

실시간 다물체 동역학 해석기법 연구

유원석 부산대학교 기계공학부, 교수

e-mail : wsyoo@pusan.ac.kr

이 글에서는 실시간 차량 해석을 위한 부분구조합성법과 다물체 동역학 해석 프로그램 개발 및 실제 다물체 동역학 분야가 적용되는 운전 시뮬레이터에 대해 소개하고자 한다.

실시간(real time) 차량해석(vehicule dynamic analysis)을 위해서는 다음과 같은 과정이 필요하다. 먼저, 차량에 대한 운동방정식을 유도한 뒤 시스템에 적용하기 위해서 프로그래밍을 해야 한다. 또한, 유도된 운동방정식은 복잡한 미분 방정식으로 구성되어 있기 때문에 실시간을 보장하면서 운동방정식을 풀기 위한 최적의 수치적분 알고리즘이 필요하다. 현재 차량 설계자들이 쉽게 접근할 수 있도록 많은 운동 방정식 해석 프로그램이 개발되었고, 실시간 차량 동역학 해석기술은 차량 운전 시뮬레이터(driving simulator) 분야에서도

많이 연구되고 있다.

실시간 차량 해석을 위한 부분구조 합성법

다물체 동역학(multibody dynamics) 해석기술은 차량의 개발 및 성능 향상에 많은 기여를 하고 있는 분야이다. 동역학 해석을 통해서 제어시스템의 설계 및 성능 향상에 큰 역할을 할 수 있어 최근에는 제어나 진동 해석에도 많이 사용되고 있다. 이러한 다물체 동역학 해석기술은 정확한 해를 구하면서도 실시간으로 해석을 가능하게 하는 방법들이 연구되고 있다.

실시간 차량 동역학 해석기술은 주로 시뮬레이터 분야에서 많이 연구되어 왔으나, 최근에는 무인자율주행 차량 등에 적용하기 위하여 응용범위를 확대하고 있다. 차량 시뮬레이터나 항공기 시뮬레이터와 같은 가상환경을 구현하기 위해서는 물리적 현상을 재현해야 하며 이러한 역할을 담당하는 것이 동역학 솔버(solver)이다. 이때 동역학 모듈은 제어를 위한 보조적 역할을 하는 것이 아닌 시뮬레이터 조작자의 입력에 대한 모든 물리적 반응 값을 계산하고 출력하는 중추적 역할을 수행한다.

실시간 차량 해석을 위해서 복

잡한 차량에 대해 운동방정식을 정립하는 방법으로 전체 시스템을 부분 시스템으로 나누어서 작은 시스템의 효율적인 계산을 통해 전체적인 해석 효율을 얻을 수 있는 부분구조 합성법이 적합하다. 부분시스템합성기술의 장점은 복잡한 운동방정식을 분해할 수 있고 전체를 구성하는 작은 시스템의 효율적인 계산을 통해 전체적인 해석 효율을 높일 수 있기 때문이다. 그림 1에는 차량을 부분구조로 나누는 예를 보여 주고 있다. 최근 대두되고 있는

실시간 동역학 모델방법의 하나인 HILS(Hardware In the Loop Simulator)에서도 부분시

스템합성기술을 도입하여 사용하고 있다. 그림 2에는 부분구조로 나누어진 시스템의 운동방정식을

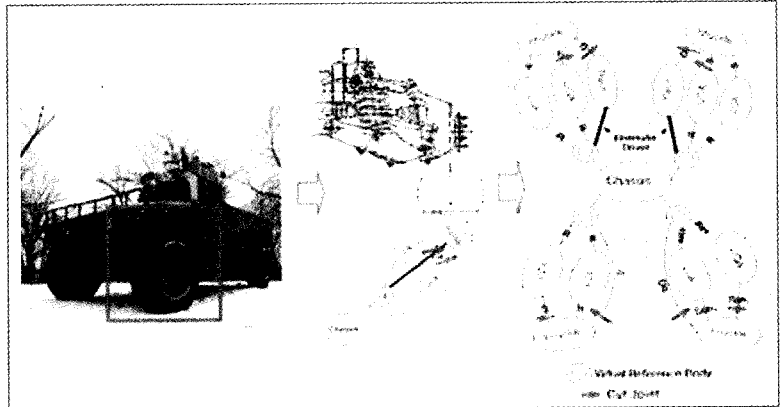


그림 1 전체 차량을 부분 시스템으로 나누는 예

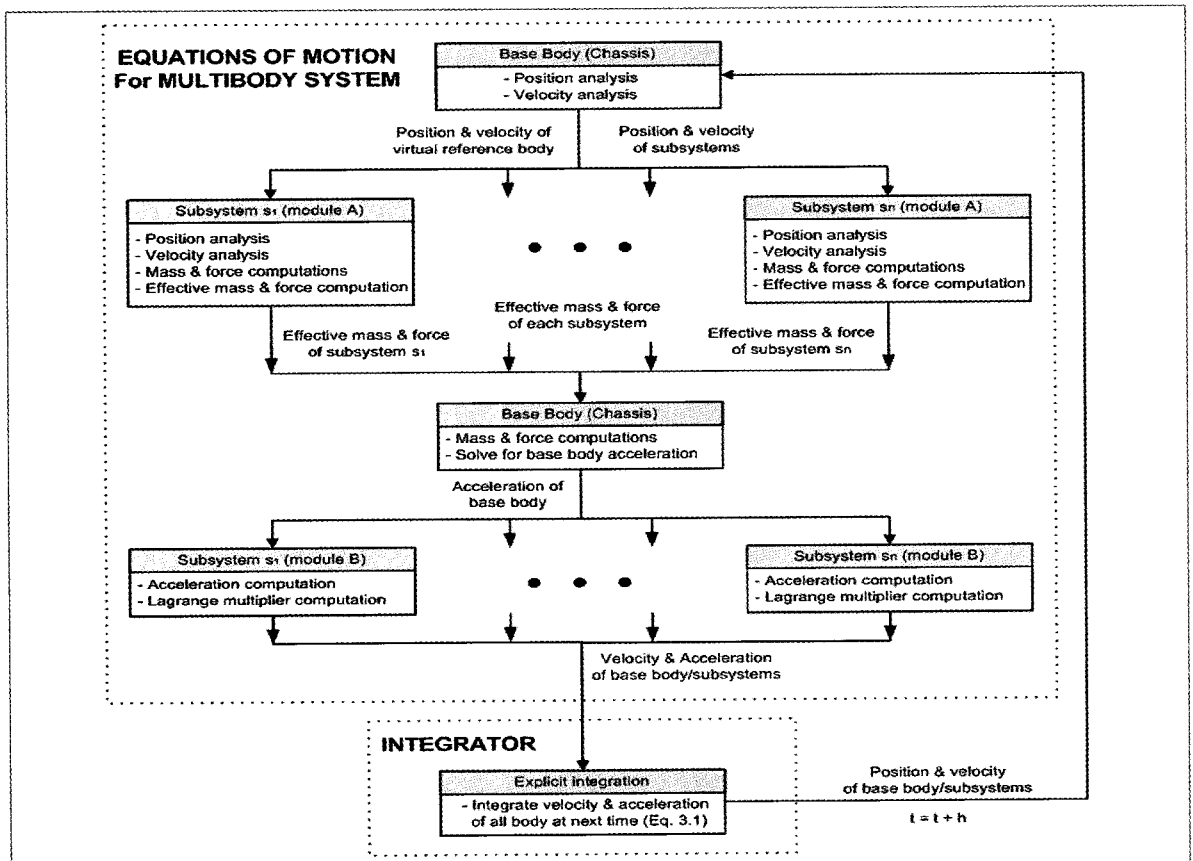


그림 2 부분시스템 합성 프로그램의 구조도

통합하는 과정을 보여주고 있다.

실시간 차량 해석을 위한 타이어 모듈

유도된 운동방정식을 시스템에 적용하기 위해서는 컴퓨터 언어를 통한 프로그램이 필요하다. 모듈화 프로그래밍은 동역학 해석 프로그램의 구성을 보다 합리적으로 설계하여 추가적인 외부 입력에 대해 빠르게 대응할 수 있는 프로그래밍을 의미한다. 또 다른 서브시스템이 추가되면 전체 운동방정식이 변하기 때문에 프로그램의 수정이 어려워지게 되므로, 이를 보다 합리적으로 구성하기 위해서는 각 서브시스템을 모듈화하여 프로그램이 구조적 독립성을 갖도록 하는 것이 유용하다.

운동방정식은 복잡한 미분 방정식으로 구성되어 있기 때문에

해석하기 위해서는 수치적분 알고리즘이 필요하다. 적분알고리즘에 따라 계산의 효율성 및 해석의 정확성이 바뀌기 때문에 적분 알고리즘의 개선은 실시간 해석 능력에 직접적인 영향을 끼치는 중요한 연구 분야이다. 최근 다물체 동역학 해석 분야에서 많이 사용되고 있는 적분기는 뉴마크(Newmark) 적분기를 바탕으로 한 알파(α) 적분기로서 HHT- α 적분기로도 잘 알려져 있는 내재적(implicit) 적분기이다. 이 적분기는 다음 해석 시간의 가속도 값을 이용하여 적분을 수행하기 때문에 적분의 안정성과 정확성을 유지할 수 있으며 비교적 큰 적분 스텝(step)을 사용하여도 정확한 계산을 수행할 수 있다. 또한, 최근 국내 학자에 의해 개발된 G- α (Generalized- α) 적분기는 정확성에서 기존 HHT- α 적분기를 뛰어 넘는다. 이러한 효율

적이고 강인한 적분 알고리즘은 동역학 해석의 실시간성 확보에 매우 중요하다.

차량에서 가장 먼저 지면과 닿는 부분은 타이어이며, 타이어에서 발생하는 힘이 차량 전체의 거동에 영향을 미치게 된다. 그림 3에는 타이어에서 생겨나는 힘을 표시하기 위한 좌표계를 나타내고 있다. 이 분야에 대한 연구는 오랜 시간에 걸쳐 진행되었으며 대표적인 예로는 미국 아리조나 대학(Uni. of Arizona)에서 개발한 UA-tire 모델과 파제카(Pacejka) 교수에 의해 개발된 매직-포뮬러(Magic-Formula) 타이어를 들 수 있다. 이 타이어 모델은 지금도 자동차회사에서 사용하고 있는 매우 좋은 해석 결과를 나타내는 타이어 모델이다. 타이어 모델은 지금도 계속 개발 중이며 성능 향상에 주력하고 있다. 가장 최근에 개발된 타이어 모델로는 F-tire 모델이 있으며 이 방법은 타이어 모델을 유한요소 형태로 근사화한 모델로서 정확도 측면에서 가장 우수하다. 하지만 해석에 소요되는 시간 측면에서 실시간으로 사용하기에는 불리한 점이 있다. 실시간 동역학 해석을 구현하기 위해서는 보다 빠른 속도로 해석할 수 있는 단순한 모델이 필요하고 이런 타이어에 대한 연구는 계속 진행 중이다.

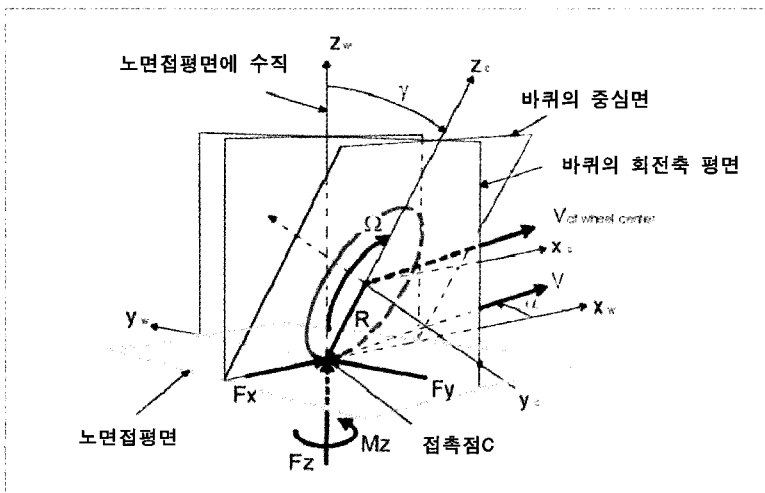


그림 3 타이어 좌표 시스템

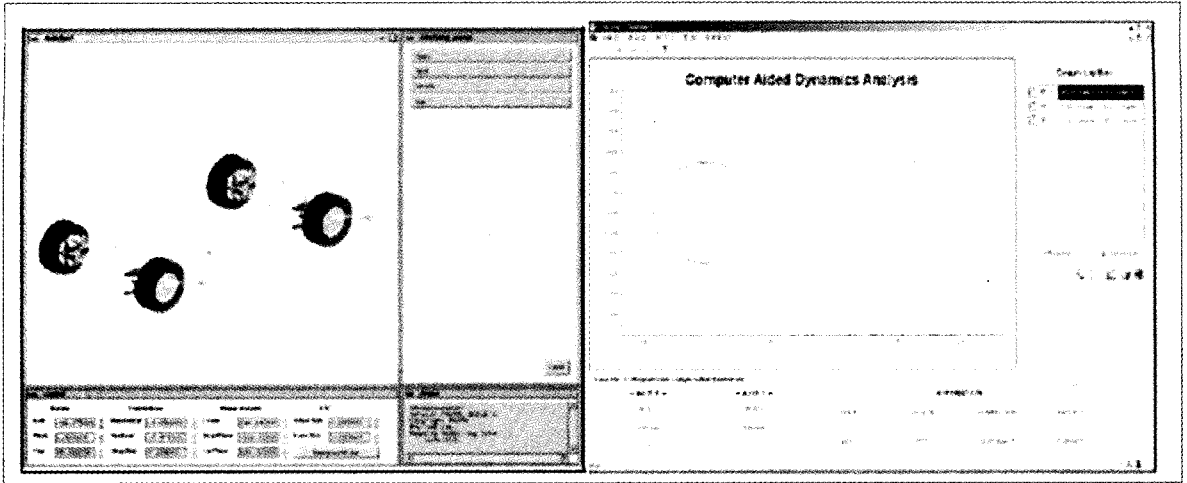


그림 4 AutoDyn7을 이용한 차량 해석

동역학 해석 프로그램

다물체 동역학 해석기술은 1980년대 개발되어 지금까지 많은 발전을 이루고 있고 이와 더불어 상용 다물체 동역학 해석 프로그램도 개발되고 있다. 미국의 아이오와 대학에서 개발된 첫 상용프로그램인 DADS나 미시건 대학 연구팀이 개발한 ADAMS의 경우가 대표적인 상용 동역학 해석 프로그램이다. 다물체 동역학의 가장 큰 해석 분야는 자동차이며 자동차 개발과정에서 동역학 해석은 차량의 성능을 좌우하는 중요한 해석과정이다. 뿐만 아니라 동역학 해석을 위한 운동방정식은 제어시스템의 검증 및 진동해석 그리고 내구해석 분야에까지 확장되어 가고 있다.

산업분야별 전문 동역학 해석 프로그램으로는 차량 동역학 해석 프로그램 CARSIM과 철도차

량해석용으로 영국에서 개발된 VAMPIRE가 있다. 국내에서도 동역학 해석 프로그램 개발이 많이 이루어지고 있는데 한양대학교 연구팀이 주축이 된 Recurdyn과 부산대학교 연구팀이 개발한 AutoDyn7 프로그램이 대표적이다. 그림 4에는 AutoDyn7 프로그램을 이용한 차량동역학 해석의 예를 보여주고 있다.

다물체 동역학 해석 방법은 기계시스템을 그대로 모사할 수 있는 해석 능력을 가지고 있기 때문에 기계시스템의 개발에 필수 과정인 프로토타입(prototype) 제작을 대신하고 있으며 특정 해석의 한계를 넘어 최적화 프로그램을 이용한 설계 파라미터 추출에 활용되고 있다. 제어분에서는 로봇 시스템과 같은 첨단 기계기술 분야의 제어성능 검증 및 제어 파라미터 추출에 응용되고 있다.

최근 다물체 동역학 해석 프로그램의 발전 추세는 보다 빠른 해석속도와 정확도 향상으로 발전하고 있다. Solver의 해석 속도를 위한 연구개발은 운동방정식의 형식화나 적분 알고리즘 그리고 유연한 물체에 대한 분야로 이루어지고 있다. 특히 유연한 물체에 대한 해석은 선형 영역을 벗어난 비선형 대변형 분야로 확장되어 많은 연구가 진행되고 있다.

운전 시뮬레이터

미국 등 선진국에서는 차량 동역학 해석을 이용하여 운전 시뮬레이터를 개발하고 있다. 운전 시뮬레이터를 개발함으로써 얻을 수 있는 이점은 기존 도로나 실내 환경에서 시험하지 못하는 위험한 상황에 대해 차량의 성능을 테스트 할 수 있다. 또한, 새로운

다물체 동역학 해석에 대한 연구는 해석의 속도 증가와 정확성에 중점을 두어 계속 진행 중에 있으며 다양한 산업분야에 사용하기 위한 프로그램도 개발되고 있다. 또한, 운전 시뮬레이터뿐만 아니라 레이싱 게임 등 다물체 동역학을 응용하는 범위가 점차 넓혀지고 있다.

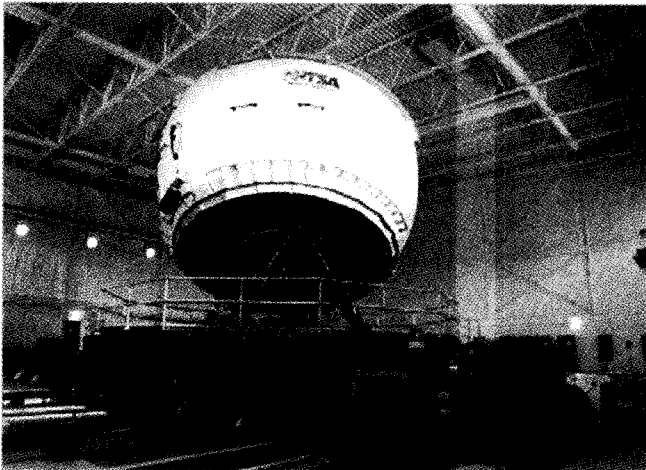


그림 5 아이오와 대학의 NADS 운전 시뮬레이터

차가 개발되는 과정에서 실제 상황과 가깝게 성능을 테스트 할 수 있어 차량 개발 시간을 단축시킬 수 있다. 시험에 대한 결과는 데이터베이스화되며 차후 개발될 차량의 성능 판단에 기준으로 사용될 수 있는 등 많은 이점을 가지고 있다.

이런 운전 시뮬레이터의 대표적인 예로는 미국 중앙정부의 지

원으로 제작된 아이오와(Iowa) 대학의 NADS(National Advanced Driving Simulator)가 있다. 이 시뮬레이터의 경우 다물체 동역학 해석 프로그램을 이용하여 실시간 계산으로 운전 시뮬레이션 환경을 구현하였다. 이 외에도 미국의 포드 자동차 회사나 일본의 토요타와 같은 자동차 메이커에서도 자체적인 운전 시뮬

레이터를 보유하고 있다. 이 모든 시뮬레이터 기술의 기반에는 동역학 해석 프로그램이 필수적이다.

국내에서도 시뮬레이터 분야가 활발하게 연구되고 있다. 대표적인 예로는 부산대학교 연구팀이 설계하여 제작한 지지하중이 750kg PNU 운전시뮬레이터가 있다. 최근에는 자동차부품연구원에서 보다 성능이 우수한 운전 시뮬레이터를 개발하여 사용하고 있고, 시뮬레이터 전문 업체로서는 이노-시뮬레이션도 있다. 이 업체는 국내 시뮬레이터 산업의 대표주자로서 자동차부품연구원과 현대자동차의 운전 시뮬레이터 개발에 많은 도움을 주고 있다.

실시간 동역학 해석기술은 최근 HILS 개념의 도입과 함께 더욱 발전하고 있고 특히, 컴퓨터 환경의 개선으로 실시간성 확보에 유리해짐에 따라 HILS를 이용한 제어기 설계나 검증으로 많은 연구가 진행되고 있다. 또한 최근에는 시뮬레이터 개념이 오락적인 개념과 접목하여 레이싱 게임이나 물리환경 구현을 위한 엔진으로도 동역학 해석 코드가 일부 사용되고 있다.