

자동차 서스펜션 모듈 피로내구해석을 위한 통합설계시스템 개발

한승호[†]·이재경*·이태희**·장광섭***·권태우****

Integrated Design System to perform Fatigue Durability Analysis of Automobile Suspension Module

Seung Ho Han, Jai Kyung Lee, Tae Hee Lee, Kwang Sub Jang, Tae Woo Kwon

Key Words: Integrated design system(통합설계시스템), Fatigue durability analysis(피로내구해석), Automobile Suspension Module(자동차 서스펜션 모듈)

Abstract

Designer must cope with frequent changes in geometric information of automobile suspension module in the early stage of the design process. The authors developed the PSG(Parametric Set Generator) to create parametric models and to change geometric information concerning the lower arm, which is one of the important parts of the automobile suspension module. CAD models provided from the PSG can be utilized to assess fatigue durability via the FE modeling support system. This system provides easy and fast FE-modeling for a static and durability analysis of the lower arm. The PSG and the FE modeling support system are integrated using the e-engineering framework based on the JADE platform. In this study, a durability analysis as a case study for the lower arm manufactured at H company is performed, and the efficiency obtained is discussed.

1. 서 론

세계 완성차 시장은 무한경쟁 체제로 진입하여 생존경쟁이 대단히 치열해 지고 있다. 향후 수년 내 다섯 개 정도의 완성차 업체만 살아남을 것이라는 전망을 내놓고 있다. 국내 완성차 업체도 경쟁력 강화를 위하여 품질향상은 물론 제품단가

를 낮추는 노력을 하고 있다. 이러한 국내 완성차업체의 전략에 맞추어 부품업체에서도 단순히 부품만을 생산, 공급하던 방식을 탈피하여 제품 개발기간 단축 및 품질향상을 위하여 가상시제기술^(1,2)을 적극적으로 적용하고 있으며, 이를 통해 각 부품모듈 단위의 성능 시뮬레이션을 효율적으로 수행할 기술력과 시스템을 구축하고 있다.

제품 개발기간의 단축 및 품질향상을 위하여 제품 개발에 필요한 엔지니어링 프로세스를 자동화하고 통합하는 것이 필수적이며 이를 바탕으로 동시공학을 통한 협업, 설계·해석 프로세스^(3,4) 및 시스템 통합, 데이터의 체계적인 관리가 가능하게 된다. 기업의 글로벌화가 진행되면서 시공간적으로 분산되고 다양한 컴퓨팅 환경의 엔지니어링 자원(설계·해석도구, 시스템, 전문가)을 보다

[†] 회원, 한국기계연구원 시스템엔지니어링연구본부

E-mail : seungho@kimm.re.kr

TEL : (042)868-7433 FAX : (042)868-7418

* 한국기계연구원 시스템엔지니어링연구본부

** 라온엑스솔루션즈(주)

*** 부품DB(주)

**** (주)화신정공 기술연구소

효과적으로 지원하기 위한 통합설계시스템이 필요하다. 이질적인 분산 컴퓨팅을 위한 방법론으로 서비스 지향구조⁽⁵⁾가 각광 받고 있으며, 분산 컴퓨팅 환경을 서비스 제공자로 추상화시켜 이를 통한 서비스와 자원의 효율적인 활용이 가능하도록 한다. 서비스 지향 구조는 웹 서비스(Web Service), 그리드 컴퓨팅(Grid Computing)⁽⁶⁾ 등을 통하여 구현되고 있다.

본 연구에서는 엔지니어링 프로세스 자동화 및 통합화를 지원하는 멀티 에이전트 기반 엔지니어링 통합 프레임워크^(7,8)를 이용하여 자동차 서스펜션 로워암의 형상변경을 고려한 피로내구해석이 가능한 통합설계시스템을 개발하였다. 사용자는 웹 기반의 사용자 인터페이스를 제공하는 엔지니어링 서비스 포털을 통하여 시공간적인 제약 없이 통합 설계시스템에 대한 접근이 가능하며, 또한 설계에 참여하는 사용자간의 엔지니어링 결과 및 정보 공유가 가능하다. 개발된 통합설계시스템을 자동차 부품업체인 H사에서 개발하고 있는 로워암에 대하여 적용하여, 이를 통해 얻어지는 작업효율에 대해서 토의하였다.

2. 엔지니어링 통합 프레임워크

2.1 시스템 구성

엔지니어링 통합 프레임워크(이하 통합 프레임워크)^(7,8)는 제품 개발에 필요한 엔지니어링 업무가 전문가 간의 협업과 이들 간의 효율적인 정보 교환을 중심으로 이루어진다는 정의 하에서 각 전문가 팀을 독립적인 해석을 수행하는 단위 에이전트로 정의하고 제품개발의 엔지니어링 업무 흐름에 따라 단위 에이전트간의 협업 및 정보교환을 관리한다. 통합 프레임워크는 멀티 에이전트 미들웨어인 JADE(Java Agent DEvelopment framework)⁽⁹⁾ 환경 하에서 개발되었으며 시스템 구성 에이전트는 Interface Agent, Monitoring Agent, Engineering Server Agent, Process/Analysis Server Agent이다. 시스템 관리 및 운영에 필요한 데이터 관리는 관계형 데이터베이스와 FTP를 활용한 파일 시스템으로 구성된 EDM(Engineering Data Management)이 담당한다. Fig. 1은 시스템 구성으로 자바 기반 오픈소스 개방형 구조를 가지며 개발 및 운영환경은 다음과 같다.

- OS - Windows 2000/XP, Redhat Linux 9.0
- Programming language - JAVA 1.4
- Agent middleware - JADE 3.4
- DBMS - MySQL 5.0

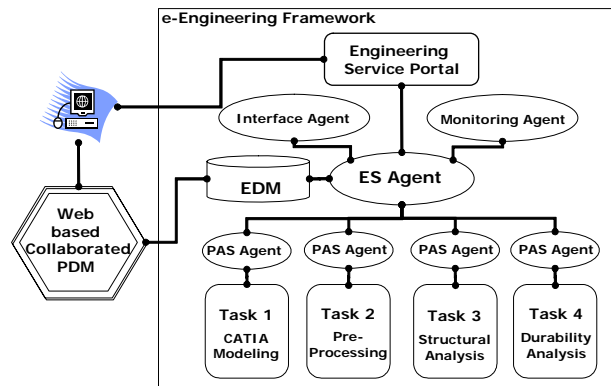


Fig. 1 System Architecture of Engineering Framework

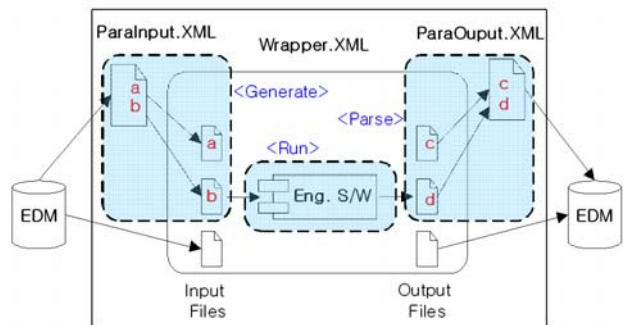


Fig. 2 Structure of resource wrapper

2.2 엔지니어링 프로세스 자동화

통합 프레임워크에서 엔지니어링 지식을 바탕으로 엔지니어링 도구를 사용하여 문제를 처리하는 에이전트는 Process/Analysis Server (PAS) 에이전트이다. PAS 에이전트는 실제 엔지니어링 프로그램들(CAD, CAE 등)과 연동되는 Resource Wrapper⁽⁸⁾와 저장된 엔지니어링 지식과 입출력 데이터를 활용하여 Resource Wrapper를 구동하는 PAS Process를 관리한다.

Resource Wrapper는 Fig. 2와 같이 ParaInput.xml, ParaOutput.xml을 통하여 엔지니어링 프로세스의 입출력 데이터를 관리하며 프로세스 자동화 정의 파일인 Wrapper.xml을 처리한다. Wrapper.xml은 <Generate>, <Run>, <Parse> 구조로 되어 있으며 이를 순차적으로 처리하여 프로세스

자동화를 구현한다. <Generate> 태그는 엔지니어링 프로그램이 필요로 하는 입력파일을 생성한다. 생성된 입력파일을 기반으로 <Run> 태그부분에 정의된 batch process 기반의 엔지니어링 프로그램이 실행되며, <Parse> 태그는 생성된 결과파일에서 출력 데이터를 추출하기 위한 정보를 가지고 있다.

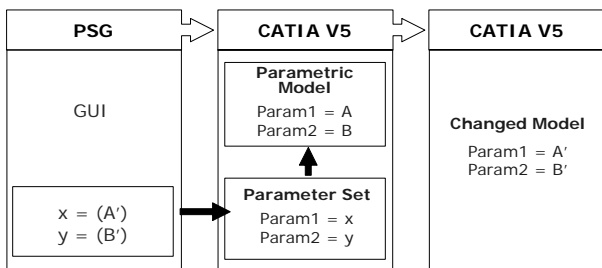


Fig. 3 Concept of parametric set generation

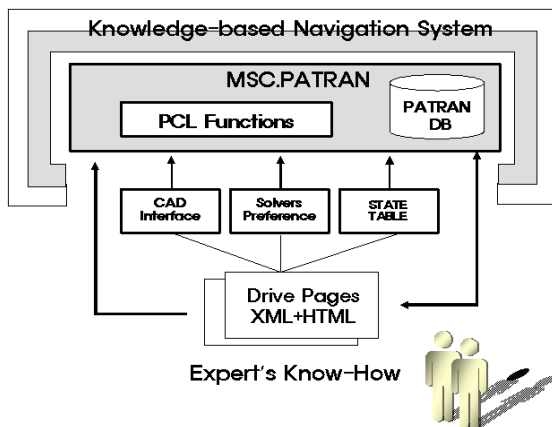


Fig. 4 Architecture of navigation system

3. Engineering Task 별 특성

통합 프레임워크의 Resource Wrapper로 연동되어 있는 Task 1~4(Fig. 1 참조)는 엔지니어링 지식을 바탕으로 엔지니어링 도구를 사용하여 문제를 해결하는 기능을 갖는다. 각 Task의 기능, 응용 S/W 및 구현방법을 정리하면 다음과 같다.

3.1 Task 1 : CATIA Modeling

CAD 모델의 형상 파라미터를 자동으로 변경하는 기능을 갖고 있다. 파라메트릭 모델을 생성하기 위하여 부품의 주요 치수와 같은 기하학적 정보는 물론, 설계의도, 사양 및 기능과 같은 비기하학적 정보를 이용한다. 모델생성시 반드시 형

상 간의 모자관계와 독립 또는 종속변수에 대한 구속을 명확히 정의한다. Fig. 3은 형상 파라미터를 변경하는 개념도이다. 사용된 S/W는 CATIA V5를 기반으로 작동하는 ParaCAT(in-house code)로 CATIA 모델의 제한조건을 변경하고 갱신하는 작업을 수행한다.

CAE 모델링의 자동 메쉬작업을 위한 각 멤버 외곽 면정보, 외곽 면을 구성하는 에지들 중에서 중요 에지(Feature Line), 용접요소 및 구조해석시 요구되는 경계조건 구현을 위한 각종 정보는 CATPart 파일 형태로 Task 2에 공급된다.

3.2 Task 2 : Pre-Processing

CAE 모델링을 수행하는 기능으로서 CATIA 파일을 입수하며, 유한요소해석을 위한 메쉬작업이 이루어진다. 박판형상의 로워암 메쉬작업에서 3D Solid CAD 형상의 중립면을 취하여 그 면에 셀 요소를 생성시킨다. 곡률이 심한 형상에 대해서는 Task 1에서 제공 받은 CATPart 파일로 저장되는 에지(Feature) 정보를 이용하여 메쉬정도가 대폭 향상된다. 다음 단계로서 요소특성, 하중 및 경계조건의 구현을 위한 구조해석 전처리기가 이루어진다. 하중, 경계조건이 MPC (Multi-Point Constraint) 기능으로 부과된다. MPC의 부과시에도 CATPart 파일에 저장된 형상정보가 이용된다.

사용된 S/W는 MSC.Patran이며, 내장된 Acumen Toolkit으로 구현된 Navigation System과 PCL (Patran Command Language)로 구성된 제어 시스템이 구현되어 있다. Fig. 4는 Navigation System의 구조이다.

3.3 Task 3 : Structural Analysis

응력 및 진동해석이 수행된다. Inertial Relief법을 적용하며, 총 5가지의 하중조건(1.0GVW, 1.0GVW_x, 0.5GVW_y, 1.0GVW_z, 0.8GVW_z)을 고려한다. Solver로는 MSC.Nastran이 사용되며 PCL을 이용하여 작업단계를 자동화하였다.

3.4 Task 4 : Durability Analysis

피로내구해석이 수행된다. Task 3에서 고려한 하중조건을 조합한 총 3가지의 피로하중 조건 1.0GVW+1.0GVW_x, 1.0GVW+0.5GVW_y, 1.0GVW_z+0.8GVW_z을 상정하였다. Solver로는 MSC.Fatigue가 사용되며 사이클릭 응력-변형률

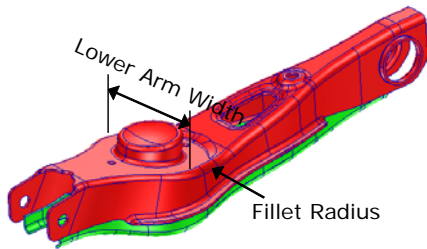
선도와 SWT법⁽¹⁰⁾을 적용한 피로균열발생수명을 구한다.

피로내구해석이 종료된 후 Task 3 및 4에서 얻어지는 CAE 결과 DB에서 필요로 하는 각종 정보(응력, 주파수특성, 피로수명, 결과그림 등)를 모아 엑셀파일 형태의 보고서를 자동으로 생성시킨다.

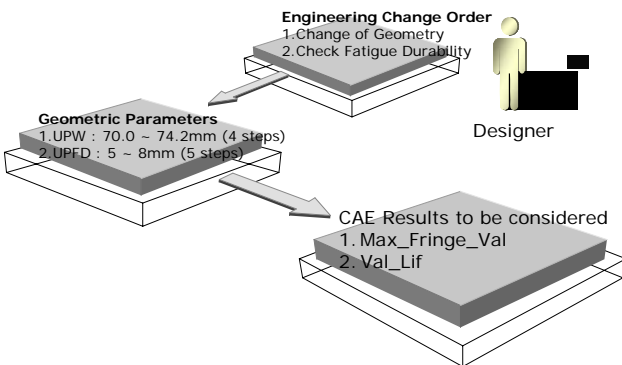
4. 통합설계시스템의 실무적용

4.1 설계 시나리오

설계 초기단계에서 자동차 서스펜션 로워암의 형상최적화를 위하여 대상체 주요 설계변수를 선정하고, 이의 변화에 따른 피로내구수명의 변화를 검토해야 한다. Fig. 5는 설계 대상체인 로워암, 설계변수로 선정된 로워암폭(UPW)와 필렛반경(UPFD) 및 설계 시나리오의 개념도이다.



(a) RR Lower arm and its design parameter



(b) Step of design process

Fig. 5 Design scenario of geometry change order

UPW는 70.0mm에서 74.2mm까지 4단계로, UPFD는 5mm에서 8mm까지 5단계로 총 20개의 서로 다른 형상변화를 고려한다. 각 형상변수의 크기 변화는 타 부품간의 간섭효과를 고려하여 결정하였다. 형상변화에 따라 검토해야 할 CAE

결과는 최대응력(Max_Fringe_Val)과 피로내구수명(Val_Lif)이다.

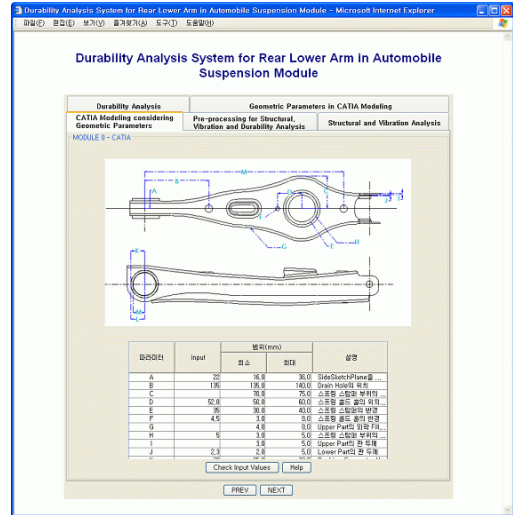


Fig. 6 User interface of CATIA modeling considering geometric parameter

4.2 실무적용

Task 1~4에 요구되는 입력값을 Engineering Service Portal의 UI(User Interface)를 통해 기입한다. Fig. 6은 CATIA 모델링 작업이 수행되는 Task 1에서 요구되는 각종 형상변수 값을 입력하는 UI로서 설계변수로 상정된 UPW 및 UPFD를 제외한 나머지 형상변수는 기본값(Default Value)으로 입력된다. UI의 입력이 완료된 후 실행하면 Task 1~4가 자동으로 수행된다.

Task 1에서는 UPW 및 UPFD가 주어진 설계 시나리오에 맞추어 20가지로 변화하면서 각각에 해당하는 CATIA의 CATPart 파일을 자동으로 생성한다. 생성되는 파일은 Shell 메쉬를 위한 면정보, 단면변화가 심한 부위의 메쉬정도를 향상시키기 위한 에지정보 및 용접요소 생성을 위한 피쳐라인(Feature Line) 등 Task 2에서 필요한 다양한 정보를 포함하고 있다. 또한, 하중, 경계조건을 부과를 위한 MPC를 자동으로 구현하기 위하여, MPC가 적용되는 케리어 연결부(MPC1_CATPart), 스프링 범퍼시트 주위(MPC2/3_CATPart) 및 크로스멤버 연결부(MPC4_CATPart)에 CATPart 파일을 생성시켜 Task 2에서 요구되는 하중조건을 자동으로 구현할 수 있게 한다. Fig. 7은 MPC 구현을 위해 생성되는 CATPart 파일의 모습이다.

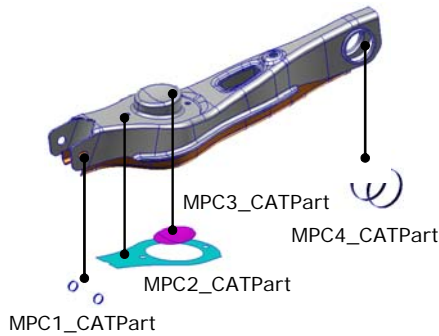


Fig. 7 CATPart files for MPC

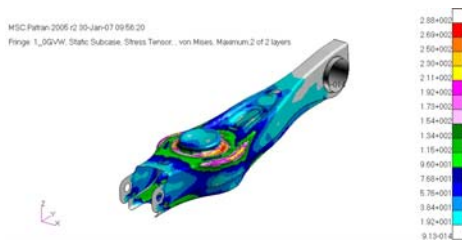


Fig. 8 Stress distribution under 1.0GVW

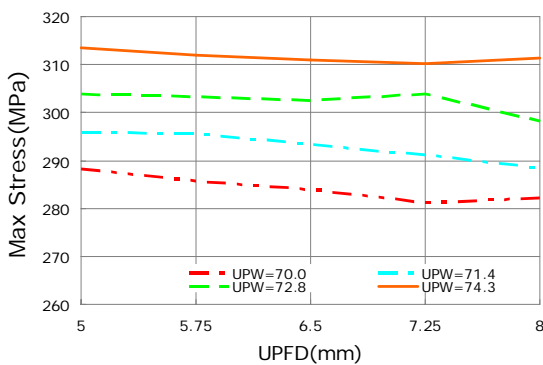


Fig. 9 Maximum stress due to change of UPW and UPFD under 1.0GVW

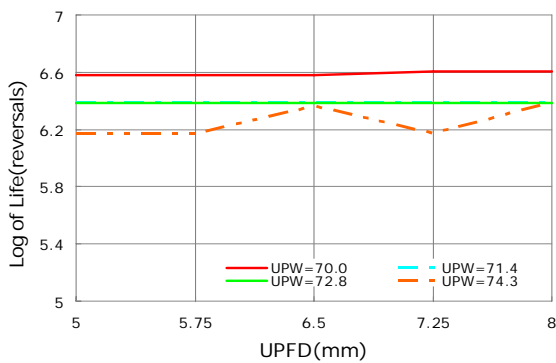


Fig. 10 Log of life due to change of UPW and UPFD under 1.0GVW_z+0.8GVW_z

Task 3에서는 3.3절에서 설명한 바와 같이 총 5가지의 하중조건에 대하여 Inertia Relief법으로 응력 및 진동해석을 수행한다. Fig. 8은 1.0GVW 조건에서 로워암에 작용하는 응력분포이다. 스프링 스톱컵 주위에 가장 높은 응력이 작용하는 것을 확인 할 수 있다. UPW 및 UPFD가 변화하는 경우에 대하여 최대응력의 변화를 살펴보면 UPFD, 즉 플렌지 곡률반경이 커짐에 따라 응력이 감소하나 큰 영향을 주지 않고, UPW가 작아짐에 따라 응력이 큰 폭으로 감소하였다. 나머지 네 가지 하중조건에 대해서도 동일한 방식으로 형상변화에 따른 작용응력의 변화는 물론 4차 모드까지의 진동특성도 계산할 수 있다.

Task 4에서는 3.4절의 세 가지 하중조건으로 피로하중을 설계조건으로 상정하고, 피로내구수명을 셀요소의 top 및 bottom부에 대한 결과(총 6회의 피로내구해석 수행) 중 최소값으로 선정하였다. Fig. 10은 1.0GVW_z+0.8GVW_z 하중조건하에서 UPW 및 UPFD 변화에 따른 피로내구수명 (Log of life, reversals)을 계산한 결과이다. UPFD가 피로내구수명에 미치는 영향은 거의 없고, 로워암 폭인 UPW가 작은 경우 피로수명이 가장 짧았다. 그러나, UPW의 변화에 따른 피로수명의 변화는 무시할 만한 수준으로 작았다.

4.3 업무효율분석

자동차 서스펜션 컨트롤 암류 설계절차를 살펴보면, 구상도 및 상세설계, 설계검토와 같은 초기 설계단계가 있으며, 3차에 걸친 피로내구해석과 이에 따른 설계수정 과정이 반복된다. 이후, 설계확정과 동시에 최종 도면이 완성된다. 컨트롤 암류 한 개의 부품에 대하여 1인당 Man-hour는 평균 660에 이른다. 본 연구에서 개발한 통합설계 시스템을 실무에 적용해본 결과 초기 설계단계에서 소요되는 Man-hour가 390에서 280으로 28%의 감소효과를 얻었고, 피로내구해석과 설계수정 과정에서는 220에서 135로 38%의 Man-hour가 큰 폭으로 감소되었다. 이를 설계해석비용의 절감으로 고려하면 절감액은 197백만원 정도로 추정된다. 현재, 자동차 서스펜션 모듈의 다양한 부품에 적용할 수 있는 통합설계시스템의 적용 분야를 확대시키는 연구를 수행 중이다. 또한, 다분야 최적설계기법의 구축 및 웹기반 PDM 시스템과의 효율적인 연동도 추진하고 있다.

5. 결 론

멀티 에이전트 기반 엔지니어링 통합 프레임워크를 이용하여 자동차 서스펜션 로위암의 통합설계시스템을 개발하였다.

통합 프레임워크는 JADE 환경 하에서 각종 에이전트로 구성되어 있으며, 시스템 관리 및 운영에 필요한 데이터 관리는 EDM이 담당한다. 설계에 필요한 CAE 도구를 이용한 문제해결은 PAS 에이전트가 담당하며, Resource Wrapper를 통해 사용 S/W와 연동된다. Task 1~4은 엔지니어링 지식을 바탕으로 엔지니어링 도구를 사용하여 실무를 담당한다. 각각의 기능은 CAD 모델 형상 파라미터 자동변경, CAE 모델링, 응력·진동해석 그리고 피로내구해석이다.

로위암의 폭과 필렛부 반지름 크기 총 20가지의 변화를 고려한 응력 및 피로내구수명을 구하는 설계 시나리오를 개발된 설계시스템에 실무적으로 적용하였다. 업무효율분석을 통해 단품 설계시 요구되는 1인당 Man-hour가 30% 이상 줄어드는 효과를 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구내용은 과학기술부 특정연구과제인 “가상시제 기술개발”의 일부로 연구수행에 지원을 주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Lee, S. H., 2002, "Design Technology of Automobile based on Virtual Design", *J. of the Society of CAD/CAM Engineers*, Vol.8, No.1, pp. 19-26
- (2) Han S. H., Jang K. S., Shin S. Y., Lee T. H, Kwon T. W. and Suh B. K., 2006, "Automation of Fatigue Durability Analysis of Welded Bogie Frame by performing Work Flow Analysis", *Proceedings of the KSME 2006 Spring Annual Meeting*
- (3) Chu M. S., Lee S. J. and Choi D. H., 2005, "Development of a Distributed Computing Framework for Implementing Multidisciplinary

Design Optimization", *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, Vol.10, No.2, pp. 143~150

- (4) Yang Z., Liu Z., Zhao J., Shen Z., Xie Z. and Liu Q., 2003, "Engineering Portal for Collaborative Product Development", *ASME DETC/CIE*, Vol.1, pp. 975-984
- (5) Papazoglou M. P., 2003, "Service-Oriented Computing", *Communications of ACM*, Vol. 46, No. 10, pp. 25-28
- (6) Yang X., Hayes M., Jenkins K. and Cant S., 2005, "The Cambridge CFD grid for large-scale distributed CFD applications", *Future Generation Computer Systems*, Vol.21, No.1, pp. 45-51
- (7) Park S. W., Lee J. K., Bang J. S. and Shin B. C., 2006, "Development of an e-Engineering Environment for automotive Module Design", *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Supported Collaborative Work in Design*, pp. 264-273
- (8) Lee J. K., Park S. W, Bang J. S., Lee H. M. and Nam S. J., 2006, "Development of Engineering Framework for the Integration and Automation of Engineering Processes", *Proceedings of the KSME 2006 Spring Annual Meeting*
- (9) <http://jade.tilab.com/>
- (10) Smith, K., Watson, P. and Topper, T., 1970, "A Stress-Strain Function for the Fatigue Damage", *J. Mater.*, Vol. 5, No. 4, pp. 767-778