

# 시뮬레이션 기반 현가장치 설계 시스템 개발

## Development of a Suspension Design System based on Simulations

한형석\* 허영철\* 문석준\* 김병현\*

Han, Hyung-Suk Huh, Young-cheol Moon, Seok-jun Kim, Byung-hun

### ABSTRACT

The performance functions of a suspension must provide often place conflicting demands upon rail bogie design since design parameters which may be altered to improve performance in one area may simultaneously reduce performance in another area. To determine compromised design parameters, it is need to carry out a number of simulations and trade-off studies. The suspension design system based on computer simulations is presented. The system is composed of analysis solvers and GUI which have functions such as modeling, analysis and sensitivity analysis.

### 1. 서론

철도차량의 대차를 구성하는 현가요소의 특성치 설계 및 주행성능을 평가하기 위하여 동역학 해석이 이루어진다. 일반적으로 동역학 해석에 의하여 주행안정성, 탈선계수, 동적 윤중 감소율, 차륜횡압, 승차감 등에 대한 평가가 이루어지게 된다. 현재, 철도차량 동역학 해석을 위하여 상용화된 프로그램으로는 VAMPIRE, SIMPACK, ADAMS/Rail 등이 있다. 이러한 해석 프로그램의 발달로 설계단계부터 시뮬레이션 기반의 설계 및 평가가 이루어지고 있다. 그러나 이러한 상용 프로그램들은 기능 측면에서는 우수하나 고가인 관계로 다수의 사용자가 사용하기 어려운 측면이 있다. 또한 초기 설계단계에서는 다양한 설계 변수가 성능에 미치는 민감도를 얻는 것이 중요하나 상기의 프로그램들은 엄밀한 데이터를 요구하기 때문에 쉽게 사용하기 어려운 면도 있다.

본 논문에서는 대차의 초기 설계단계에서 기본적인 특성치 입력 및 기본적 동역학 해석을 통하여 설계방향을 제시하는 시스템을 소개한다. 시스템을 해석 목적에 따라 그에 특화된 해석기들과 GUI로 구성된다. 특히, 다양한 설계변수의 변화가 주행성능에 미치는 영향을 검토하기 위한 민감도 해석 기능을 갖는다. 소개하는 시스템은 입출력의 단순화로 초기 설계단계에서 시뮬레이션에 의한 동적 설계 시스템으로 적용이 기대된다.

---

\* 한국기계연구원, 정회원

## 2. 설계 시스템

### 2.1 해석기

개발하고자 하는 해석 및 설계시스템을 구성하는 해석기들은 AGEM[1,2]에 바탕을 두고 있다. AGEM은 해석 목적에 따라 특화된 해석기들을 가지고 있으며 본 연구에서는 이 해석기들을 수정보완하여 적용하였다. 도표 1은 해석기들과 기능을 보여주고 있다. 각 해석기들을 이용하여 필요한 해석을 수행하기 된다. 크립힘 계산 알고리즘은 FASTSIM과 Cubic saturation model을 제공하고 있다. 해석기들에 대한 이론적 배경과 검증은 참고문헌 [2]에 상세하게 나타나 있으므로 상술을 생략한다.

도표 1 AGEM 해석기

해석기 명	목적	기능
AGEM	선형운동방정식 생성	일반 기계계에 대한 선형운동방정식 생성. 즉 질량행렬, 감쇠행렬, 강성행렬 생성.
RGEM	철도차량 선형운동방정식 생성	철도차량에 대한 선형운동방정식 생성. 즉 질량행렬, 감쇠행렬, 강성행렬 생성.
STABLE	진동 모드 해석	고유치, 고유벡터해석에 의한 진동모드 해석. RGEM에 의하여 생성된 운동방정식 이용.
MTRACK	임계속도 해석	주행속도에 따른 고유치 추종에 의한 임계속도 해석. RGEM에 의하여 생성된 운동방정식 이용.
VDRV	윤증감소율 해석	레일의 형상에 따른 정적, 동적 윤증감소율 해석. AGEM에 의하여 생성된 운동방정식 이용.
RLRIDE	승차감 해석	주과수 영역에서의 승차감 해석. 궤도불규칙은 불규칙 계수에 의하여 표현되며 승차감은 ISO-2631에 의하여 평가. AGEM에 의하여 생성된 운동방정식 이용.
RACES	탈선계수 해석	궤도의 형상, 차량 속도에 따른 탈선계수 해석. 차륜, 레일 형상은 비선형으로 고려. RGEM에 의하여 생성된 운동방정식 이용.
WHRAIL	차륜/레일 접촉특성 해석	비선형 차륜/레일의 기하학적 접촉 특성 해석.
CRPTAB	크립 파라미터 생성	크립힘 계산에 필요한 크립 파라미터 계산. WHRAIL에 의하여 계산된 차륜/레일 접촉 특성 결과를 이용.

### 2.2 GUI

본 시스템은 그림 1과 같이 기능들로 구성되어 있다. Model은 일반기계 및 철도차량에 대한 동역학 모델링 기능을 수행한다. 동역학 모델에 이용 가능한 요소는 도표 2에 나타내었다. 도표 2에 보듯이 철도차량 동역학 모델리에 필요한 최소한의 요소를 가지고 있다. 그러한 이유는 초기 설계 단계에서 본 시스템을 적용하는 것을 목표로 두기 때문이다. 그림 2는 본 GUI에서의 데이터 입력 예를 보여주고 있다. 좌측에는 트리 형태로 해석 모델의 구성을 보여준다. 기본적으로 같은 형식의 요소로 정의된 차량의 부품에 대한 입력 데이터는 스위치 형태로 표시하여 한 페이지 내에서 편집이 가능하도록 하였다. 결과적으로 편집 시간의 단축과 일목요연하게 입력 데이터를 확인할 수 있는 장점이 있다. Solve에서는 해석 목적에 따라 선택적으로 해석기를 선택하여 해석을

수행하게 된다. 해석기에 따라서는 운동방정식과 더불어 해석 조건에 대한 입력을 요구한다. 예제로, 그림 3은 RLRIDE를 이용한 승차감 해석을 위한 승차감 해석 조건 입력을 보여주고 있다. 주행 속도, 승차감 평가 위치 등에 대한 데이터를 요구한다. 해석 조건에 대한 입력이 이루어지면 해당 해석기를 실행하게 된다. 해석기의 실행은 그림 4와 같이 해석기를 지정하고 해석에 필요한 아규먼트(입출력 파일 이름)를 쉬트 형태로 정의하여 수행한다. 편의를 위하여 한 페이지의 쉬트에 모든 해석기 실행에 필요한 아규먼트를 정의하도록 하여 반복 해석 및 다종의 해석 시에 편리하도록 하였다. Plot은 각 해석기에 의한 결과를 2, 3차원 그래프로 표시하는 기능을 갖는다. Sensitivity는 설계 변수의 변화에 따른 안정성, 안전성 및 승차감의 영향도를 분석하는 기능을 갖는다. 사용자가 정의한 설계 변수, 설계변수 변화량, 평가 지수를 정의하면 자동적으로 입력 데이터를 생성하고 해석기를 실행하는 기능을 갖는다. 이를 통하여 다수의 해석을 쉽게 수행할 수 있는 장점이 있다. 민감도 해석 결과는 민감한 설계 변수의 선정 및 최적화 설계 변수의 선정에 이용되게 된다. 그림 5는 민감도 해석을 위하여 설계변수, 설계 변수 변화량, 평가지수를 정의하는 것을 보여주고 있다. 그림 5에서와 같이 요소 타입, 선택된 요소에서의 해당 ID, 특성치 ID, 특성치 변화량 및 성능 평가 항목을 입력한다. 본 시스템에 그림 5에서 정의된 각 경우에 대한 해석을 수행하고 성능 평가항목을 비교할 수 있도록 하여 민감도를 쉽게 분석할 수 있도록 한다.

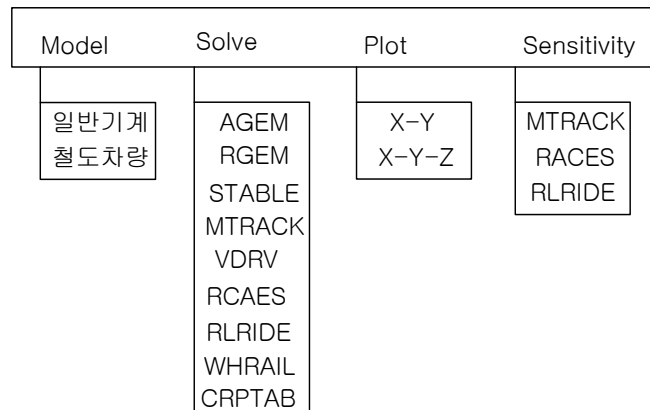


그림 1 주 메뉴 구성

도표 2 동역학 모델링 요소

요소 명	입력 항목
Body	3차원 Body로써 질량, 질량중심, 관성, 고려하는 자유도
Point	6방향 강성, 감쇠(부시)
Direct	2점 간의 힘을 정의하기 위한 위치 및 강성, 감쇠(스프링, 댐퍼)
Bi-linear	비선형 스프링(범퍼스톱)
Frictional suspension	마찰
Axles	차축 정의
Constraint	조인트 정의

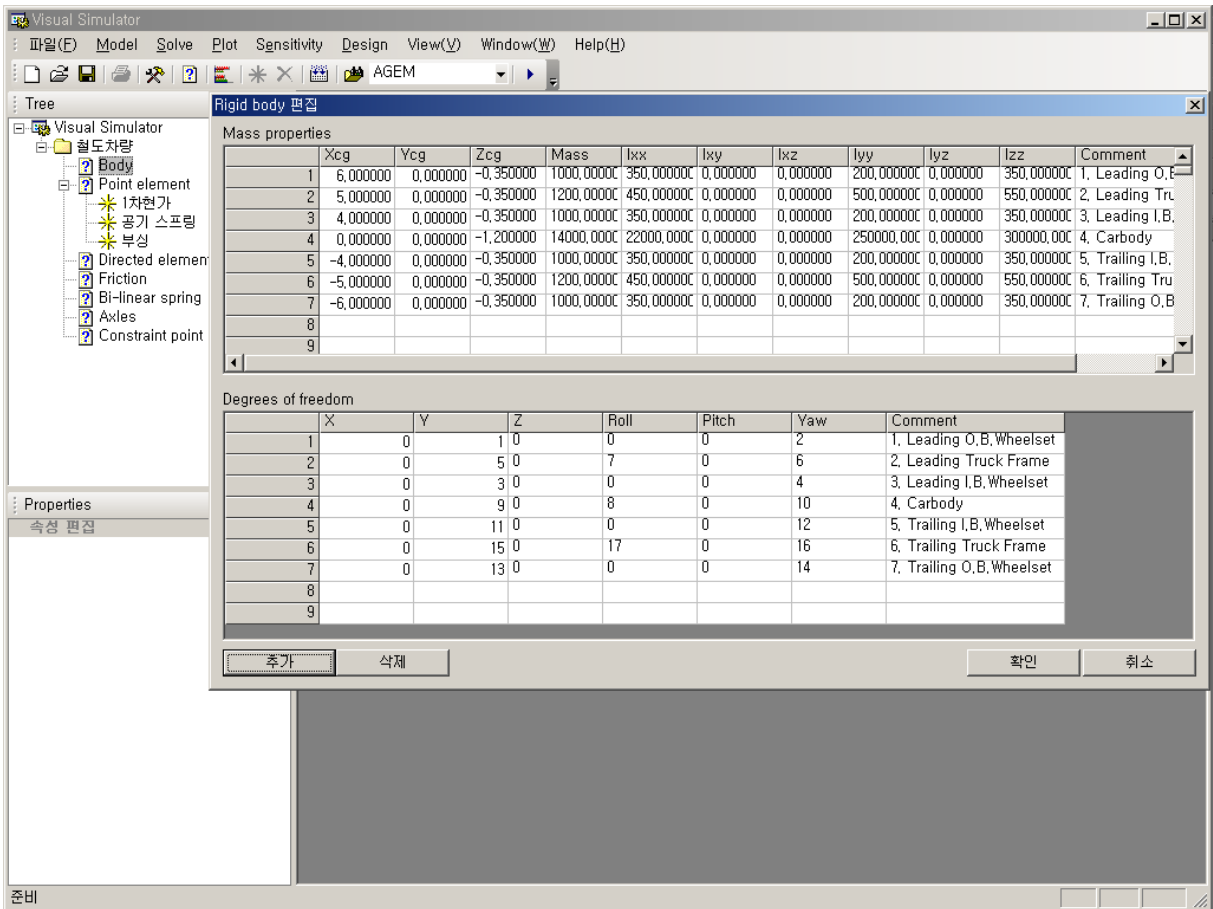


그림 2 GUI에서 Body 입력

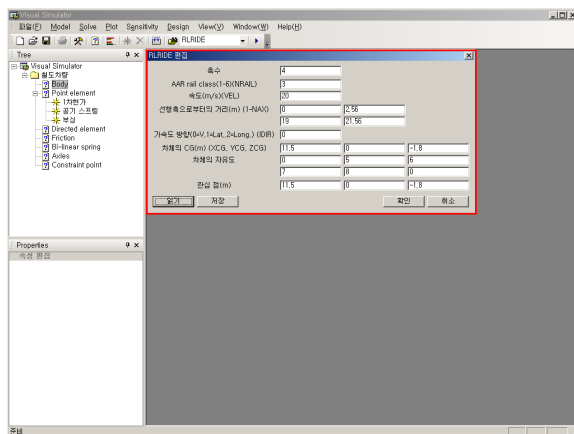


그림 3 승차감 해석을 위한 조건 입력 예

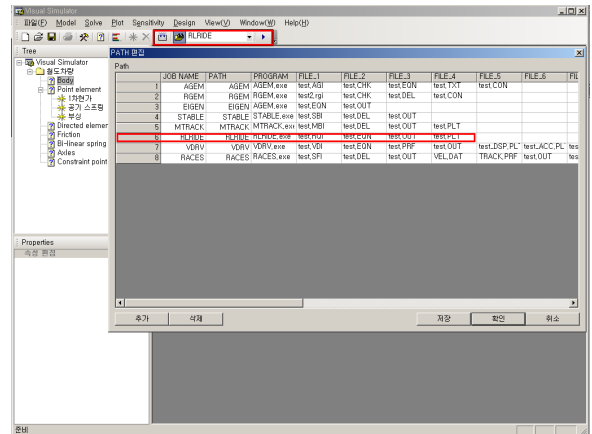


그림 4 해석기 실행

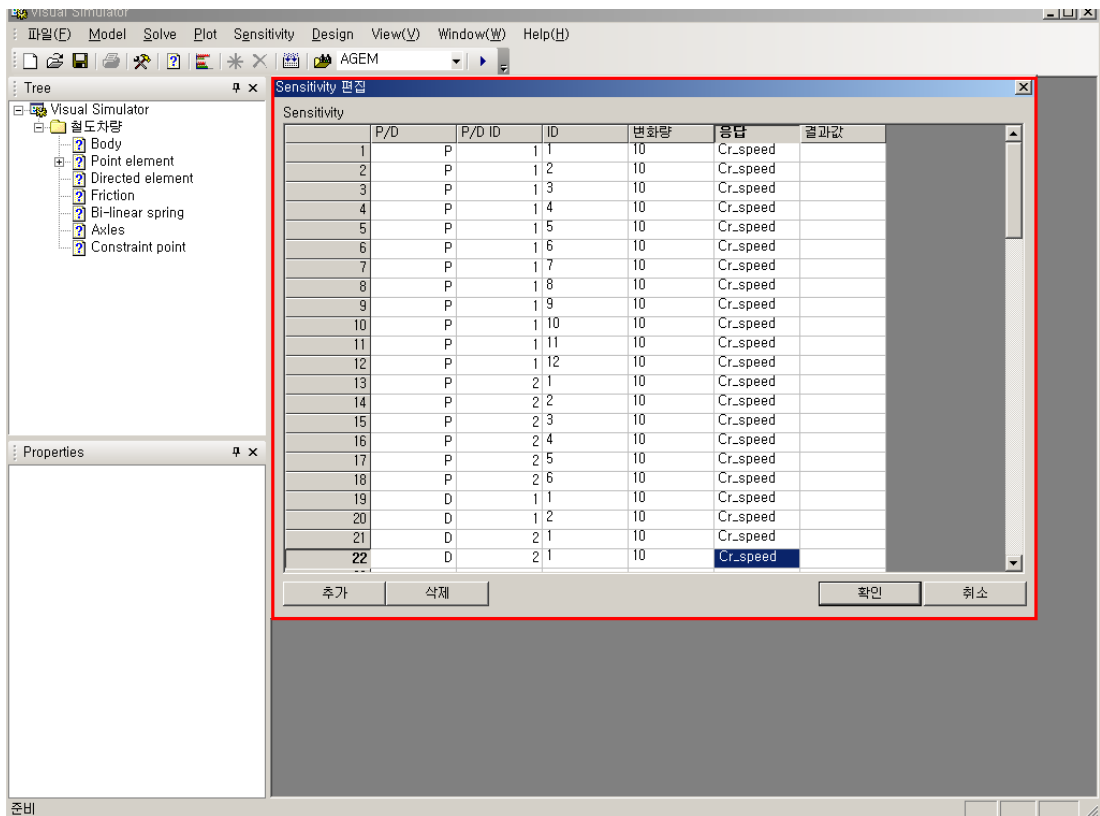


그림 5 민감도 해석을 위한 입력 예

### 2.3 적용 예

전절에서 소개한 개발시스템을 영국 ERRI 차량에 적용하였다. 그림 6은 MTRACK을 이용한 주행안정성 해석 결과를 보여주고 있다. 관심 진동 모드들의 주행 속도에 따른 감쇠비를 보여주고 있다. 모드 해석 결과 10번 임계속도에 주요한 역할을 하는 것을 알 수 있었다. 10번 모드의 감쇠비는 약 160 km/h에서 음의 값을 갖는 것을 알 수 있다. 이를 통하여 ERRI 차량의 임계속도가 160 km/h임을 알 수 있다. 그림 7은 승차감 해석 결과를 보여주고 있다. 승차감을 해석하기 위해서는 궤도의 불규칙도가 필요한데 본 시스템은 FRA에서 정의한 불규칙도 Class를 사용한다. 그림 7은 Class 3, 주행속도는 70 km/h에 대한 해석 결과 예이다. 승차감의 평가는 ISO 2631에 의하여 이루어진다. 그림 8은 주행안정성 해석 결과를 보여주고 있다. 해석 조건은 반경이 300 m, 속도 70 km/h, 캔트 120 mm인 조건에서의 해석 결과를 보여주고 있다. 그림 8에서 보듯이 정상상태에서 약 0.5로 탈선안전 기준을 만족하는 것을 알 수 있다. 이러한 과정을 통하여 동역학 해석이 이루어진다. 또한 민감도 해석을 이용하여 현가 요소의 설계가 이루어질 수 있다.

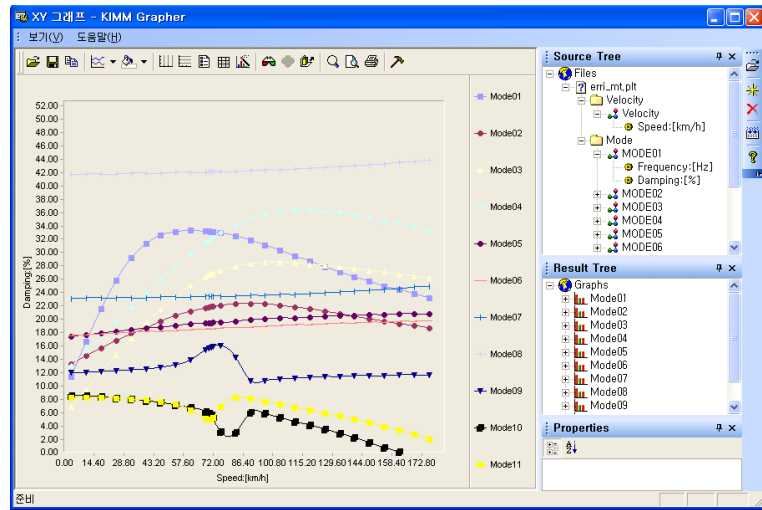


그림 6 안정성 해석 결과

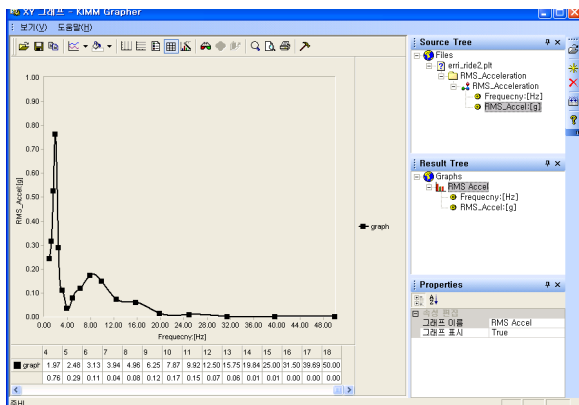


그림 7 승차감 해석 결과

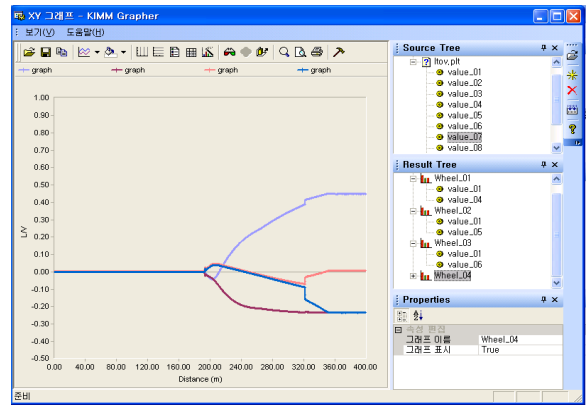


그림 8 안전성 해석 결과

### 3. 결론

본 논문에서는 대차의 초기 설계단계에서 쉽게 사용할 수 있는 철도차량 동역학 시뮬레이션 시스템을 소개하였다. 본 시스템의 특징 중 하나는 기본 동역학 해석뿐만이 아니라 민감도 해석을 쉽게 수행할 수 있다는 것이다. 이러한 기능은 대차의 초기 설계단계에서 다양한 설계변수의 변화에 따른 주행 성능을 쉽게 평가하고 민감 변수를 선택하게 한다. 더 나아가 대차의 현가요소 설계에 이용할 수 있다.

### 참고문헌

1. Fortin, C.,(1984), "Dynamic Curving Simulation of Forced-Steering Rail Vehicles," Ph.D Thesis, Queen's University, Canada.
2. Anderson, R.J.(1989), "A'GEM-Automatic Generation of Equations-of-Motion:User's Manual," Queen's University, Canada.