

## 자동차 서스펜션 로워암의 모델링 보조시스템 개발

한승호\*, 이태희\*\*, 신소영\*\*\*, 서창희\*\*\*\*, 권태우\*\*\*\*

### Development of Modeling Support System for Lower Arm in Automobile Suspension Module

Han, S. H.\*, Lee, T. H.\*\*, Shin, S. Y.\*\*\*, Suh, C. H.\*\*\*\* and Kwon, T. W.\*\*\*\*

#### ABSTRACT

In this study, the modeling support system was developed which can make easy and fast FE-modeling and verify the results of static and durability analysis for the lower arm, one of the important parts in automobile suspension module. It took into account of the whole complicated design processes verifying the durability coefficients evaluated by fatigue analysis, which should be used to satisfy a design criteria. To guide the FE-modeling the drive page was constructed by using HTML and XML, which was based on expert's know-hows. It is able to integrate the processes to design the lower arm in practice, so that the standardization of its FE-Modeling is achieved, consequently. The 3 dimensional CAD's geometrical data were changed automatically into pre-defined shell elements under the concept of mesh-offset technique, and then welding elements were created to connect between target and basic surfaces constructed by the shell elements. This system has also a user interface to control boundary and loading conditions applied in performing of the static and durability analysis, in which many load cases can be applied simply with the MPCs driven by just few mouse clicks. These were implemented on the platform of MSC.Patran and utilized ANSYS, MSC.Nastran and MSC.Fatigue as the solver of the analysis performed. The developed system brings not only significant decreasing of man-hours required in FE-modeling process, but also obtaining of satisfied qualities in analyzed results. It will be integrated in a part of virtual prototyping module of the developing c-engineering framework.

**Key words :** Modeling support system(모델링 보조시스템), Durability analysis(내구도해석), Lower arm(로워암), Automobile suspension module(자동차 서스펜션 모듈), Welding element(용접요소), Virtual prototyping technique(가상시제기술)

## 1. 서 론

향후 5개 정도 업체로의 개편이 예상되는 자동차 새계시장에서 생존을 위한 자동차 완성차 업체와 부품업체간의 역할의 재조정이 불가피하다. 완성차 업체는 경쟁력 강화 및 경영의 합리화를 위하여 종래와는 달리 부품개발의 많은 부분을 1차 납품업체에게

Outsourcing하고 있다. 그러나 부품업체는 완성차업체의 요구조건을 충족할 만한 충분한 기술력과 시스템을 갖추고 있지 못하므로, 이에 대한 대안으로 가상시제기술<sup>1)</sup>이 제시되고 있다. 이는 개발비·개발기간 단축 및 품질 개선에 매우 효과적이며 경우에 따라 획기적인 비용절감과 개발기간 단축이 가능하다고 알려져 있다<sup>2)</sup>.

근래 국내에서도 완성차 메이커 및 부품업체를 주축으로 부품보급화의 움직임이 가속화되고 있으며, 핵심부품의 기술을 보유하고 있는 업체들 중심으로 새로운 공급관계의 형성이 진행되고 있다. 이러한 변화의 구도 속에서 부품업체들은 기존의 단순기능 부품만을 생산·공급하던 방식을 탈피하여 새로운 설계

\*교신저자, 정회원, 한국기계연구원 시스템엔지니어링본부

\*\*정회원, 한국엠에스씨소프트웨어(주) 기술지원부

\*\*\*한국엠에스씨소프트웨어(주) 기술지원부

\*\*\*\*(주)화신, 기술연구소

- 논문투고일: 2005. 05. 23

- 심사완료일: 2005. 10. 06

개발 패러다임에 부응하는 업체로 도약하기 위한 노력을 하고 있고 더불어 기술적 변혁이 필요한 시점에 있다. 서스펜션 설계를 위해서는 다분야 성능 최적설계가 동시공학적으로 이루어져야 하는데 종래의 CAE 방식으로는 매우 비효율적이다. 각 부품의 성능 해석을 동시공학적으로 수행하고 모듈단위의 성능 시뮬레이션을 효율적으로 수행할 수 있는 통합된 가상시제 기술<sup>[1-3]</sup>이 필수적으로 도입되어야 한다.

가장 선결해야 하는 가상시제기술 분야는 CAD 파일의 효과적인 CAE 적용이라 할 수 있다. 자동차 서스펜션 모듈은 대부분 박판형태 강판의 소성성형과 용접작업에 의해 제작되므로, CAE를 통한 성능해석을 위하여 쉘요소가 주로 사용된다. 설계단계에서 작성되는 3차원 CAD파일을 CAE를 위한 쉘요소로의 전환시 문제점이 많아, CAE 선처리 도구를 활용한 추가적인 쉘요소로의 모델링작업이 수행된다. 이는 불필요한 작업공수 증가에 따른 비용증대를 야기하며, 수작업을 통한 모델링 방식은 작업자 간의 작업방식의 차이로 해석결과의 차이가 발생하여 모델링기법의 표준화가 이루어지지 못하고 있다. 자동차 부품모듈의 동시공학적인 다분야 성능 최적설계를 구현하기 위하여 앞서 언급한 모델링 자동화기법의 개발과 구현이 근본적으로 확립되어야 한다.

본 연구에서는 자동차 서스펜션 모듈 구성품 중 하나인 로워암(Lower Arm)을 대상으로 FE 모델링 보조시스템의 프로토타입을 개발하였다. 모델링 가이드가 시스템에 첨부되었고, 프로세스 자동화가 이루어져 비전문가에 의한 FE 모델링이 가능해졌으며, 이를 통한 모델링 Man-hour의 절감 및 모델링 기법 표준화를 달성할 수 있다.

## 2. 대상체 및 실무 해석절차 분석

### 2.1 대상체

본 연구의 대상체인 로워암은 자동차 서스펜션 모듈의 한 구성품으로서 자동차의 하단부에 장착되어 크로스멤버(Cross Member) 및 캐리어(Carrier) 등과 조립된다. 주행중 발생하는 진동을 흡수하여 완화하는 역할을 함은 물론 휠얼라이먼트(Wheel Alignment)에 영향을 주는 대단히 중요한 부품의 하나이다. Fig. 1은 로워암이 체결된 서스펜션 모듈의 형상이다.

### 2.2 실무 해석절차 분석

로워암은 전절에서 설명하였듯이 크로스멤버 연결부, 캐리어부, 현가스프링 장착부 및 스톱퍼에서 차량

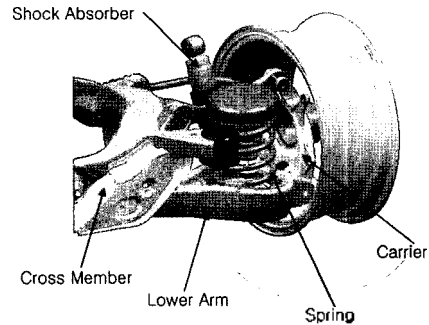


Fig. 1. Feature of suspension module.

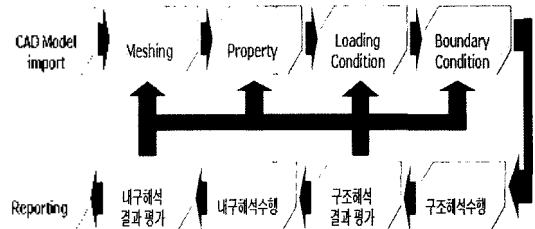


Fig. 2. Work process for durability analysis.

의 움직임(Braking, Cornering, Bumping)에 의한 정하중과 GVW(Gross Vehicle Weight) 가속도 변화에 따른 피로하중 진폭이 부과된다. 따라서, 각 피로하중 조건을 모두 구현한 구조해석이 필요하며, 이를 통한 내구도 해석이 진행된다. Fig. 2는 내구해석을 위한 실무절차를 분석하여 나타낸 흐름도이며 총 10종의 업무로 구성되어 있다. 첫 번째 단계에서 로워암에 대한 형상정보를 포함하는 CAD 파일을 CAE의 전처리 도구를 이용하여 임수하며, 다음 단계에서 유한요소 해석을 위한 메쉬작업이 이루어진다. 박판형상의 로워암 메쉬작업에서 쉘요소를 사용하는 것이 효율적인데, 이를 위해서 3D Solid CAD 파일의 중립면을 취하여 그 면에 메쉬작업을 수행하게 된다. 이 경우 생성된 중립면은 면의 겹쳐짐이나 터짐과 같은 오류를 빈번히 동반하게 되어 이를 수정하기 위한 해석자의 많은 공수가 요구된다. 또한 메쉬 작업시 해석자의 스킬과 메쉬 크기에 따라 해석시간과 결과의 차이가 발생하게 되어 모델링 기법에 대한 표준화가 요구된다.

다음 단계로서 메쉬요소 특성치, 하중 및 경계조건을 적용을 위한 구조해석 전처리가 이루어진다. 주어진 다양한 조건을 해석자가 일일이 고려해야 하므로 작업효율 측면에서 자동화를 통한 개선이 필요하다. 구조해석 이후 내구도해석이 이루어진다. 내구 특성

치 및 경계조건이 부과되고 구조해석으로 얻어진 응력분포의 결과를 바탕으로 내구도해석을 수행한 후 내구성 지수를 구한다. 내구성지수를 기준으로 제품의 형상변경이 요구되며, 이를 위해서는 앞서 설명한 내구도 해석절차를 반복수행해야 한다. 주변 부품의 영향을 받으며 그 기능을 발휘하는 자동차 서스펜션은 주변 부품들의 변경에 의해 설계변경이 빈번히 발생되어, 동시공학적으로 최적설계가 이루어지기 위해서는 모델링 Man-hour의 절감과 모델링 기법 표준화를 위한 FE 모델링 보조시스템이 필요하다.

### 3. 시스템 개발환경 및 설계

#### 3.1 시스템 개발환경

FE 모델링 보조시스템 프로토타입의 소프트웨어와 하드웨어의 요구사항은 아래의 Table 1과 같고, Windows 2000 SP3 이상과 Windows XP를 지원한다. MSC.Patran 2005의 GUI를 기반으로 하여 PCL (Patran Command Language)로 본 시스템을 구축하였다. 로워암의 구조해석과 고유진동해석을 위해 MSC.Nastran 또는 ANSYS를 솔버로 이용하고, 내구도해석을 위해 MSC.Fatigue를 활용하였다. 또한 엑셀 문서 형태의 해석보고서가 자동적으로 작성되는 환경을 포함한다.

#### 3.2 시스템 설계

모델링 보조시스템은 박성환 등<sup>16)</sup>이 개발하고 있는 Fig. 3과 같은 멀티 에이전트 개념을 적용한 통합 설계 시스템 중 구조강도, 피로내구도 및 진동해석용 PAS (Process Analysis Server) 에이전트를 구성하는 핵심모듈이다. 이는 디자인 리뷰도구 및 가상시제 CAE DB와 직접 연동된다. 하나의 해석분야 내에서 모델링 보조시스템-CAE 해석(구조강도·피로내구도·진동)·가상시제 CAE DB·디자인 리뷰도구와 같은 순서의 절차는 PAS 에이전트로부터 시작해서 자동적으로 수행되는 방식으로 구성되어 있다.

Table 1. System requirements

Hardware Platform	Pentium 4, RAM 512 MB 이상
Operating System	Microsoft Windows 2000 SP3 Microsoft Windows XP
Other	MSC.Patran 2005 이상 3-button Mouse Ethernet Card and Microsoft TCP/IP Service
Graphic Device	1280×1024 or higher Resolution

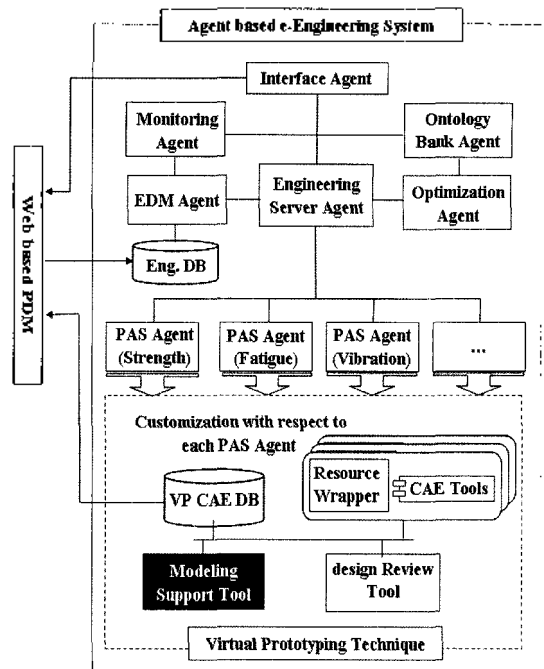


Fig. 3. Architecture of integrated design system based on multi-agent.

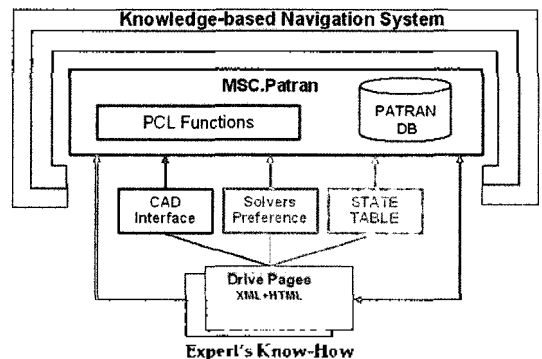


Fig. 4. Architecture of modeling support system.

모델링 보조시스템의 아키텍처는 Fig. 2의 실무 해석절차를 구현하기 위하여, 3.1절의 시스템 개발환경 하에서 설계하였다. Fig. 4와 같은 Xml과 Html로 구축한 Drive Page를 통하여 전문가의 노하우를 바탕으로 한 모델링 가이드가 제공되고, 이를 통하여 MSC.Patran DB 뿐만 아니라, PCL로 구현된 특정한 기능으로의 접근이 가능하다. 이러한 전체적인 시스템은 MSC.Acumen Toolkit으로 구현되어 전문가의 노하우가 접목된 Navigation System이 완성된다. Fig. 5는 구현된 시스템의 레이아웃으로서 크게 Model

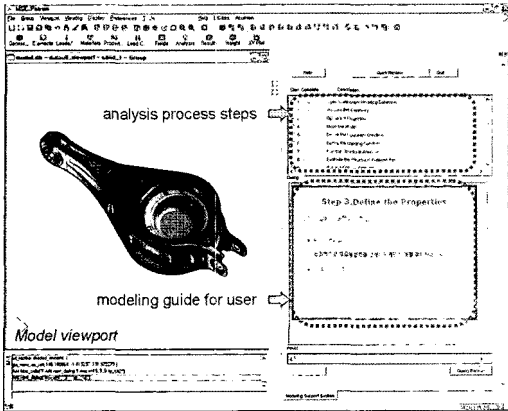


Fig. 5. Layout of modeling support system.

View Port와 Drive Page로 구성되고, Drive Page에서 현 해석단계에 대한 정보와 사용자를 위한 모델링 가이드 자료가 제공된다.

### 4. 시스템 개발 및 구현

#### 4.1 FE 메쉬 생성

본 연구에서 CAD-CAE 인터페이스 구현시 가장 문제가 되는 3차원 솔리드 CAD 파일을 중립면(Mid-surface)에 사각형 셀요소로 변환시키는 CAE 모델링에 주목하였다. 대상체에 대한 CAD 파일은 CATIA 모델로서, 이를 MSC.Patran에서 셀요소로 모델링하는 경우 서로 상이한 CAD data의 표현방법으로 인해 형상이 복잡한 부분에서 오류가 발생할 수 있다. 또한 두께를 가진 3차원 솔리드 모델로부터 중립면을 생성하는 경우, 형상이 복잡해지면 면의 겹쳐짐이나 터짐과 같은 오류가 빈번히 발생하여 수작업에 의한 수정이 불가피하다.

모델링 보조시스템에서는 Fig. 6과 같은 과정으로 FE 메쉬를 생성하여, 수작업에 의한 수정작업을 최소화

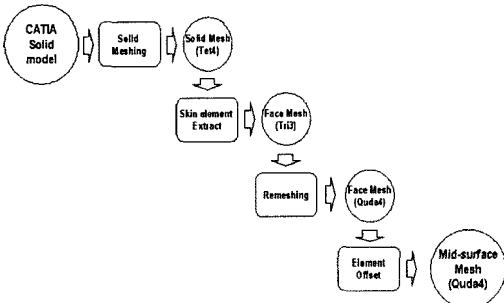
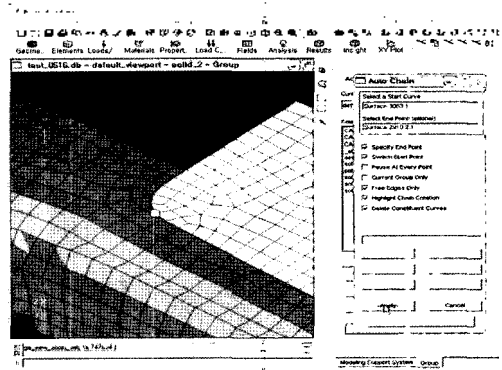


Fig. 6. Meshing Technique in MSC.Patran.

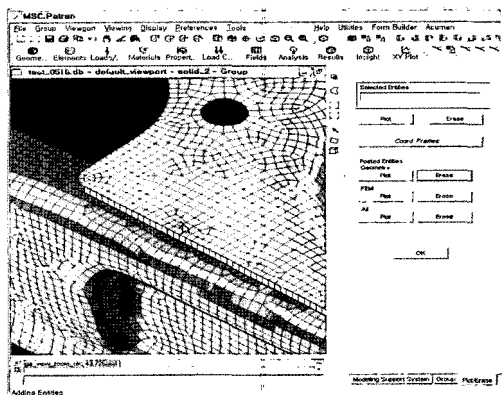
화하였다. CAD 모델의 3차원 솔리드 형상을 사면체 요소로 배쉬한 후, 외곽면에서 삼각형요소 배쉬를 추출하여 2차원 셀요소를 얻는다. 이 삼각형요소 배쉬를 리메쉬하여 사각형요소를 생성한다. 사각형요소 배쉬는 두께를 가진 박판 솔리드 모델의 한쪽면이므로, 중립면으로 배쉬를 Offset시켜서 최종 배쉬를 얻을 수 있다. 이 과정에서 사용자는 배쉬크기와 삼각형 배쉬를 추출할 면에서 하나의 특정한 면을 선택하면 된다. 그러면, 모든 과정이 순차적으로 시스템에 의해 구현되어 최종적으로 중립면의 사각형 셀메쉬를 자동으로 얻을 수 있다.

#### 4.2 용접요소 생성

로워암의 각 구성품들은 Seam Welding에 의하여 연결된다. 용접부를 표현하기 위해서는 Base가 되는 구성품의 모서리에서 대상이 되는 구성품의 면(Target Surface)으로 사각형요소를 생성하고 용접요소와 연결된 요소도 반드시 사각형요소가 되도록 해야 한다. 용접 부위에 사각형요소를 생성하면서, 연결부위의 메



(a) To define location of welding elements



(b) To create welding elements

Fig. 7. Creation of welding elements.

쉬를 수정하는 과정은 반복적이고 많은 시간이 소요된다. 이 과정은 MSC에서 개발한 용접요소 생성 유틸리티를 적용하여 반복적인 작업을 최소화하였다. 사용자는 용접으로 연결되는 모서리와 면, 그리고 용접요소 생성시 리메쉬를 수행할 영역을 Mesh Layer로 지정하면 된다. Fig. 7(a)는 용접요소를 생성할 영역을 선정하는 모습이며, (b)는 용접요소를 생성하고 용접부위를 리메쉬한 결과이다.

FE 메쉬와 용접요소 생성을 포함한 CAE 메쉬작업의 전체 흐름도는 Fig. 8과 같다. 먼저, Import된 3차원 CAD 모델은 구성품별 그룹으로 나뉜다. 이 과정에서 각 그룹의 재료를 선택하여, 메쉬과정에서 그대로 유지되도록 한다. 이때, 재료의 선택은 미리 정의된 재료를 선택하거나 새로운 재료를 사용자가 정의하여 지정할 수 있다. Import된 Geometry가 박편인 경우에는 쉘요소를 생성하고, Geometry가 솔리드이고, 3차원 메쉬를 원하는 경우에는 솔리드요소를 생성시킨다. 그리고 로위암 모델과 같이 3차원 솔리드 모델로부터 쉘요소를 생성시켜야 하는 경우에는 외곽면을 추출하여 메쉬하고 중면법으로 Offset시키는 방법을 선택하도록 하였다. 그리고 이 경우에는 박판형상의 두께를 입력하도록 하여 모델의 물성치가 생성되도록 한다. 각 구성품들의 메쉬가 완료되면 용접요소를 생성하여 CAE 해석을 위한 최종 메쉬를 완성한다.

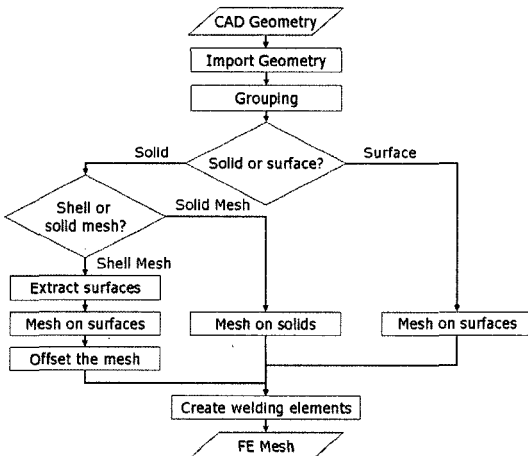


Fig. 8. Flow for CAE mesh creation.

4.3 하중 및 경계조건 부과

CAE 메쉬작업이 완료된 후 경계조건이 부과된다. 로위암 모델에는 경계조건으로 Inertia Relief법을 적용하고 있고, 특정 노드에 대한 구속조건을 정의하는

일반적인 방법의 적용도 가능하다.

로위암 모델에서 하중조건을 부과하는 방법은 하중이 가해지는 영역을 Dependent 노드로 선택하고 하나의 Independent 노드를 가지는 MPC(Multi Point Constraint)를 생성하여, Independent 노드 위치에 하중값을 부여하는 것이다. Fig. 9는 로위암 Knuckle 연결부에 MPC로 Independent 노드를 설정하는 모습이다. Fig. 10은 하중조건을 정의하는 과정을 보여준다. 먼저, 모델에 적용될 모든 Loadcase를 생성하고 하중부와 영역을 지정하기 위한 MPC를 생성한다. 이때, Dependent 노드들을 선택하여 Independent 노드를 자동적으로 생성할 수 있고, Loadset이 동시에 생성된다. 그리고 각각의 Loadcase에 적용될 Loadset 즉 MPC를 선택하고 MPC의 Independent 노드에 가해질 하중값을 입력한다. 하중값은 미리 정해진 형식의 파일로부터 읽어 들일 수도 있다.

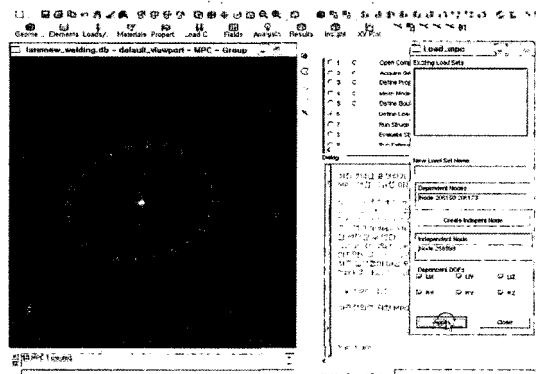


Fig. 9. Independent node created by MPC.

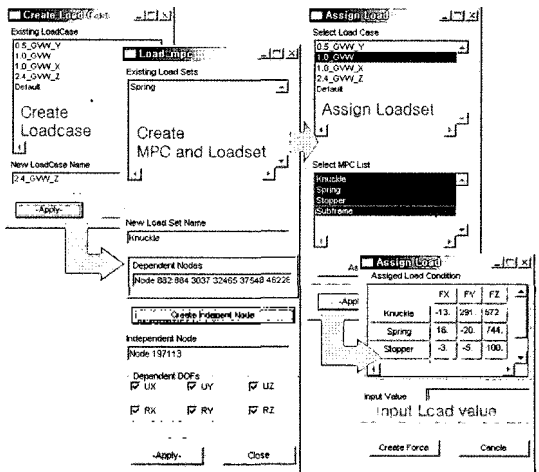


Fig. 10. Creation of loading conditions.

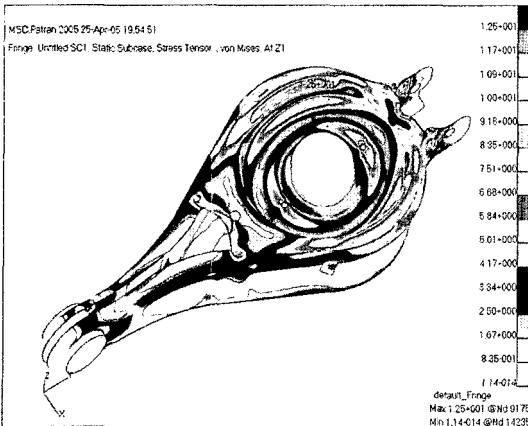


Fig. 11. An example of static analysis under IG braking loadcase.

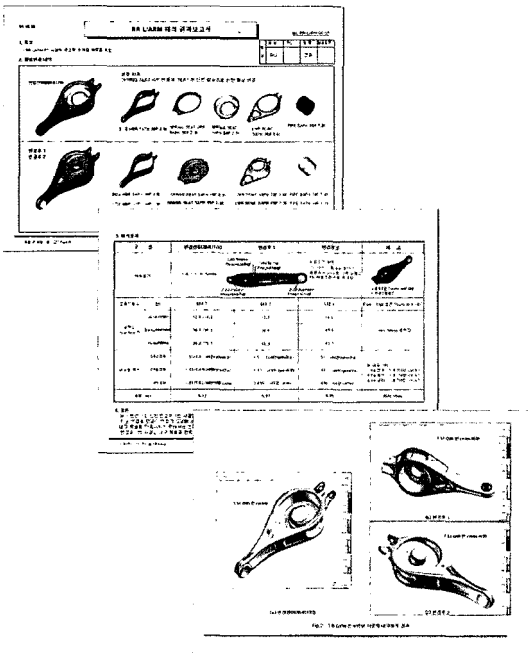


Fig. 12. An example of durability analysis report.

4.4 구조해석 및 내구도해석 결과 분석

로워암 모델에 대해서 6개의 Loadcase(제동, 조향, 현가, 진후, 좌우, 상하운동)에 대해 구조해석(Static Analysis)을 수행하고, 이를 입력데이터로 하여 3가지 변동하중 조건(전후, 좌우, 상하)의 내구도해석을 수행하였다. 또한, 고유진동해석을 수행하여 4차 모드까지 확인하였다. 먼저 구조해석 단계에서 4.3절에서 설명한 바와 같이 부여된 하중조건에 따른 정적해석과 동시에 고유진동해석을 수행한다. 그리고 연속적으로

해석을 수행하여 구조해석 결과와 고유진동해석 결과를 확인할 수 있다. 이 때, 미리 정해진 해석결과를 간단히 확인할 수 있도록 하였다. Fig. 11은 구조 해석의 결과의 한 예이다.

내구도해석은 구조해석의 결과를 이용하여 내구하중 및 불성조건 등을 부과한 내구해석용 입력파일을 생성하고, MSC.Fatigue를 이용하여 해석한 후에 그 결과를 확인한다. 이 과정에서 보고서에 포함시킬 결과를 그림파일로도 쉽게 저장할 수 있다. 각 해석 과정 후, 미리 정해진 형식의 엑셀파일로 보고서 양식이 자동으로 생성되어, 고유진동수 및 내구성지수와 같은 결과 데이터는 보고서에 포함되고, 해석결과 검토 과정에서 생성된 그림파일을 가져와서 Fig. 12와 같은 보고서를 완성할 수 있다.

5. 고찰

본 연구를 통하여 개발된 모델링 보조시스템은 로워암 모델의 구조해석, 고유진동해석 및 내구도해석을 수행하기 위한 통합 시스템으로서 기존의 상용 프로그램 즉, CAD 프로그램이나 유한요소해석 진·후처리 프로그램과 차별되는 특징들을 가지고 있다. 즉, 로워암 해석에 대한 전문가의 노하우를 바탕으로 해석 프로세스를 정립하여 이를 시스템에 적용한 점을 들 수 있다. 이러한 특성 때문에 본 시스템은 해석 전문가가 아니더라도 모델링 가이드를 통하여 양질의 해석결과를 얻을 수 있는 장점을 갖고 있다. 또한, 전체 프로세스 중에서 자동화할 수 있는 부분은 대부분 자동화 처리를 함으로써 모델링 시간을 대폭 절감할 수 있다. 실제, 실무작업자를 통한 해석시간과 개발된 시스템을 적용하여 소요되는 시간을 비교해 본 결과, 실무절차로는 8시간 이상의 시간이 소요되는데 비하여, 개발된 시스템으로는 단지 약 30~60분 정도의 소요시간이 필요하였다. 본 시스템의 적용을 통해 모델링 Man-hour의 절감효과가 매우 크다는 사실을 확인하였으며, 모델링 표준화도 달성할 수 있었다. 또한, 특정 회사 제품이 아닌 다양한 제품군의 Solver(예, ANSYS)의 적용도 가능한 것으로 확인되었다.

이와 같이 시스템은 최근들어 자동차 관련 기업들이 추구하고자 하는 가상제품개발(VPD : Virtual Product Development)환경, 즉 제품 개발에 있어서 해석적 방법을 이용하여 설계 초기 단계에서부터 제품의 성능 평가 및 신뢰성 확보를 통해 설계기간 단축 및 우수한 품질의 제품을 생산할 수 있는 환경을 추구하고 있는 방향과 잘 부합된다고 볼 수 있으며, 나아가 다

른 샤시부품들에 대한 해석도 가능하다면 그 효과를 극대화 할 수 있다고 사료된다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 자동차 서스펜션 보들 구성품 중 하나인 로워암의 구조해석 및 내구해석 과정에서 보다 쉽고 빠른 모델링 및 결과 검증이 가능하도록 하는 모델링 보조시스템의 프로타입을 개발하였다.

XML 및 Html 문서형식의 Drive Page를 통하여 전문가의 노하우를 바탕으로 한 모델링 가이드가 제공되어 FE 모델링 표준화가 가능하게 되었으며, 3차원 CAD파일의 CAE를 위한 셀요소로의 전환 및 용접요소의 생성과정을 자동화하여 CAE 작업의 Man-hour를 대폭 절감하는 효과를 얻을 수 있다. 또한, 내구해석을 위한 하중·경계조건의 부과 및 해석보고서 작성 부분도 자동화하여 자동차 부품모듈의 동시공학적 다분야 성능 최적설계를 구현하기 위한 모델링 자동화기법의 기반을 마련하였다.

## 감사의 글

본 연구내용은 과학기술부 특정연구과제인 "가상세계 기술개발"의 일부로 연구수행에 지원을 주신 관계


자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌


1. 이상헌, "가상설계(Virtual Design) 응용 자동차 설계 기술", 한국CAD/CAM 학회지, 제8권, 제1호, pp. 19-26, 2002.
2. 이상헌, "기능성 가상 프로토타입의 구축 및 응용", 한국CAD/CAM 학회지, 제7권, 제2호, pp. 41-49, 2001.
3. 노상도, "자동차 가상생산 기술 적용 및 활용", 한국CAD/CAM 학회지, 제7권, 제3호, pp. 18-25, 2001.
4. 강희석, "VPD가상제품개발(Virtual Product Development)", 한국CAD/CAM 학회지, 제3권, 제1호, pp. 38-44, 1997.
5. 김현, 명재형, 이재열, 김형선, 현성배, "가상공학을 위한 분산협동설계", '99 한국CAD/CAM 학회 학술 발표회 논문집", pp. 61-66, 1999.
6. Park, S. W., Lee, J. K. and Shin, B. C., "Introduction to Development of e-Engineering Framework for the Automotive Module Design", The 9th International Conference on CSCW in Design. May 24-26, 2005, Coventry, UK.
7. 이재경, 박성환, 이종원, 한승호, 한형석, "멀티 에이전트 기반의 통합설계 시스템 개발", 한국정밀공학회지, 제22권, 제1호, pp. 14-18, 2005.



**한 승 호**  
 1989년 한양대학교 공과대학 기계설계학과 학사  
 1991년 한양대학교 공과대학 대학원 기계설계학과 석사 (피로 파괴)  
 1996년 독일 아헨공과대학 철강연구소 박사 (피로 파괴)  
 1997년~현재 한국기계연구원 시스템엔지니어링연구본부 선임연구원



**이 태 희**  
 1999년 홍익대학교 공과대학 기계공학과 석사  
 1999년~현재 한국엠에스씨소프트웨어(주)



**신 소 영**  
 2001년 경상대학교 공과대학 항공기계공학과 학사  
 2003년 경상대학교 공과대학 대학원 항공공학과 석사  
 2003년~현재 한국엠에스씨소프트웨어(주)

**서 창 희**  
 현재 (주)화신 기술연구소

**권 태 우**  
 현재 (주)화신 기술연구소