

차량동역학 프로그램 CADyna를 이용한 조향장치 중간축 설계 및 해석

Design and Analysis of Intermediate Shaft of the Steering System using Vehicle Dynamics Program CADyna

김 승 오*, 유 완 석**, 김 정 배***
Seungo Kim, Wansuk Yoo, Jungbae Kim

ABSTRACT

A window-based multibody dynamics program CADyna(Computer Aided Dynamics) is developed and applied for kinematic and dynamic analysis of a steering system. The program is composed of a pre-processor, a main processor, and a post-processor. The pre-processor is developed with Visual C++ and the post-processor is developed with OpenGL and TeeChart. The main processor generates the equations of motion employing velocity transformation technique. The developed program is customized for the design of an intermediate shaft in a steering system.

주요기술용어 : Vehicle dynamics(차량동역학), Steering system(조향장치), Torque variation(토크변동률), Intermediate shaft(중간축)

1. 서 론

미래의 자동차 관련기술 특징을 예측한다면, 우선 설계의 모듈화(modularization)를 들 수 있다. 모듈화가 진행되면 설계의 초기단계에서부터 타 차종과의 부품공용화 및 모듈화를 통하여 개발 및 부품조달비용의 절감이 강력히 요구될 것이다. 현재에도 구미 선진 자동차 업계에서는 7~8개의 모듈들을 조합하여 완성차를 만드는 단계까지 추진하고 있으며,¹⁾ 일본의 경우 신차개발

단계부터 부품업체와 공동으로 팀을 조직하여 부품을 공동개발함으로써 신차개발 기간 6개월 이상 단축 및 부품조달 비용의 절감을 목표로 내세우고 있다.

미래 자동차기술의 또다른 특징은 플랫폼(platform)의 공용화를 통한 차량의 개발기간 단축 및 개발비 절감을 들 수 있다고 보도되고 있다. 미국의 우수한 완성차 생산업체에서 20여 종에 달하는 플랫폼을 수년내로 7~8개로 줄일 계획을 갖고 있으며, 일본의 경우도 12개 정도의 플랫폼을 6개 정도로 줄일 계획을 갖고 있다. 국내에서는 현대자동차가 기아자동차를 인수하면서 승용 및 소형상용을 합친 20개 정도의 플랫폼을 향

* 회원, 일진오토모티브(주)

** 회원, 부산대학교 기계기술연구소

*** 회원, 삼립산업(주)

후 6개 정도로 줄일 계획이라고 알려지고 있다.

이러한 자동차관련 기술의 발전 및 동향은 자동차 부품업체에 지대한 영향을 미치게 될 것으로 보인다. 종래 단품 위주의 생산에서 모듈 위주의 공급체제로 바뀔 것이며, 부품공급 업체의 수가 획기적으로 줄어들게 될 것이므로 기술 및 가격경쟁력이 약한 업체는 도태될 것으로 보인다.

이러한 자동차 기술동향을 예측하고 경쟁에서 살아남기 위해서는 부품업체가 기술력을 키울 수밖에 없다. 완성차 업체에 하나의 모듈만을 생산하여 공급하더라도, 그 모듈이 장착된 차량 전체의 거동 및 성능을 분석할 능력이 없이는 완성차업체의 요구를 만족시키지 못할 것으로 보인다. 이러한 단계에서는 각 부품회사에서도 기존의 완성차업체가 하고 있던 수준으로 해석 및 설계 능력을 배양할 수밖에 없을 것으로 사료된다.

차량의 부품 및 모듈의 설계를 위해서는 차량 전체의 거동에 따른 여러 가지 영향들을 고려할 수밖에 없게 된다. 차량전체의 거동을 해석하기 위한 프로그램으로는 국내외에서 개발한 ADAMS,²⁾ DADS,³⁾ RecurDyn⁴⁾ 등 여러 종류의 상용프로그램이 활용되고 있으나, 공급가격적 측면에서 보면 부품을 생산하는 중소기업이 도입하기에는 다소 부담스러운 것이 사실이다.

따라서, 본 연구는 정부의 지원으로 개발하고 검증하였던 워크스테이션 버전의 차량동역학 해석 프로그램 AutoDyn7^{5,6)}을 윈도우버전으로 바꾸면서 전후처리를 새로이 개발하고, 주처리는 윈도우환경에서 컴파일될 수 있도록 수정하였다. 개발된 윈도우버전 차량동역학 해석 프로그램 CADyna(Computer Aided Dynamics)를 사용하여 조향장치 해석 및 중간축 설계용 프로그램을 개발하고 이를 생산하는 업체에 공급하였다.⁷⁾ 따라서, 이 프로그램을 제공받은 회사가 중간축의 설계 및 해석뿐만 아니라 조향계 및 현가계 모듈이 차량전체에 미치는 성능에 대한 분석을 원하는 경우, 이것도 가능토록 만들었다. 본 논문에서는 CADyna 프로그램의 운동방정식 및 전후처리의 구성과 조향장치 중간축 설계에

의 적용 예를 보여준다.

2. CADyna 프로그램의 구성

본 연구에서 개발한 윈도우버전 차량동역학 해석 프로그램 CADyna의 구성은 워크스테이션 버전인 AutoDyn7 프로그램과 비슷하게 전처리과정(Pre-processor), 주처리과정(Main-processor), 후처리과정(Post-processor)으로 구성되어져 있다.

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 전처리과정에서는 프로그램의 입력데이터를 구성하도록 되어있고, 구성된 입력데이터를 주처리과정에서 받아들여 내부적으로 운동방정식을 구성하고 수치적분을 통하여 전체 차량의 거동을 해석한다. 후처리과정에서는 해석의 결과를 그래프와 애니메이션으로 가시화 시켜준다.

2.1 전처리기(Pre-processor)

전처리 프로그램은 사용자가 손쉽게 주처리 프로그램에 넘겨줄 입력데이터를 구성할 수 있도록 Visual C++로 패널을 만들었다. 또한 모델

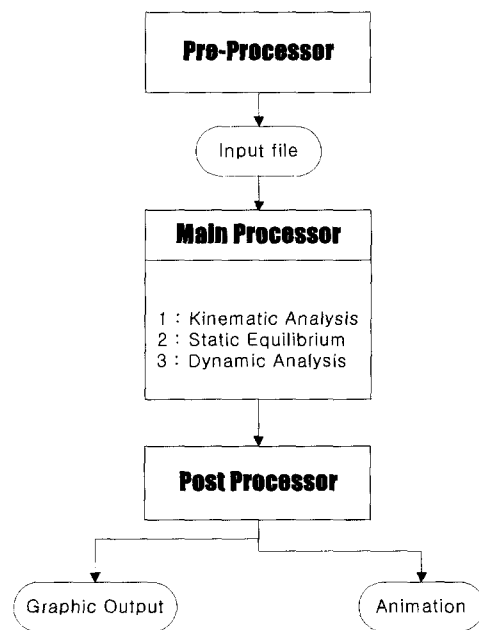


Fig. 1 General feature of the CADyna program



Fig. 2 Starting window of the CADyna program

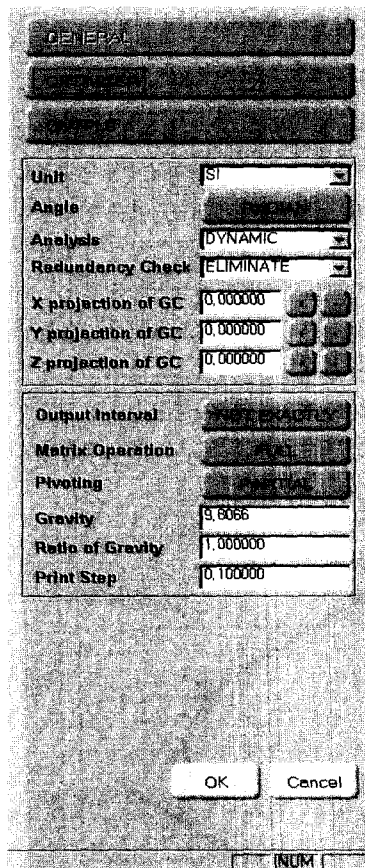


Fig. 3 System data input for CADyna

링한 화면을 회전, 이동, 확대, 축소할 수 있도록 툴바(toolbar)를 구성하였다. 전처리 프로그램의 초기화면은 Fig. 2와 같다.

전처리기에서는 시스템 데이터, 물체의 데이터, 조인트 데이터 및 힘에 대한 데이터가 입력된다. Fig. 3에는 시스템 입력 데이터를 위한 창을 예로 보여준다.

2.2 주처리기(Main-processor)

개발된 프로그램을 구성하는 주처리 프로그램은 크게 3가지 구조로 구성되어 있다. 첫 번째는 주어진 입력데이터로부터 시스템의 배열(array)을 결정하고 전체 시스템의 연결구조 및 조인트 구성을 해당 배열에 저장하여 폐쇄연쇄계의 데이터를 운동방정식의 구성에 맞는 개방연쇄계로 만드는 작업을 수행한다. 두 번째는 시스템의 배열을 초기화한 뒤 구해진 시스템의 트리(tree) 구조에 따라 각 물체의 위치를 재구성함으로써 입력데이터의 정확성을 검증하는 초기 어셈블(assembly)과정과, 주어진 초기조건에 대해 초기 속도를 결정하는 과정을 수행한다. 세 번째는 개방연쇄계로 만드는 과정에서 발생하는 구속방정식을 포함한 전체 시스템의 운동방정식을 구성하여 가속도를 계산한다. 계산된 속도와 가속도는 독립좌표에 대하여 적분을 수행한 뒤 다음 단계에서의 위치와 속도를 계산한다. 첫 번째와 두 번째 과정은 시뮬레이션 초기에 한번만 수행되나, 세 번째 과정은 주어진 종료시간까지 반복하게 된다.

Fig. 4는 본 프로그램의 주처리과정의 전체 흐름도를 표시한 그림이다. 그림에서 보면 INPUT 모듈은 입력데이터를 읽고 시스템의 기본값(default)을 설정하는 루틴이며, PREPRC는 시스템의 토폴로지(topology)를 결정하는 루틴이다. PNTANL과 PNTDJ는 조인트좌표계를 사용한 해석에 대한 배열의 포인터(pointer)를 미리 설정하는 부분이다. KAP은 기구학 해석을 수행하는 부분이고, SDF는 정적설계 인자를 계산할 수 있는 차량전용 모듈이다. SAP은 정적 해석을 수행하는 부분

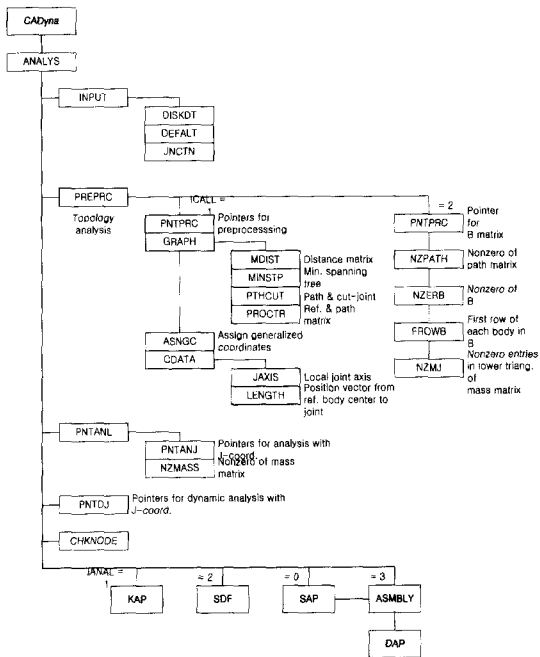


Fig. 4 Flow chart of the CADyna program

이고, ASSEMBLY는 입력데이터의 초기 어셈블을 수행하는 부분이다. DAP은 탄성체의 해석을 포함한 동역학 해석을 수행하는 모듈이다. DAP의 중간중간에 사용된 TRANQXF는 속도변환행렬^{8,9)} B와 속도변환행렬의 시간에 대한 미분 B를 생성하며, 조인트좌표계로부터 절대좌표계의 위치를 계산하는 루틴이다.

2.3 후처리기(Post-processor)

CADyna 프로그램의 후처리는 다른 프로그램과 마찬가지로 그래프 출력과 애니메이션 출력 기능을 갖고 있다. 해석결과를 그래프로 그리기 위하여 ActiveX control인 TeeChart.ocx를 사용하여 그래픽 루틴을 Fig. 5와 같이 만들었다. 애니메이션 출력을 위해서는 SGI(Silicon Graphic Inc.)사의 OpenGL(Open Graphic Library)를 사용하였다. OpenGL system을 이용하면 움직이는 삼차원 물체의 칼라 이미지를 만들 수 있고, 또한 실제와 같은 이미지를 만드는 컴퓨터 그래픽 기술을 다룰 수도 있다.

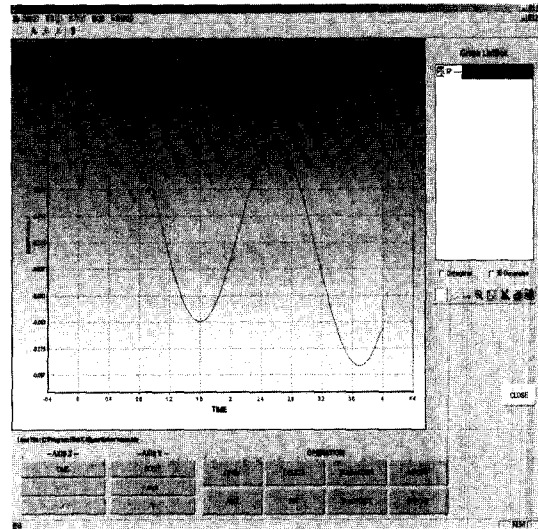


Fig. 5 Graph window of the CADyna

3. 조향장치 해석

3.1 조향장치의 구성

일반적으로 조향시스템은 Fig. 6과 같이 랙과 피니언 방식으로 되어 있으며, 조향휠, 조향칼럼, 중간축, 피니언으로 구성되어 있다. 조향장치 해석 프로그램의 입력으로는 Fig. 6에 나타낸 A, B, C, D 4점의 위치와 차량의 형태 3가지(소형(S), 중형(M), 대형(L)) 중에서 하나를 선택한다. 예제를 택해 CADyna에 입력된 값은 Table 1에 나타나 있으며, 이를 이용하여 모델링된 조향장치가 Fig. 7에 나타나 있다. 이 조향장치가 장착

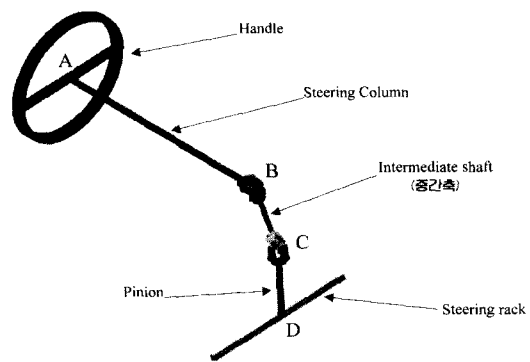


Fig. 6 Rack and pinion type system

Table 1 The positions of connecting points in steering system

점	위치	X	Y	Z
A		1.58348	-0.185	0.64381
B		0.9256	-0.185	0.378
C		0.77795	-0.08866	0.25227
D		0.74	0.0	0.085

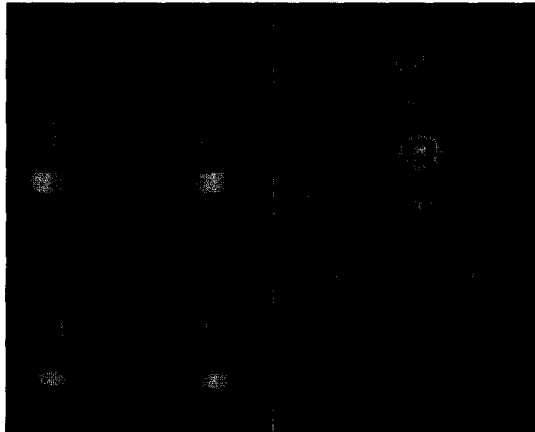


Fig. 7 Visualization of steering system(Window NT)

된 전차량 모델은 총 16개의 물체로 구성되어 있으며, 조향휠을 회전시킴으로써 구동력이 랙(rack bar)으로 전달되어 랙의 변위에 따라 타이어의 진행방향이 바뀌도록 모델링되어 있다.

3.2 조향장치 해석 및 조향 토오크

조향시스템의 중간축 양 끝단의 유니버설 조인트에서 요크가 대칭적으로 놓이고, 서로 43°로 비틀어진 상태에서 유니버설 조인트의 스파이더(spider)의 교차각을 바꾸어 가면서 차량의 거동 상태와 조향토크 및 조인트 반력 등을 구하였다. 초기 속도 40km/h인 차량에 조향입력을 가하였으며, 조향휠에 가해진 조향입력은 4초 후 0°에서 최대진폭을 50°까지 4초간의 전사인(full sine)곡선으로 입력하였다.

Fig. 9에 나타난 조향토크는 조향입력에 따라 이력현상(hysteresis)을 보이고 있다. 표시된 각도

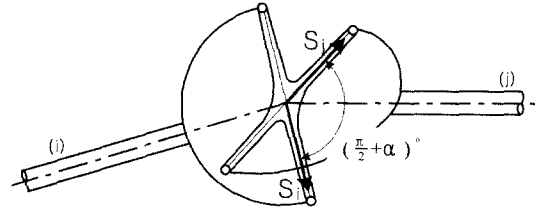


Fig. 8 Spider cross angle

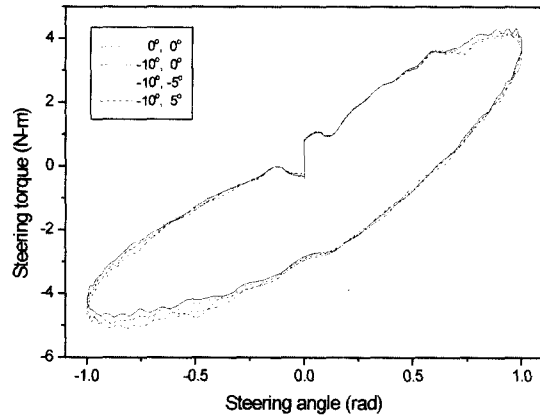


Fig. 9 Steering torque vs. steering angle

는 중간축의 양 끝단에 위치한 유니버설 조인트의 스파이더 교차각이 모두 90°가 되도록 두고, 컬럼-중간축, 중간축-피니언 사이에 위치한 스파이더 교차각의 변화량을 의미한다. 타이어가 방향을 바꿀 때 타이어와 노면 사이의 접촉면에 마찰력이 작용하는데 마찰력에 의해 작용하는 횡방향 힘의 중심점과 타이어의 중심점을 지나는 수직평면 사이의 거리(pneumatic trail)와 횡방향 힘의 곱으로 복원 모멘트를 구하였다. 이 복원 모멘트에 의해 가해주어야 할 조향토크를 알 수 있는데, 스파이더의 교차각에 따라서 최대 6% 정도 차이가 남을 알 수 있다.

4. 중간축 설계

조향 입력을 일정 회전 각속도 π rad/sec로 4초간 가했을 때, 피니언축의 회전 각속도와 비교하였다. 초기 설계조건으로 중간축에서 양 끝단의 유니버설 조인트의 요크가 대칭으로 놓여 있

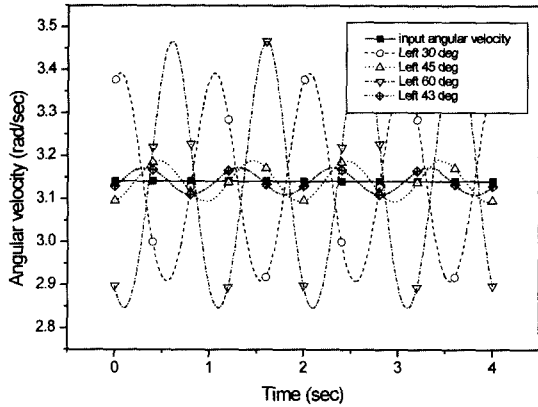


Fig. 10 Steering angle velocity vs. pinion angle velocity

어 축 방향이 평행하게 유지한다고 가정하였다. 평행한 축의 방향을 서로 비틀어지게 하여 그 비틀림각을 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하였으며 입력각속도에 대한 출력각속도를 비교하고 그 결과는 Fig. 9에 도시하였다.

일반적으로 조향휠 설계시 조향칼럼과 피니언축의 각속도 변화는 최대 3% 이내가 되도록 설계한다.¹⁰⁾ 입력축의 유니버설 조인트에 대해서 출력축의 유니버설 조인트의 비틀림각은 피니언 중심에서 조향휠 방향으로의 축에 대해 오른 쪽과 왼쪽으로 회전하면서 시뮬레이션하여, 왼쪽으로 약 43° 돌렸을 때 각속도 변화가 최소가 되는 것을 확인할 수 있다. 이때의 각속도 변화율은 $\frac{(3.1730-\pi)}{\pi} \times 100 \approx 1.0\%$ 로 설계조건을 만족한다.

조향휠을 일정 속도로 회전할 때, 피니언의 각속도 변화는 랙에 전달되는 병진속도 변화를 일으켜 타이어에 전달되는 조향 입력이 불규칙하게 전달되어 조향특성이 나빠지게 될 수 있다. 또한 타이어로부터 오는 조향휠의 반력과 반토크도 불규칙해져 운전감과 안정성이 떨어지게 된다.

5. 결론

본 연구에서는 윈도우버전으로 개발한 차량동역학 CADyna 프로그램과 이를 이용한 조향장

치 해석 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 Visual C++과 OpenGL을 사용하여 사용자 인터페이스의 편리성과 시각화(visualization)를 구현하였다.

또한, 조향 장치의 설계를 위한 프로그램에서는 중간축을 만드는 회사에서 요구하는 자료를 입력으로 받아들여 회사에서 원하는 항목들을 출력하도록 하는 고객지향적(customized) 프로그램으로 만들었다. 프로그램에서는 조향 장치를 구성하는 연결 점의 좌표를 입력하여 최적의 중간축 비틀림 각도와 스파이더 교차각을 계산한다. 이렇게 최적화된 조향시스템을 전차량모델에 부착하여 시뮬레이션함으로써 조향 장치를 이루는 부품들간의 반력을 계산하게 하였다.

앞으로도 본 프로그램과 같은 고객지향적 프로그램 개발을 지속적으로 개발하면 중소부품업체가 생산하는 차량 부품의 해석과 설계, 애로기술의 해결, 설계능력을 보유하게 될 것으로 보이며 나아가서는 독자적 기술력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 1) 글로벌サプライヤーの世界再編と モジュールシステム化動向, 株式会社 FOURIN, 2000.
- 2) ADAMS User's Guide, Mechanical Dynamics Inc., Ann Arbor, MI, U.S.A., 2000.
- 3) DADS User's Manual, CADSI, Oakdale, IA, U.S.A., 2000.
- 4) RecurDyn Program, Function Bay Inc., 2000.
- 5) 김광석, 유완석, 김성수, 김상섭, “차량동역학 해석 프로그램 AutoDyn7의 개발(I) - 프로그램의 구성 및 주요 알고리즘,” 한국자동차공학회 논문집, 제7권 제3호, pp.321-330, 1999.
- 6) 한종규, 김두현, 김성수, 유완석, 김상섭, “차량동역학 해석 프로그램 AutoDyn7의 개발(II) - 전처리 및 후처리 프로그램,” 한국자동차공학회 논문집, 제8권 제3호, pp.190-197, 2000.
- 7) 유완석, “조향장치 해석프로그램 개발(NT버전),” 우성정밀 최종보고서, 2001.

- 8) Sang-Sup Kim, M. J. Vanderploeg, "A State Space Formulation for Multibody Dynamic Systems subject to Control," Univ. of Iowa, Tech. Report No. 84-20, 1984.
- 9) B. H. Lee, W. S. Yoo, B. M. Kwak, "A Systematic Formulation for Dynamics of Flexible Multibody Systems using Velocity Transformation Technique," I Mech E, J. of Mechanical Engineering Science, Vol.207, No.C4, pp.231-238, 1993.
- 10) 김용서, 조진호, 박경석, 정태용, 임병수, 자동차 기술 핸드북(설계편): 제8장 조향, 한국자동차공학회, 1996.