한국 CAD/CAM 학회 논문집
제10권 제2호 2005년 4월 pp. 77-88

기술논문

3D PLM 시스템을 이용한 F-125차량의 개발

이상헌*, 이강수**

Development of an F-125 Machine Using 3D PLM Systems

Lee, S. H.* and Lee, K.-S.**

ABSTRACT

This paper introduces a project for the development of an F-125 machine using 3D PLM systems including 3D CAD, CAM, CAE, PDM, and DMU systems. Here, the F-125 machine is a formula racing car equipped with a 125cc motorcycle engine. A development process and computer-integrated environment was established using 3D PLM systems on the conceptual basis of concurrent and virtual engineering. A DMU model for a full vehicle was built using CATIA V5 and used to check interference between parts and to simulate assembly process. This DMU-based approach enables to find and fix manufacturing problems in the early design stage. All development activities have been done by the graduate and undergraduate students of the automotive engineering department of Kookmin University. Through the project, the students could acquire knowledge about car development process and 3D PLM systems in automotive industry.

Key words : PLM, CAD, CAM, CAE, PDM, Digital Mockup (DMU)

1. 서 론

최근 자동차 업체들은 글로벌 시장 경쟁 체제 속에서 살아남기 위해서 소비자의 다양한 요구에 신속하게 대처하기 위한 노력을 경주하고 있다. 이를 위해서는 무엇보다도 품질을 유지하면서 자동차 개발 기간을 혁신적으로 단축시킬 수 있는 신개념의 자동차 개발 프로세스 및 시스템을 구축 운용하는 것이 필요하다. 이러한 요구 사항에 부응하기 위하여 최근 3D PLM(Product Lifecycle Management) 시스템을 중심으로 제품 개발 시 동시 공학(concurrent engineering)과 가상 공학(virtual engineering) 기법을 적용하는 사례가 급증하고 있다. 여기서 PLM이란 설계, 생산, 유지 보수에 이르는 제품의 전 주기에 걸쳐 제품에 대한 디지털 정보를 생성, 관리하는 작업을 의미하며, PLM 시스템은 이를 가능하게 해주는 각종 CAD, CAE, CAM, PDM, DMU, Virtual Manufacturing시스템을 통칭한다고 할 수 있다. 특히 3D PLM시스템은 3차원 모델링 기술을 기반으로 한 PLM 시스템을 의미한다. 동시 공학 기법이란 기획, 개념 설계, 상세 설계, 도면 작성, 생산, 조립, 판매 등 일련의 제품 개발 과정을 기존의 직렬 개념에서 병렬 개념으로의 전환시키는 것을 의미하며, 가상 공학 기법은 시제품 제작 이전에 컴퓨터 상의 다양한 시뮬레이션을 통하여 생산 및 A/S상의 문제점을 조기에 해결시킴으로써 납기 단축과 품질 향상을 달성하는 기법을 뜻한다[1-5].

이러한 3D PLM 시스템을 기반으로 하여 가상 공학, 동시 공학, 지식 관리 시스템, 통신 기술 등을 접목 시킨 기술을 기계 또는 자동차 설계 관점에서의 정보 기술이라 할 수 있으며, 이러한 정보 기술을 능동적으로 활용할 수 있는 고급 기술 인력의 양성은 자동차 업계의 시급한 과제라고 하지 않을 수 없다.

이러한 업계의 수요를 충족시키기 위하여 최근 정부에서는 창의적 종합설계를 위한 교과 과정의 개발 및 경진 대회 개최 지원 등 다각도의 공학 교육 개선 대책을 수립 시행하고 있다. 이에 본 국민대학교 자동차공학 전문대학원에서도 이러한 요구에 발맞추어 BK21 사업의 일환으로 정보 기술을 활용한 자동차 설계 인력 양성 프로그램을 운영하고 있다. 특히, 본 대학원에서는 이러한 목표를 달성하기 위하여 정규 교

*종신회원, 국민대학교 자동차공학전문대학원
**종신회원, 한밭대학교 기계공학부
- 논문투고일: 2004. 02. 09
- 심사완료일: 2004. 10. 01

과 과정에서 정보 기술을 활용한 자작 자동차의 개발 프로젝트를 학부와 공동으로 진행하고 있다. 이에 본 논문에서는 이러한 프로젝트의 수행 내용 및 성과에 대하여 소개하고자 한다. 여기에는 프로젝트를 효과적으로 수행하기 위한 IT 환경 구축, 프로젝트의 기획 및 수행, 그리고 그 교육적인 성과에 대해서 언급하고자 한다.

프로젝트의 개발 대상은 대학생 자동차 연구회(AARK)에서 개최하는 AARK F-125 Grand Prix 대회[6]에 출전할 F-125 포뮬러 자동차로서 이 자동차는 125cc 오토바이 엔진을 장착한 온로드(on-road) 경주용 자동차이다. 본 프로젝트에서 개발하는 자작 자동차의 개발 코드는 GF-100이고 최종 차량명은 KORA -13이다.

이후 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 개발 환경의 구축, 제3장에서는 조직 구성, 제4장에서는 개발 일정, 제5장에서는 차량 설계 과정, 제6장에서는 제작 과정, 제7장에서는 경주 대회 출진에 대하여 각각 소개하고 있다.

2. 개발 환경의 구축

2.1 가상 공학을 적용하기 위한 시스템 구성

가상 공학을 적절히 적용하기 위해서는 업무 수행에 적합하도록 다양한 전산 시스템을 적절히 구성하고 커스터마이징해야 한다. 이를 위해 Fig. 1과 같은 시스템 구성을 목표로 하고 연구를 진행하였다. Fig. 1에서 하단부는 전산 시스템을 이용하여 제품 개발을 하는 과정을 나타낸 것으로 현재 사용이 가능한 시스템만을 이용한 구조이다. 이 과정은 먼저 3차원 CAD 시스템을 이용하여 설계하고 이 데이터를 CAM과 CAE 시스템에서 이용한다. 그리고 필요한 부품을 가공하거나 구매하여 시제품(prototype or mockup)을 만들어 필요한 시험을 한다. 구매, 가공, 시제품 조립, 시제품 시험 등에서 발생한 문제점을 분석하여 이를 설계에 반영하고, 필요하면 이전과 같이 가공과 조립, 시험 과정을 다시 거치게 된다. Fig. 1의 상단부는 이전의 과정과 가상 공학을 접목시킨 과정이다. 여기에서는 컴퓨터 상에서 사용되는 시제품을 DMU(Digital MockUp)라 하고, 실제로 제작된 시제품을 PMU (Physical MockUp)라 하였다. Fig. 1에서는 3차원 CAD 시스템에서 생성된 데이터를 기본적인 DMU (generic DMU) 라고 정의하였으며 이를 이용해 가상 설계, 가상 생산, 가상 시험 등과 같은 과정에서 용도에 맞게 사용되는 DMU를 용도에 따른 DMU (application based DMU)라 정의하였다[3-12]. 이는 기존의 CAD 데이터가 이후 가상 공학 과정에서 요구하는 모든 특성 데이터를 가지고 있지 못하고 있기 때문이다[1,4]. 용도에 따른 DMU 중 가장 정형화가 잘 되어 있는 것은 가시화를 위한 DMU(DMU for visualization)를 생성하고 이용하는 과정이다. 이는 3차원 CAD 데이터를 가시화를 위해 단순한 형태의 facet 데이터로 변환하여, 구매, 설계 검토, 협조 설계, 생산 검토, 문서 제작 등에 활용된다[5]. Fig. 1에 나타나지는 않았지만 전산 데이터와 개발 프로세스는 모두 PDM 시스템과 인터넷으로 운영된다.

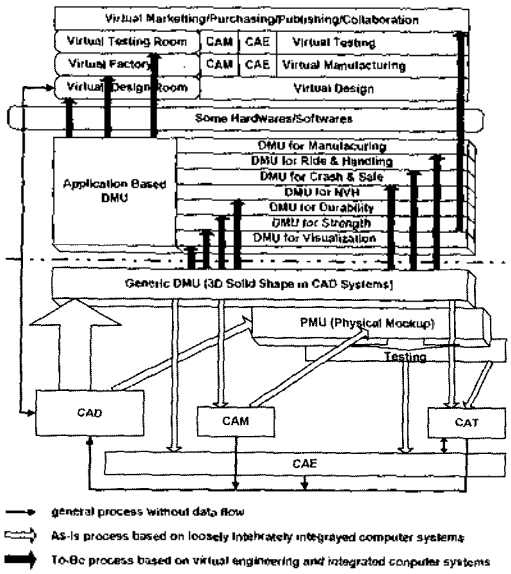


Fig. 1. System architecture using various computer-aided systems and virtual engineering technologies.

2.2 전산 시스템의 구축

본 프로젝트에 사용된 3D PLM 관련 소프트웨어들을 나열하면 다음과 같다.

- CAD 시스템: CATIA V5.
- PDM 시스템: TeamPDM.
- DMU 시스템: VisMockup과 CATIA V5의 DMU 모듈.
- CAM 시스템: Z-Master 및 CATIA V5의 Manufacturing 모듈.
- CAE 시스템: ADAMS, DADS, CFD-ACE+, STAR CD, ANSYS, NASTRAN, HyperMesh, PamCrash 등.
- 3차원 형상 역공학 시스템: RapidForm과 RealScan 3D 장비.

Fig. 2는 통합된 전산 환경 하에서의 제품 개발 과정을 지원하기 위해 구축된 전산 시스템의 구성도를 나타내고 있다. 대학원 전산실에는 공통적으로 필요한 각종 소프트웨어들이 설치되어 있으며, 각 연구실에는 전공과 관련된 전문적인 CAE 시스템들과 역공학 시스템이 설치되어 있다. 이들 시스템들은 교내 네트워을 통하여 서로 연결되어 있다.

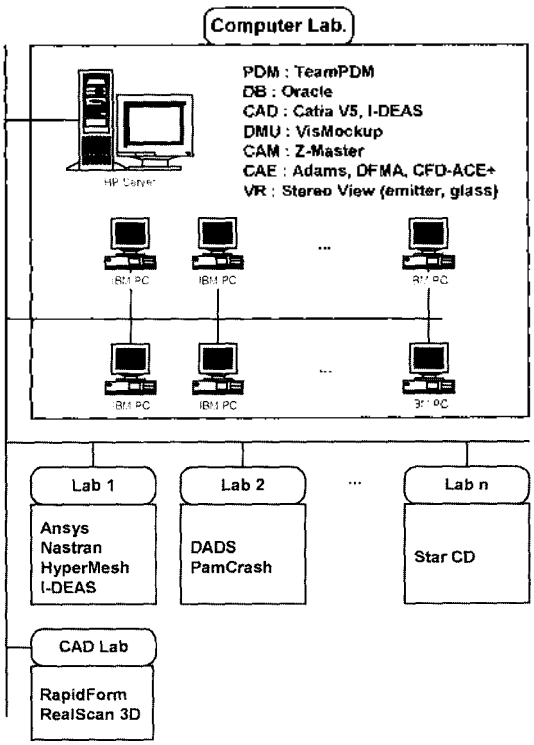


Fig. 2. Computing environment.

2.3 PDM 시스템의 구축

동시 공학과 가상 공학의 구현을 용이하게 해주는 것은 PDM (product data management) 시스템이라고 할 수 있다. PDM 시스템이란 제품에 관한 모든 정보 자체와 그 정보가 제조업체 내에서 발생하고 배포되는 경로 및 절차 등에 관한 관리를 하는 정보 관리 시스템을 의미한다. PDM시스템은 제품 구성 관리, 저장소 및 문서 관리, 분류 및 코딩 시스템, 작업 흐름과 프로세스 관리, 제품 개발 일정 관리와 같은 기능들을 갖추고 있다. PDM 시스템은 전산 시스템에서 발생되는 모든 정보와 작업 프로세스를 관리하기 때문에 효율적인 전산 시스템을 구축하기 위해서는 PDM 시스템을 사용하는 것이 필수적이라 할 수 있다[13-15].

PDM시스템은 CATIA V5에 기본적으로 제공되고 있는 TeamPDM을 사용하였다. TeamPDM의 하부에 위치하는 DBMS 시스템으로서 사용 가능한 것은 Oracle, Ms SQL Server, InterBase, DB2 등이며, 본 과제에서는 TeamPDM에서 기본으로 제공되는 InterBase를 사용하였다. Fig. 3에 본 프로젝트에서 사용한 PDM 시스템이 나타나 있다. 이 시스템에는 CATIA로 설계된 각종 CAD 데이터 및 기술 자료들이 저장되어 있다.

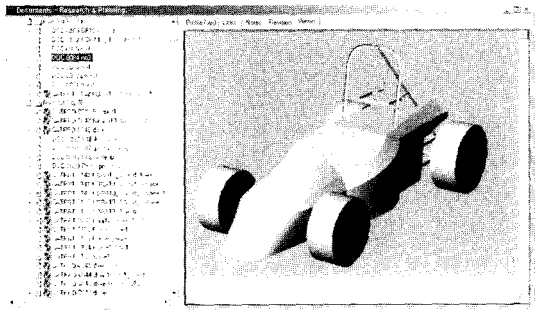


Fig. 3. PDM system customized from TeamPDM.

2.4 동시 공학을 적용하는 제품 개발 과정

PDM과 DMU를 이용한 제품 개발 과정은 참고문헌[16]의 Fig. 4에 나타난 것과 같은 프로세스를 사용하였다.

3. 조직 구성

KORA-13 개발을 위한 조직은 Fig. 4에 나타난 것과 같이 프로젝트를 총괄하는 PM(Project Manager) 밑에 다음의 7개 팀으로 구성되어 있다: Research & Planning (R&P)팀, Styling팀, Frame팀, Steering & Suspension (S&S)팀, Power Train (PT)팀, DMU팀, Manufacturing팀. Manufacturing팀과 Styling팀은 각각 국민대 기계-자동차공학부의 자작차 동아리인 KORA와 국민대 공업디자인과의 자동차 스타일링 동아리인 FORM의 구성원으로 이루어져 있으며, 나머지 5개 팀은 자동차공학 전문대학원 소속 대학원생으로 구성되어 있다. 또한, 대학원생의 팀 배치 시 자신이 속한 실험실의 전공 분야와 일치하는 팀으로 우선 배치함으로써 팀의 전문성을 살리도록 하였다. 각 팀의 역할 분담을 살펴보면 다음과 같다.

- Research & Planning (R&P)팀: 제품 기획, PDM 시스템 구축, 초기 설계의 인간공학적인 검토, 스타일링 팀의 일정관리, 구매 과정 관리, 전기 장치 설계 등.

- Frame팀: 프레임의 설계 및 해석 업무.
- Steering & Suspension (S&S)팀: 조향 및 현가 장치 설계 및 해석.
- Power Train (PT)팀: 엔진, 구동, 제동 부분의 설계 및 해석.
- DMU팀: 차량 전체에 대한 DMU의 구성 및 수정, 관리.
- Manufacturing팀: 차량 제작.
- Styling팀: 카울의 스타일링.

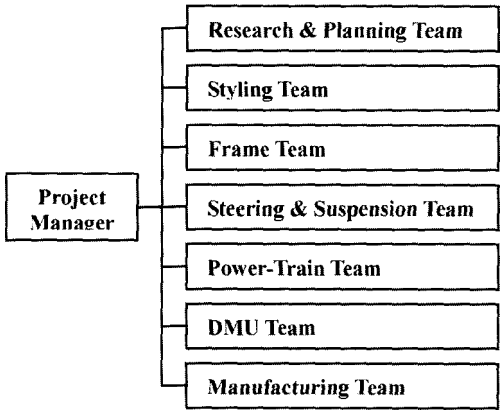


Fig. 4. Project team organization.

4. 개발 일정

설계 기간은 총16주로서 한 학기의 수업 기간과 일치하며, 제작 기간은 방학 기간인 설계 후 8주가 할당되었다. Fig. 5에 전체 설계 일정 및 각 팀의 활동이 나타나 있다. 13주차에 1차 DMU가 완료되었으며, 15주차에 2차 DMU가 완성되어 최종적으로 설계가 완료되었다. 그러면 각 팀 별로 시행한 설계 내용 및 제작 과정에 대하여 소개하도록 하겠다.

5. 설 계

5.1 제품 기획

제품 기획은 다음 과정으로 진행되었다: ① 경쟁 차량의 사양 및 성능 분석, ② AARK F-125 대회 규정[6] 조사, ③ 기존 F-125차량에 탑승하였던 운전자들의 요구 사항 수집 ④ 차량의 개발 방향 결정, ⑤ 구체적인 차량 제원표 작성.

KORA에서는 이미 이전에 KORA-12라는 차량을 제작하여 대회에 출전한 바가 있으므로 그에 대한 자료를 십분 활용하도록 하였다. 또한, 운전자의 요구 사항으로부터 요구 항목 및 품질을 추출하기 위하여 QFD(품질 기능 전개법, Quality Function Deployment) 기법을 이용하였다[7].

5.2 인간 공학

인간 공학은 주로 페달, 운전대, 기어 변속 스틱 등 운전석 관련 부분의 설계에 적용되었으며, 이를 통하여 운전자의 체형에 적합하고 운전자의 편의성이 높

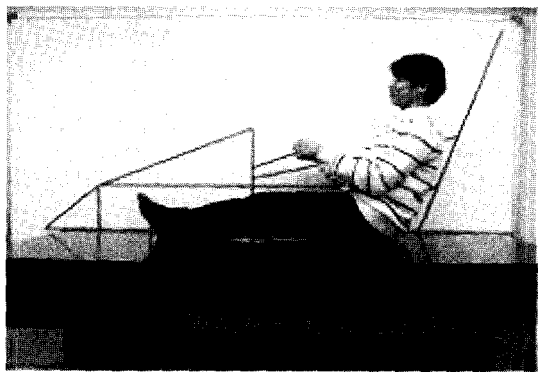


Fig. 6. Measuring a driver for modeling a mannequin in CATIA V5.

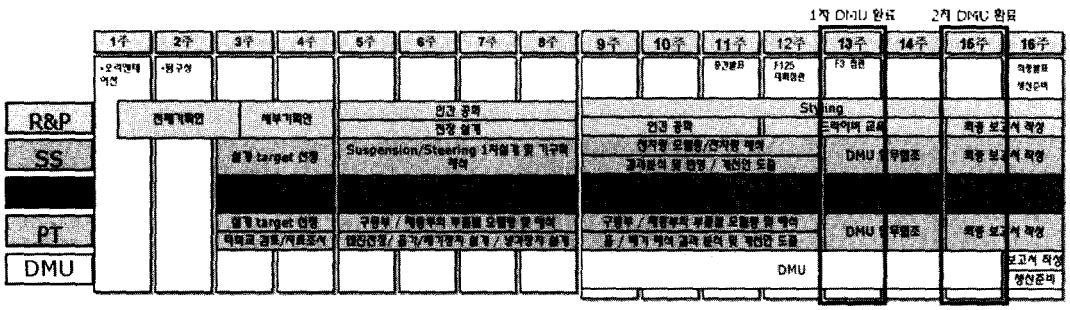


Fig. 5. Project schedule.

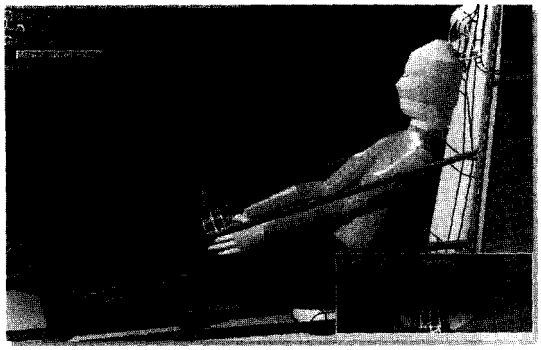


Fig. 7. View point of a driver simulated by CATIA Human.

은 인체 공학적인 차량 설계를 추구하였다. 본 과제에서는 CATIA V5 R8 Human 모듈을 사용하였으며, 경주에 참여할 운전자의 체형을 Fig. 6에서와 같이 실측하여 그 데이터를 CATIA 내의 마네킹에 적용하였다. 다음, 설계된 프레임 모델에 운전자 마네킹을 위치시켜 운전자의 시야에 대한 검증 작업을 실시하였다. 또한, 운전을 위한 각종 조작부(steering-wheel, pedal, manual stick)의 위치 결정에 활용 하였다. Fig. 7은 운전자의 시야에 대한 시뮬레이션 결과의 일부를 보여주고 있다.

5.3 스타일링

디자인 개념은 기존의 포뮬라 차량과의 차별성을 가지면서 앞서 제작된 KORA-12 차량의 디자인과 연계를 갖도록 하였으며, 동시에 정비가 용이하고 제작 가능한 형태가 되도록 하였다. 프레임 팀에서 일단 프레임의 개괄적인 설계 결과를 스타일링 팀에 이관하였으며, 이를 바탕으로 여러 가지 시안들을 만들었다. 2차원 스케치 상태의 여러 후보 안 중에서 몇 가지 안을 선정하고, 선정된 안에 대해서는 Alias를 사용하여 3차원 모델을 생성하였다. 생성된 3차원 모델에 대하여 디지털 품평을 거쳐 최종적으로 Fig. 8에 나타난 것과 같은 모델을 최종 스타일로 선정하였다. Alias에서 생성된 곡면 모델은 이후 CATIA V5에서 읽어 들여서 DMU를 제작하는데 사용되었다. DMU에서는 카울과 새시 부품들과의 간섭을 체크하였으며, 간섭이 발생하는 부분에 대해서는 수정 작업을 진행하였다.

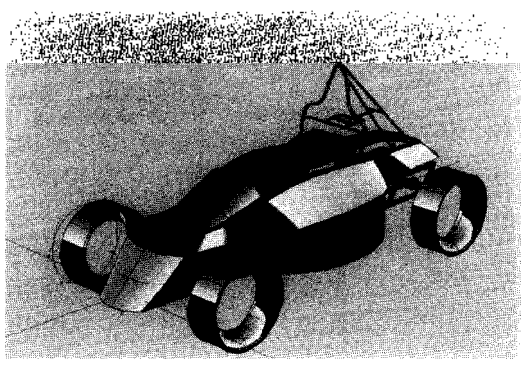


Fig. 8. Styling for KORA-13.

5.4 프레임 설계

프레임 설계의 목표는 튼튼하고 가볍고 안전한 프레임으로서, 이를 구체적으로 표현하면 정적 하중은 물론 자동차가 주행할 때에 노면에서의 충격과 동적 하중에 의해 생기는 휨, 비틀림, 인장, 진동 등에 대해 충분히 견딜 수 있는 강도와 강성을 가지면서 동시에 가볍고 내구력이 있는 프레임이라고 할 수 있다.

프레임의 3차원 설계는 CATIA V.5를 사용하여 수행되었다. 프레임의 해석은 크게 강도, 진동, 충돌의 3가지 사항에 대해서 수행되었는데, 강도 및 진동 해석은 NASTRAN 및 PATRAN을 사용하였으며, 충돌 해석은 PAM-CRASH를 사용하였다. 해석을 위한 유한 요소 모델은 HYPERMESH를 사용하여 생성되었다.

프레임 설계 과정을 원활히 수행하기 위하여 이미 운행중인 KORA-12 차량에 대한 위의 3가지 해석을 수행하여 그 결과를 기준 데이터로 확보하였다. 이 데이터는 실제 차량에 대한 것이기 때문에 해석 결과가 실제 상황에 얼마나 근접한 것인지를 가늠할 수 있는 척도가 될 수 있었다.

다음, 기획 단계에서 결정한 차량 제원을 바탕으로 프레임을 설계한 후, 이에 대해서 위의 3가지 해석을 수행하였다. 해석 결과 새롭게 발견된 문제점을 해결하기 위하여 재설계를 수행하고 그에 대한 재해석을 수행하였다. 이와 같은 과정을 3차례 반복하여 최종 KORA-13의 프레임을 확정지을 수 있었다. Fig. 9는 이러한 설계-해석 사이클을 보여주고 있다.

5.5 조향 및 현가 장치의 설계

이 부분에서는 차량의 조향 특성이 경주용 차량에 적합하도록 neutral 또는 oversteer의 특성을 갖도록 하며, 핸들의 떨림을 최소화시키고, steering ratio를 3:1로 유지하며, 시스템의 경량화를 달성하는 것을 목표로 설정하였다[18]. 현가 장치는 double wishbone in body type을 선정하였다.

KORA-13의 조향 및 현가 장치는 CATIA V.5를

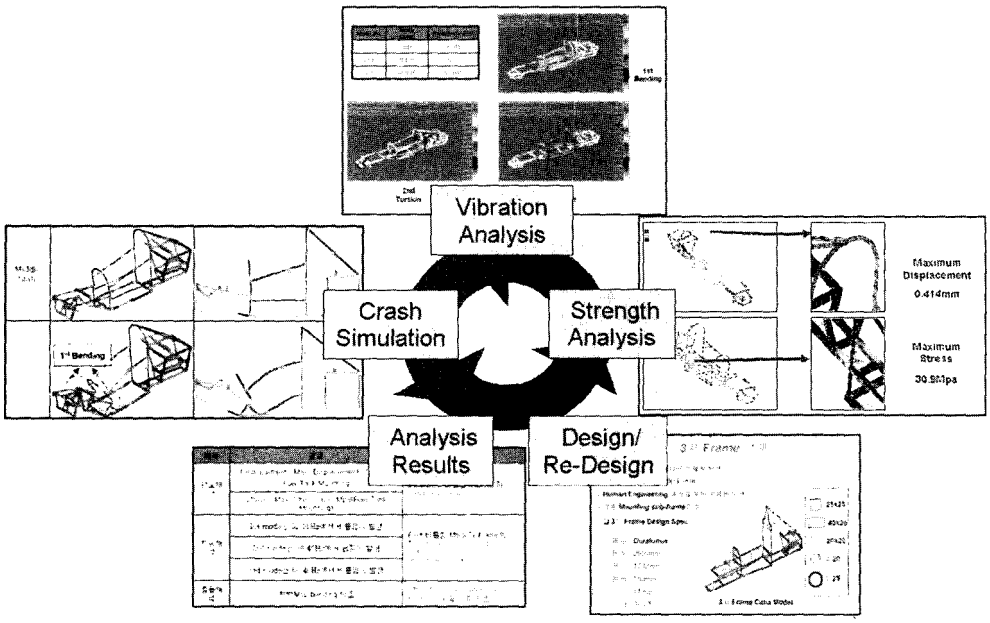


Fig. 9. Frame design and analysis cycle.

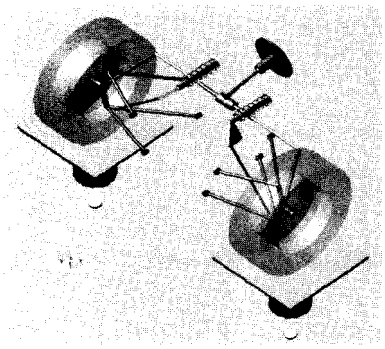


Fig. 10. Front suspension system.

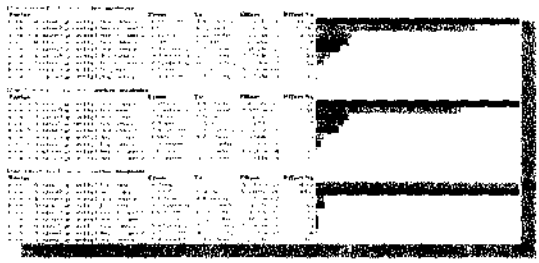


Fig. 11. Sensitivity analysis from front suspension roll test.

사용하여 3차원으로 설계하였으며, 해석은 ADAMS/Car 및 ADAMS/insight를 사용하였다. Fig. 10은 전방부 현가 장치의 설계된 모습을 보여주고 있다.

전, 후륜 현가 장치의 기하학적인 형상을 설계할 때는 toe, camber, caster에 어떠한 파라미터가 영향을 크게 끼치는 지를 조사하기 위하여 ADAMS/insight를 사용하여 민감도 해석을 실시하였으며, 그 결과를 근거로 설계 파라미터들을 추출하였다. 전륜과 후륜 서스펜션에 대한 기구학 해석을 수행하여 민감도 분석을 한 결과의 일부가 Fig. 11에 나타나 있으며, 이 가운데 가장 영향을 많이 끼치는 인자들을 취합한 것이 Table 1에 나타나 있다.

다음 현가 조향 장치의 K&C(kinematics & compliance) 해석을 ADAMS를 사용하여 수행하였다.

Table 1. Design parameter of front suspension

	Front suspension		Rear suspension	
Toe	UCA Outer Z	Tie-Rod Outer Z	LCA Outer X	UCA Outer Y
Camber	UCA Outer Z	LCA Outer Z	UCA Outer Y	LCA Outer Z
Caster	LCA Outer X	UCA Outer X	LCA Outer Z	UCA Outer Z

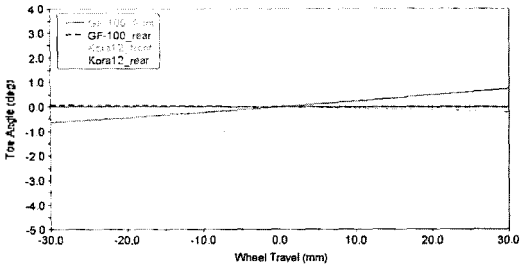


Fig. 12. Ride toe angle.

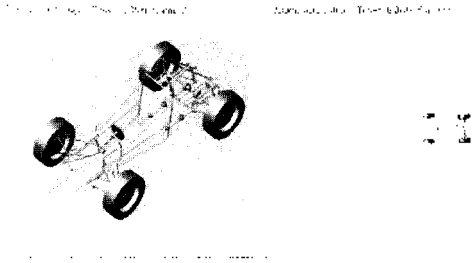


Fig. 13. J-turn simulation using ADAMS/Car.

Table 2. Comparison of kinematics and compliance characteristics of KORA-13 with those of KORA-12

		Front		Rear	
		Kora-12	GF-100	Kora-12	GF-100
Ride	Toe (deg/mm)	−0.135	−0.023	−0.005	−0.001
	Camber (deg/mm)	−0.022	−0.031	+0.101	−0.034
Roll	Toe (deg/deg)	−1.472	−0.249	−0.053	−0.008
	Camber (deg/deg)	−0.234	−0.341	+1.149	−0.342
Aligning Torque	Toe (deg/Nmm)	+3.7e-9	+1.9e-9	+3.7e-9	−1.4e-7
	Camber (deg/Nmm)	+1.1e-9	+1.7e-9	−2.8e-8	−1.5e-8
Lateral Force	Toe (deg/N)	−6.5e-9	−3.4e-7	−1.1e-5	−6.4e-6
	Camber (deg/N)	−6.8e-7	−7.5e-7	−1.2e-5	−5.5e-6

+: Understeer, −: Oversteer.

Kinematics 해석에는 ride, roll, steering 해석이 포함되고, compliance 해석에는 aligning torque compliance 및 lateral force compliance 해석이 포함된다. Fig. 12에 ride 모드 해석 결과에 대한 한 예가 나타나 있다. 기존 차량인 KORA-12와 새로 개발되는 차량인 KORA-13의 ride toe 특성이 그래프로 비교되어 나타나 있다.

기구학 해석과 컴플라이언스(compliance)해석 결과를 바탕으로 KORA-12와 KORA-13의 기본적인 특성을 비교하면 Table 2와 같다.

주행 시험에 대한 시뮬레이션을 ADAMS를 사용하여 수행하였다. 이를 위하여 차량의 전체 물성치(mass property)는 CAD 모델로부터 계산하여 적용하였고, 그 밖에 타이어 및 각종 부싱의 특성값은 유사한 모델에 대한 자료를 적용하였다. 시뮬레이션은 J-turn, ISO lane change, constant radius cornering에 대하여 수행하였으며, Fig. 13은 J-turn 시뮬레이션의 결과에 대한 동영상 장면을 캡쳐한 것이다.

해석 결과 원래 목표하였던 neutral 또는 oversteer의 특성에 약간 못 미치는 약 understeer의 특성을 갖는 현가 장치가 설계된 것을 확인할 수 있었다.

5.6 엔진 및 파워트레인 설계

이 분야에서는 엔진 출력 및 냉각 성능의 향상, 경량화, 엔진 정비성 용이, 엔진 진동의 프레임 전달의 저감을 목표로 하였다. AARK 대회 규정상 사용 가능한 엔진은 국산, 단기통, 4행정, 125cc 이하의 가솔린 기관으로서 엔진 블록의 개조를 불허한다는 제약 조건이 있기 때문에 엔진 자체에 대한 설계는 행하지 않았다. 따라서 흡배기 시스템만을 설계 대상으로 선정하였다.

엔진 후보로서 DAYSTAR와 효성 EXIV 엔진을 선정하였으며, 각 엔진에 대하여 회전수에 따른 토크와 파워의 변화를 BOOST 프로그램을 사용하여 시뮬레이션해 보았다. 그 결과 EXIV 엔진의 출력이 더 우수한 것으로 판정되어 이 엔진으로 결정하였다.

흡입 공기의 온도와 엔진 출력과의 관계를 엔진 회전수를 변화시키면서 BOOST로 시뮬레이션해 본 결과 흡입 공기의 온도가 낮을수록 출력이 증가함을 확인할 수 있었다. 또한, 흡입되는 공기의 유량이 증대될수록 엔진 출력이 향상됨을 발견할 수 있었다. 따라서 흡기부 설계 시 공기의 온도를 높이지 않고 유량을 증대시키기 위하여 흡기 덕트를 설치하고, 그 입구가

전방을 향하게 함으로써 주행 속도의 증가와 더불어 흡입되는 유량이 증대되도록 하였다. 또한, 속도와 흡입 공기와의 관계를 예측하기 위하여 CFD를 사용하여 시뮬레이션을 수행하여 보았다. Fig. 14는 80 km의 속도로 주행한 경우 흡입되는 공기의 압력 분포를 보여주고 있으며, Fig. 15는 흡기 박스내의 공기의 유동장을 해석한 결과를 보여주고 있다.

기타 배기부, 구동부 및 제동부 설계는 주로 구매품을 사용하므로 3차원 형상 역공학 기법을 이용하여 CATIA 솔리드 모델을 생성하였다. 역공학 작업에는 RealScan 3D 레이저 스캐너와 RapidForm이라는 역공학 소프트웨어가 사용되었다. 최종 설계 결과가 Fig. 16에 나타나 있다.

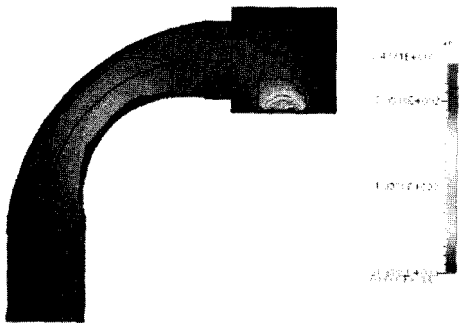


Fig. 14. Intake flow simulation using CFD.

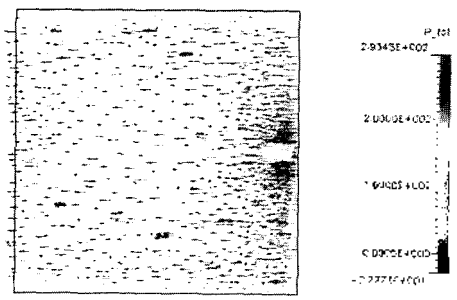


Fig. 15. Intake flow simulation using CFD.

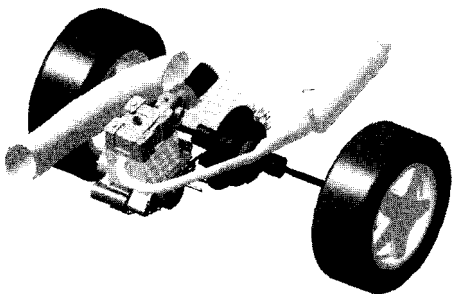


Fig. 16. Engine, powertrain, intake and exhaust systems.

5.7 DMU

각 팀에서 CATIA V.5로 설계한 subassembly들을 조립하여 전체 assembly를 구성함으로써 DMU를 생성시켰다. 이를 이용하여 설계상의 문제점, 즉, 부품간의 간섭, 조립부의 부정합 등의 문제점들을 찾아내어 이를 해당 팀에서 수정하도록 하였다. 또한 DMU를 이용하여 조립 과정을 시뮬레이션하고, CATIA상에서 DMU를 navigation하면서 살펴보는 작업을 수행하였다. 이러한 DMU를 사용한 설계 검증 및 조립성 검증을 통하여 제작시의 문제점을 조기에 발견할 수 있었다. 본 과제에서는 DMU 지원 시스템으로서 CATIA V.5에서 제공하는 DMU Fitting, Navigation 모듈들이 사용되었다. Fig. 17은 KORA-13의 Fitting Simulation을 위해 각 단품을 차체에서 분리해 놓은 상태를 보여주고 있다. 조립 과정을 간략화 하여 크게 57단계로 구성하였으며 실제 조립 순서를 최대한 고려하여 Fitting Simulation을 수행하였다. Fig. 18은 KORA-13에 대한 최종 DMU 모델을 보여주고 있다.

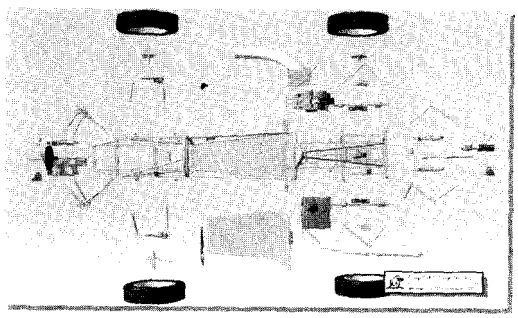


Fig. 17. Fitting simulation for KORA-13.

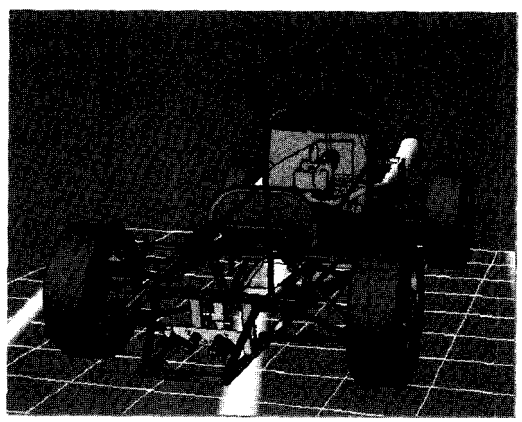


Fig. 18. DMU model of KORA-13 built in CATIA V.5.

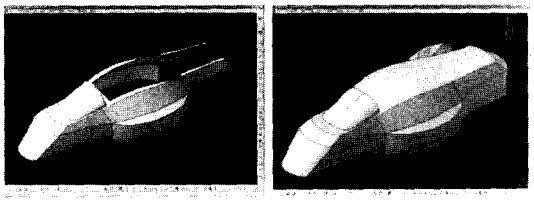
6. 제 작

6.1 카울(Cowl)의 제작

유리 섬유 강화 플라스틱(fiberglass reinforced plastics, FRP)를 재질로 하는 카울의 일반적인 제작 과정은 다음과 같다. 먼저 카울의 형상과 일치하는 스티로폼(Styrofoam) 패턴을 수작업으로 제작한다. 이 스티로폼 패턴에 석고를 바르고 건조 경화되기를 기다린다. 스티로폼을 제거하고 석고틀을 적당히 분할한다. 석고틀에 FRP를 바르고 경화시킨 후, 틀을 제거하면 카울 형상이 만들어진다. 이를 다듬질한 후 도장을 하여 카울로 사용한다.

이러한 일반적인 제작과정에 본 프로젝트에서는 다음과 같은 2가지 새로운 방식을 도입하였다. 첫째, 스티로폼 패턴을 NC 가공을 하여 제작하였으며, 둘째, 카울 제작에 석고틀을 사용하지 않고, 패턴에 직접 쿠킹 호일을 부착시킨 후, 바로 FRP를 발라 카울을 만들었다.

스티로폼의 NC 가공을 위해서 Fig. 19에 나타난 것과 같이 먼저 카울의 곡면 모델을 솔리드화시킨 후,



(a) (b)

Fig. 19. CAD models for the cowl and its pattern: (a) surface model of the cowl, (b) solid model of the pattern.

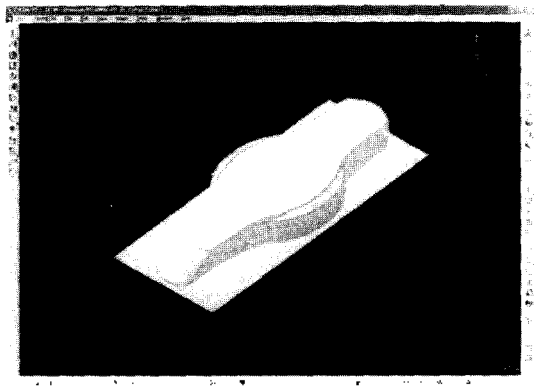


Fig. 20. NC tool path generation for the cowl pattern.

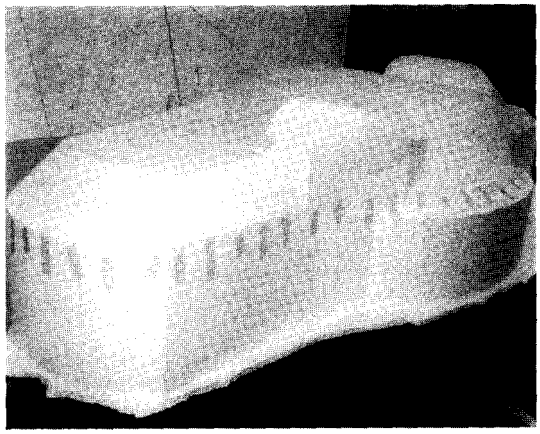


Fig. 21. A cowl pattern produced by a NC machine tool.

이 솔리드를 NC 기계의 공구 길이를 감안하여 2개로 분할한 후, Fig. 20에 나타난 것과 같이 각각에 대하여 CAM 시스템을 사용하여 NC 프로그램을 생성하였다. 이 NC 프로그램을 스티로폼 NC 가공기에 보내어 가공한 후, 두 부분을 테이프로 접착시켜 패턴을 완성하였다. 완성된 패턴의 모습이 Fig. 21에 나타나 있다.

패턴 제작을 완료한 후, Fig. 22에 나타난 것과 같이 패턴에 직접 쿠킹 호일을 부착시킨 다음, 바로 수지를 발라 카울을 만들었다. 수지를 바를 때는 수지와 경화제를 섞은 액을 뿌리면서 섬유에 잘 스며들 수 있도록 롤러질을 해주었다. 수지가 다 마르면 거친 면을 사포로 다듬어 실제 차의 표면을 얻을 수 있게 점점 사포를 고운 것을 쓰면서 갈아주었다. 원하는 적당한 표면이 나오면 속안의 스티로폼 형틀을 제거하여 실제 차에 일어서 모서리를 다듬고 도색을 하였다. Fig. 22는 수지를 패턴에 발라 경화시키고 있는 모습이다. 최종적으로 카울을 다듬질한 후 도장하여 완성한 결과가 Fig. 23에 나타나 있다.

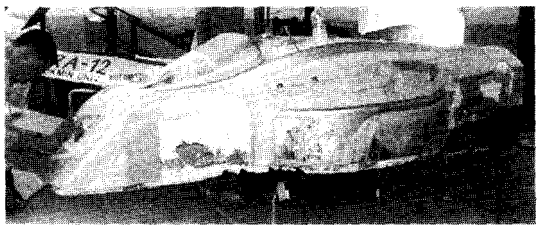


Fig. 22. Cowl production.

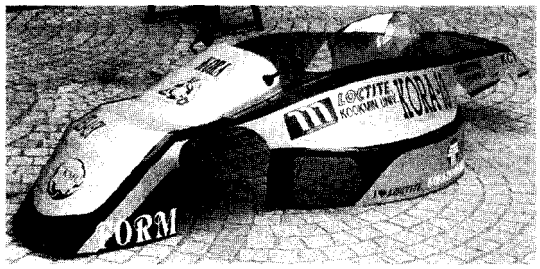


Fig. 23. Completed cowl.

6.2 프레임의 제작

프레임 제작: 프레임의 재료는 알루미늄의 합금인 두랄루민 AL6063이며, 두 물체를 녹이지 않고 같은 재료를 녹여서 사이에 삽입하는 방식인 블레이징 용접법을 사용하여 제작하였다. 설계와는 달리 메인 후프의 벤딩에 어려움이 있어서 Fig. 24와 같이 간단한 모형으로 제작하였다.

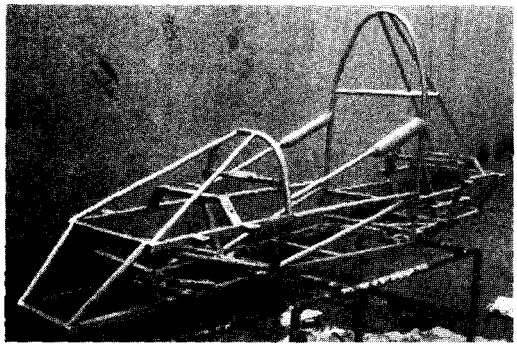


Fig. 24. Frame production.

6.3 새시의 제작

- **파워 트레인 제작:** 디퍼렌셜을 중심으로 양쪽 등속조인트의 길이가 같은 것을 사용하기 때문에 디퍼렌셜의 고정이 우선적으로 되어야 했다. 또한 이 차량은 체인 구동 방식이므로 디퍼렌셜을 고정시킨 후 스프로킷이 일직선 상태가 되도록 엔진의 위치를 잡아 조립하였다.
- **현가 장치의 제작:** 위시본은 차량이 뛸 경우 가장 힘을 많이 받는 부위이기 때문에 구조용 강관을 사용하여 제작하였다. 용접시 뒤틀림이 있기 때문에 이를 방지하기 위하여 위시본의 hard point의 위치에 구멍을 뚫어 고정시킨 후 용접을 수행하였다. lower위시본으로부터 휀 크랭크까지 연결해 주는 푸쉬 로드는 한쪽은 오른나사를 사용하고 다른쪽은 왼나사를 사용함으로써 차량의 지상고 조절을 쉽게 하였다. Fig. 25에 완성된 현가 장치의 모습이 나타나 있다.
- **조향 장치의 제작:** 랙 & 피니언 기어의 하우징은 조향 축(steering shaft)와 수직이 되어야 핸들이 무겁지 않고 부드럽게 돌아가기 때문에 하우징을 고정한 후 수직에 맞춰 축의 위치를 선정하였다. 하우징은 조향 및 범프(bump)시 큰 힘을 받기 때문에 네 곳을 고정하였다.

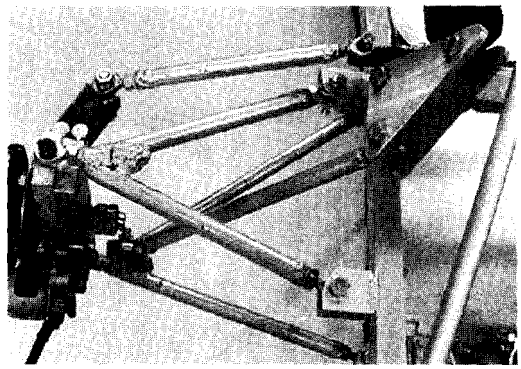


Fig. 25. Production of a suspension system.

6.4 최종 조립

차량의 바디를 형성하는 프레임과 카울, 그리고 새시를 구성하는 각종 부 조립품들을 최종 조립하여 완성된 차량의 모습이 Fig. 26에 나타나 있다.

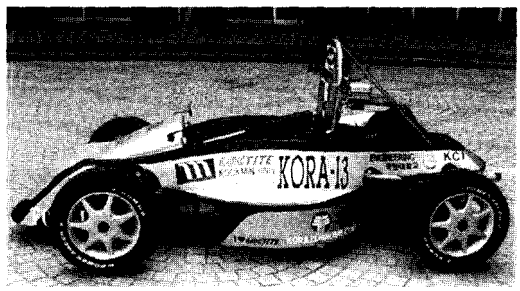


Fig. 26. Completed KORA-13 F-125 machine.

7. 대회 출전

KORA-13차량은 완성 후 전국대학생 자동차연구회에서 주관하는 AARK F-125 경주대회(2003. 4. 27, 용인)에 출전하였다. 대회 결과 1위 및 디자인상을 수상하는 개가를 올렸다. 또한, 2004 창의적 종합설계 경진대회에 출전하여 금상을 수상하였다. Fig. 27은

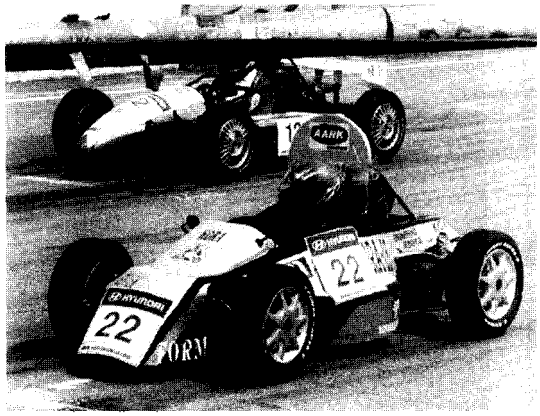


Fig. 27. KORA-13 at the AARK F-125 Grand Prix.

2003년 AARK F-125 경주대회 경주에 출전한 본 차량의 모습을 보여주고 있다.

8. 고 찰

본 프로젝트를 수행하면서 얻은 성과는 다음과 같다. 먼저, 참여 학생의 입장에서는 자동차 개발 프로세스 및 CAD/CAM/CAE/PDM 시스템 이용 설계를 경험할 수 있는 좋은 기회를 가질 수 있었다. 특히, 자동차 동아리 KORA는 기존의 2차원 설계 및 제작 방식 수준에서 3차원 설계 및 각종 IT 기술 활용 수준으로 도약할 수 있는 계기가 되었으며, 또한 기존의 수공업적인 카울 제작 수준에서 CAD/CAM 활용 수준으로 전환할 수 있게 되었다. 또한 대외적으로는 각종 경진 대회에 입상함으로써 학교의 홍보와 명예를 높일 수 있는 기회를 제공하였다.

그러나 본 교과목의 운영에 대하여 다음과 같은 몇 가지 개선되어야 할 사항들이 발견되었다.

- 먼저 지도 교수의 운영 체제에 대해 살펴보면, 현재 CAD 전공 교수 1인이 차량 개발 전 과정을 지도하고 있는 것이 현 상황이다. 그러나, 특정 전공의 1인 교수가 전 과정을 맡아 지도함으로써 과도한 수업 부담이 발생하며, 무엇보다도 타 전공에 대한 지식 부족으로 인한 지도의 한계를 갖게 되었다. 차량 개발에는 다양한 전공 지식이 필요하므로 복수 전공의 교수가 참여하는 것이 보다 바람직하다고 판단된다.
- 현재 본 과목은 대학원생 과정에 개설되어 있다. 대학원생의 경우는 자동차 공학의 세부 전공을 전공하고 있기 때문에 각종 해석 작업을 수행하는 데 많은 기여를 할 수 있었다. 그러나 본 과목에서 수행하는 프로젝트는 기본적으로 설계에 대한 내용이며 이는 학부의 창의적 공학 설계 과목에서 주도적으로 진행하는 것이 바람직하다고 판단된다. 실제로 진동 및 충돌 해석을 위한 CAE 이외 나머지 CAD, CAM, CAE(구조해석), PDM 부분은 CAD와 FEM 과목 수강 시 학부생도 소화할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 이와 같이 학부생 중심으로 교과 과정을 운영한다 하더라도 대학원생의 공동 작업은 여전히 시너지 효과를 가져다 준다고 생각한다. 대학원생은 자신의 전공과 관련된 해석이나 IT 시스템 구축 및 운영에 많은 기여를 할 수 있을 것이다. 본 과목을 학부 교과목으로 개설할 경우에는 이를 1년 과정으로 하여 1학기: 차량 설계, 여름 방학 중: 차량 제작, 2학기: 시운전/개선/대회 출전의 일정으로 진행하는 것이 바람직하다고 생각된다. 또한, 하나의 개발 팀 당 인원은 10명 내외가 바람직할 것으로 판단된다. 본 프로젝트에서는 1개 차종의 개발에 수십 명의 인원을 투입함으로써 전원이 고루 기여할 수 있는 기회를 주지 못한 측면이 있었다.
- 본 프로젝트에서는 초기부터 PDM 시스템을 구축하여 사용하지 못하였다. 따라서 초기에 대부분의 CAD 데이터 파일들은 ftp를 사용하여 공유되고 관리되었다. 향후에는 프로젝트 시작 이전에 PDM 환경을 미리 구축하는 것이 필요하다.

9. 결 론

본 논문에서는 가상 및 동시 공학적 기법을 구현하기 위한 개발 환경의 구축 및 이를 이용한 F-125 차량의 개발 과정에 대한 자세한 소개를 하였다. 이러한 교과 과정을 이수함으로써 학생들은 설계 및 생산 프로세스에 대한 보다 정확한 이해를 갖게 되었으며, 자동차 개발에 필요한 각종 정보 시스템들에 대한 이해를 심화시킬 수 있었다. 특히, DMU를 실제 구축해 봄으로써 가상 공학적인 방법론의 적용 및 그 효용성을 체험할 수 있었다.

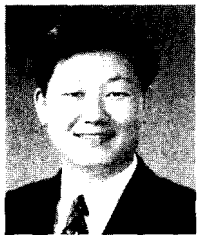
향후 과제로서는 본 과제에서 누락되었던 자동차의 공기 역학적인 해석, 측면 및 전복 상황을 포함한 다양한 충돌 해석, 엔진 마운트의 해석 등의 추가와 보다 체계적인 설계 방법론을 정립하여 적용하는 작업이 필요할 것으로 보인다. 또한, 가상 공학의 적용 범위를 확대하는 것도 필요하다고 할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제 번호: R01-2002-000-00061-0)와 한국과학재단의 해외 Post-doc. 연수 지원 및 BK21 특화 사업의 지원으로 수행되었음.

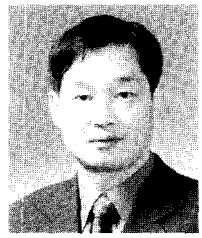
참고문헌

1. 허승진, "Virtual Engineering 응용 자동차 기술 동향, 전남대 자동차 기술 심포지움 발표논문집", 1999. 11.
2. Biren Prasad, Concurrent Engineering Fundamentals, Prentice Hall, 1996.
3. 국민대학교 자동차공학대학원, "21세기 지식기반사회대비 고등인력 양성사업 특화분야 사업신청서", 1999. 7.
4. 한국과학기술원 외, "신차 개발 기간 단축을 위한 자동차 개발기술 기반 구축 최종 보고서", 1998. 10.
5. 이강수, 최준엽, 신종민, 신수현, 이승구, "제품개발 과정을 혁신하기 위한 Digital Mockup 시스템 개발 사례", 2000 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp. 247-252, 2000.
6. 한국 대학생 자동차 연구회(AARK), AARK F-125 경주 대회 규정집, http://www.aark.or.kr/
7. Lee, K., Principles of CAD/CAM/ CAE Systems, Addison-Wesley, 1999.
8. Gomes, A. and Zachmann, G., "Integrating Virtual Reality for Virtual Prototyping", Proceedings of 1998 ASME Design Engineering Technical Conferences, DETC98/CIE-5536, 1998.
9. Bauer, M. D. and Rosen, D. W., "An Approach to Integrated Product/Process Design via Virtual Prototyping", Proceedings of 1997 ASME Design Engineering Technical Conferences, DETC97/DAC-3394, 1997.
10. Gowda, S., Jayaram, S. and Jarayam, U., "Architectures for Internet-Based Collaborative Virtual Prototyping", Proceedings of 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences, DETC99/CIE-9940, 1999.
11. 정융호, "부품수가 많은 조립체 설계를 위한 동시공학의 구현 : Part(I)-BOM에 따른 조립체 중심적 모델링 방법론", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제2권, 제2호, pp. 93-102, 1997.
12. 정융호, "부품수가 많은 조립체 설계를 위한 동시공학의 구현 : Part(II)-설계 변경을 줄이기 위한 Digital Mock-Up 시스템의 개발", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제2권, 제2호, pp. 93-102, 1997.
13. 김영호, 강석호, 이수홍, 유상봉, "분산, 개방, 지능형 제품정보관리시스템", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제4권, 제3호, pp. 210-233, 1999.
14. 이강수, 이건우, "설계 정보를 수용하는 새로운 CAD시스템의 프레임워크", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제4권, 제4호, pp. 327-338, 1999.
15. 오유천, 한순흥, "CAD와 PDM시스템 간에 STEP제품 구조 정보의 교환", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제5권, 제3호, pp. 215-223, 2000.
16. 이강수, 이상헌, "PDM 시스템에서 운용되는 DMU 시스템 개발", 한국CAD/CAM 학회 논문집, 제8권, 제9호, pp. 157-166, 2003.
17. 小野道照 *et al.*, "品質展開法(1)", 日科技連.
18. William F. Miller and Douglas L. Miller, Race Car Vehicle Dynamics, SAE, 1997.



이 상 헌

1986년 서울대학교 기계설계학과 학사
1988년 서울대학교 기계설계학과 석사
1993년 서울대학교 기계설계학과 박사
1993년~1995년 신도리코 기술연구소 책임연구원
1996년 대우 고등기술연구원 선임연구원
1996년~현재 국민대학교 부교수
관심분야: CAD/CAM, 3D Geometric Modeling, Die & Mold Design, Virtual Design and Manufacturing



이 강 수

1983년 3월~1987년 2월 서울대학교 기계설계학과 학사
1987년 3월~1989년 2월 서울대학교 기계설계학과 석사
1995년 9월~1999년 2월 서울대학교 기계설계학과 박사
1998년 10월 건설기계기술사
1989년 1월~2000년 5월 대우종합기계 (주)선임연구원
2000년 8월~2002년 2월 국민대학교 연구교수
2003년 3월~현재 한국 CAD/CAM 학회 편집위원
2004년 1월~2005년 2월 미국 MIT, Visiting Scholar
2002년 3월~현재 한발대학교 기계공학부 조교수
관심분야: Solid Modeling/Product Design/Intelligent CAD/Digital Mockup/Product Data Exchange/Life Cycle Management