

동기화된 협동을 지원하기 위한 능동형 웹 서버 설계

허순영* · 배경일**

A Design of the Active Web Server Supporting Synchronous Collaboration in the Web-Based Groupware Systems

Soon-Young Huh* · Kyoung-Il Bae**

■ Abstract ■

The web-based groupware systems hold many possibilities for system developers and users. Especially, web-based group collaborative systems are emerging as enterprise-wide information systems. Since data in group collaborative systems are apt to be shared among multiple concurrent users and modified simultaneously by them, the web-based group collaborative systems must support synchronous collaboration in order to provide users with synchronized and consistent views of shared data. However, current web technologies have limitations in supporting this, largely because the existing Hypertext Transfer Protocol(HTTP) is unidirectional and does not allow web servers to send messages to their web browsers without first receiving requests from them. This paper proposes an active web server that can overcome such limitations and facilitate synchronous collaboration in web-based group collaborative systems. To accomplish such goals, the active web server manages dependency relationships between shared data and web browsers referencing them and actively propagates changing details of the shared data to all web browsers referencing them. And, this paper examines usefulness and effectiveness of the active web server to apply it to the ball-bearing design example of concurrent engineering design systems. The prototype system of the active web server is developed on a commercial Object-oriented Database Management System(ODBMS) called OBJECTSTORE using the C++ programming language.

* 한국과학기술원 테크노경영대학원 교수

** 한국과학기술원 테크노경영대학원

1. 서론

최근 정보 시스템을 설계하고 구축하는 기반 구조로서 World-Wide Web(WWW)이 두각을 나타내고 있다[16, 32, 40, 43]. 그 이유는 표준화된 네트워크 프로토콜을 이용하는 웹(Web) 기반의 시스템이 운영 체제에 독립적이기 때문이다. 또 다른 이유는 개발자가 HTML(Hypertext Markup Language) 문서[1]를 이용해서 쉽고 빠르게 사용자 화면을 제작함과 동시에 기존의 프로그래밍 언어를 이용해서 기존 시스템과 수월하게 통합할 수 있기 때문이다. 이러한 장점에 의해 웹을 기반으로 하는 그룹 협동 시스템(group collaborative systems)을 어떻게 구축해야 할 지에 관한 연구가 동시 엔지니어링 디자인, 워크플로우, 그리고 전자 화상 회의 시스템 등의 분야에서 활발하게 진행되고 있다[2, 5, 8, 39]. 이러한 웹 기반의 그룹 협동 시스템은 그룹 구성원들이 웹 환경에서 자신의 작업을 독립적으로 수행할 수 있게 함과 동시에 자원의 공동 사용을 활성화하여 전체적으로 작업 능력을 촉진시키는 것을 목표로 한다. 이를 위해서 웹 기반의 그룹 협동 시스템은 공유 자원이 수정되었을 때 공유 자원을 사용하는 그룹 구성원들에게 수정 내역을 즉시 제공하도록 하는 동기화 된 협동(synchronized collaboration)을 지원해야 하며[17, 22, 27, 29], 이를 통해서 그룹 협동 시스템은 공유 자원을 이용하는 모든 그룹 구성원들에게 동기화되고 일관성 있는 사용자 뷰를 제공할 수 있다[7, 9, 18, 19, 22]. 그러나, 웹 기술의 기본 통신 프로토콜인 HTTP(Hypertext Transfer Protocol)는 단방향 통신(uni-directional communications)만을 지원하기 때문에 웹 서버는 웹 브라우저의 요구를 받지 않으면 특정 웹 브라우저에게 능동적으로 메시지를 보낼 수 없다. 이러한 수동적인 웹 기술의 한계는 동기화 된 협동을 지원하는 웹 기반 그룹 협동 시스템의 개발을 매우 어렵게 만든다. 이러한 웹 기술의 한계를 극복하고 웹 환경에서 양방향 통신(bi-directional communications)을 지원하기 위해서 서버 기반의 통신 프로그램을 이용하여 클라

이언트 화면을 서버가 직접 제어하는 방식[12, 40]과 클라이언트와 서버 간의 실시간 통신을 지원하기에 적합한 별도의 클라이언트/서버 통신 프로그램을 이용하는 방식[10, 15]이 연구되어지고 있다. 그러나 이러한 방식들은 웹 서버와 클라이언트 시스템 간의 동기화 된 양방향 통신을 지원하고는 있지만 그룹 협동 시스템에 적용하기에 많은 문제점을 가지고 있으며 웹 기반의 그룹 협동 시스템에 바로 적용할 수 있는 방법론을 제시하지 못하고 있다.

이 논문은 이러한 문제점을 지적하고 웹 기반 그룹 협동 시스템에서 동기화된 협동을 지원하는 능동형 웹 서버를 제안함과 동시에 다음의 네 가지 시스템 요구사항을 만족하는 웹 기반 그룹 협동 시스템의 일반적인 시스템 구조를 제시하고자 한다.

- **중속성 관리** : 시스템은 현재 공유 자원을 조회하는 사용자 뷰의 리스트를 공유 자원 별로 관리해야 한다. 이때 사용자 뷰는 웹 브라우저 윈도우이다.
- **변화 통보** : 시스템은 공유 자원이 변경되었을 때 현재 공유 자원을 조회하는 모든 사용자 뷰에게 변화 통보 메시지를 보내야 한다.
- **보안 관리** : 각 사용자는 자신의 작업과 관련이 있는 공유 자원만을 수정 혹은 조회해야 한다. 그러므로 시스템은 공유 자원과 사용자 간의 보안 관계를 관리하여 사용자가 불필요하게 공유 자원에 접근하는 것을 통제해야 한다.
- **소프트웨어 호환성** : 시스템은 모든 웹 소프트웨어(웹 브라우저와 웹 서버) 및 운영 체제와 호환성을 가져야 하며 웹 소프트웨어 및 운영 체제를 수정없이 이용할 수 있어야 한다. 또한 웹 브라우저 이외의 프로그램을 사용하지 않아야 한다.

능동형 웹 서버는 수동적인 웹 기술에 대한 대안을 제시할 뿐만 아니라 기존의 웹 서버 및 웹 브라우저 프로그램을 수정하지 않고 구현되어질 수 있도록 설계되었다. 본 논문은 능동형 웹 서버의 기본 구성 요소들을 쉽게 개념화하기 위해 객체지

향 데이터베이스 모델[20]과 에이전트 접근 방식 [11, 29, 41]을 채택한다. 또한, 능동형 웹 서버의 원형 시스템은 윈도우즈 NT[14] 위에 C++ 프로그래밍 언어[36]와 객체지향 데이터베이스 관리 시스템인 OBJECTSTORE[20]를 이용하여 구현되어졌다. 추가적으로 이 논문은 볼 베어링(ball-bearing) 설계의 예를 통해서 능동형 웹 서버가 동시 엔지니어링 디자인 시스템에서 어떻게 이용될 수 있는지를 설명한다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장은 웹 환경에서 양방향 통신을 지원하기 위한 기존 연구를 기술하고 이들의 장단점을 분석한다. 3장은 웹 기반의 그룹 협동 시스템에 이용될 수 있는 능동형 웹 서버를 제시한다. 4장은 능동형 웹 서버가 동시 엔지니어링 디자인에 어떻게 적용될 수 있는지를 설명한다. 마지막으로, 5장은 이 논문을 요약하고 연구 성과에 대해 논한다.

2. 관련 연구

동기화된 협동은 그룹 협동 시스템이 실시간 통신과 동시 작업을 지원할 수 있도록 하며, 시스템 사용자들은 이를 통해서 업무의 효율성과 더 높은 생산성을 얻을 수 있다. 이러한 동기화된 협동의 장점은 웹 환경의 그룹 협동 시스템에서도 동일한 가치를 가지므로 웹 환경에서 동기화된 협동을 지원하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구는 대부분 웹 환경 하에서 양방향 통신을 가능하게 하여 동기화된 협동을 지원하는 데에 목표를 두고 있다. 기존의 연구는 다음의 두 가지로 요약될 수 있다. 첫 번째 연구는 서버 기반의 통신 프로그램을 이용하여 클라이언트 화면을 서버가 직접 제어하는 방식을 이용한다[12, 40]. 이 연구의 특징은 X 윈도우 프로토콜[26]과 같이 널리 사용되는 표준을 HTTP와 함께 사용하여 클라이언트 화면을 서버가 직접 제어하는 것이다. X 윈도우 프로토콜을 이용할 경우 서버는 클라이언트의 화면을 직접 제어하고, 클라이언트는 웹 브라우저 이외의

프로그램이 없이 서버가 보내는 각종 정보를 화면에 표시할 수 있다. 그러므로 사용자는 X 윈도우를 지원하는 클라이언트 시스템을 사용하면 웹 브라우저 이외의 프로그램을 사용할 필요가 없으므로 이러한 구조는 그룹 협동 시스템 개발 시에 서버측 프로그램만 개발하면 된다는 장점을 가진다. 그러나, 클라이언트와 서버가 모두 X 윈도우 프로토콜과 같은 표준을 지원해야 하며, 클라이언트의 접속이 많을 경우 각 클라이언트의 화면 제어를 담당하는 서버의 작업량이 과다해 진다는 단점이 있다. 두 번째 연구는 클라이언트와 서버 간의 실시간 통신을 지원하기에 적합한 별도의 클라이언트/서버 통신 프로그램을 이용한다[10, 15]. 이 방식은 웹 환경의 그룹 협동 시스템에서 화상 회의 시스템에서의 멀티미디어 전송이나 공정 시스템에서의 생산 시스템 관찰과 같은 실시간 데이터 전송을 요하는 분야에 적합하다. 실시간 데이터 전송이 필요할 경우 웹 브라우저는 클라이언트측 통신 프로그램을 구동시키고, 이 통신 프로그램은 서버측 통신 프로그램과 양방향 통신 채널을 연결한다. 이 채널을 통해서 서버측 통신 프로그램은 클라이언트측 통신 프로그램에게 멀티미디어 데이터, 혹은 생산 시스템 현황 데이터 등을 실시간으로 전송할 수 있다. 이렇게 클라이언트와 서버, 양측에 별도의 통신 프로그램을 이용할 경우 개발자는 시스템의 목적에 맞게 최적화된 시스템을 개발할 수 있다. 그러나, 이와 동시에 개발자는 웹 환경의 구축과 함께 별도의 클라이언트/서버 통신 프로그램을 만들어야 한다는 부담을 가지고 있다. 또한 이질적인 운영 체제 하에서 작동이 가능한 웹의 장점을 충분히 살리지 못한 시스템으로 개발되어질 수 있다.

이 두 가지 방식은 웹 환경에서 서버 시스템과 클라이언트 시스템 간의 동기화된 양방향 통신을 지원하고 있다. 이를 이용한 그룹 협동 시스템의 대표적인 연구 분야로는 원격 회의[40], 생산 현황의 실시간 모니터링[10], 그리고 멀티미디어 데이터 전송[15] 등이 있으며, <표 1>은 1장에서 제시한 웹 기반 그룹 협동 시스템의 시스템 요구사항에

〈표 1〉 시스템 요구사항에 대한 기존 연구의 분석

시스템 요구 사항	원격 회의	생산 현황 모니터링	멀티미디어 데이터 전송
종속성 관리	불만족 (공유 자원의 개념이 필요치 않음)	만 족	만 족
변 화 통 보	만 족	만 족	만 족
보 안 관 리	불만족 (공유 자원의 개념이 없으므로 보안 관계를 관리하지 않음)	불만족 (사용자와 각 공유 자원 별 보안 관리 기능이 미약함)	불만족 (불특정 다수를 상대로 하므로 특정 공유 자원과 사용자 간의 보안 관계를 관리할 필요가 없음)
소프트웨어 호환성	불만족 (X 윈도우 프로토콜 혹은 별도의 프로그램을 이용함)	불만족 (별도의 프로그램을 이용함)	불만족 (별도의 프로그램을 이용함)

비추어 각각을 비교 분석하였다. <표 1>에서 보듯이 기존의 연구들은 특정 분야에 특화된 시스템 구조를 가지고 있으므로 웹 기반의 그룹 협동 시스템에 동기화된 협동을 부여하기 위한 일반적인 시스템 구조를 제시하고 있지 않다.

3. 능동형 웹 서버(Active Web Server)

그룹 협동 시스템에서는 전체 작업이 여러 세부 작업들로 나뉘고, 각각의 세부 작업은 담당자에 의해 동시에 진행된다. 이러한 다중 사용자에 의한 동시 작업은 업무의 효율성과 더 높은 생산성을 가져다 준다. 그러나 둘 이상의 세부 작업들이 서로 영향을 미칠 경우(예를 들어, 한 세부 작업이 또 다른 세부 작업의 진행 상황에 따라 작업 진행 형태가 바뀌어야 할 경우) 각 세부 작업의 담당자들은 다른 세부 작업의 진행 상황을 참조해야 한다. 그러므로 다중 사용자 간의 효율적인 협업을 위해서는 각 세부 작업의 진행 내역은 담당자는 물론 관련이 있는 다른 세부 작업의 담당자에 의해서도 실시간으로 조회될 수 있어야 한다. 이 논문에서는 각 세부 작업의 진행 상황을 담당자들에 의해 공유된 공유 자원으로, 그리고 각 담당자들에게 공유 자원의 실시간 현황을 제공하는 시스템 도구(웹 브라우저)를 사용자 뷰로 지칭한다. 이러한 실시간 요구를 만족시키기 위해서는 공유 자원과 사용자

뷰는 동기화 되어 있어야 하며, 이는 그룹 협동 시스템이 동기화된 협동을 지원하기 위한 필수 조건이라 볼 수 있다. 그러므로, 본 논문은 공유 자원과 사용자 뷰 간의 동기화에 관한 모형을 도입하고자 한다. 이러한 목적을 가지고 개발된 모형으로는 모델-뷰-컨트롤러(Model-View-Controller) 기법[13, 33], 분산 공유 메모리(distributed shared memory) 시스템[37, 42], 그리고 변화 관리 모형[18] 등의 여러 연구가 있었다. 이들 중 특히 변화 관리 모형은 그룹 협동 시스템에 적용하기에 적합한 구조로 개발되었으므로, 본 논문은 변화 관리 모형에서 사용하는 후원자(supporter), 종속자(dependent), 그리고 종속 관계(dependency relationship) 등의 개념과 관련 기법을 이용하고자 한다. 그룹 협동시스템에서 후원자는 다중 사용자가 참조하는 공유 자원을, 종속자는 후원자를 참조하는 사용자 뷰물, 그리고 종속 관계는 후원자와 이를 참조하는 종속자 간의 동적인 관계를 의미한다. 특히 변화 관리 모형은 다중 사용자 환경에서 동적으로 변화하는 종속 관계를 종속 사전으로 관리한다. 또한 변화 관리 모형에서 제시하는 관련 기법으로는 종속성 관리 기법과 변화 통보 기법이 있다. 먼저 종속성 관리 기법은 후원자와 종속자 간의 종속 관계가 생성되거나, 소멸될 때, 이를 종속 사전에 등록하는 시스템 절차이다. 그리고, 변화 통보 기법은 후원자가 변경되었을 때 변경된 후원자와 종속 관계를 가지는 모든 종속자들을 종속 사전에서 조회한 후,

이들에게 변경 내역을 통보하는 시스템 절차이다. 3장은 능동형 웹 서버의 시스템 구조를 소개한 후 종속성 관리 기법과 변화 통보 기법이 능동형 웹 서버에서 어떻게 수행되는지를 설명한다.

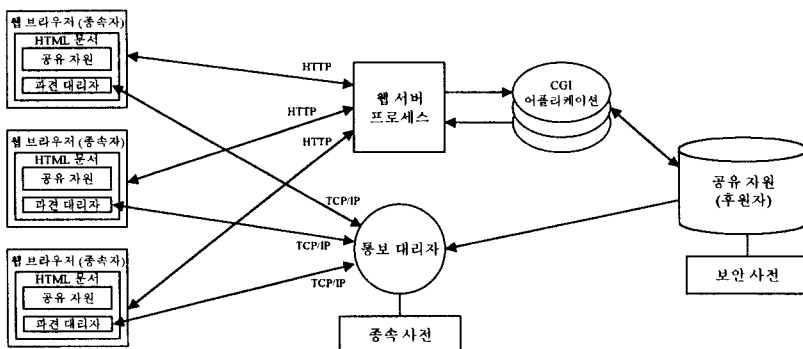
3.1 능동형 웹 서버의 기본 구성 요소

[그림 1]은 본 논문에서 제시하는 능동형 웹 서버의 각 구성요소를 개념화하고 설명하기 위한 기본 구조도이다. 공유 자원을 참조하기 위한 HTTP 요청을 웹 서버에게 보내기 위해서 사용자는 웹 브라우저를 이용한다. HTTP 요청을 받은 웹 서버는 CGI 애플리케이션을 통해서 공유 자원 정보가 포함된 HTML 문서를 제작하여 이를 웹 브라우저에게 전송한다. 이때 다중 사용자에 의해 동시에 참조되는 공유 자원은 후원자이며, 공유 자원을 참조하는 웹 브라우저는 종속자이다. 그리고, 공유 자원과 이를 참조하는 웹 브라우저 사이에는 종속 관계가 존재한다.

후원자의 형태는 그룹 협동 시스템의 목적에 따라 다양하게 정의 되어질 수 있다. 예를 들면, 동시 엔지니어링 디자인 시스템은 공동으로 작업하는 도면과 문서 등을 후원자로 정의한다. 후원자를 참조, 혹은 수정할 수 있는 권한을 가진 사용자들은 후원자를 동시에 참조하거나 수정함으로써 서로 긴밀하게 연계되어 작업한다. 또 다른 후원자의 예로는 워크플로우 시스템에서의 개인 정보 풀너와

개인 작업 리스트 등이 있다. 이 경우 동시 엔지니어링 디자인 시스템과는 달리 후원자는 다수의 사용자가 아닌 개인 사용자에 의해 소유되며, 소유자만이 후원자에 저장된 전자 메시지, 혹은 작업 리스트를 읽을 수 있다. 따라서, 일반적인 그룹 협동 시스템에서는 후원자를 소유한 사용자 별로 필요에 따라 서로 다른 접근권한을 주고, 비소유자의 접근을 방지해야 한다. 이러한 요구를 충족하기 위해 본 논문은 보안 관계와 이를 관리하는 보안 사전을 다음과 같이 정의한다.

- **보안 관계**는 후원자와 이를 참조, 혹은 수정할 수 있는 권한을 가진 사용자 간의 접근 권한을 의미한다. 따라서, 보안 관계는 [후원자, 사용자, 접근 권한]의 형태를 가지게 된다. 일반적으로 많이 쓰이는 접근 권한은 사용자가 후원자를 읽고 쓸 수 있는 Read Write(RW), 읽을 수만 있는 Read Only(RO), 그리고 쓸 수만 있는 Write Only(WO) 등이 있으며, 이러한 접근 권한은 시스템의 목적에 따라 더욱 다양하게 정의될 수 있다[24, 34, 38]. 보안 관계는 후원자가 처음 만들어졌거나 특정 사용자의 임무가 변경되어 후원자에 접근해야 할 필요가 생겼을 경우에 생성되고, 후원자가 없어지거나 기존에 후원자와 보안 관계를 가졌던 사용자가 더 이상 후원자를 사용할 필요가 없어졌을 경우에 소멸된다. 후원자와 사용자 간의 보안 관계는 그룹 협동 시스



[그림 1] 능동형 웹 서버의 기본 구조도

템의 목적에 따라 다르게 설정되어야 하며, 4장에서 동시 엔지니어링 디자인 시스템의 예를 들기로 한다.

- **보안 사전**은 보안 관계들을 관리하기 위해 만들어진 정보 저장소이다. 보안 관계가 생성되었을 때 이와 관련된 후원자, 사용자, 그리고 접근 권한은 보안 사전에 등록된다.

능동형 웹 서버는 후원자가 변경되었을 때 후원자를 참조하는 모든 종속자에게 변화 통보 메시지를 보낸다. 이를 위해서 능동형 웹 서버는 종속 관계와 이를 조직적으로 관리하는 종속 사전을 다음과 같이 정의한다.

- **종속 관계**는 후원자와 이를 참조하고 있는 종속자 간의 관계를 의미한다. [그림 1]에서 보듯이 능동형 웹 서버는 후원자를 참조하고 있는 모든 종속자와의 통신 채널을 유지하며, 종속 관계는 [후원자, 종속자, 통신 채널]의 형태를 가지게 된다. 종속 관계는 종속자가 후원자를 참조하기 시작할 때 능동형 웹 서버와 종속자 간의 통신 채널과 함께 생성되고, 종속자가 후원자를 더 이상 참조하지 않거나 종속자가 종료할 때 해당 통신 채널과 함께 소멸된다. 운영 체제 및 프로그래밍 언어 간의 호환성을 고려하여 통신 채널은 TCP/IP 상의 소켓 어드레스(socket address)[35]를 이용한다. 후원자가 변경되었을 때 능동형 웹 서버는 후원자와 종속 관계를 맺고 있는 모든 종속자에게 통신 채널을 통해서 변화 통보 메시지를 보낸다.
- **종속 사전**은 종속 관계들을 관리하기 위해 만들어진 정보 저장소이다. 종속 관계의 생성과 소멸은 그룹 사용자들의 업무 도중에 불규칙적으로 반복되므로 종속 사전의 내용은 보안 사전의 내용에 비해 훨씬 더 자주 변화한다.

사용자가 종속자를 이용해서 후원자를 조회하기 위해서는 사용자가 후원자와 RO, 혹은 RW 권한이 명시된 보안 관계를 가져야 한다. 사용자가 후

원자와 적합한 보안 관계(RO, 혹은 RW 권한)를 가질 경우 사용자의 종속자와 후원자는 종속 관계를 맺는다. 이러한 시스템 절차에 대해서는 3.3절에서 자세히 설명한다.

보안 관계와 종속 관계를 이용하여 능동형 웹 서버는 종속성 관리 기법과 변화 통보 기법을 제공한다. 본 논문에서는 이러한 기법의 절차를 수행하는 통보 대리자(notification agent)와 파견 대리자(delegate agent)를 다음과 같이 정의한다.

- **통보 대리자**는 클라이언트와 서버 사이에서 변화 통보의 중개 역할을 하고, 다음 두 가지 역할을 수행한다. 첫째, 통보 대리자는 종속 사전을 관리한다. 종속자가 후원자를 참조할 때 통보 대리자는 이에 대한 종속 관계(형태: [후원자, 종속자, 통신 채널])를 종속 사전에 추가한다. 그리고, 종속 관계가 소멸될 경우 통보 대리자는 해당 종속 관계를 종속 사전으로부터 제거하고 종속자와의 통신 채널을 닫는다. 둘째, 통보 대리자는 후원자가 변경되었을 때 후원자와 종속 관계를 가지는 종속자들에게 변화 통보 메시지를 전달한다. 시스템, 혹은 사용자가 후원자를 수정했을 때 능동형 웹 서버는 통보 대리자에게 변화 통보 메시지를 전달한다. 이때 통보 대리자는 종속 사전으로부터 현재 후원자를 참조하고 있는 종속자의 리스트를 조회하고, 리스트에 포함된 모든 종속자에게 변화 통보 메시지를 전달한다.
- **파견 대리자**는 통보 대리자로부터 변화 통보 메시지를 수령한다. 능동형 웹 서버는 종속자, 즉 웹 브라우저가 후원자를 참조하고자 할 경우 후원자의 정보를 포함한 HTML 문서와 함께 자바 애플릿(JAVA applet)[6]으로 구현된 파견 대리자를 종속자에게 전달한다. 전달된 파견 대리자는 다음의 두 가지 역할을 수행한다. 첫째, 파견 대리자는 통보 대리자와의 통신 채널을 생성하고 통보 대리자에게 종속 관계의 등록을 요청한다. 요청을 받은 통보 대리자는 종속 관계를 종속 사전에 등록한다. 둘째, 종속자가 참조하는

후원자가 변경되었을 때 파견 대리자는 통보 대리자로부터 변화 통보 메시지를 전달 받는다. 이때 메시지는 종속 관계에 명시된 통신 채널을 통해서 전달된다.

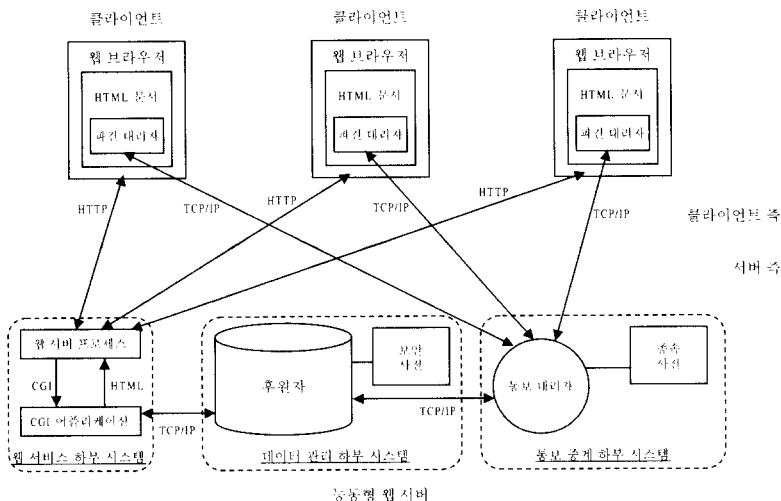
통보 대리자와 파견 대리자 간의 통신을 통해서 능동형 웹 서버는 종속 사건을 관리하며, 후원자의 변경에 대한 변화 통보 메시지를 보낸다. 이러한 두 가지 기능은 각각 종속성 관리 기법과 변화 통보 기법의 근간이 된다.

파견 대리자를 이용한 웹 기반 사용자 인터페이스의 구현 방식은 다음의 두 가지가 있다. 첫째, 파견 대리자는 사용자에게 특정 후원자가 변경되었음을 알리고, 이를 인지한 사용자는 웹 브라우저의 내용을 갱신한다. 둘째, 파견대리자는 변화 통보 메시지를 받은 후 후원자의 상세 변화 내역을 재조회한 후 사용자에게 가시적으로 보여준다. 동시 엔지니어링 디자인 시스템과 같이 다른 세부 작업의 작업 진행 상황을 실시간으로 파악해야 할 경우 후자의 방법이 적용되는 것이 바람직하다. 그러나, 후원자 정보의 갱신을 위한 파견 대리자의 부가적인 기능은 그룹 협동 시스템의 특성에 따른 시스템 구현의 문제이므로 이 논문에서는 더 이상 언급하

지 않기로 한다.

3.2 능동형 웹 서버의 시스템 구조

본 논문에서 제시하는 능동형 웹 서버는 [그림 2]에서 보는 바와 같이 웹 서비스 하부 시스템, 데이터 관리 하부 시스템, 그리고 통보 중계 하부 시스템으로 이루어져 있으며, 이들은 한 컴퓨터에 위치할 수도 있고, 다수의 컴퓨터에 분산되어 위치할 수도 있다. 웹 서비스 하부 시스템은 웹 서버 프로세스와 CGI(Common Gateway Interfaces) 애플리케이션들로 이루어진다. 웹 서버 프로세스는 사용자가 웹 브라우저를 통해서 후원자를 참조하고자 할 경우 적합한 CGI 애플리케이션을 구동한다. CGI 애플리케이션은 후원자 정보와 파견 대리자를 담은 HTML 문서를 제작하여 웹 서버 프로세스에게 전달하고, 웹 서버 프로세스는 이를 사용자의 웹 브라우저로 전송한다. 데이터 관리 하부 시스템은 후원자와 보안 사건으로 이루어져 있으며, 이들은 데이터베이스 시스템으로 관리된다. 데이터 관리 하부 시스템은 웹 서비스 하부 시스템의 CGI 애플리케이션이 후원자 정보를 요청할 경우 이를



[그림 2] 능동형 웹 서버의 시스템 구성 요소

제공하며, 후원자가 변경되면 통보 대리자에게 변화 통보 메시지를 전달한다. 마지막으로 **통보 중계 하부 시스템**은 종속 사전과 통보 대리자로 이루어져 있다. 통보 대리자는 종속 사전을 관리하며 데이터 관리 하부 시스템에서 전달된 변화 통보 메시지를 적합한 종속자들에게 중계하는 역할을 한다.

[그림 2]에서 보는 바와 같이 통보 중계 하부 시스템은 웹 서버 프로세스와 독립적으로 작동하며 오직 데이터 관리 하부 시스템과 통신한다. 그러므로 능동형 웹 서버는 양방향 통신을 지원함과 동시에 현재 사용되고 있는 모든 웹 서버 프로그램 및 웹 브라우저 프로그램과 호환성을 가진다. 또한, 능동형 웹 서버의 통보 중계 하부 시스템과 JAVA 애플릿으로 구현된 파견 대리자는 TCP/IP 상에서 작동하므로 운영체제에 독립적이다.

3.3 능동형 웹 서버의 시스템 절차

동기화된 협동을 위한 시스템 절차로서 능동형 웹 서버는 종속성 관리 절차와 변화 통보 절차를 지원한다. 이러한 시스템 절차는 웹 브라우저와 능동형 웹 서버의 세 하부 시스템 간의 상호 작용에 의해 설명되어질 수 있다. [그림 3]은 능동형 웹 서버의 세 하부 시스템과 클라이언트 웹 브라우저 간의 종속성 관리 절차를 기술하는 UML(Unified Modeling Language)의 순서도(Sequence Diagram)[3]이다. 수직선은 시스템 객체를 나타내며, 수평선은 이벤트를 발생시키는 객체에서 이벤트를

수신하는 객체로 진행한다. [그림 3]에서 보듯이 종속성 관리 절차는 다음과 같다.

A. HTML 요청(후원자 참조)

사용자는 웹 브라우저를 이용해서 후원자 정보의 참조를 요청한다. 이때 웹 브라우저는 웹 서버 하부 시스템의 웹 서버 프로세스에게 HTTP 요청을 전달하고, 요청을 받은 웹 서버 프로세스는 이를 수행하기 위해서 적합한 CGI 애플리케이션을 구동한다.

B. 참조 접근 권한 확인

CGI 애플리케이션은 데이터 관리 하부 시스템의 보안 사전을 참조하여 사용자가 후원자에 대한 접근 권한을 가지고 있는지를 판별한다. 만약 사용자가 적합한 접근 권한(즉 RO, 혹은 RW 접근 권한)을 가지고 있지 않다면 CGI 애플리케이션은 웹 서버 프로세스에게 에러 메시지를 전달한 후, 종료한다. 이때 웹 서버 프로세스는 접근 권한이 없음을 나타내는 HTML 문서를 사용자의 웹 브라우저에게 전달한다.

C. 후원자 정보 조회

사용자가 후원자를 참조하기에 적합한 접근 권한을 가지고 있으면 CGI 애플리케이션은 데이터 관리 하부 시스템에게 후원자 정보의 참조를 요청한다.

D. 후원자 정보 제공

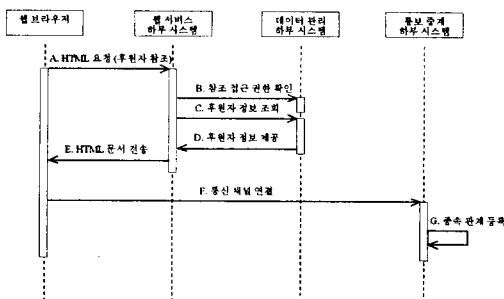
데이터 관리 하부 시스템은 CGI 애플리케이션에게 후원자 정보를 제공하고, CGI 애플리케이션은 후원자 정보를 담은 HTML 문서를 작성한다.

E. HTML 문서 전송

웹 서버 프로세스는 CGI 애플리케이션이 작성한 HTML 문서와 파견 대리자를 사용자의 웹 브라우저에게 전달하고, 웹 브라우저는 HTML 문서와 파견 대리자를 웹 브라우저 윈도우에 출력한다.

F. 통신 채널 연결

웹 브라우저로 전달된 파견 대리자는 통보 중계 하부 시스템의 통보 대리자와 TCP/IP 통신 채널



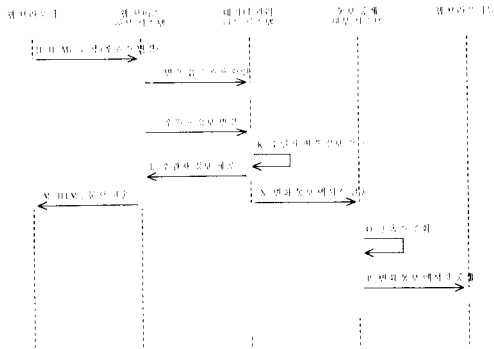
[그림 3] 종속성 관리 절차를 기술하는 순서도

을 생성한다. 이때 생성된 통신 채널은 변화 통보 절차에서 통보 대리자가 변화 통보 메시지를 전달하기 위한 경로로써 이용된다.

G. 종속 관계 등록

요청을 받은 통보 대리자는 [후원자, 종속자, 통신 채널] 형태의 종속 관계를 종속 사진에 등록한다.

[그림 4]는 능동형 웹 서버의 변화 통보 절차를 기술하는 순서도이다. [그림 4]는 사용자가 웹 브라우저를 통해서 후원자를 수정한다고 가정하며 변경된 후원자에 대한 변화 통보 메시지를 받는 대상은 현재 후원자를 참조하고 있는 종속자이다. 이에 따른 변화 관리 절차는 다음과 같다.



[그림 4] 종속성 관리 절차를 기술하는 순서도

H. HTML 요청 (후원자 변경)

사용자는 웹 브라우저를 이용해서 후원자 정보의 변경을 요청한다. 이때 웹 브라우저는 웹 서비스 하부 시스템의 웹 서버 프로세스에게 HTTP 요청을 전달하고, 요청을 받은 웹 서버 프로세스는 이를 수행하기 위해서 적합한 CGI 애플리케이션을 구동한다

I. 변경 접근 권한 확인

CGI 애플리케이션은 데이터 관리 하부 시스템의 보안 사진을 참조하여 사용자가 후원자에 대한 접근 권한을 가지고 있는지를 판별한다. 만약 사용자가 적합한 접근 권한(즉 RW, 혹은 WO 접근 권한)을 가지고 있지 않다면 CGI 애플리케이션은 웹 서

버 프로세스에게 에러 메시지를 전달한 후, 종료한다. 이때 웹 서버 프로세스는 접근 권한이 없음을 나타내는 HTML 문서를 사용자의 웹 브라우저에게 전달한다.

J. 후원자 정보 변경

사용자가 후원자를 변경하기에 적합한 접근 권한을 가지고 있으면 CGI 애플리케이션은 데이터 관리 하부 시스템에게 후원자 정보의 변경을 요청하고 변경된 후원자 정보의 참조를 요청한다.

K. 후원자 변경 정보 저장

데이터 관리 하부 시스템은 후원자 데이터베이스에 후원자 변경 정보를 저장한다.

L. 후원자 정보 제공

데이터 관리 하부 시스템은 CGI 애플리케이션에게 후원자 정보를 제공하고, CGI 애플리케이션은 변경 작업의 결과(예를 들면, 변화 내역, 혹은 데이터베이스 시스템 결과 메시지)를 담은 HTML 문서를 작성한다.

M. HTML 문서 전송

웹 서버 프로세스는 CGI 애플리케이션이 작성한 HTML 문서를 사용자의 웹 브라우저에게 전달하고, 웹 브라우저는 HTML 문서를 웹 브라우저 윈도우에 출력한다.

N. 변화 통보 메시지 전송

데이터 관리 하부 시스템은 후원자의 변경에 대한 변화 통보 메시지를 통보 중계 하부 시스템의 통보 대리자에게 전달한다.

O. 종속자 조회

변화 통보 메시지를 받은 통보 대리자는 종속 사진을 참조하여 변경된 후원자를 참조하고 있는 종속자의 리스트를 조회한다.

P. 변화 통보 메시지 중계

통보 대리자는 변경된 후원자를 참조하고 있는 종속자들에게 변화 통보 메시지를 중계한다. 이때

통보 대리자는 종속성 관리 절차에서 생성된 파견 대리자와 통보 대리자 간의 TCP/IP 통신 채널을 이용하므로 종속자의 파견 대리자가 변화 통보 메시지를 수령한다.

4. 동시 엔지니어링 디자인 시스템 사례

4장은 능동형 웹 서버를 웹 기반의 동시 엔지니어링 디자인 시스템에 적용함으로써 능동형 웹 서버가 웹 기반 그룹 협동 시스템의 일반적인 시스템 구조임을 검증한다. 동시 엔지니어링 디자인 시스템은 전체 도면을 다수의 세부 도면으로 나누어 각 세부 도면을 작업자들에게 할당하고, 각 작업자는 다른 작업자들의 작업 상태를 참조하여 자신이 맡은 부분을 설계한다. 그러므로, 작업자 간의 동기화된 협동을 지원하기 위해서는 동시 엔지니어링 디자인 시스템이 모든 작업자에게 자신이 담당할 세부 도면은 물론, 담당하지 않은 세부 도면에 대해서도 동기화된 뷰를 제공하는 것이 필요하다[4, 23, 30]. [그림 5]에 나타난 볼 베어링 도면의 예는 능동형 웹 서버가 이러한 시스템 요구를 수용함을 보이기 위해 사용된다. 볼 베어링의 전체 도면은 네 개의 세부 도면, S1, S2, S3, 그리고 S4로 나누어져 있으며, 각 세부 도면은 전체 덮개(housing block), 외부 링(outer ring), 내부 링(inner ring), 그리고 볼(ball)을 나타낸다[31]. 특히 각 세부 도면

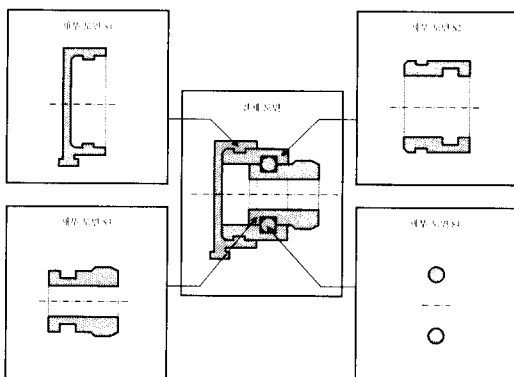
은 면의 길이와 형태에 대해 다른 세부 도면과 일관되게 설계되어야 한다. 예를 들면, S1과 S2는 서로 연결된 부분에 대해 같은 형태로 설계되어야 한다.

작업자 U1, U2, U3, 그리고 U4가 [그림 5]에 나타난 세부 도면, S1, S2, S3, 그리고 S4, 각각의 설계를 담당하고 있다고 가정하자. 모든 작업자는 자신이 담당할 세부 도면을 독립적으로 작성함과 동시에 다른 세부 도면도 참조해야 한다. 그러므로, 세부 도면은 담당자에 의해 수정되고 다른 작업자에 의해 참조되는 후원자이고, <표 2>는 [그림 5]의 예를 표현한 능동형 웹 서버의 보안 사전이다. 이 보안 사전에서는 각 작업자가 자신이 담당할 세부 도면을 참조하고 수정하며(RW 접근 권한), U1은 S2를, U2는 S1, S3, 그리고 S4를, U3는 S2와 S4를, 그리고 U4는 S2와 S3를 참조한다(RO 접근 권한).

<표 2> [그림 5]의 예에 대한 보안 사전

	U1	U2	U3	U4
S1	RW	RO		
S2	RO	RW	RO	RO
S3		RO	RW	RO
S4		RO	RO	RW

U2가 웹 브라우저를 통해서 S1을 참조할 때 능동형 웹 서버는 적합한 CGI 애플리케이션을 구동한다. CGI 애플리케이션은 먼저 보안 사전으로부터 U2의 접근 권한을 점검한 후 S1의 도면 정보와 파견 대리자를 담고 있는 HTML 문서를 U2의 웹 브라우저로 전송한다. U2의 웹 브라우저로 전달된 파견 대리자는 통보 중계 하부 시스템의 통보 대리자와의 통신 채널을 생성하고, 통보 대리자는 S1과 웹 브라우저 윈도우 사이의 종속 관계를 종속 사전에 등록한다. 한편, U1이 S1을 수정할 때 능동형 웹 서버는 S1의 하부 도면을 수정하는 CGI 애플리케이션을 구동한다. CGI 애플리케이션은 보안 사전으로부터 U1의 접근 권한을 점검한 후 S1의 하부 도면을 수정한다. 수정이 완료되면 변화 통보 기법의 절차를 수행한다. 즉, 데이터 관리 하부 시



[그림 5] 볼 베어링 도면 예

시스템은 S1의 변화를 나타내는 변화 통보 메시지를 통보 중계 하부 시스템의 통보 대리자에게 보낸다. 이때 통보 대리자는 종속 사전으로부터 현재 S1을 참조하고 있는 종속자(웹 브라우저)의 리스트를 얻은 후 리스트에 속한 모든 웹 브라우저에게 변화 통보 메시지를 보낸다. 종속자 측에서는 파견 대리자가 변화 통보 메시지를 수령하고 웹 브라우저를 사용하는 작업자에게 이를 알린다. 만약 U2가 S1을 참조하고 있다면, U2는 파견 대리자를 통해서 S1이 변경되었다는 것을 알 수 있다.

이러한 방법으로 능동형 웹 서버는 웹 환경에서 구현된 동시 엔지니어링 디자인 시스템에 동기화된 협동 기능을 제공하고, 동시 엔지니어링 디자인 시스템은 세부 도면별 설계 작업이 병렬적으로 수행될 수 있도록 함으로써 전체 설계의 생산성 향상을 도모한다.

5. 결 론

웹 기반의 시스템 구축은 사용자 인터페이스 개발의 용이성과 운영체제에 대한 독립성에 의해 여러 그룹웨어 분야에서 각광을 받고 있다. 특히 웹 환경에서 동기화된 협동을 지원하는 그룹 협동 시스템은 그룹 작업의 생산성 향상을 가져오기 때문에 점점 그 관심을 더해 가고 있다. 그러나, 높아가는 관심에도 불구하고 지금까지의 기존 연구들은 동기화된 협동에 대한 개념의 미정립과 단방향 HTTP 통신 규약과 같은 웹 기술의 한계에 의해 아직 만족스럽지 못한 실정이다.

본 논문은 이러한 문제점들을 극복하기 위해서 능동형 웹 서버를 소개하였다. 능동형 웹 서버는 웹 기반 그룹 협동 시스템에서 사용자 간의 동기화된 협동을 가능케 함과 동시에 다양한 목적의 그룹 협동 시스템 구현에 일반적으로 사용될 수 있도록 개발되었다. 이러한 능동형 웹 서버의 실용성과 일반성을 검증하기 위해서 능동형 웹 서버의 원형 시스템은 마이크로소프트 윈도우 NT 기반의 서버 시스템과 객체지향 데이터베이스 관리시스템인 OB-

JECTSTORE를 이용하여 구현되었다. 또한 이 원형 시스템은 기존 웹 소프트웨어와의 호환성을 보이기 위해 이미 시중에 시판되고 있는 웹 서버 제품인 WebSite 2.0[28]과 웹 브라우저 제품인 Netscape Navigator 4.5[21, 25]를 프로그램의 수정 없이 그대로 이용하였다.

능동형 웹 서버는 1장에서 언급한 그룹 협동 시스템의 시스템 요구사항을 다음과 같이 만족한다. 첫째, 종속성 관리의 능동형 웹 서버의 종속성 관리 기법에 의해 만족된다. 통보 중계 하부 시스템의 종속 사전은 공유 자원과 사용자 뷰 간의 종속 관계를 관리한다. 둘째, 변화 통보는 능동형 웹 서버의 변화 통보 기법에 의해 만족된다. 통보 대리자와 파견 대리자의 통신을 통해서 사용자는 자신의 작업과 관련이 있는 공유 자원의 변화를 실시간으로 알 수 있다. 셋째, 보안 관리는 데이터 관리 하부 시스템의 보안 사전에 의해 만족된다. 능동형 웹 서버는 공유 자원과 사용자 간의 보안 관계를 관리하여 사용자의 불필요한 공유 자원 접근을 통제한다. 마지막으로 웹 서버 프로그램과 웹 브라우저 프로그램을 수정할 필요가 없으며 이외에 별도의 프로그램이 필요치 않으므로 소프트웨어 호환성이 만족된다. [그림 2]에서 보는 바와 같이 종속성 관리 절차와 변화 통보 절차를 수행하기 위한 시스템 요소들이 웹 관련 시스템 요소들(웹 서버, 웹 브라우저, 그리고 CGI 애플리케이션)과 분리되어 있기 때문에 능동형 웹 서버는 이러한 소프트웨어 호환성을 가진다.

이 논문에서 능동형 웹 서버가 동시 엔지니어링 디자인 시스템에 적용될 수 있음을 보인 바와 같이 능동형 웹 서버는 대부분의 협동 시스템에 적용될 수 있는 일반적인 시스템 구조를 제시한다. 그러므로 능동형 웹 서버는 다양한 웹 기반 그룹 협동 시스템에 적용될 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 특히 능동형 웹 서버가 웹 기반의 워크플로우 시스템, 전자 우편 시스템 등에 적용될 때 기존의 그룹 협동 시스템은 더욱 다양하고 능률적인 시스템으

로 발전될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Berners-Lee, T. and D. Connolly, *Hypertext Markup Language-2.0*, Request For Comments 1866, 1995.
- [2] Bolcer, G.A. and G. Kaiser, "SWAP : Leveraging the Web to Manage Workflow," *IEEE Internet Computing*, Jan/Feb(1999), pp.85-88.
- [3] Booch, G., J. Rumbaugh, and I. Jacobson, *The Unified Modeling Language User Guide*, Addison Wesley, Massachusetts, 1998.
- [4] Chang, T.S. and A.C. Ward, "Conceptual Robustness in Simultaneous Engineering : A Formulation in Continuous Spaces," *Research in Engineering Design*, Vol.7, No.2(1995), pp.67-85.
- [5] Coleman, D., "Collaborating on the Internet and Intranets," in *Proceedings of the Thirtieth Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, January 7-10, Maui, Hawaii, Vol.2(1997), pp.350-358.
- [6] Cornell, G. and C.S. Horstmann, *Core JAVA*, SunSoft Press, California, 1996.
- [7] Cristian, F., "Synchronous and Asynchronous Group Communication," *Communications of the ACM*, Vol.39, No.4(1996), pp.88-97.
- [8] Desborough, J., *INTRANET Web Development*, New Riders, Indiana, 1996.
- [9] Ellis, C., S.J. Gibbs, and G.L. Rein, "Groupware : Some issues and experiences," *Communications of the ACM*, Vol.34, No.1(1991), pp.38-58.
- [10] Erkes, J.W., K.B. Kenny, J.W. Lewis, B.D. Sarachan, M.W. Sobolewski, and R.N.J. Sum, "Implementing Shared Manufacturing Services on the World-Wide Web," *Communications of the ACM*, Vol.39, No.2(1996), pp.34-45.
- [11] Genesereth, M.R. and S.P. Ketchpel, "Software Agent," *Communications of the ACM*, Vol.37, No.7(1994), pp.48-53.
- [12] Gleeson, M. and T. Westway, "Beyond Hypertext : Using the WWW for Interactive Applications," in *Proceedings of The First Australian World-Wide Web Conference*, April 30 to May 2, Ballina, Australia, 1995.
- [13] Goldberg, A. and D. Robson, *Smalltalk-80 The Language and Its Implementation*, Addison-Wesley, Massachusetts, 1983.
- [14] Goodman, K.J., *Windows NT : A Developers Guide*, M&T Books, New York, 1994.
- [15] Hardman, V., M.A. Sasse, and I. Kouvelas, "Successful Multiparty Audio Communication over the Internet," *Communications of the ACM*, Vol.41, No.5(1998), pp.74-80.
- [16] Hardwick, M., D.L. Spooner, T. Rando, and K.C. Morris, "Sharing Manufacturing Information in Virtual Enterprises," *Communications of the ACM*, Vol.39, No.2(1996), pp.46-54.
- [17] Hinden, R.M., "IP Next Generation Overview," *Communications of the ACM*, Vol.39, No.6 (1996), pp.61-71.
- [18] Huh, S.Y. and D.A. Rosenberg, "A Change Management Framework : Dependency Maintenance and Change Notification," *Journal of Systems Software*, Vol.34, No.3(1996), pp.231-246.
- [19] Hummon, N.P., "Organizational Structures and Exchange Processes," *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, Vol.2, No.4(1993), pp.235-246.
- [20] Lamb, C., G. Landis, J. Orenstein, and D. Weinreb, "The ObjectStore Database System,"

- Communications of the ACM*, Vol.34, No.10 (1991), pp.50-63.
- [21] McMahon, G., *Hyper Media Case Study : Netscape Communications Corporation*, THESEUS Institute and London Business School, 1995.
- [22] Migliarese, P. and E. Paolucci, "Improved communications and collaborations among tasks induced by Groupware," *Decision Support Systems*, Vol.14, No.3(1995), pp.237-250.
- [23] Molina, A., A.H. Al-Ashaab, T.I.A. Ellis, R.I.M. Young, and R. Bell, "A Review of Computer-Aided Simultaneous Engineering Systems," *Research in Engineering Design*, Vol.7, No.1(1995), pp.38-63.
- [24] Muralidhar, K., D. Batra, and P.J. Kirs, "Accessibility, Security, and Accuracy in Statistical Databases : The Case for the Multiplicative Fixed Data Perturbation Approach," *Management Science*, Vol.41, No.9(1995), pp.1549-1564.
- [25] Netscape Communications Cor., URL <http://www.netscape.com>, 1996.
- [26] Nye, A., *Xlib Programming Manual for Version 11 of the X Window System - Volume 1*, O'Reilly & Associates, Inc., California, 1992.
- [27] O'Leary, D.E., D. Kuokka, and R. Plant, "Artificial Intelligence and Virtual Organizations," *Communications of the ACM*, Vol.40, No.1(1997), pp.52-59.
- [28] O'Reilly & Associates, Inc., URL <http://website.ora.com>, 1996.
- [29] Petrie, C.J., "Agent-Based Engineering, the Web, and Intelligence," *IEEE Expert*, Vol.11, No.6(1996), pp.24-29.
- [30] Quadrel, R.W., R.F. Woodbury, S.J. Fennes, and S.N. Talukdar, "Controlling Asynchronous Team Design Environments by Simulated Annealing," *Research in Engineering Design*, Vol.5, No.2(1993), pp.88-104.
- [31] Scheer, A.W., *CIM Computer Steered Industry*, Springer-Verlag, New York, 1988.
- [32] Scherer, A., "Supporting Concurrent Engineering Using an Intranet Approach," in *Proceedings of the Thirtieth Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, January 7-10, Maui, Hawaii, Vol.2(1997), pp.589-595.
- [33] Shan, Y.P., "An Event-Driven Model-View-Controller Framework for Smalltalk," in *Proceedings of Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications: OOPSLA*, October 1-6, New Orleans, Louisiana, (1989), pp.347-352.
- [34] Shen, H.H. and P. Dewan, "Access Control for Collaborative Environments," in *Proceedings of ACM 1992 Conference on Computer-Supported Cooperative Work*, October 31 to November 4, Toronto, Canada, (1992), pp.51-58.
- [35] Stevens, W.R., *UNIX Network Programming*, Prentice Hall, New Jersey, 1994.
- [36] Stroustrup, B., *The C++ programming language*, Addison-Wesley, Massachusetts, 1986.
- [37] Theel, O.E. and B.D. Fleisch, "A Dynamic Coherence Protocol for Distributed Shared Memory Enforcing High Data Availability at Low Costs," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol.7, No.9(1996), pp.915-930.
- [38] Varadharajan, V. and C. Calvelli, "An Access Control Model and Its Use in Representing Mental Health Application Access Policy," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol.8, No.1(1996), pp.81-95.

- [39] Wei, K.K., B.C.Y. Tan, C.L. Sia, and K.S. Raman, "Hypertext : A New Approach to Construct Group Support Systems," *International Journal of Information Management*, Vol.16, No.3(1996), pp.163-181.
- [40] Woo, T.K. and M.J. Rees, "A Synchronous Collaboration Tool for World-Wide Web," in *Electronic Proceedings of the Second World Wide Web Conference 94 : Mosaic and the Web*, October 17-20, Chicago, Illinois, 1994.
- [41] Wooldridge, M. and N.R. Jennings, "Intelligent Agents : Theory and Practice," *Knowledge Engineering Review*, Vol.10, No.2 (1995), pp.115-152.
- [42] Wu, K.L. and W.K. Fuchs, "Recoverable Distributed Shared Virtual Memory," *IEEE Transactions on Computers*, Vol.39, No.4 (1990), pp.460-469.
- [43] Yuwono, B. and D.L. Lee, "WISE : A World Wide Web Resource Database System," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol.8, No.4(1996), pp.548-554.