

비선형 유한요소 해석프로그램(LS-DYNA)을 이용한 차량 동역학해석

민한기[†] · 이 현* · 양인영**

성화대학 항공·자동차정비과 · *조선대학교 수송기계부품 공장자동화 연구센터 · **조선대학교 기계공학부
(2002. 5. 3. 접수 / 2002. 8. 18. 채택)

Vehicle Dynamic Analysis Using Nonlinear Finite Element Analysis Program(LS-DYNA)

Han-ki Min[†] · Hyun Lee* · In-young Yang**

Department of Aircraft and Automobile Maintenance, Sungwha College

*Factory Automotion Research Center for Parts of Vehicles Chosun University

**Department of Mechanical Engineering, Chosun University

(Received May 3, 2002 / Accepted August 18, 2002)

Abstract : Structural integrity of either a passenger car or a light truck is one of the basic requirements for a full vehicle engineering and development program. The results of the vehicle product performance are measured in terms of ride and handling, durability, noise/vibration/harshness(NVH), crashworthiness and occupant safety. The level of performance of a vehicle directly affects the marketability, profitability and, most importantly, the future of the automobile manufacturer. In this study, we used the virtual proving ground(VPG) approach for obtaining the dynamic characteristics. VPG approach uses a nonlinear, dynamic, finite element code(LS-DYNA3D) which expands the application boundary outside the classic linear, static assumptions. VPG approach also uses realistic boundary conditions of tire/road surface interactions. To verify the predicted dynamic results, a single lane change test has been performed. The prediction results were compared with the experimental test results, and the feasibility of the integrated CAE analysis methodology was verified.

Key words : handling, noise/vibration/harshness, VPG approach, dynamic characteristics, lane change

1. 서 론

차량의 개발과정에서 동특성, 피로강도, NVH 및 충돌안전 성능 등의 개선을 위하여 많은 시간과 비용을 투자하는 이유는 이것 들이 시장에서의 경쟁력과 직결되기 때문이다. 최근에는 컴퓨터의 CPU와 응용 소프트웨어의 급속한 발전에 힘입어 시제차량(prototype vehicle)이 만들어지기 이전에도 CAE 도구(tool)를 이용한 동역학해석 및 내구성 설계가 가능해져서 실차 시험에 소요되는 시간과 비용을 줄이고, 나아가서 차량개발기간을 단축할 수 있게 되었다.

본 연구에서는 완전히 통합된 CAE환경을 구축하기 위하여 (1)하나의 해석 프로그램(one program)에서, 하나의 해석모델(one model)로, 한번의 해석(one

process)만으로도 필요한 모든 결과를 산출할 수 있는 가상주행 해석기법을 개발하고, (2)이 방법은 기존의 해석기법과는 달리 차량동역학, 준정적 응력해석 및 피로해석이 서로 다른 응용소프트웨어를 사용하여 중첩하는 과정을 거치는 것이 아니라 오직 하나의 응용소프트웨어에서 한번의 해석만으로 원하는 차량의 동특성을 구할 수 있으므로 해석에 소요되는 시간 및 투입인원을 줄일 수 있는 방법을 제안하고, (3)정확도가 향상된 기존의 가상주행기법을 이용한 동응력 해석모델을 변경 없이 활용하여 차량동역학 해석이 가능한 해석기술을 개발하고자 한다¹⁾. Fig. 1은 가상주행기법을 이용한 해석절차 이다.

2. 기존 해석방법과의 차별성

해석대상 차량의 전륜 현가장치는 더블위시본형

[†]To whom correspondence should be addressed.
abchanki@hanmail.net

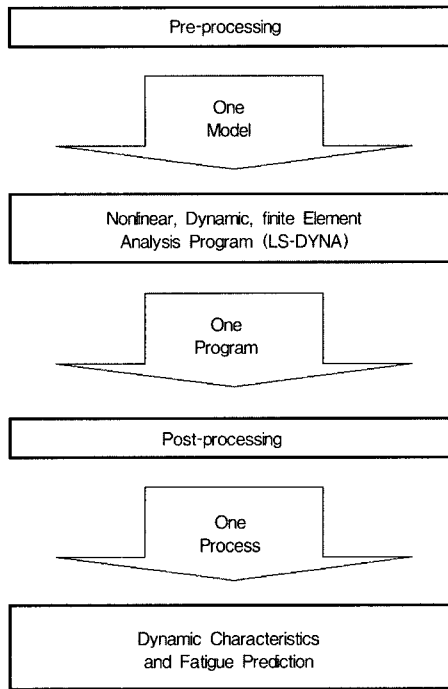


Fig. 1. The routine for vehicle dynamic and fatigue strength evaluation using VPG approach

(double wishbone type)의 독립현가 방식이고 후륜 현가장치는 4개의 링크를 갖는 차축현가 방식이다. 모델의 시뮬레이션은 차량이 80km/h의 속도로 직진 주행하다가 30m구간에서 좌측에서 우측차선으로 차선을 변경하는 경우를 선정하였다. 그 목적은 차선변경시 차량의 무게중심에서 횡 방향 이동거리 (lateral displacement), 횡가속도(lateral acceleration), 롤각 (roll angle), 요각(yaw angle), 롤각속도(roll rate), 요각속도(yaw rate) 등의 동적 응답특성을 예측하는 것이다. 현재까지 주로 이용되고 있는 다물체 동력학 해석프로그램을 이용한 차량 동력학해석 방법은 응력해석, NVH해석, 충돌해석 등의 분야에서 이용한 유한요소 모델을 대부분 활용할 수 가 없었다.

최근 들어 다물체 동력학해석 프로그램과 유한요소 해석 프로그램간에 데이터의 교환을 통해 강체로 표현되던 각 부품들의 유연성을 고려할 수 있는 유연다물체 동력학해석 방법이 제시되고 있다²⁾. 그러나 여전히 유한요소 해석모델과 동력학 해석모델은 서로 다른 프로그램에서 계산을 수행하게 되고, 2개의 서로 다른 특성을 지닌 수학적 모델이 존재하게 된다.

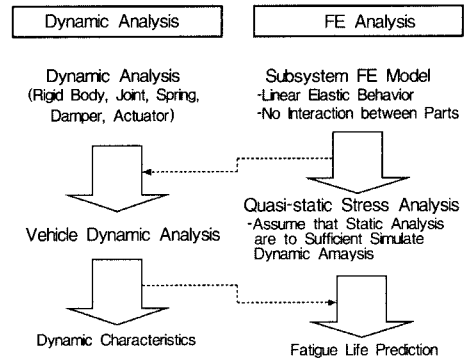


Fig. 2. Current methods and assumptions

기존의 차량 동력학해석과 준정적 응력 해석방법은 Fig. 2에 보인 것과 같이 동력학 및 응력해석을 동일한 해석 소프트웨어를 활용하여 수행하는 것이 불가능하였다. 따라서 소프트웨어간의 데이터 인터페이스(interface)에 소요되는 시간과 비용이 많을 수 밖에 없었다.

가상주행 해석기법은 기존의 해석기법과는 달리 동특성해석과 응력해석이 서로 다른 응용소프트웨어를 사용하여 중첩하는 과정을 거치는 것이 아니라 오직 하나의 응용소프트웨어에서 한번의 해석만으로 원하는 차량의 동특성을 구할 수 있다. 또한 재료의 비선형성, 노면의 형상, 노면과타이어의 접촉, 타이어의 공기압, 부품간의 접촉문제등도 실제에 가깝게 모사하는 것이 가능하다³⁾. Fig. 3은 가상주행 해석기법의 기본개념을 도표화한 것이다.

3. 차량동력학 해석모델

연구대상차량은 프레임이 있는 지프형 승용차로서 계산시간을 줄이기 위하여 타이어와 프레임은 제외한 모든 부품은 강체로 가정하였다. 타이어는

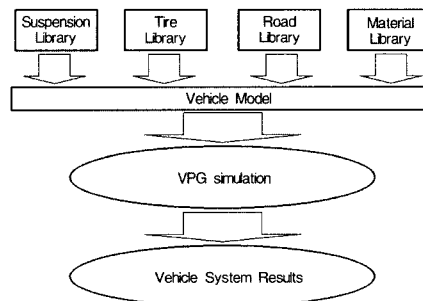
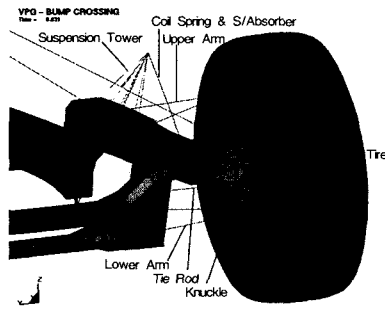
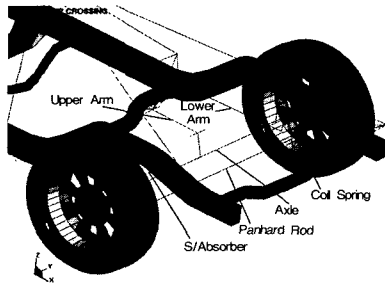


Fig. 3. The VPG concept

회일의 림에 끼워져 일체로 회전하며 노면으로부터의 충격을 흡수하고 또 노면과 마찰하여 자동차의 구동, 조향, 그리고 제동을 가능하게 한다. 본 연구에서는 보다 실제에 가까운 타이어를 모델링하기 위하여 박판 및 솔리드 요소를 이용하였다⁴⁻⁶⁾. 현가계는 DADS나 ADAMS와 같은 범용 동력학해석 프로그램을 이용한 동력학해석과 동일한 방법으로 조인트, 스프링, 댐퍼, 액추에이터 등으로 부품들을 연결하여 모델링하였다. Fig. 4는 앞, 뒤 현가계와 타이어의 유한요소 모델이다. 타이어는 고무의 특성을 고려하여 모델링하였고, 액슬과 현가계의 각종 링크들은 강체(보 요소)로 모델링하였다⁷⁻⁹⁾. 전체 해석 모델의 형상은 Fig. 5와 같다.



(a) Front



(b) Rear

Fig. 4. Tire and suspension model

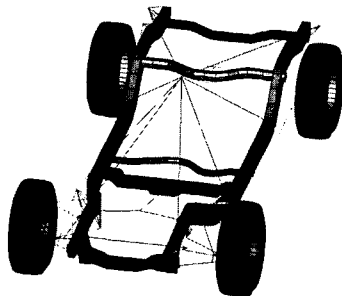


Fig. 5. 80km/h lane change simulation model

4. 80km/h 차선변경 시뮬레이션

차량이 80km/h의 속도로 평탄한 아스팔트 노면 위를 직진 주행하다가 30m 간격으로 놓여진 고무 원뿔 사이에서 차선을 변경하는 경우를 가정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 이때 차량은 승차 가능한 인원이 모두 탑승한 상태와 동일한 조건으로 하였다. 그리고 타이어의 공기압은 해석대상 차량의 표준공기압을 적용하였으며 노면상태는 건조한 것으로 가정하였다.

해석에서 가장 중요한 인자라고 할 수 있는 조향각의 입력은 조향휠에서 직접 입력하지 않고, 기어박스의 출력부에서부터 시작하여 너클에 전달되어 조향이 되도록 하였다. 다시 말해서 조향휠에서부터 기어박스 입력부까지는 해석의 편의상 생략하였다.

가상주행 해석기법을 이용한 80km/h 차선변경 해석을 통해 구한 차량의 이동경로를 Fig. 6에 나타내었고, 차선변경 해석시 동적응답특성의 주요항목인 차량 무게중심에서의 횡방향 이동거리, 횡가속도, 롤각, 요각, 롤각속도, 요각속도를 Fig. 7~Fig. 9에

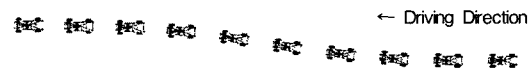


Fig. 6. Graphic Animation of 80km/h Lane Change Simulation

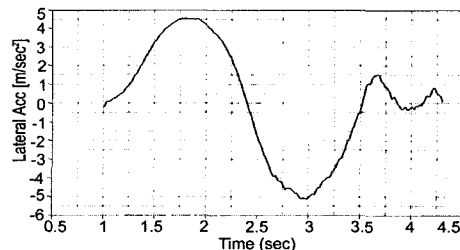
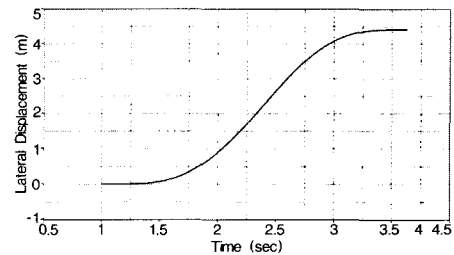


Fig. 7. Lateral displacement and acceleration of 80km/h lane change simulation

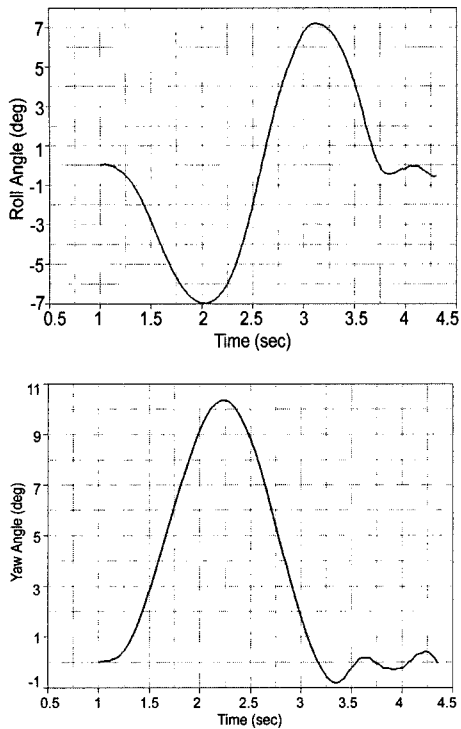


Fig. 8. Roll and yaw angles of 80km/h lane change simulation

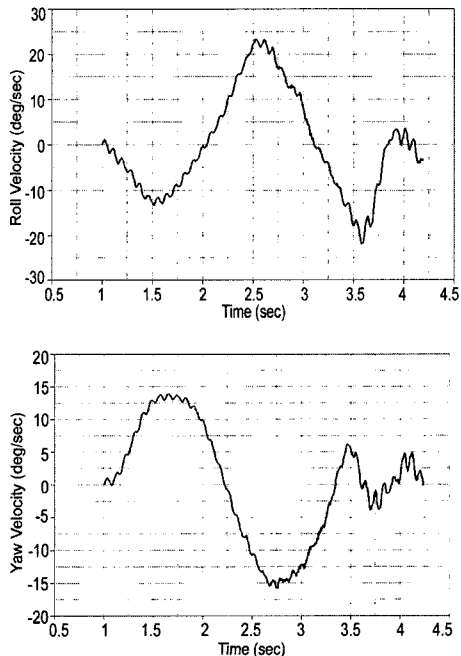


Fig. 9. Roll and yaw velocities of 80km/h lane change simulation

나타내었으며, 또한 차선변경 해석시 휘일중심 (wheel center)에서의 동하중 이력을 Fig. 10에 나타내었다. 모든 그림에서 차선변경이 시작되는 시점은 1초이며, 1초 이전의 해석결과는 나타나지 않았다.

5. 해석 및 시험결과의 비교

80km/h의 속도로 차선변경을 이행할 때 차량 무게중심에서의 동적응답 특성 해석결과는 시험결과와 경향이나 크기 모두 큰 차이 없이 유사한 것으로 나타났다. Fig. 11은 해석결과와 타당성을 검증하기 위하여 해석 대상차량과 동일한 제원의 차량으로 동일 조건하에서 차선변경시험을 실시하여 얻은 차량 무게중심에서의 횡가속도, 롤각, 롤각속도, 요각속도 등을 해석결과와 비교한 그림이다.

롤각의 경우에는 다른 결과에 비해 상대적으로 큰 차이를 보이고 있다. 그 이유는 시험을 실시한 도로가 완전히 평면이 아닌 구배가 있는 도로였기 때문에 차선변경이 시작되지 않은 직진구간에서 일정 각도만큼 기울어진 상태에서 주행하다 차선변경을 시작했기 때문에 발생한 문제인 것으로 보인다. 또한 롤각속도와 요각속도를 비교한 그림에서 실제 시험결과에 비해 해석결과가 불규칙적인 선으로

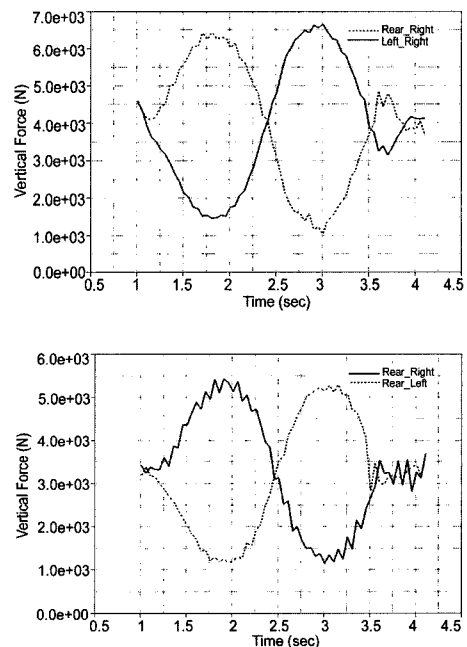


Fig. 10. Wheel center load histories of 80km/h lane change simulation

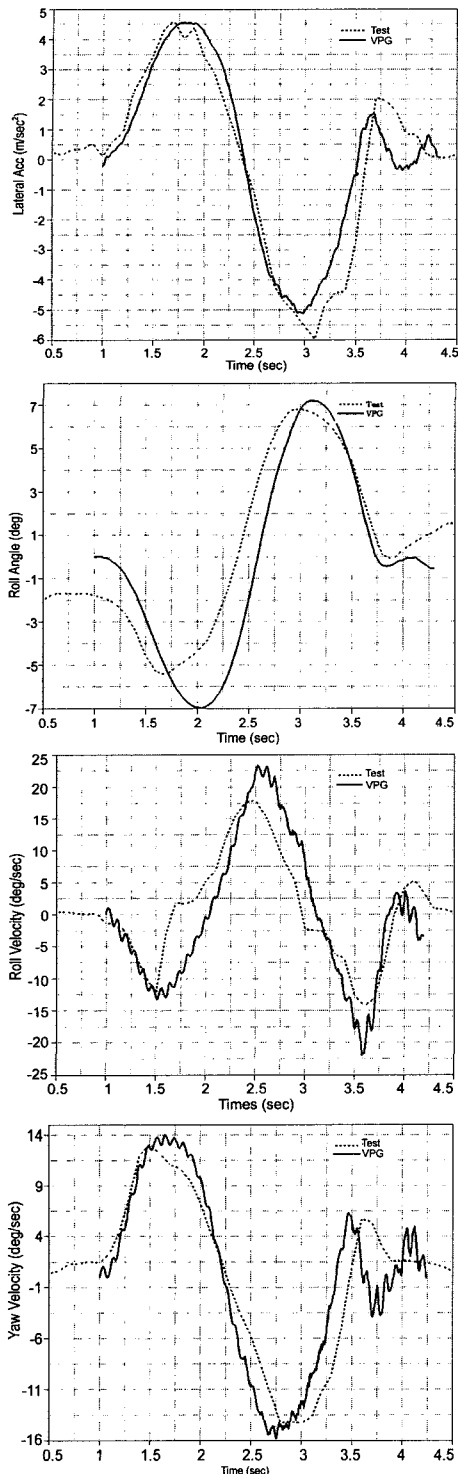


Fig. 11. Comparison of dynamic characteristics between test and analysis

보이는 것은 데이터를 기록하는 시간 간격이 서로 달라서 발생한 현상이다. 만일 실차 시험을 실시할 때의 데이터를 기록하는 시간 간격과 해석 시의 시간 간격이 동일하다면 시험결과를 나타내는 점선도 해석결과를 나타내는 실선과 같이 불규칙적인 경향을 보였을 것이다.

차량이 차선변경을 이행할 때 나타나는 차량의 자세를 정면에서 일정시간 간격으로 촬영하여 해석결과와 비교한 그림을 Fig. 12에 나타내었다. 해석결과와의 그래픽 애니메이션과 실차시험 장면을 촬영한 사진에서 차량의 거동이 서로 유사함을 알 수 있다.

6. 결론

실도로 주행조건을 재현할 수 있는 가상주행기법을 이용하여 충돌해석으로부터 차량동력학해석, 피로해석에 이르기까지 하나의 해석모델로 하나의 응용 소프트웨어만을 이용하여 차량의 성능평가에 필요한 모든 결과를 산출할 수 있는 통합된 CAE 환경을 구축하기 위해 실시된 본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 기존의 동력학 해석방법에 비해 투입인원과 비용을 절감할 수 있는 가상주행 해석기법을 이용한 차량동력학 해석방법을 개발하였다.
- (2) 충돌해석 모델을 변경 없이 이용할 수 있으므로 차량동력학 해석을 위한 모델링에 소요되는 시간을 90%이상 줄일 수 있다.
- (3) 차량의 개발단계에서 필요로 하는 CAE 해석을 완벽하게 하나로 통합된 환경하에서 실시할 수 있는 토대를 마련하였다.
- (4) 본 연구에서 제시한 가상주행 해석기법은 충돌, 차량동력학, 피로해석 뿐만 아니라 NVH나 현가계의 기구학해석 등에도 활용 가능하다.

참고문헌

- 1) G. S. Choi, H. K. Min, S. H. Paik, "Dynamic stress analysis of vehicle using virtual proving ground approach," SAE Technical paper Series 2000-01-0121, 2000.
- 2) W. S. Yoo and E. J. Haug, "Dynamics of flexible mechanical systems using finite element lumped mass approximation and static correction modes," Technical Report 85-7, University of Iowa.

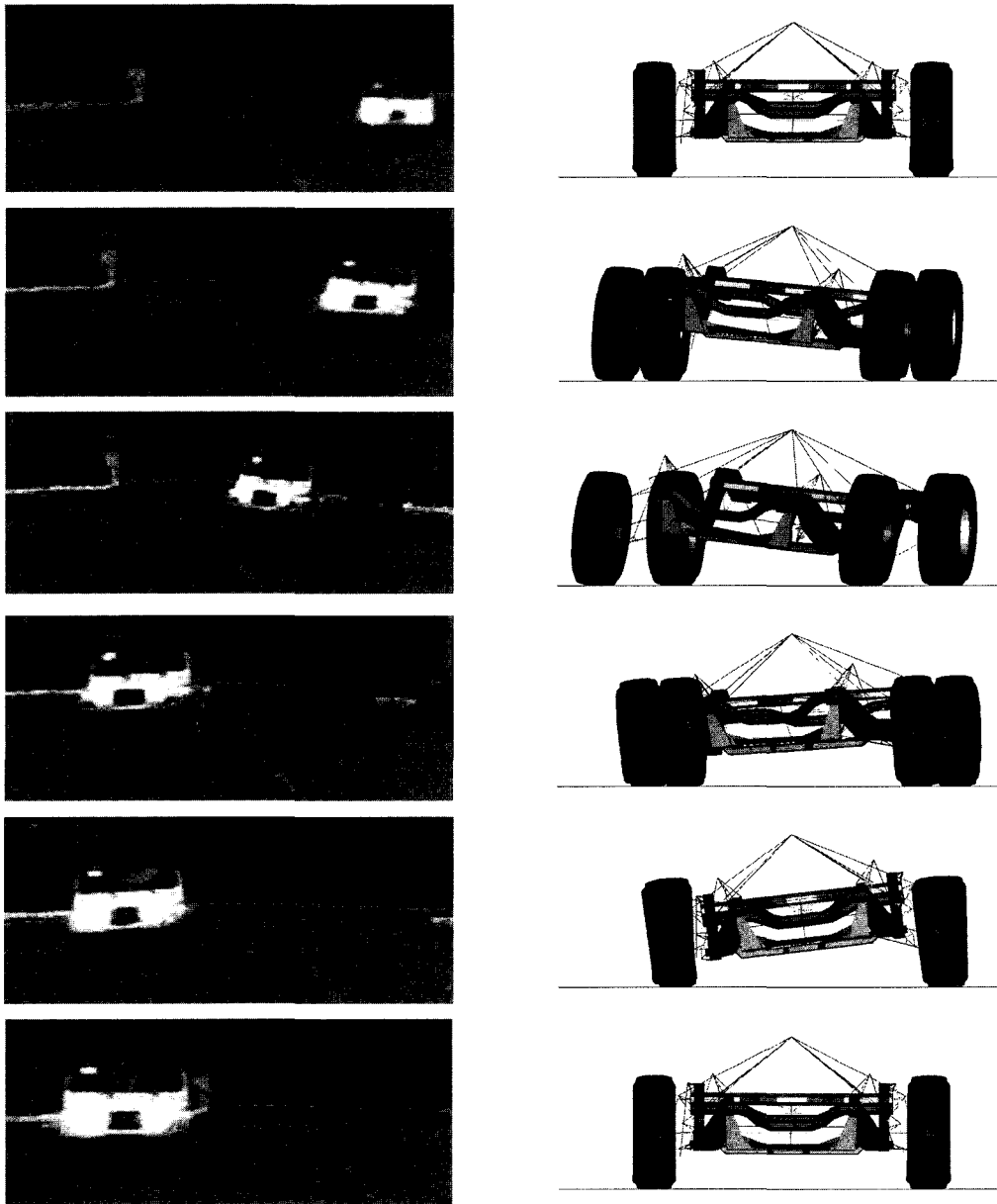


Fig. 12. Comparison of vehicle motion between test and analysis

- 3) Y. Zhang and A. Tang, "The CAE revolution and the development of the virtual proving ground approach," The 4th International LS-DYNA Conference, Minneapolis, Minnesota, Sept., 1996.
- 4) eta/VPG users processor manual, ETA, 1133 E. Maple Rd., suite 200 Troy, MI 48083 USA.
- 5) LS-DYNA users manual, LSTC, Livermore, California 94550.
- 6) Z. H. Zhong, Finite element procedures for contact-impact problems, Division of Solid Mechanics, Department of Mechanical Engineering, Linkoping University, Sweden, 1993.
- 7) A. Tang, A. Farahani, and T. Palmer, Kinematic and dynamic nonlinear finite element analysis of a

- multibody linkage system using LS-DYNA , The 3rd International LS-DYNA Conference, Kyoto, Japan, Nov., 1995.
- 8) Y. Zhang and A. Tang, "Validation of a FEA tire model for vehicle dynamic analysis and full vehicle real time proving ground simulations," SAE Paper No. 971100, 1997.
- 9) J.S. Majcher, R.D. Michaleson, and A.R. Solomon, "Analysis of vehicle suspensions with static and dynamic computer simulation," SAE paper No. 76183.