한국 CAD/CAM 학회 논문집
제 11권 제 5호 2006년 10월 pp. 384-392

학술논문

분산 협업 환경에서의 유한요소 해석에 관한 연구

조성욱*, 권기억**

Finite Element Analysis with STEP in Distributive and Collaborative Environment

Cho, Seong Wook* and Kwon, Ki Eak**

ABSTRACT

In this research, the feasibility of distributed finite element analysis system with STEP and CORBA has been investigated. The enabling technologies such as CORBA and Java play key roles in the development of integrated and geographically distributed application software. In addition to the distribution of analysis modules, numerical solution process itself is again divided into parallel processes using multi-frontal method for computational efficiency. In contrast to the specially designed parallel process for specific hardware, CORBA-based parallel process is well suited for heterogeneous platforms over the network. The idea of Web-based distributed analysis system may be applied to the engineering ASP for design and analysis in the product development processes. We believe that the proposed approach for the analysis can be extended to the entire product development process for sharing and utilizing common product data in the distributed engineering environment, thus eventually provide basis for virtual enterprise.

Key words : CAE, CORBA, STEP, JAVA, FEM, FEA, Multi-Frontal

1. 서 론

인터넷과 웹을 포함한 네트워크 기반의 분산/협업 환경을 위한 기술들은 전세계에 걸친 고속 통신망을 이용하여 다수의 개발자나 사용자가 웹 브라우저와 같은 최소한의 클라이언트로 실시간 연결방식을 통한 다양한 응용 프로그램의 서비스를 제공받을 수 있게 하였고, 데이터의 신속한 전송과 상호작용을 통해 개별적이고 순차적인 작업방법에서 탈피하여, 동시 병행적으로 작업하는 것을 가능하게 하였다. 즉, 지금까지 해결하지 못했던 네트워크 기반의 공동 협력 분산 작업을 가능하게 하고, 원격지에 있는 시스템간의 협동 작업을 통하여 서로의 자원을 공유하거나, 필요한 정보를 주고받는 등 일련의 상호 작용이 가능하도록 하였다. 따라서 생산 과정에서 웹이나 자바와 같은 기술을 효과적으로 이용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 과정에서 CAD/CAE 벤더들은 다양한 방식으로 웹을 기반으로 하는 제품에 대한 개발[1-3]을 진행시키고 있으며, 사용자들의 요구에 따라 실시간으로 다양하고 협력적인 서비스를 웹을 통해서 원활하게 제공하기 위한 연구와 시도들이 늘고 있다. 이러한 기술들에 대한 연구와 새로운 시도들은 설계/해석 및 생산 분야의 연구자 및 엔지니어들에게 새로운 패러다임을 제시하고 있다. 특히 객체 지향 소프트웨어 개발 기법과 분산화 기법, 생산 제품 정보의 새로운 국제 표준의 제정 및 채택은 분산 엔지니어링 환경에서의 동시공학을 구현하기 위한 기반이 되고 있다.

네트워크를 통한 분업/협업 환경은 각각의 부서나 기업에서 보다 전문화되고 세분화된 작업을 동시에 수행할 수 있도록 함으로써 새로운 제품에 대한 개발 비용과 시간을 절약할 수 있다. 그러나 이러한 환경에서는 각각의 부서나 기업에서 사용하는 시스템의 이질성이나 제품 데이터 표현 방법의 차이로 인해 이를 통합하기 위한 부가적인 개발 비용과 기간이 발생하기도 한다. 따라서 생산 과정에서의 상호협력 작업을 성공적으로 수행하기 위해서는 제품 개발 초기 단계

*교신저자, 종신회원, 중앙대학교 기계공학부
**정회원, 중앙대학교 대학원 기계공학부
- 논문투고일: 2005. 06. 09
- 심사완료일: 2006. 09. 12

에서부터 분산된 환경에서의 관련 시스템들을 유기적으로 통합 관리할 수 있어야 하며 각 사이트간 의사교환이 원활하게 이루어져야 한다. 이를 통하여 분산된 다수의 제품 개발자들이 이질적이고 지역적으로 분산된 컴퓨팅 환경에서 상이한 업무를 독립적으로 수행하면서 협력을 통한 제품의 공동 개발이 가능해질 것이다.

인터넷 기술의 발전과 함께 기능을 분산화하고, 또 이를 통합하여 활용하는 연구가 설계, 생산, 최적화 등의 분야에서 다양하게 시도되었다[19,20].

본 연구에서는 이기종의 시스템들로 이루어진 네트워크 환경에서 서로 다른 CAD/CAE 시스템들 간의 정보 공유 및 상호 작용 등의 공동 협력 작업을 수행하는 네트워크 기반의 분산/협업 엔지니어링 시스템에 관한 연구를 수행하였다. 특히 해석 서버의 분산 병렬화를 시도하여 분산/협업 시스템에서의 보다 효율적인 유한요소해석을 수행할 수 있는 프로토타입을 설정하여 그 효율성 및 타당성을 제시하였다. 이러한 연구는 인터넷을 이용한 최신 기술을 생산 환경에 적용하기 위한 프로토타입을 설정하고, 가상 기업환경의 인프라를 구축하는데 있어서 매우 중요한 핵심기술이 될 것이다.

2. 분산/협업 환경을 위한 기반 기술

2.1 CORBA를 이용한 분산 시스템 개발

CORBA는 분산 컴퓨팅 시스템의 개발을 위한 객체지향 표준을 제정하기 위해 900여 이상의 컴퓨터 관련 단체가 모여서 결성한 컨소시엄인 OMG[4]가 이종의 분산된 환경 하에서 응용 프로그램들이 서로 통합될 수 있는 표준 기술로써 제안한 OMA(Object Management Architecture) 중 네트워크 시스템에서 객체간의 통신을 가능하게 해주는 아키텍처를 문서화하여 발표한 것이다[5]. OMA는 응용 프로그램 간의 결합 뿐만 아니라 객체의 생성, 소멸에서부터 저장, 트랜잭션 기능에 이르기 까지 분산객체 환경에서 필요한 모든 서비스를 총칭하는 것이며 이들 기능 중 CORBA는 서로 다른 프로그램들 사이의 버스 역할을 하는 모듈로서 OMA의 가장 중요한 요소이다. OMA가 응용 프로그램 간의 통합을 나타내는 것이라면 CORBA가 객체 간의 상호작용을 나타내는 것이라고 할 수 있다[6]. CORBA의 핵심 기술은 ORB이다. ORB는 객체간에 클라이언트/서버 환경을 구축해주는 미들웨어로서, 클라이언트의 요청 메시지를 해당 객체로 전송하고 그 결과를 다시 클라이언트로 보내주는 역할을 한다. 또한 ORB는 다중 오브젝트 시스템(multiple object systems)을 서로 연결할 수 있다. ORB를 사용하여 클라이언트는 로컬 머신이나 네트워크 건너편에 있는 서버 객체의 메쏘드를 호출할 수 있다. 클라이언트는 객체들이 어느 호스트에 있는지, 어떠한 프로그래밍 언어로 구현되었는지, 어떠한 OS하에 수행되는지에 대한 사전 정보가 없어도 객체들의 서비스를 이용할 수 있다.

다음 Fig. 1은 CORBA를 이용한 프로그램의 개발 과정을 도식화한 것이다. 본 연구에서는 CORBA 제품으로 IONA의 Orbix와 OrbixWeb[7]을 사용하여 구현하였다.

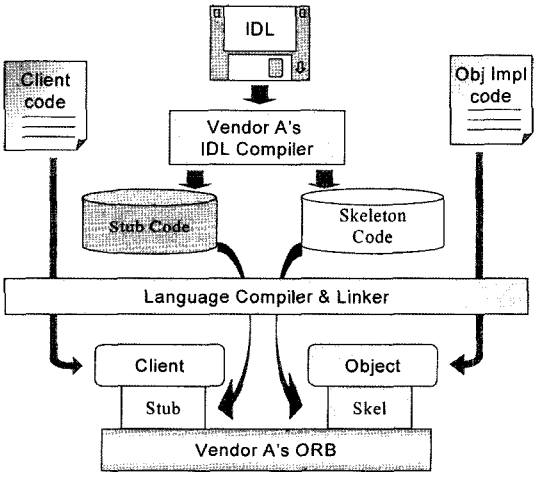


Fig. 1. Development process of CORBA application.

2.2 WWW, JAVA 그리고 CORBA를 이용한 분산환경

자바와 CORBA는 상호 보완적인 소프트웨어 개발 기술이다. 이러한 기술들이 WWW과 함께 이용되면, 다중 사용자를 위한 강력한 분산 응용 시스템을 개발할 수가 있다. 원격지에 있는 서버 소프트웨어와 효율적으로 상호작용하기 위해 CORBA를 사용하고 자바 애플릿을 다운로드하는 웹 브라우저로 클라이언트 소프트웨어를 개발하여 자원을 공유하고 활용할 수가 있다. 유연한 다중 사용자용 분산 응용 시스템을 개발하기 위해 CORBA가 해결하지 못한 문제는 분산 응용 시스템의 클라이언트 프로그램을 사용하고자 하는 호스트에 직접 설치하여야 한다는 것이다. 또한 소프트웨어가 업그레이드되면 기존의 오래된 컴포넌트를 교체해야 하는 유지・보수의 문제도 안고 있다. 플랫폼의 이질성을 따지면 이는 더 큰 문제를 야기한다.

동일한 컴포넌트 소프트웨어는 다양한 하드웨어와 운영체제에서 적절히 실행이 되어야 한다. 그러나, WWW 기술의 발전은 이러한 문제점들에 대한 해결책을 마련하였다. 즉, 사용자는 소프트웨어를 사용자와 호스트에 직접 설치할 필요가 없어 소프트웨어 전달에 간단하고 유연한 방법을 제시한다. 따라서 WWW과 자바 애플릿은 분산 응용 시스템의 클라이언트 컴포넌트를 배치하는 작업을 간단하게 한다.

다음 Fig. 2는 WWW과 자바, CORBA를 이용한 분산 환경을 묘사한다.

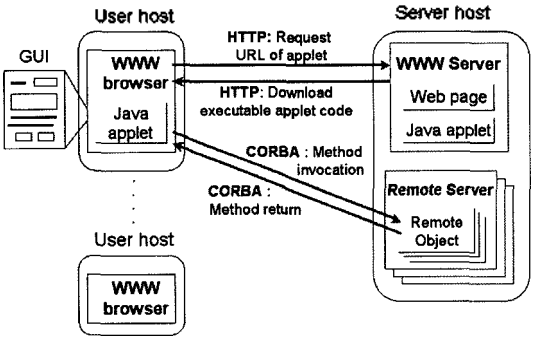


Fig. 2. Distributed applications with CORBA and JAVA.

2.3 STEP을 이용한 유한요소해석

응용프로그램 간의 네트워크를 통한 제품정보의 공유를 위해 가장 기초가 되는 것은 사용할 제품의 정보를 어떻게 저장하고 공유하여 정보를 효율적으로 교환하는 것이다. 이를 위해 현재 여러 분야에서 네트워크를 기반으로 하는 제품 정보 저장과 교환에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 제품정보를 저장하는 방법으로는 파일을 직접 사용하여 저장하는 방법과 여러 종류의 데이터베이스, 관계형 데이터베이스, 객체 지향 데이터베이스, 객체-관계형 데이터베이스를 이용하여 저장하는 방법이 있을 수 있다. 본 연구에서는 STEP파일을 직접 사용하여 응용 프로그램간의 정보교환을 하도록 하였다[8,18].

STEP 정보 모델링 데이터를 기반으로 하는 유한요소해석 프로그램의 구현을 위해 요구되는 기능은, EXPRESS 언어로 기술된 스키마(schema)를 해석하여 STEP 물리 파일에서 서술하고 있는 엔티티(entity)들의 데이터베이스를 구축/질의하는 기능과 정의된 유한요소해석 데이터를 이용하여 해석하는 기능으로 나눌 수 있다.

첫번째 기능을 구현하기 위해서는 STEP Tools Inc.의 ST-Developer에 포함되어 있는 ROSE[9] 컴파일러를 이용하여 선행 컴파일된 스키마와 AP209[10] 스키마의 엔티티들을 C++ 클래스로 정의한 헤더 화일을 생성한 후 ROSE library를 이용하여 엔티티 데이터베이스에 접근하고, 두 번째 기능을 위해서 유한요소해석을 위한 기본 데이터를 설계하여 STEP데이터와의 인터페이스를 위한 모듈을 구현하고 이를 통해 변환된 데이터를 이미 구현되어 있는 유한 요소 해석 모듈을 사용하여 해를 구한다[11].

3. 네트워크 기반의 분산 유한요소해석

컴퓨터를 이용한 문제 해석에 있어서 보다 빠른 시간 내에 문제를 풀고자 하는 노력은 계산 처리 속도가 탁월한 컴퓨터를 개발시키는 동기가 되었으며 현재 소형 컴퓨터에서부터 대형 컴퓨터(슈퍼 컴퓨터)에 이르기까지 매우 우수한 컴퓨터들이 개발되어 여러 분야에서 사용되고 있다. 그러나 컴퓨터의 하드웨어적인 처리 능력(CPU, 메모리)은 제한적일 수밖에 없기 때문에 단일 프로세서에 의한 계산 방법보다는 병렬처리 기법을 이용하여 여러 개의 CPU(프로세서)를 이용한 계산을 수행하는 효율적인 방법들이 등장하게 되었다.

그러나 기존의 병렬처리 시스템은 구조적으로 복잡하기 때문에 설계와 구현에 있어 어렵고, 하드웨어 교체에 의한 시스템 성능 향상이 어렵다는 것이다. 또한 병렬처리를 위한 시스템 및 프로그래밍 언어들을 기존 사용자가 배우고 사용하기가 어렵고, 시스템 구축에 이용되는 장비가 고가이기 때문에 일반 사용자들이 이러한 시스템을 구축하여 사용하기에는 무리가 있다.

본 연구에서는 분산환경 기술과 유한요소해석의 병렬/분산 기술을 이용하여 유휴 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 방법을 제안하였다. 즉 이기종 분산 처리가 가능한 유한요소 해석 시스템을 구성하여 대용량의 서버 시스템이 아닌, 일반 PC를 이용하여 병렬/분산 처리를 가능하도록 하여 경제적인 측면이나 그 결과 면에서 좋은 결과를 얻을 수 있다.

따라서 본 연구에서는 유한요소법의 다중프론트 해법(Multifrontal Method)을 이용하여 해석과정의 병렬 알고리즘을 구현하고 CORBA를 이용하여 분산병렬 해석시스템(Distributed Analysis System)을 구현하고자 한다. 이러한 시스템의 구성은 보다 효율적이고 빠른 계산 수행능력을 가지는 병렬 해석시스템으로서의 역할을 수행함과 동시에 분산/협업 환경을 구성하는

하나의 응용 서버로서 다른 응용 서버들과의 효과적이고 유기적인 작업을 수행할 수 있도록 할 것이다. 또한, 다양한 해석 시스템과 보다 유연하고 확장 가능한 시스템을 구성할 수 있게 하고, 이질적인 대규모의 분산 환경에서 효율적인 활용을 가능하게 할 것이다.

3.1 다중프론트 해법을 이용한 병렬화

유한요소법을 병렬화하기 위한 노력은 1980년대 후반부터 다양한 하드웨어 구조상에서 구현되었는데 이들은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째는, 연립방정식 해법 자체의 병렬화를 구현하여 행렬 수준에서 문제를 나누는 방법이 있고 다른 방법으로는 해석하고자 하는 구조물 자체를 몇 개의 영역으로 나누어서 푸는 방법이 있다. 두 번째 방법은 일반적으로 영역분할기법(Domain Decomposition Method)이라고 한다. 이 영역분할 기법은 풀고자 하는 문제의 영역 자체를 사용할 프로세서 개수만큼의 영역으로 분할하여 영역 내부에 대한 정보들을 각각의 영역 내에서 독립적으로 따로 계산하게 하면서 경계면의 정보는 통신을 통해 같이 맞춰 가면서 전체의 해를 구하는 방법이다. 여기서 각 영역 내부에서의 계산은 각 프로세서 내에서 독립적으로 수행되므로 병렬성이 가장 뛰어난 방법으로서 유한요소법의 병렬화를 위한 가장 유망한 방법으로 널리 연구되고 있다.

다중프론트 해법은 각 프론트 내부의 계산이 독립적으로 수행되고 이웃간의 프론트를 합치는 과정도 서로 독립적으로 이루어지므로 자연스럽게 병렬화가 가능하다. 즉, 사용하고자 하는 프로세서에 필요한 만큼의 프론트를 할당하면 각 프로세서 내부의 프론트들을 합쳐나가는 과정은 서로 완전히 독립적으로 이루어지므로 자연스럽게 병렬화가 된다. 단지 서로 다른 프로세서간에 프론트가 합쳐지는 경우에만 데이터 교환이 국부적으로 일어나도록 함으로써 병렬성을 다른 직접적 해법에 비해서 월등히 향상시킬 수 있다[12].

프론트 해법은 요소 강성행렬을 조립해 나가는 과정에서 조립이 완료된 자유도를 그 즉시 소거해 나가는 방법이다. 특히 이 방법은 유한요소해석 과정에서 나타나는 행렬의 구조적 특성을 충분히 살려 계산량을 크게 줄일 수 있을 뿐만 아니라 전역 강성행렬을 조립하지 않고 소거된 자유도를 보조 기억장치에 저장함으로써 필요로 하는 주기억장치의 용량을 크게 줄일 수도 있다.

다음 Fig. 3은 유한요소들을 조립해 나가는 과정에서 이후에 조립될 요소들의 자유도에 전혀 영향을 미치지 않는 자유도를 소거해가는 과정을 보여주고 있다.

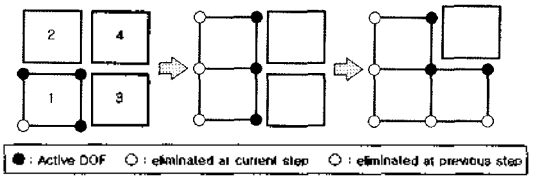


Fig. 3. Successive elimination in the frontal method.

다중프론트 해법은 분할된 영역에서의 각각의 프론트를 다른 영역에서 퍼져 나가도록 해서 이들 프론트를 다시 합쳐나가는 방법을 사용한다. 이 과정에서 각각의 영역에서의 소거과정은 각각 다른 프로세서를 이용하여 계산하게 된다. 다음 Fig. 4는 이러한 해석 과정을 보여주고 있다.

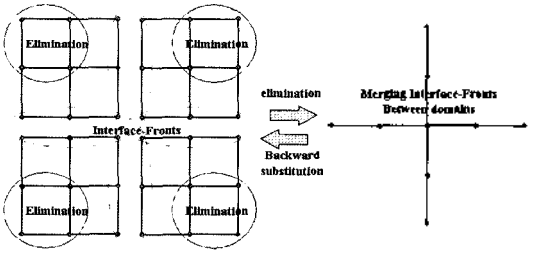


Fig. 4. Analysis procedure in multifrontal method.

이러한 병렬 해석시스템에서 각각의 프로세스들 간에 계산량의 균등한 분배를 위해 해석할 영역(유한요소)에 대한 적절한 분할이 필요하고, 또한 각각의 프로세서들 간의 통신을 최소화하기 위한 방법으로서 각 영역사이에 공유되는 인접한 요소(절점)들을 최소화하는 것이 필요하다.

본 연구에서 보다 효과적인 영역분할을 위하여 Metis[13]를 이용한 다단계 그래프 분할 알고리즘 기

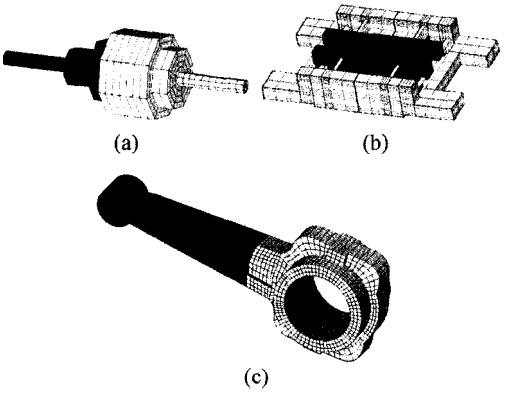


Fig. 5. Domain decomposition by graph theory. (a) 3564 DOF, (b) 19968 DOF, and (c) 38331 DOF.

법[14]을 이용하여 다중프론트 해법을 위한 프론트 분할을 구현하였다[15]. 다음 Fig. 5에 다단계 그래프 분할기법을 이용한 영역분할의 예를 나타내고 있다.

위 그림은 각각의 모델을 3개의 영역으로 분할한 상태를 보여주고 있다. 분할된 각각의 영역은 서로 다른 프로세서를 통해서 계산하게 된다.

3.2 CORBA를 이용한 해석시스템의 분산 병렬화

본 연구에서는 다중프론트 해법과 다단계 그래프 분할 기법을 이용한 유한요소법의 분산 병렬화를 구현하였고, CORBA를 이용하여 분산병렬 해석시스템을 구현하였다. 다음 Fig. 6은 CORBA를 이용한 해석시스템의 분산 병렬화의 과정을 보여주고 있다.

본 연구를 통해 개발된 분산 해석시스템에 대해서 Fig. 5의 모델을 대상으로 서로 다른 사양의 컴퓨터를 이용하여 성능비교를 함으로써 타당성을 살펴보았다. 3개의 Frontal Server로 구성된 분산 환경하에서 예제 해석을 수행하였다

성능 비교 결과, Fig. 7에 보인 바와 같이 하나의 컴퓨터 상에서 해석을 수행하는 일반적인 단일 프로세스에 의한 해석시간보다 분산 병렬 시스템에 의한 해석시간이 단축되는 것을 확인할 수 있다. 분산 병렬 시스템을 이용할 경우, 영역분할을 통해 생성된 데이터들을 네트워크를 통해 각각의 Frontal 서버로 전송하는 과정의 시간을 포함하는 전체 시간도 역시 단일 프로세스에 의한 해석 시간보다 현저히 단축되는 것을 확인할 수 있다.

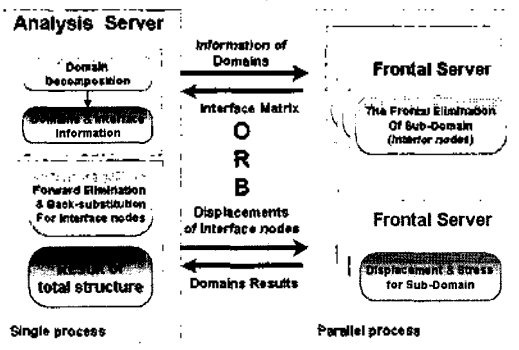


Fig. 6. Distributed parallel computation over the network.

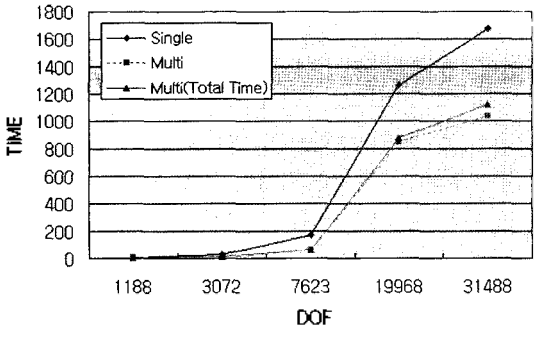


Fig. 7. Performance comparison for DOF increment.

3.3 CORBA를 이용한 분산 해석 시스템

현재 다양한 분야에서 다양한 종류의 상용 해석 시스템이 사용되고 있으나, 일반 업체에서 고가의 장비와 해석 도구를 사용하기에는 현실적으로 어려운 실정이다. 따라서, 본 논문에서는 다양한 종류의 상용 해석 시스템과 본 논문에서 구축된 다중 프론트 해석 솔버 등을 CORBA를 이용하여 구축하고, 이를 일반 사용자들이 네트워크를 통해 이용할 수 있는 분산 해석 시스템을 구현하였다.

다음 Fig. 8은 분산 해석 시스템의 구조를 보여 주고있다. 사용자는 클라이언트 프로그램을 통해 해석 모델과 해석 조건을 입력하여, 이기종 시스템에 분산되어 있는 해석 시스템을 이용할 수 있게 된다.

이러한, 분산 해석 시스템은 업체 내부에서 사용되고 있는 다양한 해석 시스템들과의 상호 유기적으로 연동이 가능하고, 이를 통한 다양한 형태의 해석을 지원할 수 있다.

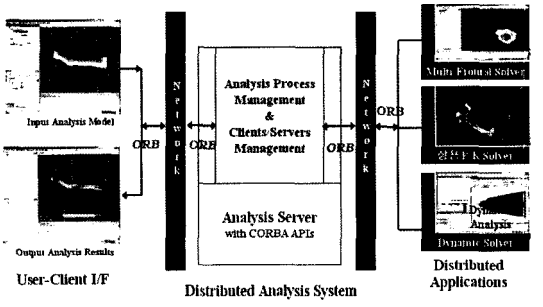


Fig. 8. Distributed analysis system.

4. 분산 협업 환경에서의 유한요소 해석

최근 기업들은 제품의 표준화, 부품기업의 중층화, 부품의 모듈화, 기술 중심의 부품 전문기업의 육성, 전문기업과 아웃소싱 확대 등의 대안이 시도되고 있으며, 한 기업 내에서 하던 일을 많은 전문기업 및 기업 내부 여러 조직과 신속하게 협력해야 하는 상황이 발생하고 있다.

결국, 기업 간의 협력 및 유기적 관계는 매우 중요한 제조전략으로서 이를 효과적으로 관리하고 협력을 유도하고 실시간 차원의 제조현황을 관리하기 위해 IT 기술 집목이 불가피한 상황이라 볼 수 있으며, 제품 개발에 있어서 동시공학 기술이 적용이 필요하고, 제품의 품질 향상과 개발 주기의 단축이 요구된다.

다양한 분야에서 이루어지는 엔지니어링 협업을 위해서 제품 설계 정보, 해석 정보 등을 공유하는 것은 필수적이다. 그러나 다양한 CAD 시스템을 이용하여 설계된 데이터와 CAE 해석 데이터 등은 그 복잡성과 데이터 용량에 있어서 웹을 비롯한 네트워크 상에서 공유하기에는 기술적으로 상당한 어려움이 따른다.

따라서, 본 논문에서는 CORBA를 이용하여 원격지에 있는 시스템간의 협동 작업을 통하여 서로의 자원을 공유하거나, 필요한 정보를 주고 받는 등 일련의 상호작용이 가능하도록 하고, STEP을 이용하여 서로 다른 CAD/CAE 시스템간의 정보를 교환할 수 있는 분산 CAD/CAE 시스템을 구현하였다. 또한, JAVA를 이용한 웹 기반의 클라이언트 소프트웨어를 개발함으로써 인터넷을 통한 공동협력 작업을 가능하게 하였다. 또한, 앞서 구현된 분산 해석시스템을 이용하여 보다 효율적인 분산 CAD/CAE 시스템을 구현하였다.

4.1 엔지니어링 협업을 위한 유한요소해석 시스템

본 논문에서는 DB서버와 응용 프로그램 서버를 사용자들이 사용하는 클라이언트 부분과 완전히 분리하고 이들 사이에 연결 기능을 제공하는 미들웨어, 즉 ORB를 위치시킴으로써 좀더 유연하고 확장 가능한 시스템을 구현하였다. 본 시스템은 STEP을 기반으로 한 DB서버를 기점으로 하여 여러 종류의 응용 서버들을 네트워크로 연결하여 데이터와 응용 시스템을 공유하게 된다. 기본적으로 클라이언트는 모든 서버와 연결하여 작업할 수 있으며, 각각의 응용 서버들은 DB에 데이터를 요청할 수 있다. 또한 해석 서버에서는 계산 과정의 분산 병렬화를 위한 분산 병렬 Solver을 포함한 다양한 해석을 위한 해석시스템들이 구성되어 있다.

다음 Fig. 9는 본 논문에서 구현된 분산 시스템을 보여주고 있다.

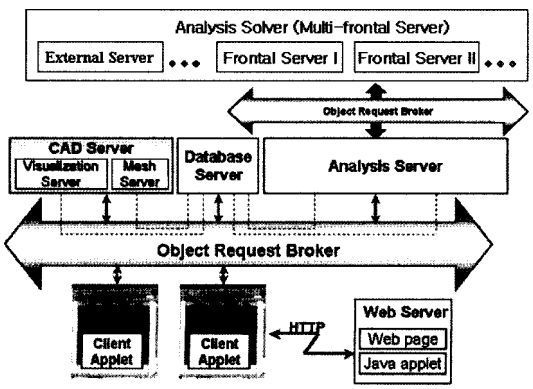


Fig. 9. Distributed finite element analysis system architecture.

4.2 CORBA를 이용한 컨퍼런스 시스템

본 논문에서 구성된 시스템 환경은 서버, 클라이언트, 데이터 베이스의 3개의 층 구조를 가지고 있다. 시스템의 클라이언트는 자바 애플릿으로 구현되어 사용자에게 제공되며 각각의 서버는 필요한 데이터를 STEP으로 기술된 제품 데이터(DB서버)에 접근한다.

사용자들이 발생시키는 메시지와 이벤트는 CORBA를 통하여 서버에 전달되고, 서버는 이러한 메시지를 또 다른 사용자들에게 전달함으로써 컨퍼런스를 가능하게 한다. 이때 사용자들은 컨퍼런스의 대상이 되는 데이터의 3차원 형상 및 해석 결과들을 공유하며 채팅 기능을 이용하여 서로의 의견을 공유할 수 있다. 또한 각각의 응용 서버들은 데이터베이스나 기타 설계 및 해석을 위한 모듈 또는 객체들과 연결되어 사용자들의 요구에 응답하고, 때로는 능동적으로 사용자에게 데이터와 메시지를 전달하게 된다.

다음 Fig. 10은 컨퍼런스 시스템의 전체적인 구조를 나타내고 있다. 컨퍼런스 시스템은 크게 클라이언트-서버의 구조를 가지며 서버와 클라이언트는 CORBA를 통해 상호 통신하고 있다.

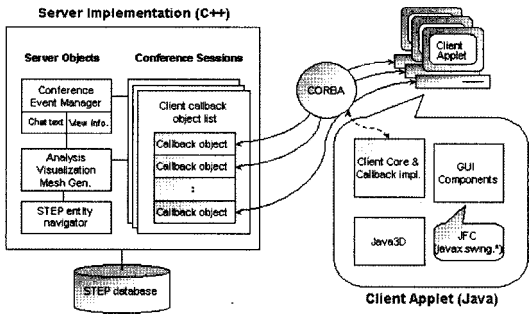


Fig. 10. Conference system architecture.

Fig. 11은 콜백 객체와 세션 오퍼레이션 및 데이터의 상호 작용을 나타낸 그림이다. 세션은 세션에 참여한 클라이언트의 콜백 객체를 참조하고 있으며 클

라이언트는 자신이 참여한 세션 객체를 참조하고 있다. 그림에 나타난 proxy 객체들은 실제의 구현은 네트워크 건너편에 있는 객체이지만 로컬 플랫폼에 있는 것처럼 사용되며 실제 객체와의 인보케이션(invocation)은 ORB에 의해 사용자에 투명하게 일어난다.

클라이언트는 세션 객체에 데이터나 질의 등의 서비스를 요구할 수 있고, 세션은 콜백 메커니즘을 통하여 클라이언트에 데이터를 전달한다.

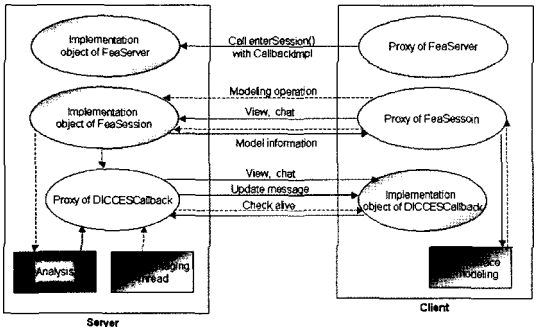


Fig. 11. Operations between session and callbacks.

다음 Fig. 12는 해석 결과에 대한 협의를 하는 것을 보여주고 있다. 분산 해석 시스템을 통해서 해석을 수행하고, 이에 대한 결과를 설계자 간 혹은 설계자와 해석 전문가 간의 다양한 협의를 할 수 있다.

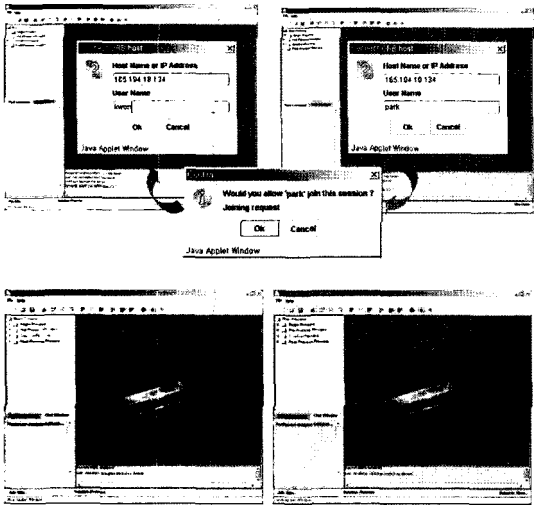


Fig. 12. Analysis-result conference.

4.3 해석 시스템의 분산/협업 작업 시나리오

본 논문에서 구현된 분산 해석시스템의 작업순서는 다음과 같다.

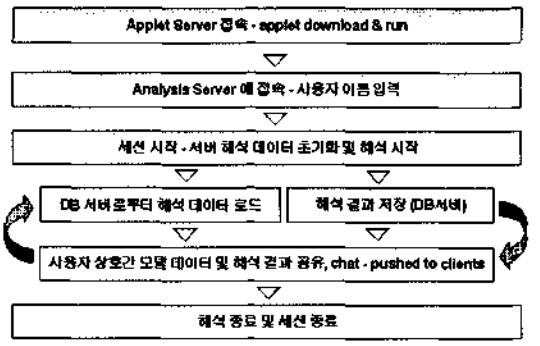


Fig. 13. Scenario of distributed/collaborative analysis process.

(1) 사용자는 웹서버를 통해 클라이언트 요소를 구성하는 자바 애플릿을 다운을 받고 실행할 수 있다.

(2) 사용자는 해석 서버에 접속하여 새로운 세션을 시작하거나, 기존의 세션에 참여하여 해석 작업을 수행한다.

(3) 사용자는 DB서버에 연결하여 저장된 데이터(모델링/해석)를 선택하여 입력할 때 가시화(Visualization) 서버를 통해 Java 3D의 3D 렌더링을 위한 형상 데이터로 변환되어 클라이언트 Applet에 출력된다.

(4) 해석을 수행하기 위한 유한요소모델의 생성은 메쉬생성 서버를 통해 이루어지며, 사용자는 생성된 유한요소모델에 해석조건을 입력한다.

(5) 각각의 사용자는 원하는 해석을 수행하여 각각의 해석 결과를 DB서버에 저장한다.

(6) 각각의 사용자는 해석 결과 및 모델 데이터를 DB 서버로부터 얻어, 이를 공유하면서 서로의 의견을 교환하면서 설계 및 해석 과정을 통해 발견된 문제를 해결할 수 있도록 한다.

다음은 사용자가 해석서버를 호출하여 해석을 의뢰

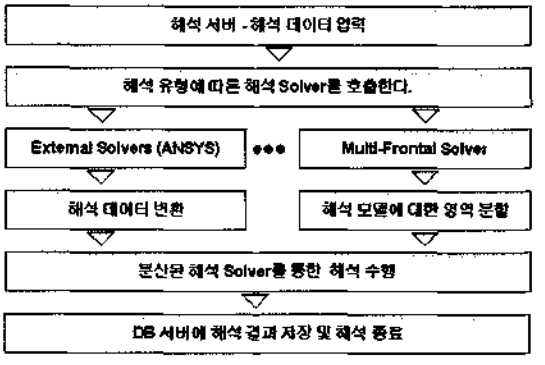


Fig. 14. Scenario of distributed analysis process.

하였을 경우, 해석 서버에서의 실행과정을 나타내고 있다.

(1) 해석서버는 입력된 유한요소모델에 대하서 해석 유형에 따른 해석 Solver를 결정하여 호출한다. 본 논문에서 구현된 분산 해석 시스템에는 ANSYS를 이용한 해석을 수행할 수 있는 Solver와 진동 해석을 수행하는 Solver, 그리고 일반적인 구조해석을 수행하는 Multi-Frontal Solver를 구현하여 분산 해석 시스템을 구성하였다.

(2) ANSYS를 이용한 해석을 수행하는 과정은 입력된 데이터를 ANSYS 입력 파일로 변환하여 이를 ANSYS의 batch 모드로 해석을 수행하는 서버를 통해 해석을 수행한다.

(3) Multi-Frontal Solver에 의한 해석은 해석 모델에 대한 영역분할을 하고 이를 각각의 분산된 Frontal 서버를 통해 해석을 수행한다.

(4) 사용자는 각각의 서버를 통해 해석 결과를 받게 되고, 이를 DB서버에 저장한다.

(5) 마지막으로, 해석결과에 대한 다양한 협의를 수행한다.

본 논문에서 구현된 각각의 응용 서비들과 클라이언트 간의 연결을 ORB를 통하여 이루어지게 되고, 클라이언트는 서버의 위치나 종류에 상관없이 ORB에 서비스를 요청하기만 하면 된다. 다음 Fig. 15는 클라이언트와 서버들 간의 전체 작업과정을 보여주고 있다.

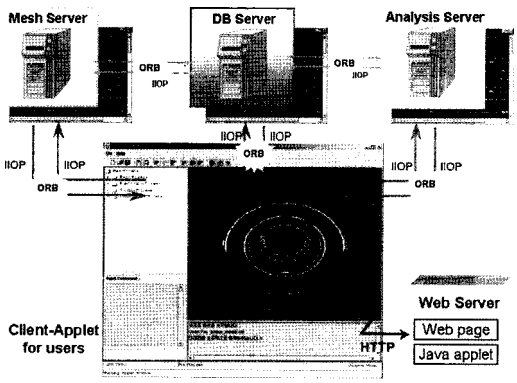


Fig. 15. Structure of distributed analysis.

5. 결 론

본 논문에서는 분산/협업 엔지니어링 환경에서 설계와 해석 시스템의 통합 연계 작업을 수행할 수 있는 프로토타입 구현에 대해서 논의하였다. 이를 위해 인터넷/인트라넷에서 적용 가능한 여러 기술들과 제품의 생산 및 설계정보, 해석정보 공유를 위한 기반 기술에 대한 연구를 수행하였고, 그 결과로 효과적인 분산 병렬 해석 서버를 포함한 분산/협업 환경에서의 설계 및 해석 시스템을 구현하였다.

유한요소법의 다중프론트 해법과 다단계 그래프 분할 기법을 이용한 해석 과정의 병렬 알고리즘을 구현하였고, 이를 CORBA를 이용하여 분산병렬 해석시스템을 구현하였다. 이는 보다 효율적이고 빠른 계산 수행능력을 가지는 병렬처리 시스템으로서의 역할을 수행함과 동시에 분산/협업 환경에서 하나의 응용 서비로서 다른 응용 서버들과의 효과적이고 유기적인 작업을 수행할 수 있도록 할 것이다. 또한, 다양한 해석 시스템과 보다 유연하고 확장 가능한 시스템을 구성할 수 있게 하고, 이질적인 대규모의 분산 환경에서 효율적인 활용이 가능할 것이다.

본 논문에서 구현된 시스템은 제품 데이터 호환성을 위한 국제 표준인 STEP과 CORBA를 이용하여 네트워크 기반의 분산/협업 시스템을 구현하였다. 그리고, STEP 기반의 통합 시스템들은 서로 다른 응용 프로그램에 의하여 이용될 수 있도록 하였다. 또한, CORBA를 이용한 분산환경과 자바를 이용한 클라이언트 소프트웨어의 구현은 이종의 분산된 환경 하에서 응용 프로그램들이 서로 통합할 수 있는 기술을 제시하였고, 이러한 분산 환경에서 여러 사용자들 간에 설계 및 해석 데이터의 공유를 통해 서로의 의견을 교환할 수 있는 시스템을 구현하였다.

이러한 웹을 기반으로 하는 분산/협업 엔지니어링 시스템은 빠른 속도로 진행되는 개인용 컴퓨터 발전 및 초고속 네트워크 기술 등의 컴퓨터 기술과 함께 사용자들이 공학분야의 설계 및 해석을 위한 다양한 도구와 방법 등을 필요로 할 때 실시간 연결방식을 통해서 협력적인 서비스를 보다 빠르고 원활하게 제공할 수 있을 것이다. 또한, 설계 및 해석 분야에서 다양하게 사용되는 범용 도구들을 이용하여 이러한 시스템을 확장한다면 인터넷이나 웹을 통해 분산환경 하에서 동시 병행적으로 작업을 수행하는 다분야 통합 최적설계 분야 등에도 활용될 수 있을 것이다. 이러한 기술들은 현재에도 많은 분야에서 연구되고 있는 반드시 필요하고 실용 가능한 기술이라고 판단된다.

본 논문에서 구현된 분산/협업 환경에서의 시스템 및 개발 기술들은 기업내의 설계 및 제조 파트를 구축하는데 이용할 수 있음은 물론 이러한 시스템을 기업내의 전 영역으로 확장시킨다면 네트워크를 통하여 정보를 공유하며, 생산활동에 참여하는 기업들의 모

임인 가상 기업(virtual enterprise)을 구현하는 데에 매우 중요한 핵심기술이 될 것이다[16,17].

감사의 글

이 논문은 2004년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다

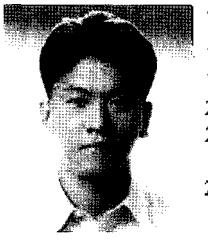
참고문헌

1. Regli, W. C., "Internet-Enabled Computer-Aided Design", *IEEE Internet Computing*, Vol. 1, No. 1, pp. 39-50, 1997.
2. Potter, C., "Web-Enabled Engineeing: Step-by-step", Computer Graphics World, pp. 64-69, Nov., 1997.
3. Huang, J. Y., Fang-Tsou, C. T. and Chang, L. J., "A Multiuser 3D Web Browsing System", *IEEE Internet Computing*, Vol. 2, No. 5, pp. 70-79, 1998.
4. "Object Management Group Home Page (http:// www.omg.org/corba/)", Object Management Group, Inc., 1998.
5. "CORBA/IIOP 2.2 Specification" (http:// www.omg.org/library/c2index.html), OMG, 1998.
6. Siegel, J., CORBA Fundamentals and Programming, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
7. IONA Technologies, "OrbixWeb Programming & Reference Guide", 1996
8. STEP 연구회, "제품 모델 정보 교환을 위한 국제 표준 (ISO 10303) STEP", 성안당, 1996.
9. "STEP Programmer's toolkit - ROSE Library Reference Manual", STEP Tools Inc., 1996.
10. "ISO 10303-209 - Part 209: Application Protocol: Composite and Metallic Structural Analysis and Related Design", ISO, 1996.
11. 권기억, "STEP데이터 표준을 이용한 유한요소해석 시스템 개발", 석사 학위 논문, 중앙대학교, 1997.
12. Jennifer A. Scott, "Parallel Frontal Solvers for Large Sparse Linear Systems", Technical Report TR-2002-012 (http//www.numerical.rl.ac.uk/reports/reports.html), 2002.
13. Karypis, G. and Kumar, V., "Metis ver. 4.0 : A Software Package for Partitioning Unstructured Graphs, Partitioning Meshes, and Computing Fill-Reducing Orderings of Sparse Matrices", Department of Computer Science, University of Minnesota, 1995.
14. Karypis, G. and Kumar, V., "A Fast and High Quality Multilevel Scheme for Partitioning Irregular Graphs", Technical Report TR 95-035, Department of Computer Science, University of Minnesota, 1995.
15. Kwon, K.-E., Cho, S. W. and Choi, Y., "Application of Multi-Frontal Method in Collaborative Engineering Environment", Proceedings of the 2003 SCCE International Symposium, August 21-22, 2003.
16. Hardwick, M. *et al.*, "Sharing Manufacturing Information in Virtual Enterprises", *Communications of the ACM*, Vol. 39, pp. 46-54, 1996
17. Marache, M. *et al.*, "A CORBA-based Infrastructure Managing STEP Distributed Models for Virtual Reality Applications", Proceedings of European Conference of Product Data Technology Days, pp. 119-128, 1997.
18. 김윤회, 권기억, 조성욱, 최영, "네트워크와 STEP데이터 표준을 이용한 CAE 시스템의 분산화", 한국CAD/CAM학회 논문집, 제5권, 제1호, pp. 71-78, 2000.
19. 서윤호, 서석환, 김대영, 이현수, "VRML과 CORBA를 이용한 웹 기반 CAM 시스템의 구현", 한국CAD/CAM학회 논문집, 제8권, 제1호, pp. 35-40, 2003.
20. 주민식, 이세정, 최동훈, "다분야 통합 최적설계를 지원하는 분산환경 기반의 설계 프레임워크 개발", 한국CAD/CAM학회 논문집, 제10권, 제2호, pp. 143-150, 2005.

조 성 욱

1979년 서울대학교 기계공학과 학사
1981년 한국과학기술원 기계공학과 석사
1990년 M.I.T. 기계공학과 박사
1979년 3월~1984년 4월 (주)대우중공업 연구원
1991년 2월~1993년 2월 포항공과대학교 기계공학과 조교수
1993년 3월~현재 중앙대학교 기계공학부 교수

관심분야: 고체 및 구조시스템의 유한요소해석, CAE/CAD 통합기술, 분산/협업 환경에서의 CAE 기술, Micro 시스템의 전산역학



권 기 억

1996년 중앙대학교 기계설계학과 학사
1998년 중앙대학교 기계설계학과 석사
2003년 중앙대학교 기계공학과 박사
2003년 9월~2004년 8월 (주)진코스 연구원
2004년 9월~현재 (주)비투젠 중앙 연구소 연구원

관심분야: 고체 및 구조시스템의 유한요소해석, CAE/CAD 통합기술, 분산/협업 환경에서의 CAE 기술, e-Manufacutring