

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0059

차량동역학 해석 프로그램 AutoDyn7의 개발(II) - 전처리 및 후처리 프로그램

Development of Vehicle Dynamics Program AutoDyn7(II) - Pre-Processor and Post-Processor

한 중 규*, 김 두 현**, 김 성 수***, 유 완 석****, 김 상 섭*****
Jong-Gyu Han, Doo-Hyun Kim, Sung-Soo Kim, Wan-Suk Yoo, Sang-Sup Kim

ABSTRACT

A graphic vehicle modeling pre-processing program and a visualization post-processing program have been developed for AutoDyn7, which is a special program for vehicle dynamics. The Rapid-App for GUI(Graphic User Interface) builder and the Open Inventor for 3D graphic library have been employed to develop these programs in Silicon Graphics workstation. A Graphic User Interface program integrates vehicle modeling pre-processor, AutoDyn7 analysis processor, and visualization post-processor. In vehicle modeling pre-processor, vehicle hard point data for a suspension model are automatically converted into multibody vehicle system data. An interactive graphics capabilities provides suspension modeling aides to verify user input data interactively. In visualization post-processor, vehicle virtual test simulation results are animated with virtual testing environments.

주요기술용어 : GUI(그래픽 사용자 인터페이스), Vehicle Dynamics(차량 동역학), Suspension Modeling(현가장치 모델링), Hard Point(연결점), Interactive Graphics(응답형 그래픽스), Virtual Test Simulation(가상주행시험)

1. 서 론

차량 설계에서 CAE 기술의 비중이 높아짐에

* 회원, 충남대학교 대학원
** 회원, 부산대학교 대학원
*** 회원, 충남대학교 메카트로닉스공학과
**** 회원, 부산대학교 기계공학부
***** 회원, 국민대학교 기계자동차공학부

따라 차시설계 분야나 차량의 동특성을 해석하는 분야에 많은 프로그램들이 개발되어 왔다. 차시설계 분야에서 국내 자동차업체의 경우, 현가 장치의 기구학적 해석과 기구 정력학적 해석 및 차량 동역학 해석을 위해 주로 ADAMS¹⁾나 DADS²⁾와 같은 범용 다물체 해석 프로그램이 사용되어 왔다. 이러한 범용 프로그램의 사용은 주어진 현가 장치에 대한 특성 해석만을 수행할 뿐, 차량조향 안정성능 평가 해석을 위한 모듈을 제공하고 있

지 않다. 이를 해결하기 위해 이른바 사시통합설계개념을 도입한 설계 및 해석 프로그램의 개발이 진행되었으며, 결과로써 국내 기술에 의한 차량전용 동역학 해석 프로그램인 AutoDyn7³⁾이 개발되었다.

이러한 차량전용 동역학 해석 프로그램의 원활한 사용을 위해서는 컴퓨터 그래픽스를 이용한 사용자 인터페이스(Graphic User Interface)가 필수적이다. 차량 시스템은 현가 장치, 조향 장치, 구동 및 제동 장치 등 여러 부분 시스템들이 연결된 복잡한 시스템으로 구성되어 있다. 이러한 부분 시스템 중 특히 현가 부분 시스템은 3차원 페루프로 구성되어 있어 현가 모델 정의에 많은 시간을 소모하게 된다. 따라서 보다 효율적으로 차량 모델을 정의하기 위해서는 현가 종류에 따라 구성하고 있는 형상을 3차원 그래픽스를 통하여 가시화하고 그에 따르는 기구학적, 동역학적인 데이터를 입력할 수 있는 차량 모델링 전처리 프로그램이 필요하다. 또한, 모델링된 차량의 성능해석을 위해서 실제 차량 개발시 사용되는 주행시험을 가상적으로 하여 성능해석을 할 수 있고 가시화하여 쉽게 확인할 수 있는 방법이 필요하다.

본 논문은 이미 발표된 Part I¹⁰⁾의 차량전용 동역학 해석 프로그램인 AutoDyn7의 알고리즘 소개와 더불어 원활한 사용을 위하여 사용자에게 체계적인 모델링 과정을 효과적으로 인도하고 결과를 3차원 그래픽스를 이용하여 효과적으로 가시화하는 AutoDyn7의 전후처리 프로그램 구성 및 사용된 이론 소개에 목적을 두었다.

또한 복잡한 3차원 링크로 연결되어 있는 차량 현가 장치 모델링에 있어서 사용자에게 응답형 그래픽스를 이용한 현가 모델링 방법을 제안하였고, 모델링된 차량의 형상을 후처리 과정에서 이용하여 애니메이션으로 차량의 거동을 살필 수 있도록 하였다.

2. AutoDyn7 차량 모델링 전처리 프로그램

Part I¹⁰⁾에서 언급한 바와 같이 AutoDyn7 프로그램은 차량 시스템에 대한 기구학, 동역학, 정

적평형 해석이 가능하며, 프로그램 구성은 사용자가 차량의 모델링과 해석 환경을 정의하는 전처리 프로그램, 입력된 데이터를 해석하는 해석 프로그램, 해석 결과에 대한 3차원 그래픽스를 이용한 애니메이션과 그래프 출력을 수행하는 후처리 프로그램으로 구성되어 있다.

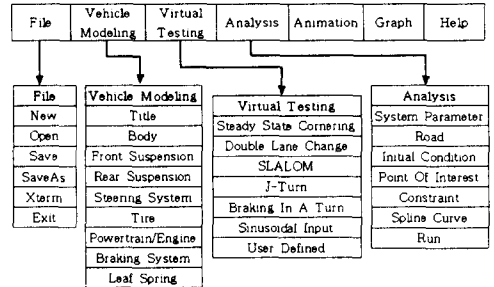


Fig. 1 AutoDyn7 Menu Hierarchy

이 각각의 프로그램은 모두 통합된 프로그램의 GUI (Graphic User Interface)상에서 실행시킬 수 있다. Fig.1은 AutoDyn7 프로그램의 전체 메뉴 구성을 나타낸 것이다.

2.1 차량 모델러 메뉴(Vehicle Modeling Menu)

차량 모델러는 Fig.1의 "Vehicle Modeling" 메뉴에 나타난 바와 같이 사용자가 손쉽게 차량 모델을 정의할 수 있도록 차량을 차체, 전후륜 현가 장치, 조향 장치, 타이어, 구동 장치, 제동 장치 등 각각의 부분 시스템으로 나누어 정의하도록 되어 있어서 메뉴의 순서에 따라서 각 부분 시스템별로 순차적으로 모델링할 수 있도록 하였다.

2.2 현가 구성 형판(Template)

AutoDyn7 프로그램은 다물체 동역학에 근거하여 생성하므로 차량 시스템을 정의하는데 있어서, 구성하고 있는 각각의 물체의 관성 좌표계에 대한 위치와 자세를 정의해야 한다. 이러한 기존의 다물체 시스템 정의 방법은 복잡한 3차원 페루프 시스템으로 이루어진 현가 시스템에는 적합하지

않다. 따라서, 각 현가 링크들이 조합된 CAD 형상의 현가 링크 연결점으로부터 현가 종류에 따라 자동으로 다물체 시스템 정의가 이루어지도록 하는 것이 필요하며, 이를 위해서는 각 현가 종류에 따른 현가 구성 형판이 필요하다.

현가 구성 형판은 현가 종류에 따라 구성하고 있는 물체의 개수, 물체의 연결관계, 물체와 물체를 연결해 주고 있는 조인트의 종류와 개수, 그리고 완충기와 현가 스프링의 종류와 개수, 연결점에 정의된 부싱의 유무에 대한 정보로 구성되어 있다. 따라서 현가 종류에 따라 사용자에게 요구하는 CAD 좌표계에서 정의된 차량 현가 기구 연결점의 개수도 달라지게 된다.

현재 AutoDyn7에서 SLA, McPherson Strut, Twist Axle, Multi-links의 네 종류의 현가 장치 구성 형판을 제공하고 있다. Fig.2(a)는 SLA 현가 장치를 나타내고 있으며, Fig.2(b)는 현가 구성 형판을 위한 이에 상응하는 기구모델을 나타내고 있다.

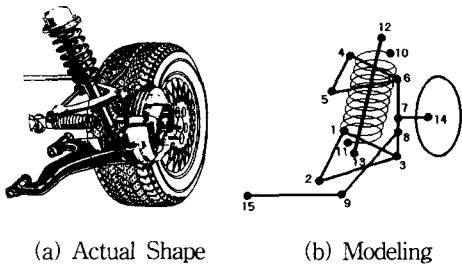


Fig. 2 SLA Suspension

SLA 현가 장치는 Fig.2(b)에서처럼 15개의 연결점으로 연결되어 타이어를 포함하여 6개의 물체로 구성되어 있다. SLA 현가 장치에 부싱이 없을 경우에는 Table 1과 같은 형판을 사용한다.

여기에서 T, R, U, S는 각각 Translational Joint, Revolute Joint, Universal Joint, 그리고 Spherical Joint를 나타낸다. 조인트마다 이미 지정된 물체의 번호가 지정되어 있으며 연결점의 번호가 지정된다. 따라서 이러한 정보를 이용하여 다물체 시스템의 정보를 생성할 수 있다.

Table 1 SLA Suspension Template without Bushing

Joint Type	Joint ID	1st Body	2nd Body	Hard Point
T	1	5	0	15
	1	6	3	14
R	2	1	0	1, 2
	3	2	0	4, 5
U	1	4	5	9
S	1	1	3	3
	2	2	3	6
	3	3	4	8

Table 2는 부싱으로 연결된 SLA 현가 장치의 형판을 나타내고 있으며 부싱이 없는 경우에서의 (1, 2)번 및 (4, 5)번 Revolute 조인트와 9번 연결점에 연결된 Universal 조인트에 대신에 부싱이 부착됨을 알 수 있다.

Table 2 SLA Suspension Template with Bushing

(a) Joint Connection

Joint Type	Joint ID	1st Body	2nd Body	Hard Point
T	1	5	0	15
R	1	6	3	14
S	1	1	3	3
	2	2	3	6
	3	3	4	8

(b) Bushing Connection

Bushing ID	1st Body	2nd Body	Hard Point
1	0	1	1
2	0	1	2
3	0	2	4
4	0	2	5
5	4	5	9

Table 1, 2에서 구성 형판은 차량 진행방향에 대한 왼쪽 현가 장치에 대한 정보만 필요로 하고, 오른쪽 현가에 관해서는 좌우 대칭 관계를 이용하여 자동적으로 데이터를 생성하도록 하였다.

2.3 차량 데이터의 변환

2.2절의 현가 형판에 따라 사용자가 현가의 종류를 선택하면 이미 그 현가를 구성하고 있는 물체의 개수, 조인트의 종류 및 연결관계 등이 확정되어지지만 관련 데이터는 사용자가 CAD 좌표계

를 기준으로 입력한 현가 연결점으로부터 계산되어진다. 또한 AutoDyn7 해석 프로그램에서는 관성 좌표계에서 정의된 현가 링크의 물체기준 좌표계, 조인트좌표계로 기술되는 다물체 데이터를 사용하므로, 사용자는 CAD 좌표계와 관성 좌표계간의 관계 벡터를 입력해야 한다.

또한, 물체의 연결점만을 입력하여 다물체 시스템의 데이터를 정의하려면 각 물체의 물체 기준좌표계가 생성되고 물체기준좌표계에서 정의되는 조인트좌표계가 생성되어야 한다. 본절에서는 CAD 데이터로부터 위에 언급한 다물체 데이터가 자동으로 생성되는 방법을 언급한다.

2.3.1 연결점 데이터의 변환

Fig.3은 CAD 좌표계와 관성 좌표계에서 나타낸 연결점의 위치 벡터 관계를 나타내고 있다.

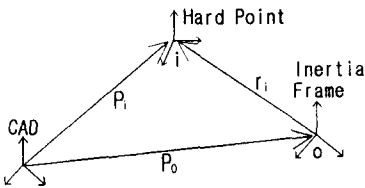


Fig. 3 Hard Point Position Vector

여기에서 p_i 는 CAD 좌표계에서 표시된 임의의 연결점 i 의 CAD 좌표계에서의 위치 벡터를 나타내며, r_i 는 연결점 i 의 위치 벡터를 관성 좌표계에서 나타낸 것이다. 또한 p_0 는 CAD 좌표계에서 관성 좌표계를 표시하는 위치 벡터이다. 따라서 벡터 p_i 와 벡터 r_i 의 관계식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_i = T_c^I (p_i - p_0) \quad (1)$$

여기에서 T_c^I 는 CAD 좌표계에서 관성 좌표계의 좌표 변환 행렬이다.

2.3.2 물체 무게중심 데이터의 설정

AutoDyn7을 개념설계 단계에서 이용하면서 우

선 연결점 데이터만 주어질 경우에는 현가 링크들의 무게중심 데이터는 가정에 의해서 자동적으로 구해진다.

현가 링크는 둘 혹은 세 개의 연결점에 의하여 정의되므로 관성 좌표계로 변환된 연결점으로부터, 관성 좌표계에 대한 각 물체들의 무게중심 좌표를 구할 수 있다. 2개의 연결점으로 정의되는 물체 무게중심은 두 점(i 와 $i+1$)으로 이루어진 형상의 중심에 존재한다고 가정하면 식(2)와 같이 무게중심 벡터를 구할 수 있다.

$$r_{c.g} = \frac{r_i + r_{i+1}}{2} \quad (2)$$

또한, 구성링크의 무게중심을 알고 있는 경우는 무게중심 좌표를 입력할 수 있도록 프로그램을 설계하였다.

2.3.3 물체의 자세 행렬 설정

다물체 시스템에서의 조인트 좌표계의 위치와 자세는 물체의 좌표 시스템으로부터 정의되며 물체 상에 조인트 좌표계를 설정하므로써 표시할 수 있다. 관성 좌표계에서 표시된 데이터를 물체 좌표계로 변환하기 위해서, 먼저 각 물체의 자세에 대한 행렬식을 알아야 한다. Fig.4는 두 점을 포함하고 있는 물체의 도식적인 그림이다. 이 때, 모델러에서 주어지는 두 연결점과 프로그램 내부에서 임의의 점 P_{i+2} 를 선택하여 자세 행렬을 구할 수 있다.

여기에서 물체 좌표계의 X축 상의 단위 벡터, Y축 상의 단위 벡터, Z축 상의 단위 벡터를 각각 u_x, u_y, u_z 라 하면 X축의 단위 벡터를 물체를 구성하는 두 연결점 P_i 와 P_{i+1} 을 연결하는 방향으로 다음과 같이 설정되며

$$u_x = \frac{r_i - r_{i+1}}{\| r_i - r_{i+1} \|} \quad (3)$$

Y축의 단위벡터는 점 P_i 와 임의의 점 P_{i+2} 연결하는 벡터를 X축 단위 벡터에 수직인 방향으로 투영하여 식(4)와 같이 설정한다.

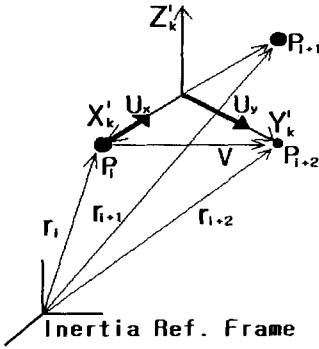


Fig. 4 Body Orientation

$$u_y = \frac{v - (v^T u_x) u_x}{\|v - (v^T u_x) u_x\|} \quad (4)$$

여기서

$$v = \frac{r_i - r_{i+2}}{\|r_i - r_{i+2}\|} \quad (5)$$

이다. 또한 Z축 단위벡터는 X축과 Y축에 동시에 수직인 벡터를 식 (6)에 의해서 생성한다.

$$u_z = u_x \times u_y = u_y \times u_x \quad (6)$$

위에서 구한 단위 벡터 u_x, u_y, u_z 를 이용하여 물체 기준 좌표계에 대한 관성 좌표계로의 자세 변환 행렬을 구하면 식 (7)과 같은 행렬식을 구할 수 있다.

$$A_k = [u_x \mid u_y \mid u_z] \quad (7)$$

2.3.4 조인트 좌표 생성

다물체 시스템 데이터에서, 조인트 좌표계의 조인트 정의점과 조인트 축은 물체기준 좌표계로부터 정의할 수 있다. 앞서 설명한 바와 같이 물체의 자세 행렬이 구해지면 조인트 축의 단위 벡터는 물체기준 좌표계로부터 다음과 같이 정의된다.

- 물체기준 좌표계에서 표시된 조인트 z축은 P_i 에서 Q_i 까지의 벡터로 정의된다.

- 물체기준 좌표계에서 표시된 조인트 x축은 P_i 에서 R_i 까지의 벡터로 정의된다.
- 물체기준 좌표계에서 조인트 y축은 조인트 z_i축과 조인트 x_i축의 벡터 외적에 의하여 생성된 벡터로 정의된다.

관성 좌표계에서의 조인트 정의점을 물체기준 좌표계의 조인트 정의점으로 변환하는 방법은 다음과 같다. 먼저 물체기준 좌표계에서 표현된 물체기준 좌표계 원점으로부터 조인트 좌표계의 원점까지의 벡터 P_i 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_i = A_i^T (r_i^P - r_{cg}) \quad (8)$$

여기서 r_{cg} 는 물체기준 좌표계의 원점의 위치 벡터를 나타내며, r_i^P 는 관성 좌표계에서 표시된 연결점의 좌표를 나타낸다. 또한 물체기준 좌표계에서 표현된 조인트 좌표의 Z축을 나타내기 위한 Q_i 점의 위치 벡터는 식(9)와 같이 구한다.

$$Q_i = P_i + A_i^T r_i^Q \quad (9)$$

여기서

$$r_i^Q = \frac{r_i^Q - r_i^P}{\|r_i^Q - r_i^P\|} \quad (10)$$

이다.

같은 방법으로 R_i 점의 위치를 식(11)과 같이 구할 수 있다.

$$R_i = P_i + A_i^T r_i^R \quad (11)$$

여기서

$$r_i^R = v - (v^T r_i^Q) r_i^Q \quad (12)$$

$$v = \frac{r_i^R - r_i^P}{\|r_i^R - r_i^P\|} \quad (13)$$

이다.

AutoDyn7 프로그램에서는 Revolute 조인트,

Cylindrical 조인트, Spherical 조인트, Translational 조인트, Universal 조인트와 같이 5 종류의 조인트 모듈을 제공한다.

3. 응답형 그래픽스

현가 모델에 대한 사용자 입력 데이터의 확인과 모델링시 발생하는 실수를 최소화하기 위해서 3차원 그래픽을 통한 현가 형상이 가시화되는 것이 필요하며, 또한 사용자가 연결점 데이터들을 변경함에 따라 현가 형상이 변하는 응답형 그래픽스가 필요하다.

응답형 그래픽스 기능을 구현하기 위해서는 현가 요소들의 3차원 형상 모델이 필요하며, 이러한 형상모델과 현가 연결점과의 관계가 정립되어 연결점 좌표에 따라서 형상의 크기가 변하여 가시화하는 알고리즘이 필요하다.

3.1 현가 요소 형상모델

AutoDyn7 차량 모델링 전처리 프로그램에서는 현가 종류에 따라 구성하고 있는 물체와 힘 요소, 즉 Spring, Strut, Control Arm, Knuckle, Tire, Tie Rod 등 현가 요소의 형상모델은 Pro/Engineer⁵⁾와 Open Inventor⁸⁾에서 제공하는 Graphics Primitives를 이용하여 모델링되었다.

3.2 현가 요소의 형상 변화와 조합된 형상의 가시화

응답형 그래픽스를 구현하기 위해서는 먼저 사용자가 정의한 현가 종류에 따른 각각의 현가 형상 요소들에 대한 형상 크기 및 위치와 자세를 사용자의 연결점 입력에 따라 변화시키고, 어셈블하여 가시화하는 방법이 필요하다.

두 개의 연결점으로 구성될 수 있는 타이 로드, 링크형 콘트롤 암, 스트럿 등의 현가 요소는 Open Inventor⁸⁾를 사용하여 두 점을 연결하여 단순한 실린더 형상으로 구현한다.

두 개의 연결점으로 연결되는 코일 스프링 현가 요소는 Pro/Engineer⁵⁾ 프로그램을 통하여 모델링하고, Open Inventor⁸⁾를 이용하여 구현하였

다.

3개의 연결점으로 이루어지는 콘트롤 암의 경우, 3개의 실린더로 연결하도록 기본 형상을 만들고, 연결점이 변하면 각 실린더의 길이, 위치 및 자세가 변경되도록 하였다.

너클의 경우는 Fig.5와 같이 Tie Rod, Control Arm, Tire 등과 같이 연결되므로 3개 이상의 연결점과 관계가 되며, 너클 센터 포인트와 다른 연결점들이 여러 개의 실린더 형상으로 연결되도록 하였다.

따라서, 연결점의 변화에 따른 조합된 형태의 현가 형상의 가시화는 Open Inventor⁸⁾의 형상 좌표 이동과 Scaling, 자세변환 함수들을 이용하여 구현하였다.

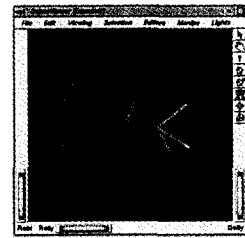


Fig. 5 Interactive Graphics for Geometric Primitives

Fig.6은 차량 모델링 과정에서 응답형 그래픽스 기능을 보여주는 그림으로써, McPherson Strut 현가 장치에 대하여 연결점을 입력하는 모습이다. Fig.7에서는 LCA의 차체와 연결점인 1, 2번 포인트의 위치와 Bottom of Strut의 위치를 변경한 후 응답형 그래픽스의 결과로 연결점의 변화와 동시에 변화된 3차원 현가 형상의 이미지를 볼 수 있다.

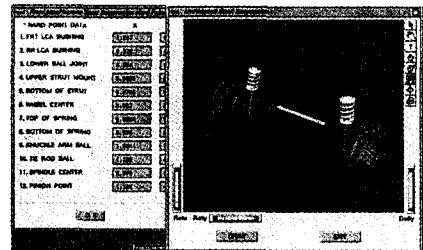


Fig. 6 Geometry before Re-Assembled

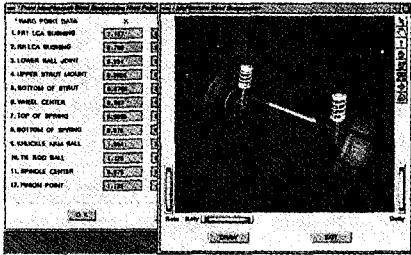


Fig. 7 Geometry after Re-Assembled

4. 가상주행 시뮬레이션 및 후처리 프로그램

AutoDyn7은 전처리 프로그램으로 모델링한 차량의 성능 분석을 위해서 정형화된 가상주행 시뮬레이션을 손쉽게 수행하고 그 결과를 3차원 애니메이션과 그래프 분석으로 성능 평가를 할 수 있도록 기능을 갖추었다. Fig.1의 “Virtual Testing(가상주행)” 메뉴에서 보논바와 같이 정상원 선회, 슬라롬 테스트 등의 다양한 정형화된 가상주행 메뉴를 볼 수 있다.

후처리 프로그램은 모델링한 차량 시스템의 결과 분석을 위하여 차체의 거동을 살펴볼 수 있는 애니메이션 기능을 제공한다. 또한 원활한 분석을 위하여 해석 결과 중에서 중요 설계지표 항목을 추출하고, 이를 그래프로 표현할 수 있도록 차량 설계 해석평가 기능을 제공하고 있다.

4.1 애니메이션 프로그램

3차원 그래픽스를 이용한 애니메이션 프로그램은 가상주행 시뮬레이션의 결과로서의 차량을 구성하는 각 물체의 위치와 자세에 관한 이력(history) 데이터와 차체, 현가, 타이어 등의 3차원 형상과 형상 좌표계를 필요로 한다. 애니메이션은 Open Inventor의 가시화 기능을 통해서 매 시간 단위로 가시화를 수행한다. 차체와 타이어 형상만 이용하여 시간에 대한 차량 시스템의 전체 거동에 대한 애니메이션을 할 수 있으며, 또한 전처리 프로그램의 응답형 그래픽스에서 모델링한 현가 형상에 대한 Pro/E와 같은 3차원 CAD 형상 데이

터를 사용하여 정교한 현가 애니메이션을 할 수 있다.

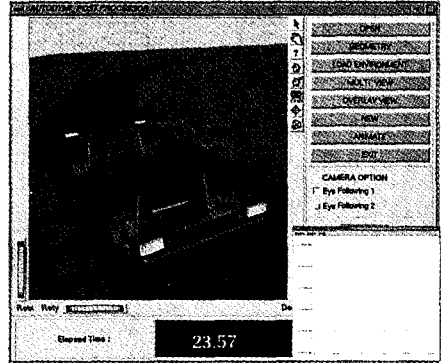


Fig. 8 Steady State Cornering Test

또한 가상 주행 애니메이션을 위하여 정상원 선회, 이중차선변경, 슬라롬 테스트 등에 대한 규정에 따른 주행시험장의 주행 환경 형상, 즉 차선 및 파일론의 위치 등을 제공하여 해당 시뮬레이션의 결과를 가상적으로 쉽게 관찰할 수 있도록 하였다. Fig.8은 정상원 선회에 대한 애니메이션으로써, 차량이 정상원을 벗어나는지 여부를 판단할 수 있다. 또한 Fig.9는 슬라롬 테스트로, 파일론 사이를 지나는 차량의 거동을 애니메이션으로 확인할 수 있다.

애니메이션 관찰을 위한 보조적인 기능으로써 프레임단위 애니메이션기능과 다중윈도우를 이용한 애니메이션 탐색기능 등을 가지고 있다.

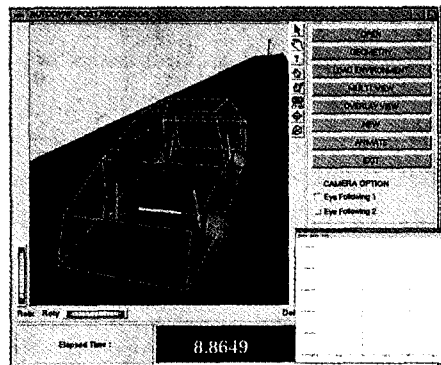


Fig. 9 Slalom Test

4.2 그래프 출력 프로그램

차량전용 프로그램으로써의 사용자 편의를 위하여 설계 시 중요 지표가 되는 설계변수를 해석 결과로부터 추출하여 이를 그래프 출력할 수 있다. 또한 실제 주행시험 데이터와 시뮬레이션 비교를 위하여 외부 데이터에 대해서도 그래프로 가시화할 수 있다. Fig.10은 슬라롬 테스트의 롤각을 나타낸 것이다.

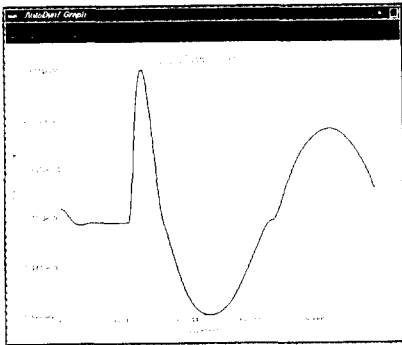


Fig. 10 Roll Angle(Slalom Test)

5. 결 론

본 연구에서는 독자적인 국내기술로 개발한 차량 해석 및 설계 전용 프로그램인 AutoDyn7의 차량 모델링 전처리 프로그램과 가상주행 시뮬레이션 및 시뮬레이션 결과를 애니메이션과 x-y plot으로 출력해주는 후처리 프로그램 모듈에 관한 이론 및 구현 방법을 설명하고 그 결과를 보였다.

차량 모델러는 차량 시스템을 차체, 현가 장치, 조향 장치 등의 부분 시스템으로 나누어 각 부분 시스템을 순차적으로 모델링하도록 하였으며 3차원 응답형 그래픽스를 통하여 사용자 모델링의 편의와 확인 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 가상 주행 시험 시뮬레이션 기능과 그에 따른 3차원 가상주행환경과 차체의 거동을 애니메이션할 수 있도록 후처리 프로그램을 개발하였고, x-y plot 기능으로 설계지표 데이터를 손쉽게 비교할 수 있도록 하였다.

후 기

본 연구는 차세대자동차 관련 G7 연구과제에 의해서 수행되었음.

참 고 문 헌

- 1) DADS User's Manual, Computer Aided Design Software Inc., 1995.
- 2) ADAMS User's Manual, Mechanical Dynamics Inc., 1994.
- 3) 김상섭, 허승진, 박기홍, 탁태오, 유완석, 김성수, "샤시시스템 종합설계 및 해석 s/W 개발", 제6회 차세대자동차 기술논문집, 자동차부품연구원, 1998.
- 4) 김성수, 한종규, 강연준, "차량 전용 설계 해석 프로그램 AutoDyn7의 그래픽 사용자 인터페이스 프로그램 개발," 추계학술대회논문집, 한국자동차공학회, 97380323, 1997.
- 5) Pro/ENGINEER User's Manual Parametric Technology Corporation, 1995.
- 6) Developer Magic : RapidApp User's Manual, SiliconGraphics, Inc., 1995.
- 7) OSF/Motif Programming's Guide, Prentice Hall, Inc., 1991.
- 8) Joise Wernecke, The Open Inventor Mentor Release 2, Addison Wesley, 1994.
- 9) Edward J.Haug, Intermediate Dynamics, Prentice Hall, Inc., 1992.
- 10) 김광석, 유완석, 김성수, 김상섭, "차량동역학 해석 프로그램 AutoDyn7의 개발 (I)," 자동차공학회 논문집, 제7권, 제3호, pp.321-330, 1999.