

Virtual Testing 응용 자동차 설계 기술

오늘날 컴퓨터 시뮬레이션 기법은 차량 개발 과정에서 필수적인 도구가 되고 있다. 점점 치열해지는 기술 경쟁력을 확보하기 위해서는 앞으로 시뮬레이션 기술의 활용이 더욱 절실히 요청된다. 특히, 차량 개발 기간의 단축, 원자재의 절약, 최소한의 생산설비에 대한 해결책은 컴퓨터 응용 설계 및 시험기술을 통한 대책을 수립하는 경우에 제시될 수 있을 것이다. 더욱이 1990년대의 자동차 기술 경쟁력은 이외에도 다음과 같은 사항의 기술 개발을 요구하고 있다.

- 향상된 환경 친화적 자동차 기술 개발
- 강화된 차량 안전도 기술 개발
- 고객의 다양한 욕구를 만족시키고자 하는 융통성 있는 차량기술개발

이와 같은 기술개발 목표를 달성하기 위해서는 무엇보다도 다음과 같은 두 가지 측면에서의 기술개발 방향이 설정되어야 한다.

- 전세계 시장을 대상으로 기존에 비하여 적은 수의 Platform을 기반으로 하여 더욱 다양한 차량모델을 생산할 수 있는 체제를 구축함으로써 환경적 규제 및 시장상황에 신속히 대처할 수 있는 기술의 확보
- 최소의 생산비용으로 최고의 품질을 보장할 수 있는 자동차 설계기술을 바탕으로 차량개발 및 생산기간단축을 극대화시킬 수 있는 기술의 확보

이와 같은 기술목표에 도달하기 위해서는 전체적인 생산 Process에서의 혁신적인 기술 도입이 요구되는데, 무엇보다도 정보 및 통신기술의 효율적 응용 기술이 크게 요구되고 있다. 예를 들어 차량의 경량화 및 엔진성능의 최적화를 위한 혁신적 기술 향상을 위하여 도입된 컴퓨터 응용 설계 및 해석 기

술 개발로부터 시작하여 오늘날 Internet 및 Multimedia에 의한 통신기술의 활용은 전체적인 자동차 생산 Process 관점에서 볼 때 생산성 향상에 결정적으로 기여를 하고 있다. 실제적으로 오늘날 자동차 초기 개념 및 세부설계, 시제품 개발, 생산과정에 이르기까지에서의 CAD/CAM 적용 기술은 다양한 개발과정의 연결고리 역할을 하기 위하여 대표적인 정보기술(Information Technology, IT)로서의 필수 불가결한 위치를 차지하고 있다. 그런데 CAD/CAM 시스템은 개발기간을 최소화하면서 개발품의 품질을 극대화시키기 위하여 효율적이며 체계적인 활용을 위해서는 차량개발체제에서 엄청난 양의 데이터 및 정보의 처리가 요구된다. 따라서 회사내부 특히, 개발체제 내에서 사용되는 기본 엔지니어링 시스템에 대한 표준화가 필수 불가결한 요소가 된다(그림 1).

설계검증 및 신뢰성 확보를 위하여 선형 및 비선형 FEM 계산은 가장 대표적인 컴퓨터 해석 Tool로 활용되어 왔다. 그림 2에서 보듯이 1960년대와 1970년대부터 각각 도입되기 시작한 선형 및 비선형 FEM은 개선(improvement)단계 및 보급(popularization) 단계를 거쳐서 통합(integration)단계에 도달되어

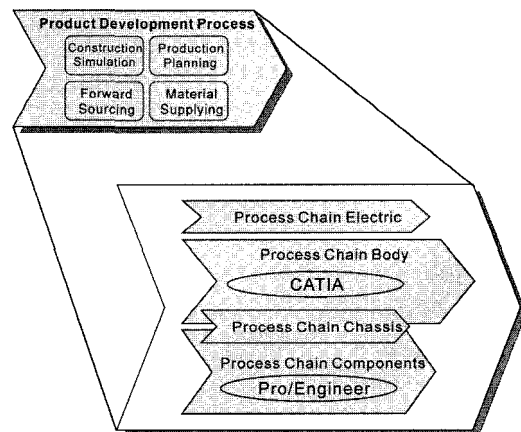


그림 1. Process oriented CAD strategy

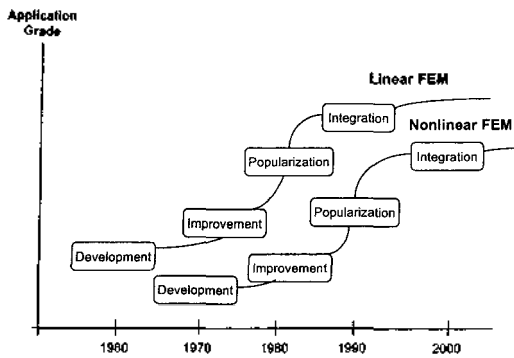


그림 2. FEM(Finite Element Method)의 개발과정

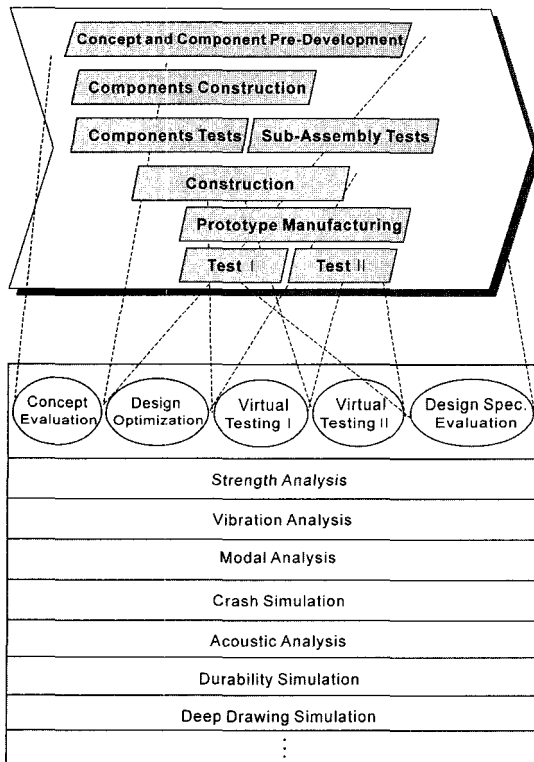


그림 3. 차량 개발과정에서 FEM 응용 Virtual Testing의 통합적인 적용 개념

있다. FEM이 더욱 많은 분야에서 일관성 있는 개발 Tool로 활용되기 위해서는 CAD/CAM 및 CAT (Computer Aided Test)와의 통합 과정이 절실히 요구된다. 이에 대한 도식적인 개념을 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

이와 같은 통합화 과정으로부터 개발과정의 신뢰

도 향상 및 기간 단축 효과를 기대할 수 있으며 궁극적으로 이른바 ‘가상 생산품’(Virtual Product) 또는 ‘Digital Product’의 기술 개발의 목표에 도달될 수 있게 된다. 이러한 Virtual Product의 주요 기술 개발 목표는 다음과 같다.

- 설계공간의 최적화
- 조립 및 수리과정의 가상시험
- 기능 시뮬레이션
- 다양한 설계 변경의 시도

상기 기술개발 목표는 기존의 개발과정에서는 오직 Physical Mock-Up(PMU) 또는 Physical Prototype의 제작을 통해서만 가능한 일이었으나 오늘날 Digital Mock-Up(DMU)을 통하여 초기 개발 과정에서 이에 가상시험 평가(Virtual Testing and Evaluation)가 진행될 수 있다.

현재의 Digital Mock-Up은 형상정보와 Kinematics 정보만으로 구성된다. 그러나 실차제작과 시험을 대체할 수 있는 Digital Mock-Up을 구성하기 위해서는 형상 뿐만 아니라 기능에 대한 정보로 Digital Mock-Up에 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 모델링 할 수 있게 하는 기술이고 이와 더불어 실제 생산에서 나타나는 치수의 불확실성까지도 포괄하여야 한다. 둘째로는 기존의 FEM 모듈 및 실험자료 등과의 Interface를 통해서 실제 거동정보를 구해내는 기술이다. 셋째로는 이를 기반으로 하여 실제 차량과 같은 가상시험(Virtual Testing)을 수행하는 기술이 요구된다. 일반적으로 차량개발 과정에서 시작 부품 및 시작 차량에 대하여 수행되는 주요 시험은 다음과 같다.

- 강도시험(Strength Test)
- 내구시험(Durability Test)
- 진동소음시험(NVH Test)
- 충돌 및 안전시험(Crash and Safety Test)
- 성능 및 배기시험(Performance and Exhaust Test)
- 승차감 및 조향 안정성 시험(Ride and Handling Test)

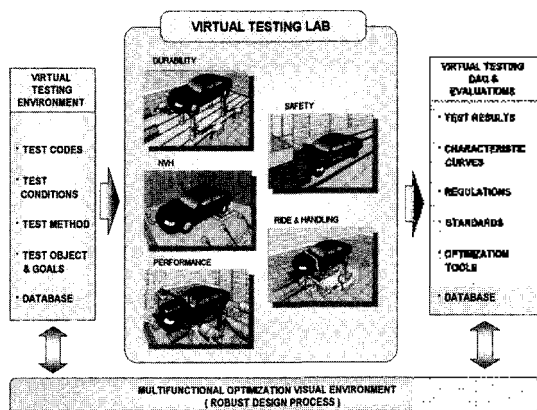


그림 4. Digital Mock-Up 응용 Virtual Design을 위한 Virtual Testing Lab

상기와 같은 각종 시험 항목을 앞서 설명한 바와 같이 Digital Mock-Up 기술을 활용할 때 가상시험환경(Virtual Testing Environment)에서 매우 효과적으로 수행될 수 있으며, 궁극적으로 다음과 같은 기대효과를 얻을 수 있다.

- Physical Mock-Up은 제작 이전에 신뢰할 만한 시험 결과를 예측함으로써 최소의 시작품 제작 가능
- 일관성 있는 가상 시험결과를 토대로 한 Robust Design Process의 실현 가능성 제시
- 시험 방법 및 결과에 대한 표준화 및 각종 시험 데이터 베이스 구축이 용이하여 다양한 제품 Variation에 대한 가상 시험 및 비교평가 가능
- 최종적으로 개발 제품의 품질 최적화와 동시에 개발 기간의 최소화 목표 실현

Digital Mock-Up을 활용한 Virtual Testing Lab의 개념도를 도식적으로 나타내면 그림 4와 같다.

◎ Virtual Safety Testing 응용 기술

오늘날 동시공학적인 측면에서 차체 안전도 최적화 설계는 초기 개발과정에서부터 이루어지고 있다. 이를 위해서는 시작차량의 제작 이전에 다양한 안전도 성능 평가를 하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 작업이 요구된다. 이른바 Digital Mock-Up 모델을 바탕으로 한 가상 안전 시험(Virtual Safety Test)

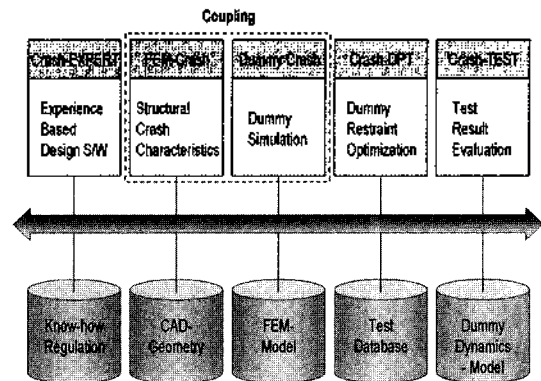


그림 5. Virtual Safety Test를 위한 S/W 모듈 및 데이터 베이스

을 수행하기 위해서는 그림 5에서와 같이 각 개발 단계별로 적합한 S/W를 갖추어야 한다. 또한 Virtual Safety Test 결과의 신뢰성 및 일관성을 확보하기 위해서는 CAD 데이터 및 다른 종류의 해석 데이터 그리고 기존의 시험 결과 데이터 베이스와의 유기적인 데이터 공유 및 정보 전달체계의 확립이 아울러 요구된다.

CAD 데이터는 차체의 FEM 모델의 기초가 되어 궁극적으로 Digital Mock-Up 데이터로 전환된다. 안전법규를 만족시키기 위한 시험 평가는 우선적으로 승객의 손상 정도를 바탕으로 한다. 따라서 Dummy 거동 Simulation을 수행하면 Restraint System의 안전도 평가와 함께 차체의 설계 목표가 제시될 수 있다. 차체의 안전도 설계 목표의 도달 여부는 비선형 FEM 해석으로 통하여 평가된다. 일반적으로 차량의 안전도 법규를 만족시키기 위한 최적화 설계는 차체 구조물과 승객 거동에 대한 해석을 동시에 수행하므로써 가능하게 된다.

☆ 구조요소 충돌해석

차체의 정면 및 후면 충돌과정에서 대부분의 충돌 에너지는 정면 및 후면의 Side Frame에 의하여 흡수된다. 또한 측면 충돌의 경우 Door Impact Beam에 의한 충돌 에너지 흡수의 최대화가 주요 설계 목표가 되고 있다. 이와 관련된 시뮬레이션 결과로써 다음 그림 6에서는 차체의 정면 Side Frame에 의한 충돌 해석 결과를 보여주고 있다.

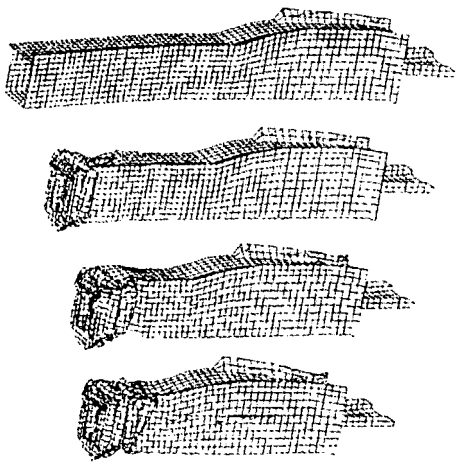


그림 6. 정면 Side Frame의 충돌 해석 결과

☆ 전체 차량 충돌 해석

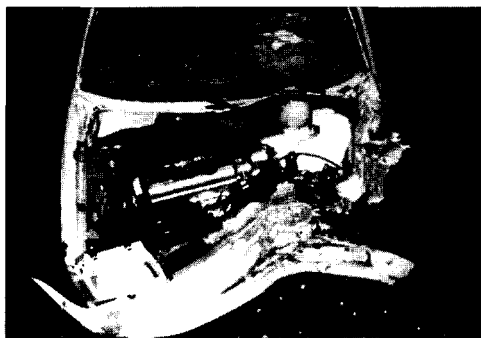
차량의 안전 법규와 관련된 충돌 시험은 초기 개발 단계에서 Digital Mock-Up을 이용하여 가상 충돌 시험을 수행할 수 있다. 결과적으로 시작 차

량의 제작 후에야 수행되는 충돌시험결과를 바탕으로 설계 변경 횟수 및 개발기간을 최소화시킬 수 있을 뿐 아니라 차체 경량화 및 고안전도의 설계상 중요요소를 최대한 만족시킬 수 있게 된다.

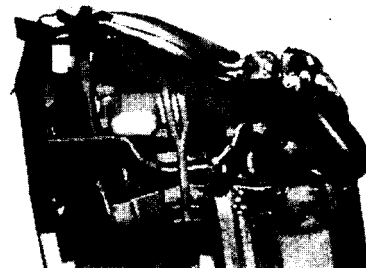
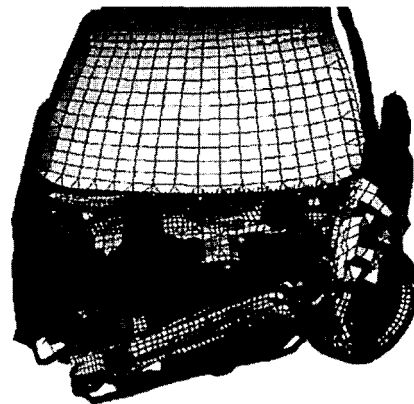
대표적인 가상 충돌 시험결과로서 그림 7과 그림 8에는 각각 정면 및 측면 충돌 시험 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 또한 그림 9에서 차량의 Compatibility 최적 설계를 위한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.

☆ 승객 거동 해석

승객거동해석을 통하여 승객 Restraint System을 최적화시킬 수 있다. 여기에서 수학적 모델링을 위하여 무엇보다도 신뢰할 만한 시험결과와의 구축 및 활용이 요구된다. 종래에는 그림 10과 같은 Mass-Spring 모델이 주로 사용되었으나 오늘날에는 그림 11과 같은 Full System FE 모델을 통하여 좀 더 실제상황과 유사하게 충돌시의 승객거동 시뮬레이션을 수행한다.



(Crash test)



(Virtual safety test)

그림 7. 차량 전방 충돌 시험 및 시뮬레이션 결과

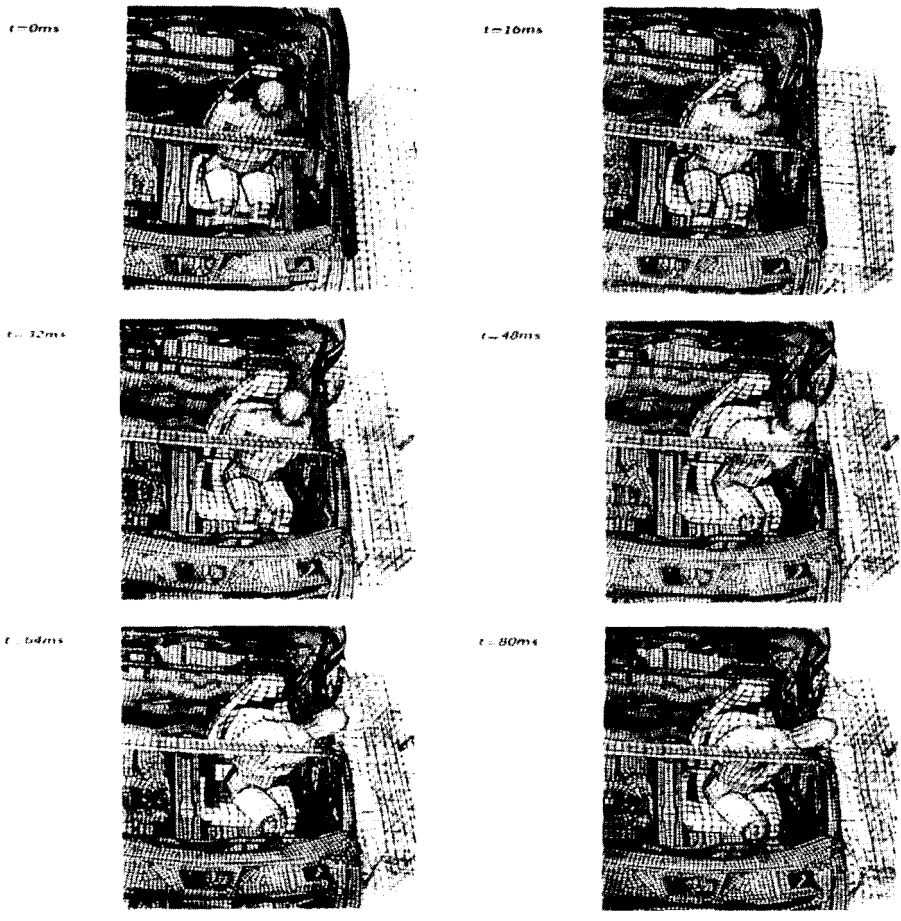
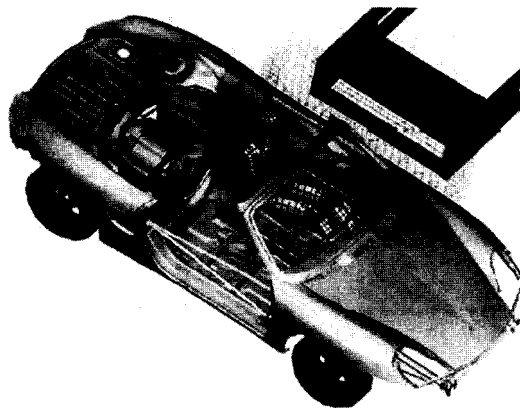
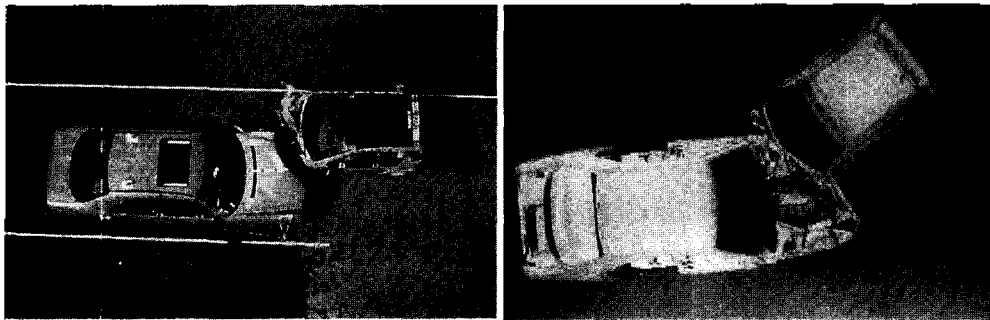


그림 8. 차량 측면 충돌 시험의 시뮬레이션 결과

◎ Virtual Testing 응용 샤시 시스템 개발
 차량부품 및 시스템의 수명 예측을 위한 피로시험은 일반적으로 전기유압식(servo-hydraulic) 시험

기를 통하여 이루어진다. 시험 결과의 신뢰도에 가장 중요한 요소는 도로 면으로부터 전달되는 하중 이력특성을 정확히 시험기에서 재현시키는 작업이



(Crash test)

(Virtual safety test)

그림 9. 소형 및 대형 차량간의 상호 충돌 시험 및 시뮬레이션 결과

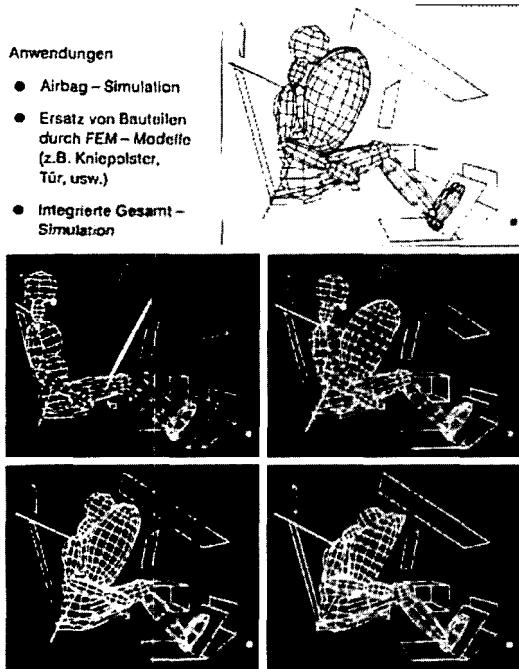


그림 10. Mass-Spring 모델을 이용한 승객 거동 해석

다. 이를 위해서는 실제 주행상황에서 측정된 가진 신호(excitation signal)를 입력으로 할 때의 차체 시스템 출력신호를 그림 12에서와 같이 시스템 제어 프로그램을 통하여 Feed-back 제어시킴으로써 거의 실제 측정된 입력신호가 차량부품시스템에 전달되도록 할 수 있다.

이와 같은 일명 전기유압식 'Road Simulator'를 통하여 가진되는 차량부품 및 시스템의 동적응답특

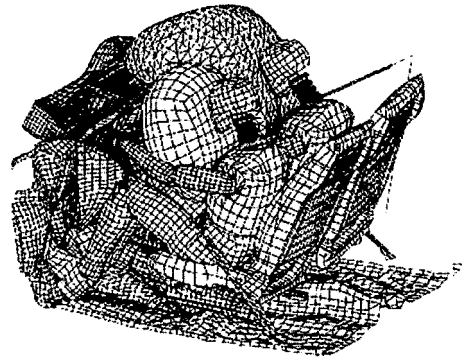


그림 11. Full System FE-모델을 이용한 승객 및 Restraint 시스템 거동 시뮬레이션

성을 측정하여 분석함으로써 해당부품 및 시스템의 내구수명을 예측할 수 있게된다. 종래의 실제 도로 면상에서의 주행시험에 비하여 시험수행시간의 단축은 물론 평가결과의 재현성 측면에서 매우 우수하다.

그러나, 오늘날 차량의 개발기간을 혁신적으로 단축시켜야 함을 고려할 때, 무엇보다도 매우 복잡하고 다양한 사시부품의 가속화된 개발과정이 절실히 요구되고 있다. 따라서, 사시부품의 개발과정에서 개발부품의 성능을 평가하기 위해 기존 방식대로 부품 시제작을 통한 부품시험에만 의존하는 경우 개발비용 및 개발기간 측면에서 개발부품의 상품경쟁력을 거의 기대하기 어렵게 된다. 이를 보완하기 위해서는 오늘날 Virtual Engineering 기술이 사시부품개발에도 적용되기 시작하고 있다. 즉, 부품개발단계에서 자주 요구되는 강도특성평가는 전

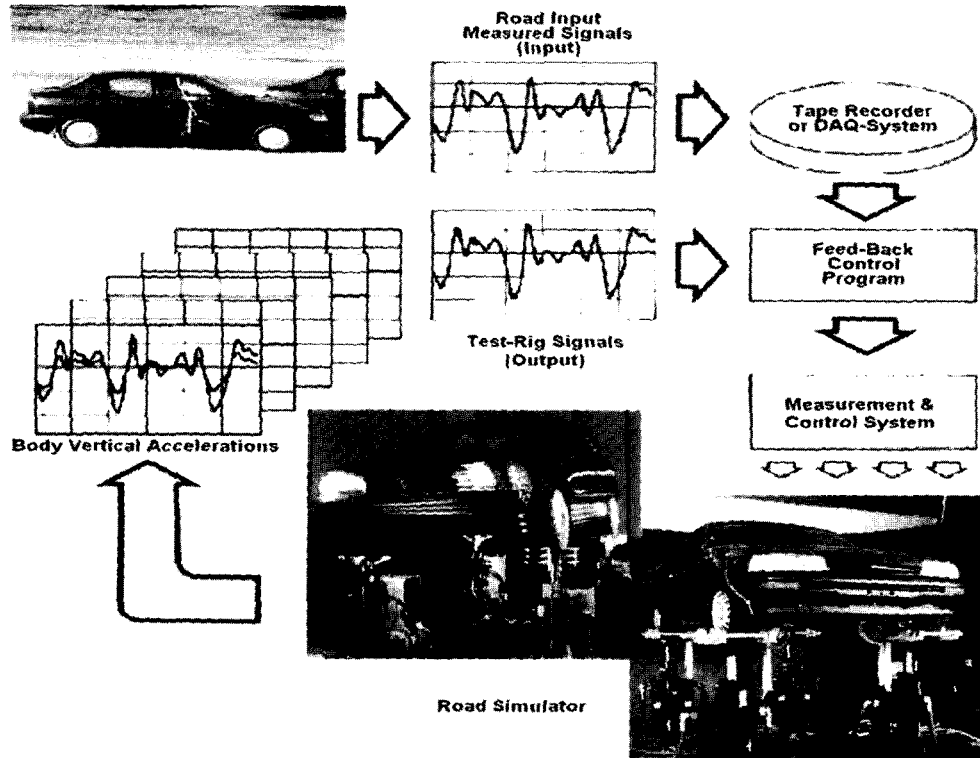


그림 12. 전기유압식 'Road Simulator'를 통한 차량 부품 내구성 시험

적으로 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 다양하게 설계 변경대상의 부품에 대하여 상대 평가될 수 있다. 단지, 중요한 개발 단계에 있어서만 Test-Rig 또는 실차시험을 통하여 실제 제작된 사제품에 대한 시험평가가 수행된다.

컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 개발부품을 상대적으로 평가하기 위해서는 특히, 재질 특성 및 가공 기술을 고려한 재질의 피로해석 및 수명 예측이 필수적이다. 이를 위하여 주어진 하중이력특성(load-time-history)에 대하여 국부적으로 나타나는 다축(multi-axial)의 응력상태를 계산하여야 한다. 해석 결과를 바탕으로 외부하중분포 및 기하학적 형상을 고려한 부품의 강도 최적화 설계가 가능하게 된다. 이와 같은 일련의 작업을 도식적으로 나타내면 다음 그림 13과 같다.

도로 면으로부터 전달되는 데이터(measured load data)로서는 스프링 동적 변위, 타이어와 도로면 사이의 횡력 및 종축력(구동/제동력)과 구동 모멘트 등이다. 이들의 신호는 그림 14에서와 같은 Wheel

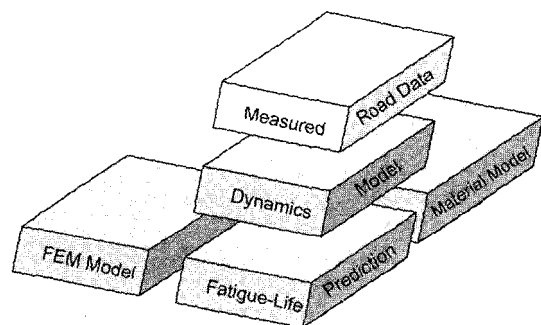


그림 13. 차량부품 내구수명예측을 위한 수학적 모델의 연계

Dynamometer를 통하여 측정 가능하다.

시스템에 가해지는 하중이력특성에 대하여 각종 구성부품의 Joint에 나타나는 하중이력특성을 그림 15에서와 같은 차량동역학적 모델을 통하여 계산된다.

차량동역학적 해석 모델을 통하여 계산된 각 구성부품의 하중이력특성은 FEM 해석 모델에 연계



그림 14. Wheel Dynamometer

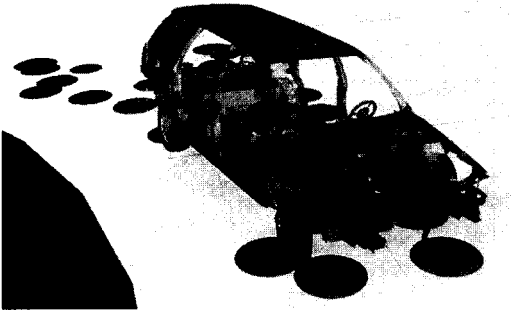


그림 15. 차량동역학 모델을 통한 Pot-Hole 시뮬레이션

되어 주어진 도로면을 일정한 속도로 주행 시에 각종 구성부품에 작용되는 동적 응력의 계산을 위한 입력 조건으로 사용된다. 대표적인 해석결과로써 후륜 현가 장치의 Sub-Frame에 대한 응력 분포도는 그림 16과 같다.

재료의 이력특성을 고려한 수학적 모델을 바탕으로 FEM 모델의 동적응력해석 결과로부터 궁극적으로 샤시구성부품 및 시스템에 대한 내구수명을 예측할 수 있다. 내구수명 예측결과와는 여러 가지 형태의 출력으로 나타낼 수 있는데, 특히 최근에는 다음 그림과 같이 각 요소에서의 국부적으로 예측되는 수명을 정량적으로 계산하여 나타냄으로써 샤시 부품의 초기개발과정에서 실제의 시제작 과정 없이 매우 빠른 기간 내에 주어진 설계 요구조건을

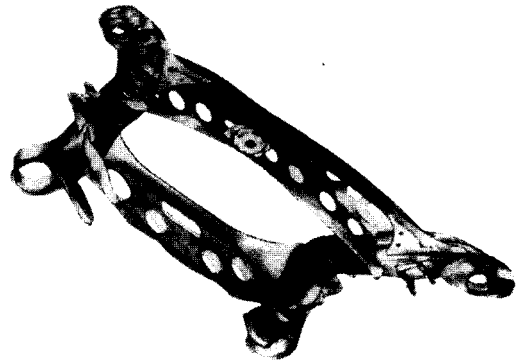


그림 16. 대표적인 차량 후륜 현가시스템의 Sub-Frame에 대한 FEM 응력해석결과

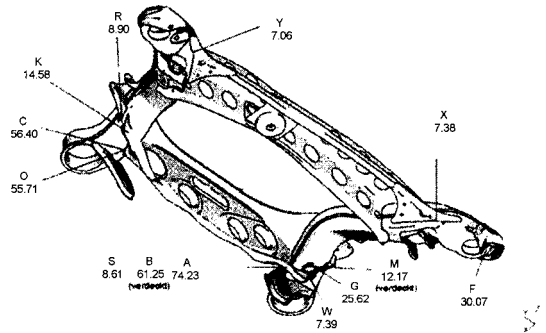


그림 17. 후륜현가시스템의 Sub-Frame에 대한 국부적인 수명에측결과

표 1. 샤시시스템의 주요 연구개발 분야 및 내용과 관련 시험 설비

연구개발분야	연구개발내용	시험설비
환경법규분야	배기 시스템의 환경최적설계	Chassis Dynamometer
내구성능분야	샤시부품의 경량최적설계	Road Simulator
승차감 및 조향 안정성 분야	현가기구의 최적설계	Driving Test & Driving Simulator

만족시키는 완료시킬 수 있다.

샤시시스템의 개발과 관련하여 가장 대표적으로 제기되는 연구개발 분야 및 관련 시험 방법은 다음 표 1과 같이 정리될 수 있다.

표 1에서 제시된 샤시시스템의 주요 연구개발과정은 기존에는 시제품 제작을 통한 관련 시험결과에

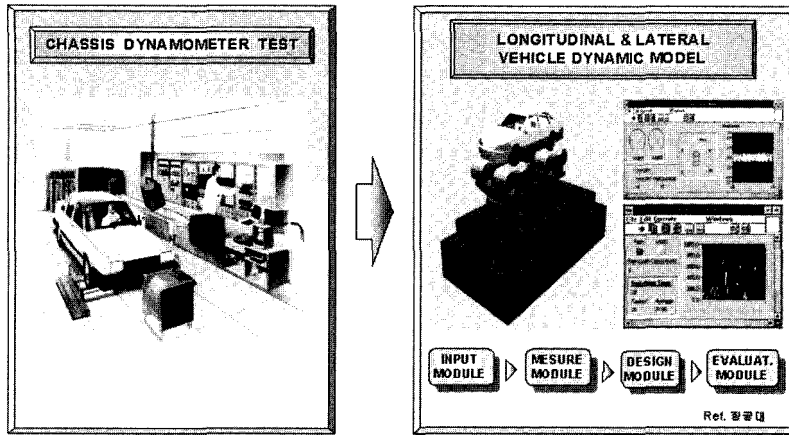


그림 18. Virtual Chassis Dynamometer의 개념도

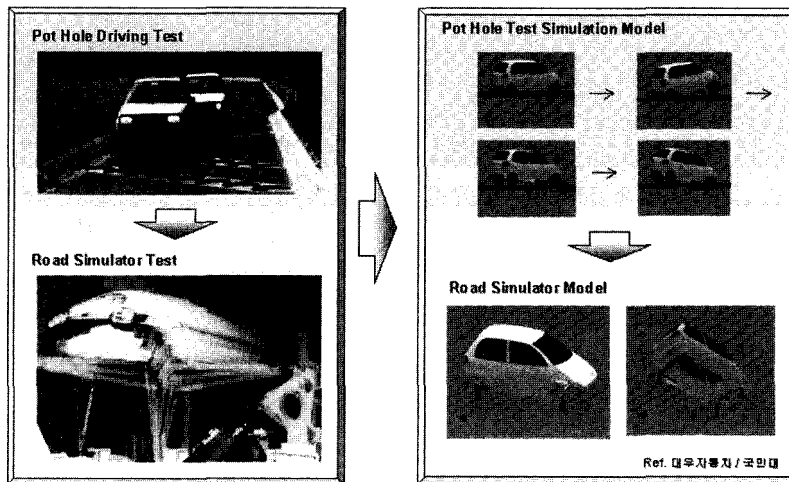


그림 19. Virtual Durability Test Lab의 개념도

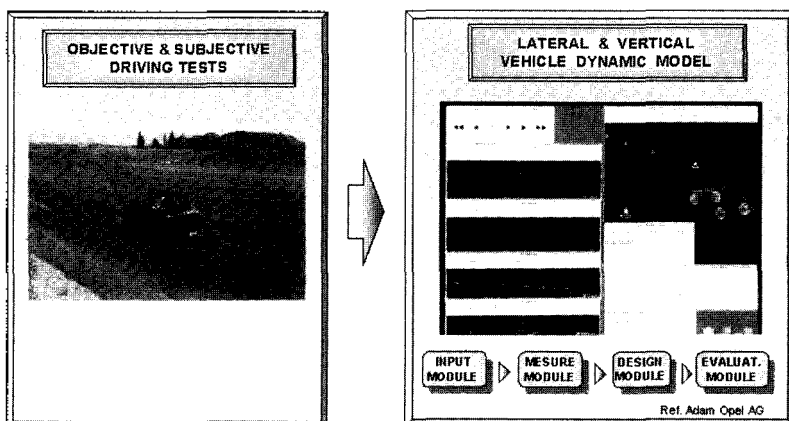


그림 20. Virtual Proving Ground의 개념도

크게 의존해 왔으나 앞으로는 Virtual Engineering 개념에서 Digital Mock-Up을 이용하여 요구되는 각종 시험은 가상 공간(Virtual Reality) 상에서의 Virtual Testing으로 대체할 수 있게 되며, 이에 대한 개념도를 예시적으로 나타내 보면 각각 그림 18~20과 같다

본 원고의 내용은 산업자원부 및 과학기술부의 지원을 받아 한국과학기술원에서 수행한 “신차 개발기간 단축을 위한 자동차 개발기술 기반구축” 과제의 최종보고서(1998. 10. 30)에서 이상현 편집위원이 발췌하였습니다.

CM