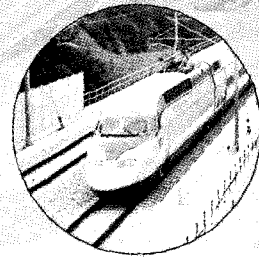


특별Session

가상현실 기반

자기부상열차 주행성능 가시화

차무현 _ 한국기계연구원



가상현실 기반 자기부상열차 주행성능 가시화

The VR based running performance visualization of the magnetic levitation train

차무현*
Cha, Moo Hyun

이한민**
Lee, Han Min

한형석**
Han, Hyung Suk

ABSTRACT

To investigate various running performances of the magnetic levitation train systematically, the performance evaluation system based on Modeling & Simulation(M&S) technology is demanded essentially. When the VR(virtual reality) techniques are involved, we can not only evaluate the M&S results more effectively and realistically, but also make optimum engineering decision. At the viewpoint of visualization of core engineering data like the train's running performance, there are no many cases of study which provide optimum decision information with the maximized reality and immersion environments through computer user interactions. In this study, the running performance simulation system which provides the VR based 3-dimensional visual information from the M&S results is being developed.

1. 서론

전자기력에 의해 부상 및 추진이 이루어지는 자기부상열차의 다양한 주행성능을 체계적으로 평가하기 위해서는 Modeling & Simulation(M&S)에 기초한 성능평가기술이 필수적으로 요구되어진다. 한국기계연구원에서는 자기부상열차의 동특성과 실내외 소음특성의 해석 평가를 통해 주행안정성 확보, 승차감 향상 및 시스템 설계 시의 의사결정을 지원할 수 있는 자기부상열차 주행성능 시뮬레이터 시스템을 개발 중에 있으며, 이를 가상현실(VR)기술과 연동하여, 여러 가지 핵심적인 엔지니어링 데이터를 더욱 효과적이고 현실감 있게 평가하고자 한다.

그림 1은 목표로 하는 주행성능 시뮬레이터의 기본적인 시스템 구성도를 보이고 있다. 먼저 통합 DMU(Digital Mock-Up)에 구축된 자기부상열차 및 궤도에 대한 마스터 CAD모델은 각 해석 모듈별 입력모델과 VR 전용모델로 변환되며, 물성치, 제어기 파라미터 등의 해석 파라미터와 함께 주행성능 해석 Solver에 전달된다. 해석을 수행한 결과물은 가시화를 위한 주행성능 데이터로 변환되고, VR 전용모델과 함께 가시화 시스템에 전달되어, 최종적으로 3차원 가시화 시스템과 연동된다.

* 책임저자, 한국기계연구원, e-엔지니어링연구센터
E-mail : mhcha@kimm.re.kr
TEL : (042)868-7927 FAX : (042)868-7418
** 한국기계연구원

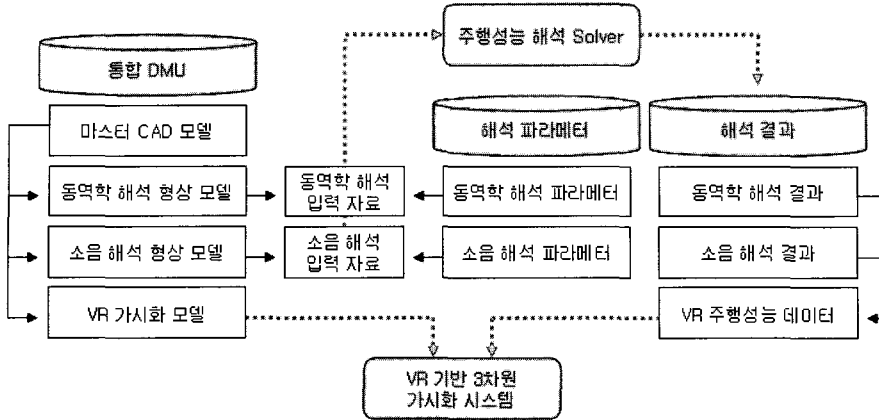


그림 1. 자기부상열차 주행성능 시뮬레이터 시스템 구성도

이러한 3차원 가시화 시스템을 개발하기 위해, 가상현실 데이터베이스 구축 등을 포함하는 기본적인 시스템 설계과정을 2절에서 설명하였으며, 3절에서는 이를 자기부상열차 M&S 해석 결과와 연동하기 위한, 동특성 해석데이터의 분석 및 효과적인 가시화방안에 대해 설명하였다. 결과적으로 시스템 사용자는 높은 현실감을 제공하는 가상 환경에서의 상호작용을 통해 자기부상열차 주요 관심 대상체에 대한 효과적인 주행성능 검토를 수행 할 수 있다.

2. VR 기반 3차원 가시화 시스템

2.1 시스템 개요

본 시스템은 그림 2와 같이, VR 가시화 모델 및 주행성능 데이터를 포함하는 가상현실 데이터베이스와 이를 이용하여 실시간 가상환경을 구동하는 VR Engine, 그리고 사용자와 컴퓨터간의 상호작용을 담당하는 입출력 인터페이스(I/O Devices) 등으로 구성된다[6]. 이 절에서는 VR 가시화 모델의 구축 과정 및 기본적인 시스템 구현 방안에 대해 설명하고자 하며, 주행성능 데이터는 3절에서 자세히 설명한다.

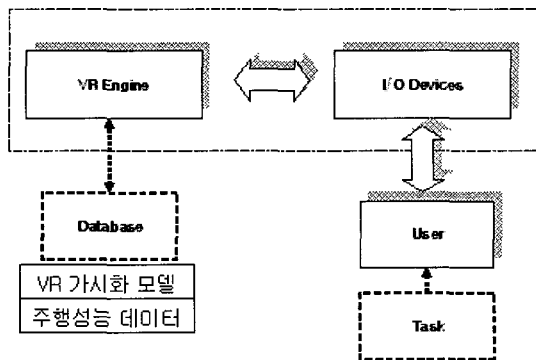


그림 2. VR System Architecture[6]

2.2 VR 가시화 모델

VR 가시화 모델은 차체, 선로, 지형, 도로, 건물 등의 삼차원 VR모델로 구성된다. 본 연구에서 주행성능 평가 대상인 자기부상열차 및 선로의 경우 통합 DMU 데이터베이스에 CAD(CATIA)모델이 존재하며, 복잡한 부품들로 구성되어 있는 CAD모델을 그대로 VR 렌더링 시스템에 적용하기에는 큰 부하가 요구되므로, 적절한 최적화 방법이 요구되었다. 먼저 설계자에 의해 최적화 작업을 거친 CAD모델을 Surface VR모델인 VRML형식으로 추출하였고, 적절한 폴리곤 단순화 도구를 이용, 모델을 간략화 하였다. 또한 이를 업계표준 VR모델인 OpenFlight 포맷으로 변환하고, 최종적으로 Multigen-Creator에서 최적화 작업을 수행하였다. 그림 3은 이러한 변환과정을 보여준다. 또한 보다 현실감 높은 주행성능 가시화를 위해, 대전시 갑천변 고수부지와 주위 건물 및 도로에 대한 VR 모델링을 수행하였으며, CAD모델로부터 변환된 가상의 시험선로를 추가하였다. 그림 4는 이러한 환경 모델링의 결과물을 보여준다.

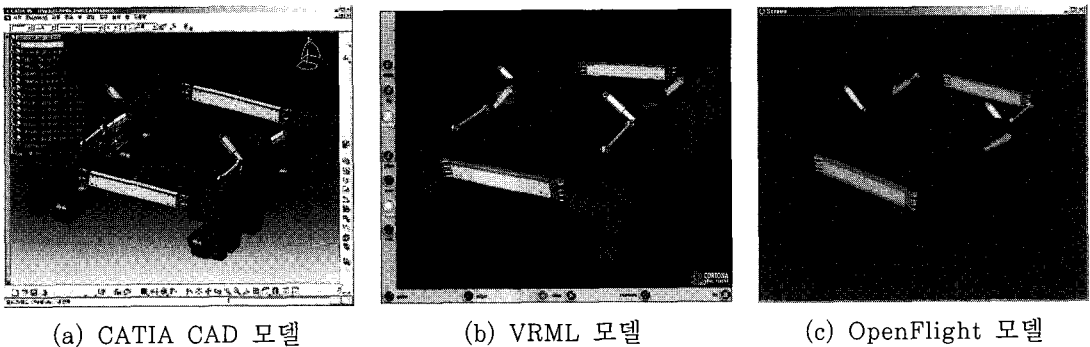


그림 3. 자기부상열차 대차 모델의 변환 과정

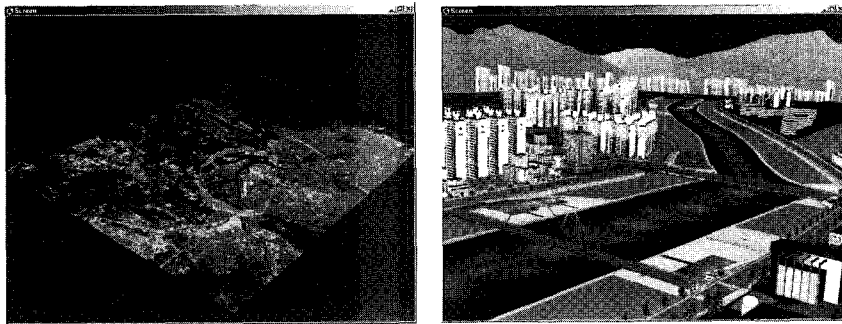


그림 4. 대전시 갑천변 환경 모델

2.3 시스템 구현

구축된 VR 가시화 모델에 대한 실시간 렌더링 및 출력을 위해 기본적인 이미지 생성기 (Image Generator)가 필요하며, 본 연구에서는, 최근 PC장비의 프로세싱 및 그래픽 성능 향상에 힘입어 가상현실 연구 분야에 보편화되고 있는, PC 클러스터 기반의 3채널 그래픽 워크

스테이션을 도입하였다. 이 시스템은 Windows 운영체제에 기반하며, 그래픽 라이브러리로서 OpenGL을 사용하는 VEGA Prime 렌더링 엔진을 적용하였다.

시물레이션 및 가시화 구현에 있어, OpenGL/DirectX 등의 Graphics API를 직접 사용할 수도 있지만, 최근에는 기본적인 오브젝트 구성체계가 관리되고, 손쉽게 성능 좋은 가시화 결과물을 얻을 수 있는 3D 렌더링 엔진이 많이 보급되고 있다. 상용 툴로서는 VEGA, VTree, OpenGL Performer, Gizmo3D, Coin3D, WorldToolKit, VRSG, Quest3D 등이, 오픈소스 기반의 비상용 툴로서는 OpenSceneGraph, OpenSG, OpenRM, Delta3D, OGRE3D, IRRILICHT, CrystalSpace 등이 있으며, 본 연구에서는 기 구축된 OpenFlight 모델에 대한 자체지원, 구현의 용이성 및 시스템 안정성을 고려하여 VEGA Prime 솔루션을 채택하였다.

3차원 가시화 시스템은 차체, 대차, 선로 및 주위환경에 대한 VR모델을 시물레이션 초기에 로딩하고, 이들에 대한 실시간 제어를 위해 각 오브젝트에 대한 관리 모듈이 구현되었다. 또한 정면, 후면, 측면, 대차, 운전실 등의 관심 뷰포인트를 미리 지정하고, 이를 사용자 요구에 따라 전환할 수 있도록 하였으며, 관심 오브젝트에 대한 집중적인 관찰을 수행할 수 있도록, Trackball 마우스 입력을 구현하였다. 그림 5에서는 자기부상열차 주위 다양한 시점에서 관찰된 실시간 렌더링 결과를 보여주고 있다.

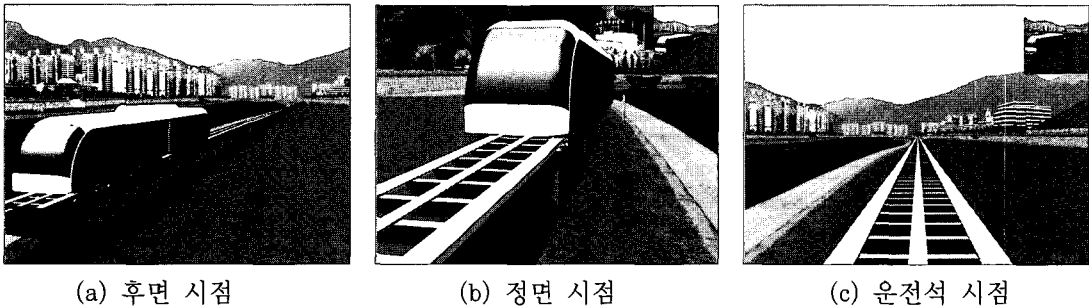


그림 5. 자기부상열차 3차원 렌더링 결과

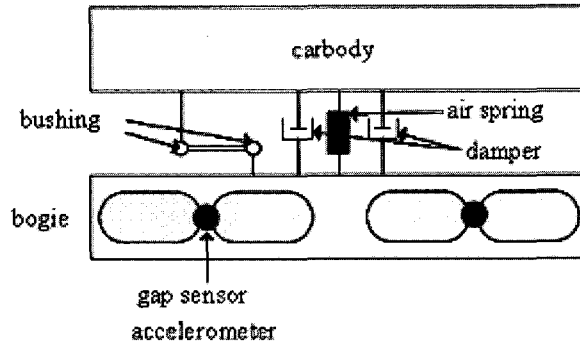
또한, 사용자에게 보다 몰입감 높은 가상현실 환경 제공을 위해, 출력 인터페이스로서 넓은 시야각(Field Of View)을 갖는 3채널 LCD모니터기반 디스플레이 장비를 도입하였다. 본 연구에 적용된 클러스터링 시스템은 분산 어플리케이션 방식으로 사용자 입력을 공유하며, 단일 채널과의 전환이 용이하도록 설계하였다. 또한 가상현실 입력 장비로는 기본적인 키보드와 마우스 및 자이로센서에 의해 3차원 공간인식 기능을 제공하는 무선마우스를 적용하였다.

3. 주행성능 데이터의 가시화

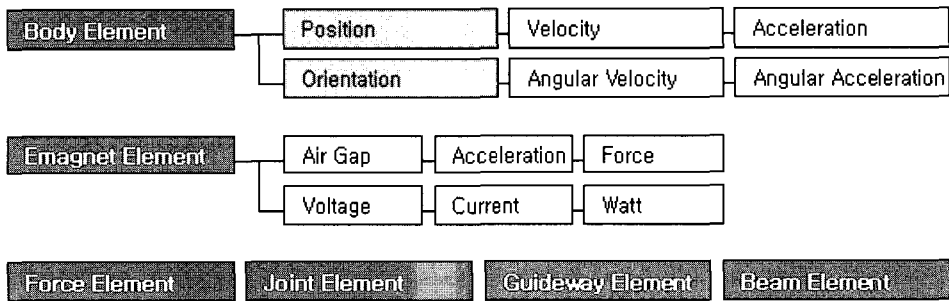
3.1 동특성 해석 데이터 분석

자기부상열차의 동특성 해석을 위해 한국기계연구원에서 개발된 ODYN/Maglev[7]은, 그림

6과 같이 차량, 대차, 추진력을 전달하는 견인바 등의 동적 거동값을 표현하는 Body Element, 부상 전자기력 제어기와 관련된 Electro-Magnet Element, 그 외에 Damper, Bushing 등의 요소에 가해지는 힘을 나타내는 Force Element, 반발력을 표현하는 Joint Element, 궤도 응답을 표현하는 Guideway Element 등으로 구성되는 해석 데이터를 제공하며, 주요 관심 요소에 대한 구조를 그림에 나타내었다.



(a) 대차 동역학 모델



(b) 동특성 해석 결과 구조

그림 6. 자기부상열차 동특성 해석결과

이 중, 3차원 형상모델이 존재하는 Body Element(차량, 대차, 견인바)의 Position과 Orientation에 대한 Scalar 값은 자기부상열차의 주행 시뮬레이션 시, 각 오브젝트의 위치와 방향을 그대로 나타내는 값이며, 특히 차량에 대한 Acceleration 값은 탑승자의 승차감에 직접적인 영향을 주는 데이터이다. 또한 부상 제어기와 관련된 Electro-Magnet Element(전자석 제어기)의 공극(Air Gap)값은 전자기력 제어 결과값으로서, 시스템의 주행 안정성과 직접 연관되며, 전압과 전류 등의 해석값 또한 제어기의 특성을 평가할 수 있는 중요 데이터이다. 본 연구에서는 이러한 자기부상열차의 주행성능과 관련된 핵심 엔지니어링 데이터를 보다 현실감있게 평가하기 위해, 이를 가상현실 기반의 가시화 시스템과 연동하고자 한다.

3.2 해석 데이터의 가시화

일반적인 엔지니어링 해석 솔버는 일정한 시간 간격(Step)에 따른 해석을 수행하고 각 Step별 해석 결과값을 출력하게 된다. 하지만 가상현실 기반의 실시간 렌더링 과정은 시스템의 부하에 따라 각 프레임의 갱신주기가 불규칙적으로 변화하는 반복적 루프에 의해 시뮬레이션이 수행되기 때문에, 해석 데이터에 기반한 실제 주행을 가시화하기 위해서는 이들에 대한 보정과정의 필요하다.

컴퓨터 그래픽스, 특히 캐릭터 애니메이션 분야에서는 특정 Step에 대한 오브젝트의 동작 데이터(관절의 위치 및 방향)를 키 프레임으로 지정하고, 이들 단위 사이의 동작을 선형, 다항, 스피라인 보간 등의 적절한 알고리즘으로 보간하여 자연스러운 실시간 동작을 생성하는 키프레임 애니메이션 기법이 오래전부터 도입되었다[4][5]. 이는 규칙적 Step간격의 데이터를 불규칙적 연속데이터로 표현해야하는 본 연구에 직접 적용될 수 있으며, 그림 7은 해석데이터의 키프레임 ①과 ②를 현재 프레임의 길이(d1)에 따라 보간(interpolate)하여 실제 프레임에 해당되는 값 ②를 생성하는 과정을 보여준다. 보간 방식은 자연스러운 근사를 위해 스피라인 보간법을 사용할 수 있으나, 해석 Step간격이 아주 짧았기 때문에(3.6ms) 선형 보간법으로도 충분한 결과를 얻을 수 있다고 판단하여 이를 적용하였다.

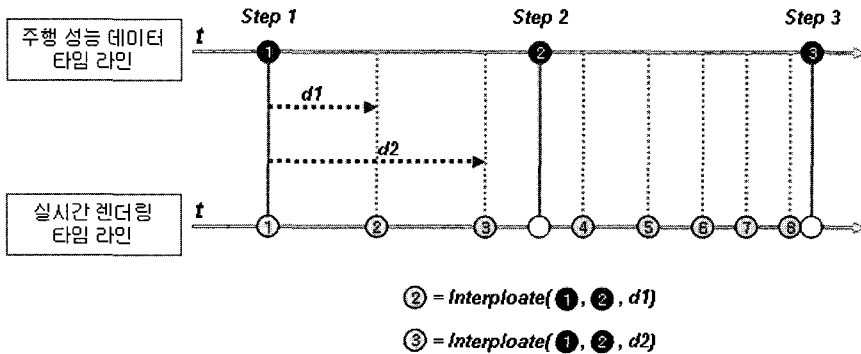
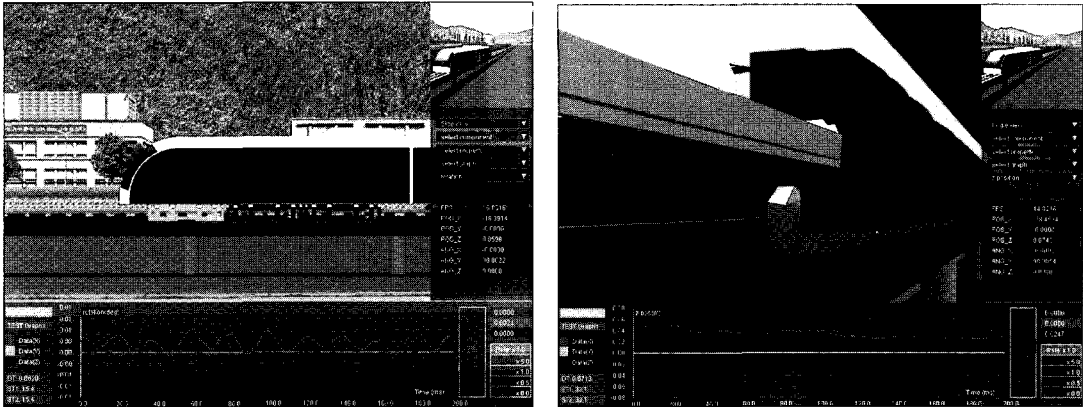


그림 7. 해석 데이터의 키프레임 및 실시간 렌더링 프레임간의 보간 과정

먼저 기본적인 자기부상열차의 주행 가시화를 위해, 각 프레임마다 Body별 위치와 방향을 위와 같이 계산하여 전체적인 거동을 가시화하였다. 이때, 각 좌표축에 대한 회전값을 나타내는 각도(roll, pitch, yaw)는 선형 보간법 적용 시 Gimbal lock등의 모호한 결과를 나타낼 수 있으므로, Quaternion값으로 변환한 후 사용하였다. 또한, 사용자가 관심 오브젝트를 선택하고 이에 따른 다양한 물리량을 파악할 수 있도록, 그래프 형식의 출력을 제공하는 유저 인터페이스를 구성하였다. 그림 8. (a)는 자기부상열차의 측면 주행모습이며, 첫 번째 차량의 Body에 대한 Orientation값을 출력하고 있다. 그림 x. (b)는 대차와 궤도와의 공극 변화를 직관적으로 파악하기 위해, 대차 시점을 제공하고 있으며, 좀더 세밀한 검토를 위해 공극값을 그래프로 출력하고 있다.

자기부상열차의 동적 특성 중, 위치 및 방향 데이터 외에, 시각에 의한 직관적 인식이 어려운 가속도와 힘, 전자기력 제어 출력 값 등의 경우, 효과적인 가시화를 위한 연구를 계속 진행하고 있으며, 많은 아이디어가 필요한 상황이라 할 수 있다. 예를 들어, 가속도의 경우 간단한 벡터 화살표로서 그 물리량을 표현할 수도 있겠지만, 차내 손잡이의 운동이나 차간의 유체현상 등으로 표현하는 것이 좀 더 현실감 있는 가시화 방안이 될 수 있을 것이다.



(a) 측면시점 (방향 데이터 가시화)

(b) 대차시점 (공극 데이터 가시화)

그림 8. 자기부상열차 주행 시뮬레이션 화면

4. 결론

본 연구에서는 자기부상열차 주행 성능에 대한 공학 시뮬레이션 결과를 보다 효과적으로 평가하고 기술검토를 수행할 수 있는 VR기반 주행성능 가시화 시스템의 설계 및 개발과정을 설명하였다. 앞으로는 다양한 엔지니어링 데이터에 대한 현실감 있는 가시화 방안 및 사용자 상호작용에 관한 연구를 수행할 계획이며, 서론에서 언급한 주행성능 시뮬레이터 시스템과의 통합을 통해, 보다 체계적인 M&S 시스템을 구축하고자 한다.

감사의 글

본 연구의 자기부상열차 DMU 제작 및 가시화 시스템 구축을 위해 협조해 주신, (주)로템 및 한국기계연구원 자기부상열차팀 관계자 여러분께 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

1. 전현규, 한선희, 한충한, 박성혁, 옥민환, 양도철, “가상현실을 이용한 경량전철 주행시뮬레이터 개발”, 한국철도학회 05 춘계학술대회 논문집, pp. 293~298, 2005
2. 김정석, 송용수, 한성호, “틸팅 차량용 시뮬레이터 적용을 위한 통제 및 가상현실 영상 시스템 개발”, 한국철도학회 논문집, Vol. 8, No. 4, pp. 330~336, 2005
3. 차무현, 한순홍, “데이터기반 운동감 생성법 및 차량 시뮬레이터 통합”, 대한기계학회 06 춘계학술대회 논문집, pp. 170~175, 2006
4. John Lasseter, "Principles of traditional animation applied to 3D computer animation", Proceedings of SIGGRAPH 87, Vol. 21, pp. 35~44, 1987.
5. A.Bruderlin and L.Williams, "Motion signal processing", Proceedings of SIGGRAPH 95, Vol. 29, pp. 97~104, 1995.
6. Grigore C. Burdea and Philippe Coiffet, "Virtual Reality Technology, 2nd Edition", Wiley-IEEE Press, 2003
7. H.S. Han and J.H. Seo, “Design of a Multi-body Dynamics Analysis Program Using the Object-Oriented Concept”, Advances in Engineering Software, Vol. 35, No. 2, pp. 95~103, 2004