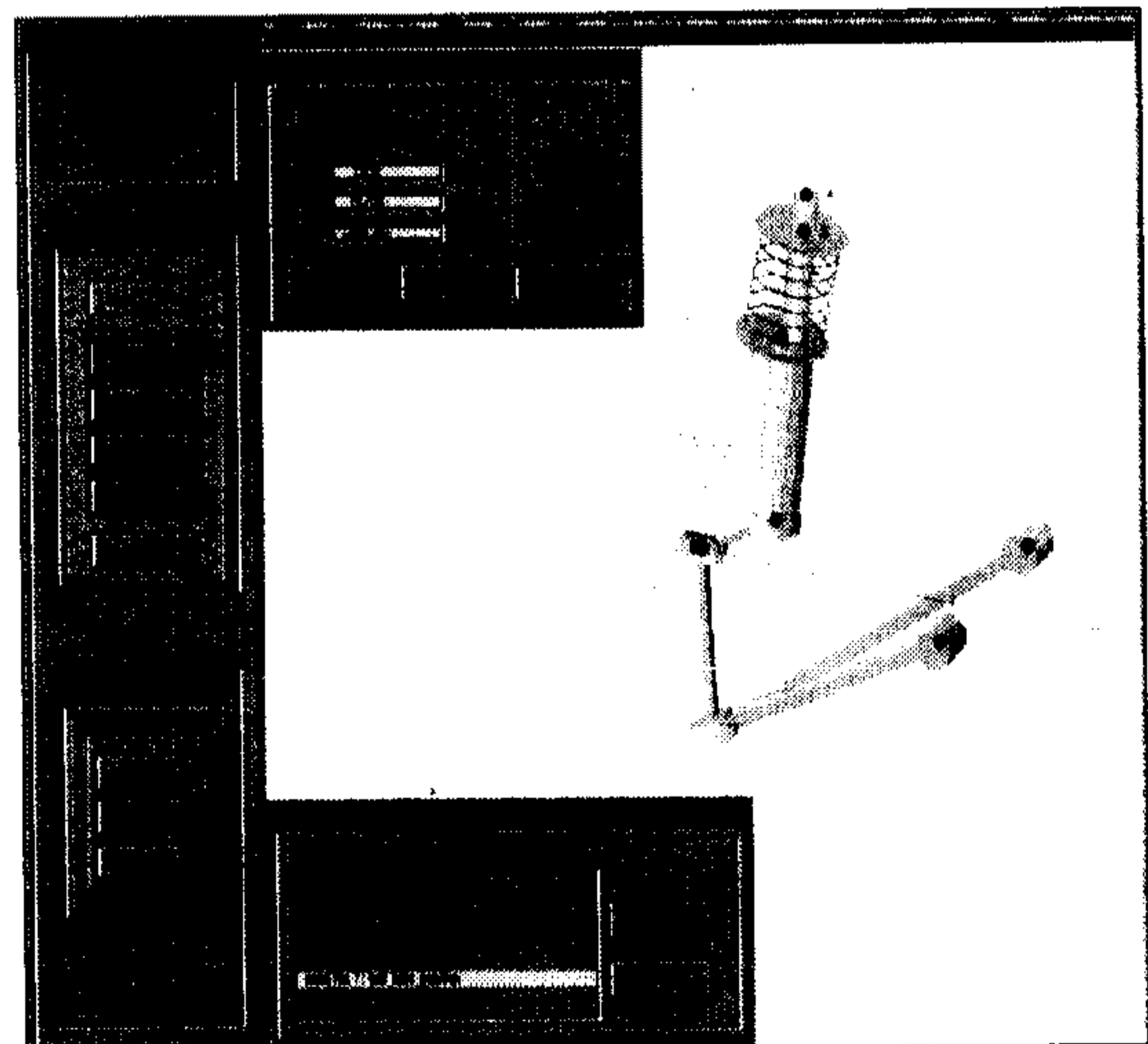


Fig. 9 Example of geometric input error for a hard point(Ball Joint)

4.3 해석 모듈과의 접속

하드 포인트와 각종 필요한 데이터의 입력이

끝나면 입력내용을 해석 프로그램이 인식할 수 있는 파일로 변환시켜 주는 과정이 필요하다. 그런데 이 과정은 사용자가 메뉴상에서 작업지시 메뉴를 선택하는 것만으로 자동적으로 처리되어야 한다. 이러한 접속(Interface) 과정은 다음과 같이 이루어진다. 먼저 사용자가 해석 메뉴를 선택하고 다음은 하나의 Button을 눌러서 해석 프로그램을 수행시키기 위한 입력 파일을 생성하게 된다. 여기서 개발된 프로그램은 해석 모듈을 포함하지 않으며 적절한 해석프로그램을 단지 선택하여 쓰므로 두 프로그램의 데이터 파일은 같지 않다. 해석 프로그램은 단지 동역학적 해석에 필요한 데이터들만 보관하고 있는데 반하여 여기서 개발된 GUI 프로그램의 입력 파일은 동역학 해석과는 상관없는 그래픽 화면의 구현과 관련된 기하학적 데이터들도 보관하고 있다. 따라서 사용자가 입력한 데이터가 동역학 해석을 위한 데이터와는 다르게 되며 이의 변환이 필요한 것이다. 각각의 현가장치들은 일정한 형태의 동역학 해석을 위한 데이터 파일 구조를 갖고 있다. 즉 현가장치의 형태에 따라 구성 파트, 조인트, 스프링, 부싱 등의 개수와 연결방식은 정해져 있는 것이다. 이 파일에는 그러나 그들의 위치나 재질특성 등과 관련된 부분은 빈 칸으로 남겨져 있는데 변환시에는 이러한 부분들을 그래픽 사용자 접속 프로그램의 데이터 파일로부터 가져와 채우게 되는 것이다. 이렇게 빈칸이 채워진 데이터 파일은 동역학 해석을 위한 입력 파일로 사용된다. 이러한 파일 변환과정을 위한 프로그램은 C언어를 이용하면 매우 간단하게 만들 수 있으며, 이렇게 만들어진 파일 생성 프로그램은 GUI 프로그램에서 Button을 한번 누르면 작동될 수 있도록 준비되어 있다.

4.4 제어/관리 프로그래밍

제어/관리 프로그래밍이란 개발프로그램을 정상적으로 작동시키기 위해 그래픽 메뉴를 제공하거나, 데이터의 입출력을 파일과 연결하여 관리하고, 해석을 위해 파일을 변환시키고, 해석프로그램을 수행시키고, 결과를 출력하게 하는 등 프로그램의 작동을 통합적으로 제어하고 관리하는 프로그래밍 작업을 말한다. 본 연구에서는 이러한

프로그래밍 작업을 위해서 C 언어를 사용하였다. 다음은 그 주요 내용들을 각각 설명하고 있다.

4.4.1 메뉴판 제공

본 프로그램은 사용자가 스크린 상의 메뉴를 통하여 프로그램과 대화할 수 있도록 고안되어져 있다. 사용자를 위한 메뉴를 만들기 위해서는 윈도우를 열고 닫는 기능, 윈도우의 크기 및 위치를 조절하는 기능, 데이터의 입력을 위한 기능, 실행 버튼을 만드는 기능, 파일을 선택하는 기능 등이 사용되어진다. 이를 위해서는 참고문헌 [5]에 소개된 Forms Library를 사용하였다.

4.4.2 파일 관리

본 프로그램은 메뉴의 선택에 따라 자동적으로 필요한 파일을 입력하고 생성하도록 하였다. 입력 파일은 기존의 현가장치의 그래픽 화면을 제공하기 위한 파일이 있고, 생성 파일로는 변형된 현가장치의 그래픽 화면을 저장하기 위한 파일과 해석을 위한 입력 파일이 있다. 따라서 설계하고자 하는 현가장치의 그래픽 화면을 위한 입력 파일은 그들이 미리 구성되어 있어야 하며 나머지 필요한 생성 파일들은 메뉴의 선택에 따라 내부적으로 자동 생성되도록 프로그램화되었다. 이를 위해서는 데이터 구조(Data Structure) 구성하는 기술과 저장하는 기술, 해석 프로그램의 입력 파일 형식에 적합하도록 데이터를 변환하는 기술등이 사용되었다.

4.4.3 해석 프로그램 실행 및 결과 출력

본 연구에서는 현가장치 해석을 위해 기존에 이미 효율적으로 사용되고 있는 해석프로그램을 해석모듈로 연결하여 사용하였다. 이것은 모든 모듈을 많은 노력과 시간을 들여 개발하기보다는 이미 그 우수성이 입증된 기존의 좋은 프로그램들을 선택하여 사용자가 그들을 가장 편리하고 효율적으로 사용할 수 있도록 프로그램을 통합하는 작업에 집중하기 위해서이다. 기존의 프로그램들을 종합하는 작업(Software Integration) 수행하기 위해서는 그 프로그램들의 입출력 약속(Protocol) 잘 파악하여야 한다. 본 연구에서 개발된 프로그램에서는 필요한 데이터를 그래픽 화면상에서 직접 입력하고 해석을 수행하기 위해서는 메뉴만을 선택함으로써 자동적으로 실행된다. 이를 위해 각

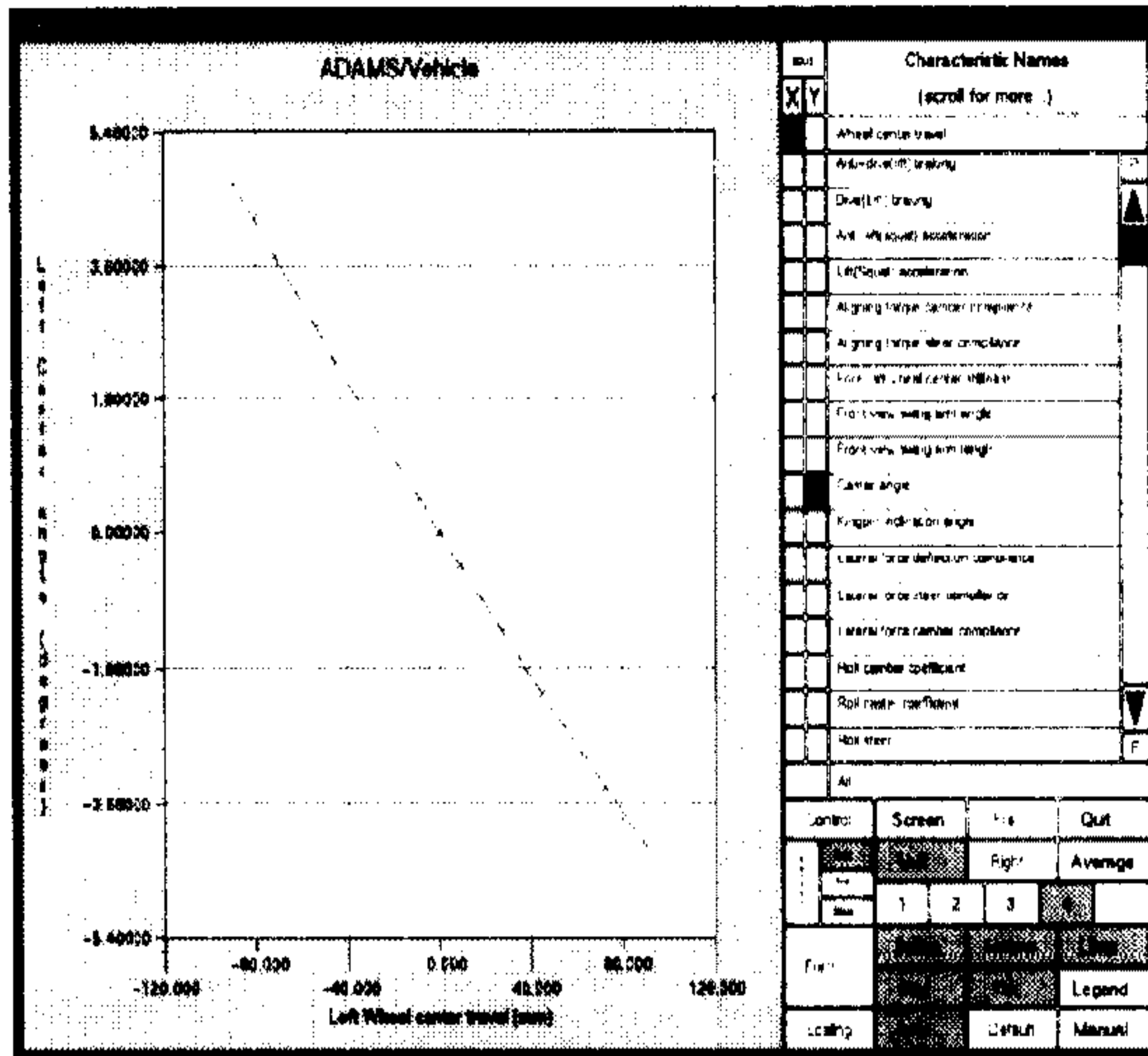


Fig.10 Analysis output plot

각의 현가장치의 해석을 위한 기본적 입력 파일의 구성 형태를 파악하여 자동적으로 파일이 생성될 수 있도록 프로그램화하였다. 또한 그 출력도 기존의 상용프로그램의 기능을 이용할 수 있도록 프로그램화하였다. 그림 10은 해석결과를 나타내주는 예로서 휠 센터 높이변화에 따른 캐스터 각의 변환을 나타내는 그림이다.

5. 결 론

본 논문에는 사용자 편의성에 중점을 두고 개발된 현가장치 설계용 그래픽 사용자 접속 프로그램의 핵심사항들이 제시되었다. 그 내용으로는 사용자의 편의성 제고를 위한 그래픽 메뉴판 설계작업에 필요한 제반 내용과 해석 모듈과의 접속을 위한 과정이 제시되었다. 본 연구에서는 기존의 우수한 해석 프로그램들을 이용하고 이들에 사용자 편의성의 개선을 위한 접속 프로그램을 개발하여 종합화함으로써 이미 그 우수성이 입증된 기존의 소프트웨어 자원을 최대한 효율적으로 통합하여 이용할 수 있도록 하기 위한 소프트웨어 합성의(Software Integration) 방법과 과정을 현가장치 설계프로그램이란 실제적인 예를 들어서 제시하였는데 가장 큰 의의가 있다고 판단된다. 이

러한 연구는 앞으로 기존의 많은 소프트웨어들의 효율적인 통합을 통해서 기존의 소프트웨어보다 더욱 효율적이고 복합적이며 사용자 편의성이 제고된 기능을 갖는 프로그램들을 창조해내는 새로운 학문분야의 일단을 제시하였다는 데에 그 의의를 부여할 수 있을 것이다.

후 기

본 논문은 산업자원부 공업기반기술 과제인 '첨단기계설계 및 엔지니어링 시스템 개발' 과제 연구자금의 지원을 받아 연구를 진행하였으며 이에 저자들은 관계기관에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. ADAMS/VEHICLE User's Guide, Mechanical Dynamics, pp. 40~124, 1994.
2. William F. Milliken and Douglas L. Milliken, Race Car Vehicle Dynamics, SAE, pp. 755~840, 1995.
3. Donald Bastow and Geoffrey P. Howard, Car Suspension and Handling, SAE, pp. 75~121, 1993.
4. Thomas D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, SAE, pp. 125~307, 1992.
5. Mark H. Overmars, Forms Library, Utrecht University, pp. 5~86, 1993.
6. 조승백, 임준택, "자동차 현가장치 설계에 따른 동역학 해석 및 활용", 대한기계학회, Vol. 33, pp. 871~883, 1993.
7. C. H. Suh, "Synthesis and Analysis of Suspension Mechanisms with Use of Displacement Matrices", SAE Paper 890098, pp. 171~182, 1989.
8. H. Y. Kang, C. H. Suh, "Synthesis and Analysis of Spherical-Cylindrical(SC) Link in the McPherson Strut Suspension Mechanism", Journal of Mechanical Design, Vol. 116, pp. 599~606, 1994.