

가상 설계(Virtual Design) 응용 자동차 설계 기술

1. 서 론

세계의 자동차 시장은 세계화 경영 체제에서 완전히 개방되어 있으며, 자동차 완성업체 및 부품업체간에는 고품질·저가격의 자동차 생산을 위한 치열한 경쟁이 이루어지고 있다. 이러한 외적 경쟁압력에 이겨내기 위해서는 무엇보다 자동차 개발 기간을 혁신적으로 단축시킬 수 있는 신개념의 자동차 개발 시스템이 구축됨으로써 수요자의 다양한 요구에 신속하고 융통성 있게 대처할 수 있어야만 한다.

이를 위해서 최근에 가장 활발히 추진되고 있는 자동차 개발 시스템으로써 이른바 'Concurrent Engineering(CE)' 또는 'Simultaneous Engineering(SE)' 개념을 들 수 있다. CE 또는 SE에서는 그

림 1에 나타난 것과 같이 기획, 개념설계, 상세설계, 도면작성, 생산, 조립, 판매 등 일련의 제품 개발 과정이 기존의 직렬 개념에서 병렬 개념으로 최적화되어 개발 기간의 단축에 혁신적으로 기여하고 있다.

이러한 CE 개념을 보다 원활히 지원하기 위하여 최근에는 개발 시작차를 디지털 모델로 대체하여 이 모델상에서 각종 테스트를 컴퓨터로 수행하는 가상 설계(Virtual Design) 기술이 개발 적용되어 가고 있다. 이러한 디지털 모델을 일반적으로 디지털목업(Digital Mock-Up: DMU)이라 불리고 있으며, 이 디지털 목업은 기존의 초기 개발단계에서 제작되었던 실물 목업(Physical Mock-Up: PMU)에 상응하는 컴퓨터상의 모델로서 설계, 해석, 시험, 가공, 생산, 조립 단계의 모든 개발 과정을 초기의

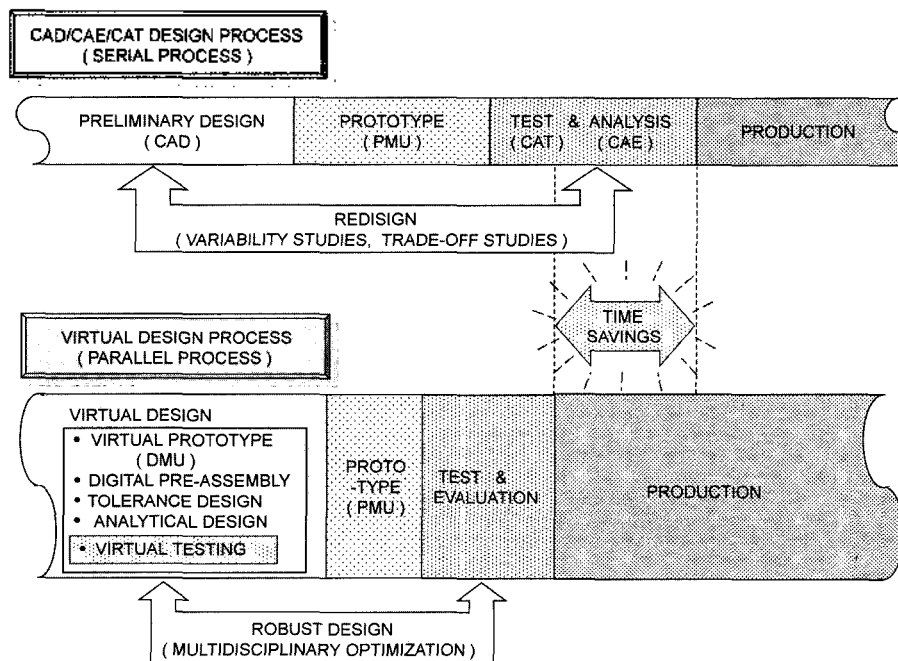


그림 1. 종래의 직렬형 설계 개념과 오늘날 동시공학적 설계 개념의 비교

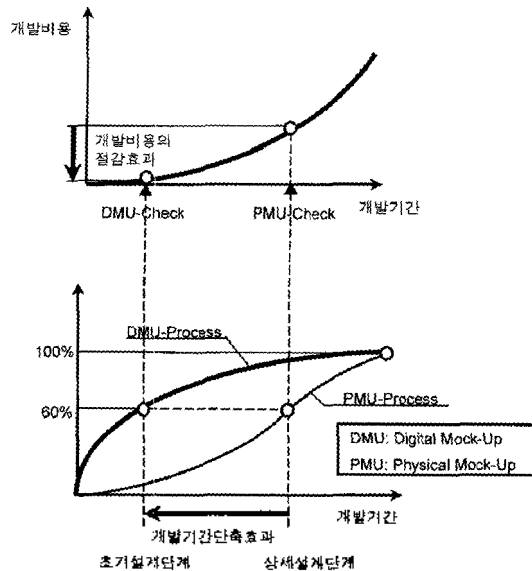


그림 2. Digital Mock-Up을 이용한 개발 비용의 단축 및 개발기간의 단축효과[M.Benz]

제품개발단계에서 병렬적으로 시뮬레이션하기 위하여 활용될 수 있다. 이를 도입함으로써, 궁극적으로 제품개발기간의 단축, 생산비용의 절감 그리고 제품 품질의 향상에 결정적인 역할을 하게 되는데, 이 디지털 목업을 도입한 효과에 대한 한 사례가 그림 2에 나타나 있다.

2. 가상 설계(Virtual Design) 기술 개요

Virtual Design은 geometric modeling, computer graphics, computer-aided design 등의 기술을 적극적으로 활용하여 자동차 설계과정에서 순수히 컴퓨터 모델로서 설계를 이루어내는 기술을 뜻한다. 이는 엔지니어링 전 과정을 디지털화된 모델을 통하여 시뮬레이션 하는 Virtual Engineering의 하위 개념으로 설계부분에서만 적용되는 기술을 뜻하는 것이지만, 궁극적으로는 이 Virtual Design 기술은 Virtual Manufacturing, Virtual Testing/Operation 등과 결부되어서 총체적인 Virtual Engineering을 구성하는 요소로 되어지게 된다. 현재 우리 나라 자동차업체에 적용될 수 있는 기술로는 디지털목업을 이용한 설계와 가상현실을 이용한 설계의 두 가지로 분류할 수 있다.

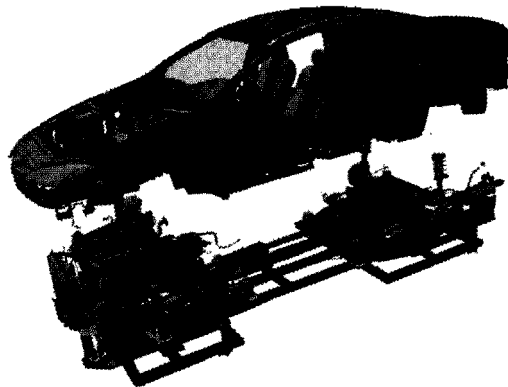


그림 3. 미국 Chrysler의 Intrepid의 디지털 목업모델

2.1. 디지털 목업을 이용한 설계 기술

디지털 목업(Digital Mockup)이란 컴퓨터 모델을 이용하여 실제 차체와 같은 형상을 조립한 것을 뜻한다. 디지털 목업은 Virtual Prototype, Digital Pre-Assembly 등으로도 불리고 있다. 디지털 목업은 실시작차 제작 전 또는 제작을 대신하여 조립과정에서 확인할 수 있는 설계상의 문제를 점검할 수 있게 하는 것이 목적이다. 즉 컴퓨터 모델로 표현된 각 부품들을 가상공간에서 조립함으로써 부품간의 간섭, 조립시의 조립경로 등을 점검할 수 있게 하는 것이 목적이다(그림 3).

디지털 목업을 이용한 설계는 다음과 같은 과정을 거치게 된다. 각 연구소에서 개발된 부품의 CAD 모델이 디지털 목업 시스템 내의 interpreter를 거쳐 디지털 목업 내에서 이용될 수 있는 모델로 바뀌게 된다. 이때 대부분의 경우 Nonlinear surface가 Linear 한 facet 모델로 바뀌게 된다. 이는 복잡한 모델을 신속하게 display 하기 위해서 필요한 것인데 이로 인하여 상대적인 정확성의 상실이 불가피하다. 변환된 모델은 실제 조립시의 위치에 놓이게 되고 동시에 그에 상응하는 kinematic element가 부여되게 된다. 이 과정에서 조립시의 문제점을 파악할 수 있게 된다. 복잡한 모델이 위치에 놓여지고 각 부품마다의 interference는 검증되지 않은 상태이다. 대부분의 경우 interference checking은 별도의 procedure를 거쳐서 이루어지게 된다. 디지털 목업의 구성을 도식적으로 표현하면 그림 4와 같다.

이렇게 구성된 디지털 목업을 이용하여 조립된

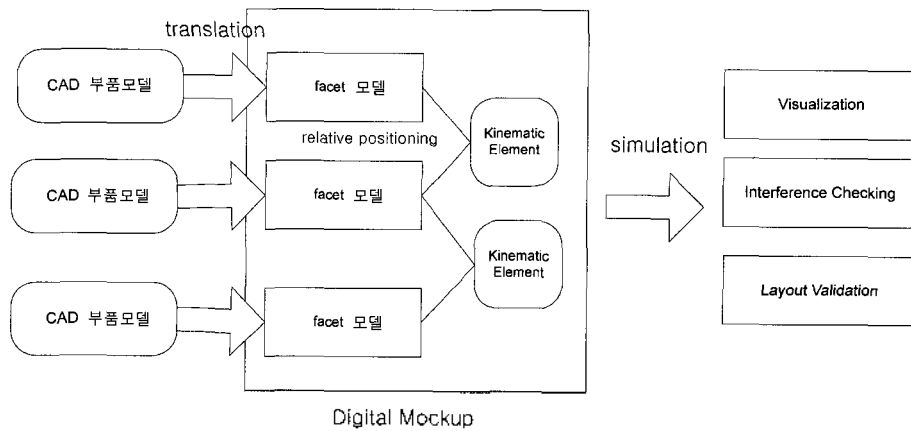


그림 4. Digital Mockup의 구성

제품을 가시화할 수 있고, 실제 조립과정에서 발생할 수 있는 간섭 등을 찾아서 수정할 수 있다. 그 외에도 전체적인 Layout의 상태를 점검하여 원하는 설계가 이루어졌는지 확인할 수 있게 된다. 이러한 과정에서 여러 부서의 engineer 들이 같이 참여하여 설계검증을 가능하게 한다.

이러한 디지털 mockup을 이용하면 Physical Mockup을 대체함으로써 개발기간단축, 비용절감을 가져오게 한다. 즉 Physical Mockup을 통한 테스트를 감소시키게 되므로 개발기간 및 비용이 단축되고, 더 많은 설계대안에 대해 시도하고, 차량개발 데이터를 여러 부서에서 공유하고 효율적 관리를 가능하게 하고, 초기 설계에서 제품의 가시화를 통해서 효과적인 설계검토를 이루므로 초기 설계 품질 향상으로 높은 품질의 제품개발이 가능하게 된다.

2.2. 가상 현실(Virtual Reality) 응용 설계 기술

가상현실을 이용한 차체 및 차실은 Immersive한 가상현실환경에서 실제 제품이 존재하는 것과 같은 실체감을 바탕으로 차체의 폼핑, 조작도의 용이성 등을 평가, 설계에 반영하는 것을 뜻한다. 실물을 제작하지 않고도 그 물체의 효용을 체험할 수 있으므로 실물을 만드는 과정을 생략할 수 있다. 또한 사용자가 가상공간에서 가상의 물체들과 interactive하게 작동할 수 있으므로, 인체 공학적인 설계에 도움을 줄 수 있다. 뿐만 아니라 기존의 방법으로는 얻기 어려운 복잡한 인체동작을 capture 할 수 있

는 용도로도 활용될 수 있다. 또 실물을 제작하는 것이 아니므로 필요에 따라 모델을 쉽게 수정할 수도 있게 된다(그림 5).

그림 6과 같이 가상현실시스템은 입출력 장치와 시뮬레이터로 나누어지게 된다. 입출력 장치는 사용자에서 3차원 입체영상을 보여주는 display 시스템과 사용자의 입력을 받아드리는 데이터글러브, 트랙커, 스페이스볼 등이 있다. 시뮬레이터는 입출력 장비와 연동되어서 빠른 graphics를 처리하는 graphic engine과 3차원 모델을 처리하는 소프트웨어로 구성되어 된다.

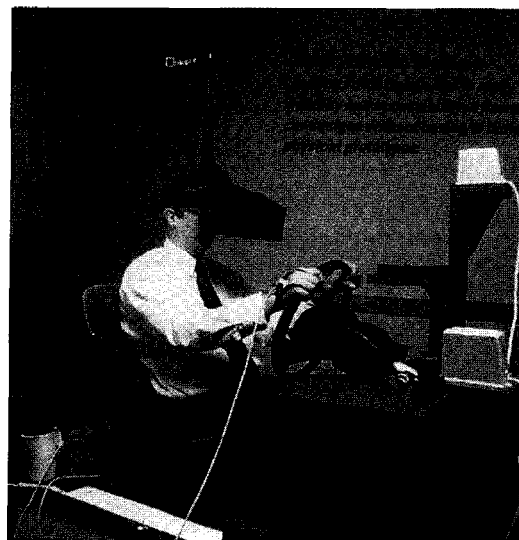


그림 5. 가상현실장비를 이용한 자동차 차실 설계

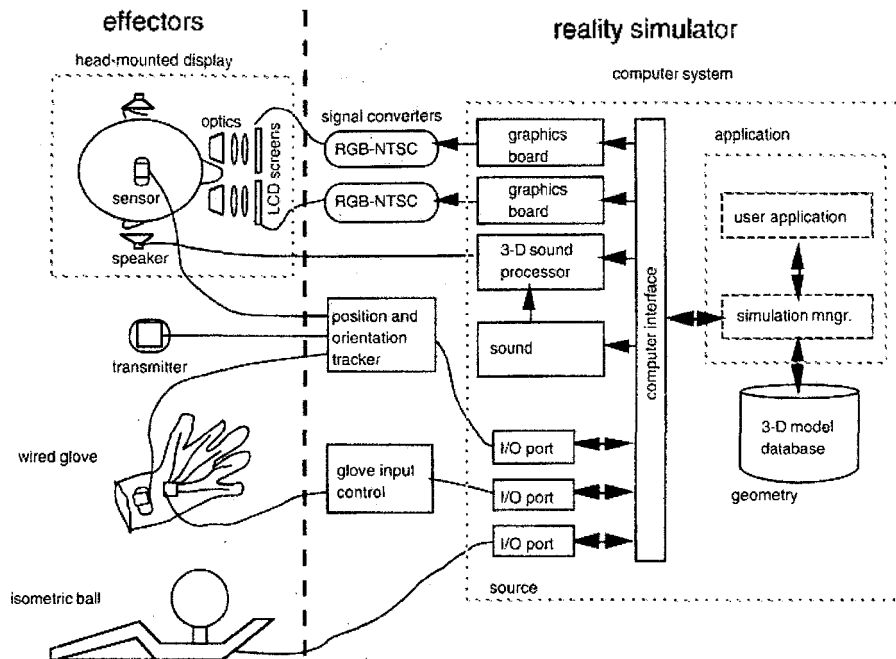


그림 6. 가상현실 시스템의 구성

가상현실을 이용한 설계는 첫째로 설계자가 다양한 입력수단을 이용할 수 있게 한다. 즉, graphics를 보면서 마우스를 이용하여 설계를 하는 기존의 CAD에 반해서 가상현실이용 설계는 설계자가 데이터글러블을 끼고 3차원 입체영상과 interactive하게 설계를 진행시켜 나갈 수 있게 된다.

3. 가상설계(Virtual Design) 기술응용 분야

3.1. 디지털 목업 응용 차량설계

3.1.1. 디지털 목업의 구현

디지털 목업을 구성하기 위해서는 전 부품에 대한 3차원 모델링이 선행되어야 한다. 3차원 모델링은 스타일링 단계와 설계단계에서 적용될 수 있다. 스타일링 단계에서는 Concept Sketch, Rendering, 1/4 Scale Clay Modeling, 1/1 Scale Clay Modeling 등의 과정을 거치게 되는데, 이 과정에서 PTC의 CDRS, SGI의 ALIAS 등의 Computer Aided Styling software를 이용하여 Rendering과 Clay model 제작과정을 도와줄 수 있다.

설계단계에서는 Layout 단계, Master Design

단계, Detail Design 단계를 거치게 된다. 이때 CATIA를 중심으로 한 Master CAD 개념이 확립되어야 한다. 즉, Styling 과정에서의 ALIAS, CDRS 등의 Software에서 교환되는 데이터와 금형 가공 과정에서 WorkNC, CAE 해석과정에서의 I-DEAS, PAMCrash, Adams 등의 software, 측정 및 측정 해석에서 Valisys 등의 Software 등이 CATIA 라는 Master CAD 시스템으로부터 하나의 통합된 데이터로 이루어져야 한다는 개념이 정립되어야 한다.

그러나 여러 다른 시스템간의 통합된 데이터를 이용하기 위해서는 이 기종 시스템간의 interface가 이루어져야 한다. 현재 IGES, STEP 등의 국제 표준이 제시되고 있으나 아직 완벽한 상호호환을 이루어내지 못하고 있다. 그 이유는 15차 곡면을 NURB 등의 다른 곡면을 기반으로 하는 시스템으로의 전환문제, 불연속곡면을 연속곡면만을 지원하는 시스템에 보내어지는 경우의 문제, 그리고 서로 수치 공차가 다른 시스템간의 데이터 공유시의 문제 등이 존재한다.

표 1에 나타난 것과 같이 디지털 목업을 지원하기 위한 상용시스템들이 현재 출시되어 사용되고 있다. 이들의 기능은 약간씩 차이는 있으나 기본적

표 1. 상용화된 가상조립시스템

회사이름	제품명	주요기능	비 고
Deneb Robotics Inc.	Envision	Collision Detection Kinematic Simulation Teleoperation Simulation	Catia와 direct interface
Tecnomatix	Dynamo	Assembly Simulation Assembly path generation	Dynamo/Engineer 등의 optional module
Division	d/Visé	Assembly Simulation Collision detection	Open architecture distributed multi-user system
E.A.I.	VisMockUp	Collision Interference Checking Advanced Visualization	Data sharing through standard Web
SILMA	Software Assembly	Assembly sequence simulation Optimal trajectory recording and visualization	
Prosolvia	Oxygen Assembly	Manual assembly simulation Assembly sequence analysis	Oxygen Immersive Oxygen Collaboration Oxygen CAD-Exchange 등의 optional module

으로 제공하는 기능은 비슷하다.

3.1.2. 기능적 디지털 목업의 개발

현재의 디지털 목업은 형상정보와 kinematics 정보만으로 구성된다. 그러나 실차 제작과 시험을 대체할 수 있는 디지털 목업을 구성하기 위해서는 형상뿐만 아니라 기능에 대한 정보도 디지털 목업에 포함되어야 한다. 이를 위해서는 첫째로 기계적 특성을 포함하는 모델을 만드는 Virtual Object Modeling 기술이 개발되어야 한다. 이는 단순한 형상 뿐만 아니라 물성체, 거동 등을 같이 modeling 할 수 있게 하는 기술이고 이와 더불어 실제 생산에서 나타나는 치수의 불확실성까지도 포괄하여야 한다. 들

째로는 기존의 Finite Element Analysis module 및 실험자료 등과의 interface를 통해서 실제거동정보를 구해내는 기술이다. 셋째로는 이를 기반으로 실제 차량과 같은 가상 시험을 수행하는 기술이 요구된다. 이를 위한 요소 기술을 정리하면 표 2와 같다.

3.2. 가상현실을 이용한 차량설계

가상현실을 이용한 차량설계를 위해서는 Virtual Reality Design Center의 구축이 필요하다. Virtual reality design center는 immersion(몰입감)과 interactivity(상호성)이 제공되어야 한다. Immersive 한 display는 HMD를 쓰는 방법과 SID 방식이

표 2. Digital Mock-Up 응용 가상설계 기술 분야 및 내용

필요 기술	구체적 기술 내용
Virtual Object Modeling 기술	형상과 물성체의 표현 기술 거동에 따른 형상변화 표현 기술 생산오차에 따른 형상의 Uncertainty 표현 기술
CAE 및 실험치의 interface 기술	Functional model 표현 기술 Mesh genation module과의 Interface 기술 Finiate Element Analysis module과의 Interface 기술 실험자료의 modeling 기술
가상차량기능 검사	가상 강성검사 가상 충돌시험 가상 진동소음 시험

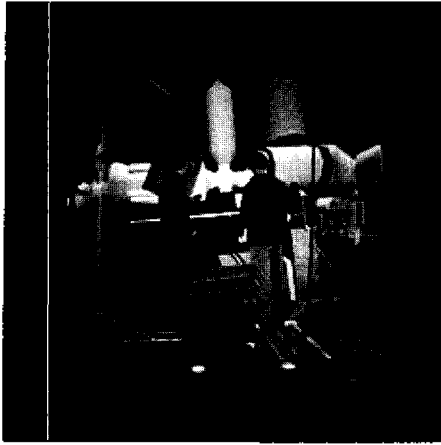


그림 7. CAVE 방식의 Immersive한 SID 가상 현실 디스플레이 시스템

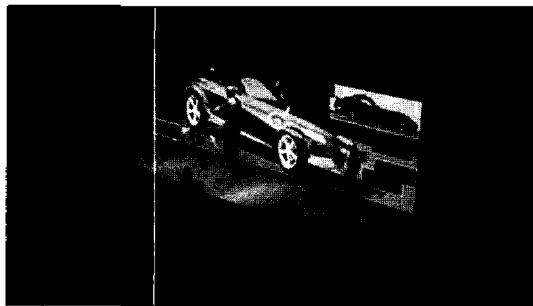
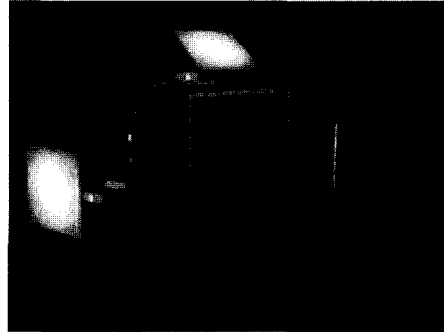


그림 8. 가상현실을 이용한 차량설계검증

있는데, 여러 사람이 동시에 이용할 수 있는 SID 방식이 자동차 설계용으로 유리하다. SID 중 4면의 screen에 디스플레이를 투사하는 CAVE 방식이 많이 이용되고 있다. 동시에 Interactivity를 위해서는 사용자가 테이더 글러브와 트랙커를 이용하여야 한다.

가상현실을 이용한 차량설계기술(Virtual Reality based Vehicle Design)은 차량설계과정에 Virtual Reality 기술을 적용하여 효율적인 설계를 이루어내는 것을 목표로 하고 있다. Virtual Reality 기술은 기존의 Computer Graphics 보다 향상된 실체감을 제시함으로써 사용자에게 실제물건과 유사한 체험을 가능하게 한다. 이를 설계과정에 필연적으로 수반되는 실시제품 제작대신 적용시켜 개발비용과 시간의 절감효과를 가져올 수 있게 한다.

첫째로 적용될 수 있는 분야는 스타일링 품평을 위한 Clay model 제작을 대체하는 것이다. Computer-Aided Styling 시스템에 의해서 디자인된 차체의형

과 차실 내부 모델을 immersive한 Virtual Reality 기술을 적용하여 마치 Clay model이 앞에 놓여져 있는 것과 같은 효과를 나타내게 하는 것이다. 이를 위해서는 정교한 모델을 Photo-realistic하게 display 하게 할 수 있는 기술이 개발되어야 하고, 이런 정교한 display에 요구되는 방대한 graphics data를 효율적으로 처리할 수 있는 기술이 개발되어야 한다.

둘째로 적용될 수 있는 분야는 조립성의 검사이다. 엔진룸과 같이 복잡한 조립공간에서 많은 부품들이 조립이 이루어져야 할 경우 부품들간의 간섭을 check 해 주는 기술이 요구된다. 또한 작업자가 조립하는 과정을 원활히 할 수 있도록 작업 시에 작업자의 시야, 팔의 도달성, 손에 닿는 느낌 등을 simulation 하는 기술도 개발되어야 한다. 이는 정비성을 높이는 설계에도 적용될 수 있다.

마지막으로 적용될 수 있는 분야는 차실 내부의 인체공학적 설계이다. 차실 내부의 front panel, steering wheel, rear view mirror, door 등의 다양한 요소설계과정에서 운전자의 신체적 조건, seat 의 setting 등에 따라 운전자의 시야, 팔의 도달성, 편의성 등이 결정이 된다. Virtual Reality 기술을 이용하여 설계자가 운전자의 위치에 앉아서 직접 시야, 팔의 도달성 등을 경험하면서 interactive 하게 차실 내부의 요소들을 배치, 설계, 평가하게 할 수 있다. 이를 위해서는 차실 내부 요소들을 쉽고 interactive하게 배치할 수 있는 Parametric modeling 기술이 개발되어야 한다. 또한 다양한 운전자의

표 3. 가상현실(Virtual Reality) 응용 차량설계 기술 분야

적용 분야	기술 내용
전자 품평	자동차의 외관 및 차실 Modeling 기술 Photo-realistic display 기술 효율적 Rendering 기술
조립 simulation	조립체 표현 기술 Haptic Feedback 기술 간섭 check 기술 정비성 검사 기술
차실내부 설계	차실내부의 Parametric Modeling 기술 운전자의 인체공학 Modeling 및 거동 tracking 기술 실모형과 가상모형의 alignment 기술

신체조건을 시험할 수 있는 인체공학 modeling 및 신체요소 tracking 기술이 개발되어야 하고, 부분적인 실모형과 가상모형의 alignment 및 calibration 기술도 수반되어야 한다. 이러한 기술요소들을 정리하면 다음과 같다.

가상현실을 이용한 자동차 설계를 위해서 필요한 요소기술은 표 3과 같다.

4. 국외 자동차 업체 현황

자동차 업계에서는 미국의 Chrysler에서 적극적으로 Virtual Engineering을 도입하고 있는 것으로 알려져 있다. 97년 최초의 종이 없는 엔진이라고 불리는 6기통 DOHC 엔진을 개발하였다고 보고하고 이어서 98년형 Dodge Intrepid에서는 5500개의 Catia 부품으로 구성된 Virtual Prototype을 구성하여 1500여개 이상의 간섭, 끼워 맞춤과 같은 설계문제를 조기에 발견하였고, 평균 3주 정도가 소요되는 Powertrain과 샤프의 조립을 단 한번 만에 성공하였다고 보고하였다. 이로서 전체적으로 8개월 이상의 개발기간을 단축하였다고 보고하였다.

독일의 Daimler Benz 사에서도 이런 Virtual reality 기술을 도입한 Virtual Prototyping에 적극적이다. 현재 Ulm에 Virtual Reality Competence Center를 설립하여 실물크기의 Virtual Prototype을 가시화하여 여러 엔지니어들이 설계를 평가할 수 있도록 하는 환경을 구축하였다. 이 시스템을 활용하여 virtual wind tunnel, virtual interior ergonomic reviews, virtual test drives, virtual factory, virtual showroom 등을 시도하고 있다. 이 중 virtual show-

room은 실제 대리점에도 적용을 시도하였는데 고객이 터치 스크린 디스플레이를 통해서 차체 색상, 내부 장식재, 바퀴형태를 비롯한 72가지 이상의 항목을 선택하게 할 수 있게 하고 이를 5백 만개 이상의 polygon으로 구성된 상세한 형상을 검증할 수 있도록 하는 시스템을 구축하였다.

GM의 경우 Electro-Motive Division에서 기관차를 위한 새로운 16기통 엔진인 GM16V265H를 개발하였는데도 Virtual Prototyping 기술을 적극적으로 도입하였다. 이 엔진은 더 높은 출력과 높은 연비를 달성하였는데도 불구하고 기존의 3년 이상 걸리던 개발 기간을 18개월로 단축할 수 있었다고 보고했다.

일본의 경우 Mazda에서 Mazda Digital Innovation이라는 디지털 혁신 운동을 추진하고 있는데 Solid Modeling은 SDRC의 I-DEAS Masters Series, 제품 정보관리는 SDRC의 Metaphase, 제조공정 시뮬레이션은 Technomatix 등을 이용하고 충돌 해석, 진동소음 해석 등에도 CAE를 설계초기에 적극적으로 이용하려고 노력하고 있다고 보고되고 있다.

5. 기대효과 및 결론

5.1. 새로운 모델링 및 설계방법도출

가상현실을 이용한 설계와 디지털 목업을 이용한 설계를 활용함으로써 새로운 설계방법이 만들어지게 된다. 가상현실 환경 속에서 multimodal interface를 이용하여 설계하는 경우 단순히 컴퓨터 스크린에 나타난 3차원 모델을 보면서 모델링을 하는 것이 아니라 immersive한 환경 속에서 눈앞에 놓여진

가상의 물체와 사용자가 interactive 하게 모델링을 하게 된다. 이때 손, 목소리, 촉감 등을 활용하게 되므로 3차원 모델을 보면서 모델링을 할 때와 다른 높은 수준의 interface를 제공하게 된다. 그러므로 사용자는 훨씬 더 직관적이고, 실 사용자의 인체 공학적인 설계를 가능하게 된다. 또한 이러한 컴퓨터 모델 중심의 설계가 이루어질 경우, 기존의 설계, 시제품 제작, 테스트, 설계변경의 과정을 단축하는 효율적인 설계를 가능하게 한다.

5.2. 품질의 예상과 조절

디지털 목업은 궁극적으로 생산과정을 시뮬레이션 할 수 있는 기반을 형성하게 된다. 시뮬레이션은 궁극적으로 전 생산과정에서 제작하고자 하는 설계가 어떤 영향을 끼치게 될 것인지를 평가할 수 있게 된다. 즉, 생산과정에서 나타날 수 있는 다양한 생산오차를 분포에 따라 각 경우를 시뮬레이션 해 보고, 그 결과를 검토해 볼 수 있게 된다. 그럼으로써 현재의 설계가 어느 정도의 오차분포로서 생산될 수 있는지를 실제 생산에 들어가기 전에 예측해 볼 수 있게 되는 것이다. 이런 예측이 가능함에 따라 품질의 조절도 가능하게 된다. 즉, 현재의 설계의 가공성, 조립성 등을 평가함에 따라 설계변수들의 sensitivity를 구해내고, 이에 따라 최상의 품질을 유도할 수 있는 설계를 이루어 낼 수 있게 되는 것이다.

5.3. 생산과정의 검증과 최적화

디지털 목업을 이용한 설계는 궁극적으로 생산과정 시뮬레이션과 연계되어지게 된다. 생산과정 시뮬레이션은 NC machining, Robot operation, CMM measurement 등을 시뮬레이션 하게 되는데 이를 통해서 가공경로나, robot arm의 경로, 측정 probe의 경로 등을 검증할 수 있게 된다. 이러한 검증과정을 통해서 만약에 나타날 수 있는 충돌 등의 문제를 미리 확인해 볼 수 있고, 이를 수정할 수 있게 된다. 한 차원 더 나아가서는 이러한 생산과정이 가장 효율적으로 일어날 수 있는 상태로의 planning을 가능하게 한다.

5.4. 고객과의 interface

디지털 목업은 실제 제품이 생산이 시작되기 전에 매우 현실적인 완제품의 모습을 보여줄 수 있다.

그러므로 고객은 자신이 어떤 제품을 얻게 될 것인가에 대해서 좀더 정확하게 파악할 수 있게 되는 것이다. 그러므로 초기 설계단계에서 고객이 원하는 설계를 이루어 낼 수 있고, 필요에 따라 고객의 요청으로 설계변경을 이루어 낼 수도 있는 것이다. 그러므로 디지털 목업은 고객이 설계에 참여할 수 있게 하는 기반을 제공하는 것이다.

5.5. 지식기반구축

현 공학과정에서 나타나는 문제는 제품개발과정에서 개발과정들이 체계적으로 기록되고 적립되지 못하고 있다. 많은 경우에 지나간 프로젝트에서 얻었던 경험이 다음 프로젝트에 적용되지 못하고 사장되곤 한다. 디지털 목업 중심의 개발과정은 그 과정에서 적용되는 전문적 지식, 경험 등이 체계적으로 축적될 수 있다. 개발과정에서 발생되었던 설계변경, 설계 프로시저 등이 디지털 데이터로 모두 기록되므로 체계적인 관리가 가능한 것이다. 그러므로 이러한 디지털 목업 중심의 제품개발이 지속적으로 진행되는 동안 방대한 전문적 지식이 축적될 수 있고, 이것이 그 다음 단계에 효율적으로 반영될 수 있는 상태로 남아 있게 된다. 앞서서 이루어졌던 경험을 효율적으로 이용한 제품개발이 가능하게 된다.

5.6. 협력공학의 기반제공

디지털 목업을 이용한 설계는 협력공학을 활성화 시키는데 도움이 된다. 일차적으로 제품정보가 디지털이므로 여러 엔지니어가 쉽게 공유할 수 있게 된다. 그러므로 한 프로젝트에서 여러 부서의 엔지니어가 충분하게 제품의 정보를 파악하며 개발에 참여할 수 있게 된다. 또한 실물과 흡사한 가상화로서 서로 다른 부서의 엔지니어라도 직관적으로 현상을 이해할 수 있게 하고 토론할 수 있는 기반을 제공하게 된다. 아울러 네트워크의 발달로 인하여 같은 장소에 있지 않은 엔지니어끼리도 디지털 목업을 공유하여 개발에 참여할 수 있게 된다.

본 원고의 내용은 국민대학교 이상현 편집위원이 한국과학기술원에서 산업자원부 및 과학기술부의 지원을 받은 “신차 개발기간 단축을 위한 자동차 개발기술 기반 구축” 과제의 최종보고서(1998. 10. 30)에서 발췌한 것이다.