

# 디지털 조립 시뮬레이션에 의한 초소형 공작기계 평가

최성일<sup>+</sup>, 박상호\*, 정영상<sup>++</sup>, 무랄리<sup>+++</sup>, 장석호<sup>+++</sup>, 송준엽<sup>++</sup>

(논문접수일 2006. 12. 1, 심사완료일 2007. 1. 19)

## Micro-factory Evaluation through Digital Assembly Simulation

Sung-il CHOI<sup>+</sup>, Sangho PARK\*, Young-Sang JUNG<sup>++</sup>, Murali SUBRAMANIAM<sup>+++</sup>,  
Seokho JANG<sup>+++</sup>, Joon Yub SONG<sup>++</sup>

### Abstract

In this paper, the digital model of the micro-factory has been established, inspected and evaluated by progress of assembly, manipulation and examination. The new paradigm of the system analysis is realized by digital simulation of the factory. The digital manufacturing system of the micro-factory was simulated through UML(Unified Modeling Language) with the object-oriented logical model analysis method and then the micro lens module assembly system was simulated with MST(Micro System Technology) Application Module.

**Key Words** : Micro-factory(초소형 공장), Digital Manufacturing(디지털 생산), Digital Virtual Factory(디지털 가상공장)

## 1. 서론

본 연구에서는 현재 설계 및 연구개발 진행중인 차세대 MST(Micro System Technology) 응용모듈 기반의 초소형 렌즈모듈 조립 시스템에 대하여 디지털화 라는 새로운 패러다임의 구현을 위해 3D시스템을 활용한 초소형 공장 모델의 제품(Product)과 자원(Resource)에 대한 디지털 모델 생성 및 이를 통한 초소형 공장을 구축한다.

이는 디지털 생산의 개념을 적용시키는 초기 연구단계로서 시스템 설계에 대한 객체 중심의 논리적 모델 분석방법인 UML(Unified Modeling Language)을 통한 공정 시스템 분석 및 모형화로 초소형 공장을 구성하는 제조 시스템이다.

### 1.1 초소형 공장(Micro-factory)

최근 미세가공 기술의 고도화와 함께 초소형 공작기계(Micro machine)의 실현을 목표로 한 연구는 전 세계적으

\* 교신저자, 충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단 (spark@cnu.ac.kr)

주소: 대전광역시 유성구 궁동220 충남대학교

+ 충남대학교 대학원

++ 한국기계연구원

+++ 충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단

로 활발하게 이루어지고 있다<sup>(1)</sup>. 그 중 종합 제품을 대상으로 하는 초소형 공장의 본격적인 실현을 위한 연구가 부분적으로 초소형기계나 MEMS 또는 Nano 기술개발과 함께 이루어졌다<sup>(2)</sup>. 그러나 선진국을 중심으로 관련 연구의 관심과 연구가 대폭 증가되는 추세이며 경쟁적으로 연구를 추진하고 있다. 이에 대한 연구내용은 초소형 부품 가공<sup>(3)</sup>, 조립용 초소형 공장, 초소형 부품의 가공용 초소형 공장<sup>(5)</sup>, 초소형 부품 정밀조립용 초소형 공장이 있고, 전반적으로 초기 가공 중심의 초소형 공장 연구가 점점 조립 중심으로 이어져 가공과 조립 또는 조립중심의 초소형 공장 연구에서 가공중심의 연구에 비중을 두고 균형 있는 연구를 추진하고 있다<sup>(5)</sup>.

국내기술개발 동향으로는 초소형 공장에 대한 연구가 국가적인 사업으로 실행되고 있는 과제로 산업자원 부의 차세대 신기술사업(2004~2011)으로 한국기계 연구원(KIMM)의 공작기계연구그룹에서 주관으로 그간 축적해온 초정밀 가공기계기술을 응용하여 초소형 공장 개념의 마이크로 가공기 및 시스템 연구사업을 시작하는 단계에 있다.

## 1.2 디지털 생산(Digital Manufacturing)

디지털 생산 기술은 자동차, 항공기, 복잡한 전자 제품과 같이 부품의 개수가 많은 제품설계에 많이 사용되고 있다.

최근의 연구개발 동향을 살펴보면, 선진국에서는 이미 1980년대부터 기계화에 의존한 자동화 공정을 근간으로 항공, 자동차, 전자, 금형, 조선 등 주요 제조업을 중심으로 생산 과정에서 벌어지는 일체의 활동들을 디지털화를 이용한 구축을 통하여 가상적으로 모사할 수 있는 통합 환경으로 활용하고 있다<sup>(6)</sup>. 국내에서는 주로 단위 공정을 중심으로 부분적으로 적용되어 왔으나, 선진국에서는 생산라인의 모사를 뛰어넘어 기업의 여러 정보 시스템들에 대한 시험까지를 수행할 수 있는 개념으로 기술이 발전하고 있다<sup>(7)</sup>. WSU(Washington State University)에서는 VADE(Virtual Assembly Design Environment)라는 가상조립 시스템의 초기 모델이 개발되었는데, 이 시스템은 가상현실 도구를 이용하여 가상조립에서 유용한 디자인 정보를 생성할 수 있다는 것을 보여주었다<sup>(8)</sup>.

## 2. 디지털 모델 구축

### 2.1 디지털 초소형 공장의 모델

본 연구에서는 현재 국가적인 사업으로 한국기계연구원(KIMM)에서 실행되고 있는 산업자원부의 차세대 신기술사업(2004~2011)에 해당하는 초정밀 가공기계 기술을 응용한

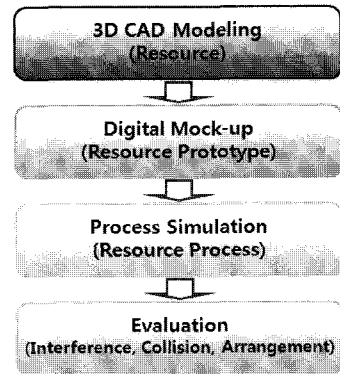


Fig. 1 Construction sequence of a digital micro-factory

초소형 공장 개념의 마이크로 공작기계에 해당하는 클러스터 타입의 렌즈모듈 조립시스템에 대하여 3D CAD 시스템과 디지털 생산기법의 적용으로 초소형 공작기계를 모델링하며 이들의 조합으로 구축되어지는 초소형 공장에 대한 사전 시뮬레이션을 통하여 배치 및 초소형 제품에 해당하는 렌즈모듈에 대한 조립성 평가를 한다. 제품 모델로는 홀더(Holder), 쉴드(Shield), 렌즈(Lens), 스페이서(Spacer)로 구성되어지는 렌즈모듈(Lens module)을 사용하였으며 자원 모델로는 렌즈 모듈 조립 시 고정하는 렌즈모듈 기구부(Lens module assembly instrument)와 Y축의 움직임에 대한 기구부(Y axis feed mechanism), X축과 Z축의 움직임에 대한 픽업 헤드(X-Z axis pickup head) 및 각각의 기구부를 설치 및 구동시키는 액츄에이터 서포터(Actuator support)로 구성되어진 클러스터타입(Cluster type)의 렌즈모듈 조립시스템의 초소형 공작기계 모델을 사용하였으며 Fig. 1에 나타난 것과 같은 개념의 디지털 초소형 공장을 구축한다.

## 2.2 디지털 초소형 공장 구축

### 2.2.1 제품 모델링

전처리 공정인 캐킹징 공정을 거쳐 생성되어지며 클러스터 타입의 렌즈모듈 조립시스템인 초소형 공작 기계에서 조립을 통해 생산되어지는 렌즈모듈의 제품 모델에 대하여 이들을 구성하는 각각의 쉴드, 홀더, 스페이서, 렌즈들의 부품에 대하여 3D CAD 시스템을 사용하여 모델링 하였다. Fig. 2는 제품모델인 렌즈모듈에 대하여 모델링한 결과를 나타낸다.

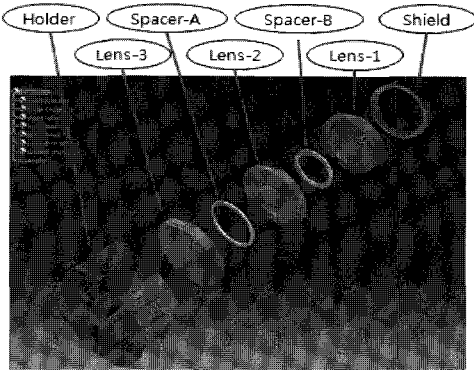


Fig. 2 Product modeling for the lens module

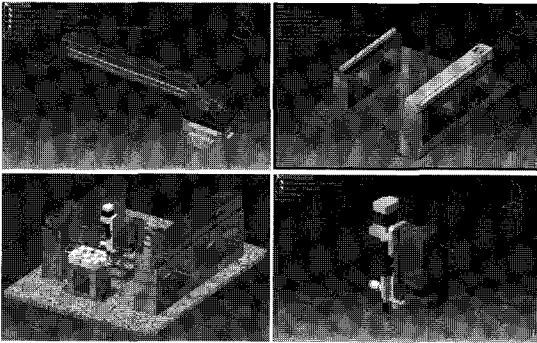


Fig. 3 Models of the resources

### 2.2.2 자원 모델링

제품 모델인 렌즈모듈을 조립하게 되는 클러스터 타입의 렌즈모듈 조립시스템인 초소형 공작기계를 구성 하는 각각의 자원모델은 초소형 공장 구축 시 동적요소를 부여함으로써 구동되는 장치별로 크게 렌즈모듈 기 구부와 Y축 기구부 그리고 X-Z축 픽업헤드와 액츄에이터 서포터로 나누어져 있어 이들에 대하여 3D CAD 시스템을 사용하여 모델링 하였다. 모델링 되어진 각각의 구동부에 대한 조립을 통하여 클러스터 타입의 렌즈모듈 조립시스템의 초소형 공작기계 모델을 구축하였으며 이에 대한 결과가 Fig. 3과 같다.

### 2.3 디지털 초소형 공장의 공정 모델 구축

초소형 공작기계에 대하여 초소형 공장에 대한 배치 이전에 사전 시뮬레이션을 수행함으로써 공장 구동 시에 발생할 수 있는 간섭 및 충돌에 대하여 검증한다. 이에 대하여 문제점이 발생하는 지점인 액츄에이터와 픽업헤드의 행정에 대하여 수정 및 보완을 하였다. 이와 같이 수정된 초소형 공작

기계 모델을 적용하여 제품모델인 렌즈모듈에 대한 조립공정의 간섭 및 충돌에 대한 검증을 위해 초소형 공장을 구성하게 되는 자원모델 각각에 대하여 제품을 적재하게 되는 선반 및 선반에서 제품을 이송하게 되는 제품 이송테이블을 추가로 구성하게 된다. 이들로 구성되어진 초소형 공작기계는 제품 모델인 렌즈모듈 각각의 부품에 대해 조립공정을 위한 배치를 한다. 초소형 공작기계의 조립공정을 위한 배치는 홀더, 렌즈-3, 스페이서-B, 렌즈-2, 스페이서-A, 렌즈-1, 실드의 부품으로 구성된 제품 모델을 조립하는 공정을 수행하는 공작기계와 완성품에 대하여 제품을 선반으로 이송하는 공작기계에 대한 순서로 초소형 공장의 이송 테이블에 대한 원형을 중심으로 초소형 공작기계를 패턴 방식으로 배치한다.

초소형 공작기계와 자원모델들의 배치를 통해 구성된 초소형 공장에 대하여 제품모델에 대한 조립 시뮬레이션 수행을 통해 구축되어진 초소형 공작기계를 기반으로 자원들에 대해 실제 거동과 같은 기구학 적 특성을 부여하며 구성된 공정 모델에 대한 시뮬레이션으로 정해진 제한된 범위 내에서 초소형 공작기계 와 자원 모델을 배치함으로써 제품모델인 렌즈모듈에 대한 조립 및 이송 공정에 대한 검증을 수행한다.

객체 지향 분석방법인 UML을 통하여 분석 되어진 초소형 공장의 공정모델에 대한 디지털 생산기술의 적용으로 퍼트차트의 공정흐름 및 순서에 대해 제품 모델의 조립공정을 통해 하나의 완성품이 되기까지에 대하여 한 사이클로 구성하여 공정을 구축하였으며, 이들 각각에 대하여 시간적 요소를 초소형 공작 기계의 시뮬레이션 조건과 같은 행정의 왕복 시간 인 10mm/s로 조립공정에 대한 시뮬레이션을 수행 하였다. 초소형 공작기계와 그에 따른 제품모델의 배치로 구성되어진 초소형 공장은 각각의 제품모델에 대한 조립공정을 통해 총 64회의 동시 시뮬레이션을 수행하게 되며, 이를 통하여 초소형 공작기계에 대한 제품모델인 렌즈모듈에 대한 조립공정의 시간적 분석을 수행하게 된다.

## 3. 시뮬레이션

시뮬레이션을 기반으로 한 생산의 목표는 공정의 검증과 최적화이다. 시뮬레이션을 기반으로 한 생산을 통해서 작업공정의 유효성 판단과 최적화가 가능하다. 위에서 언급했듯이 초소형 공장의 공정 시뮬레이션이 실제 공정에 선행될 수 있다면 생산 효율성의 증대에 큰 기여를 할 수 있을 것이다. 또한 전 생산 공정을 시뮬레이션 함으로써 최적화된 공정 라인의 설계도 가능하다.

### 3.1 초소형 공작기계 시뮬레이션

자원모델은 각각의 구동부에 해당하는 렌즈모듈을 고정하는 렌즈모듈 기구부와 Y축의 움직임에 대한 기구부 그리고 X축과 Z축의 움직임에 대한 픽업 헤드와 기구부를 설치 및 구동시키는 액추에이터 서포터로 구성된다. Fig. 4는 X축 행정과 Y축 행정을 가지는 모델을 보여주고 있다. 초소형 공작기계 모델은 클러스터 타입의 렌즈모듈 조립시스템이다. 3D CAD 소프트웨어를 사용하여 Fig. 5와 같이 모델링을 하여 초소형 공작기계 모델을 구축하였다. 본 연구에서는 공정분석을 통하여 이에 대한 디지털 생산기술의 적용을 통하여 공정흐름 및 순서에 대해 제품모델인 렌즈모듈의 조립 공정 시뮬레이션을 구축하여, 이들 각각에 대한 시간적 요소의 적용을 통한 시뮬레이션을 수행하였다.

초소형 공작기계에 대하여 공장 배치 이전에 공정을 통해 제품모델에 대한 단일 구동부의 조립시뮬레이션을 수행하였을 때 발생하게 되는 행정과 간섭 및 충돌에 대한 문제점을 Fig. 6에서 나타내고 있다. Fig. 6 (a)에서 보는 바와 같이 조립 공정의 구동 시에 액추에이터 서포터의 구동부인 액추에이터의 Y축에 대한 행정의 오차로 충돌 및 간섭이 발생하였다. 이 결과를 적용하여 액추에이터의 행정을 연장함으로써 수정하여 충돌 및 간섭이 발생하지 않는 Y축에 대한 행정을 가지게 되었다. Fig. 6 (b)에서 보는바와 같이 픽업헤드의

구동 시 X축 방향에서 발생하게 되는 충돌 결과를 적용하여 기존 행정에 대해 초기 복귀상태 점인 X축 픽업헤드의 행정을 수정함으로써 시뮬레이션을 통한 초소형 공작기계에 대하여 제품 모델인 렌즈모듈의 단일 조립공정의 충돌 및 간섭에 대하여 구동 시에 발생하게 되는 문제점을 해결하였다.

### 3.2 초소형 공작기계의 평가

초소형 공작기계에 대하여 초소형 공장을 구축하기 이전에 사전 시뮬레이션 함으로써 공장 구축 시에 불필요한 요소에 대하여 확인할 수 있었다. Fig. 7 (a)와 같이 원형타입의 테이블과 공작기계의 지지대 사이에서 제거할 만한 형상이 발견되었으며 Fig. 7 (b)에서와 같이 공작기계의 바닥 면의 형상도 변형시킬 수 있는 부분이 있었다. 결국 Fig. 6과 Fig. 7에서 발견되는 간섭과 제거 가능한 위치를 발견함으로써 공작기계를 재구성 하였으며 Fig. 8에서와 같이 수정하였다. 수정된 초소형 공작기계 모델을 적용하여 제품모델인 렌즈모듈에 대한 조립공정의 간섭 및 충돌에 대한 검증을 위해 초소형 공장을 구성하게 되는 자원모델 각각에 대해 제품을 적재하는 선반 및 선반에서 제품을 이송하게 되는 제품 이송테이블을 추가로 구성하게 되며 이들로 구성되어진 초소형 공작기계는 제품모델인 렌즈모듈 각각의 부품에 대해 조립공정을 위한 배치를 하게 된다.

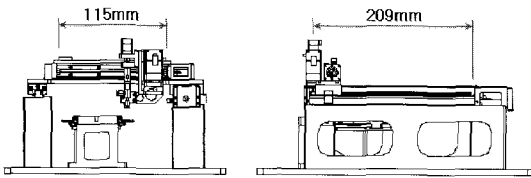


Fig. 4 Micro-machine model

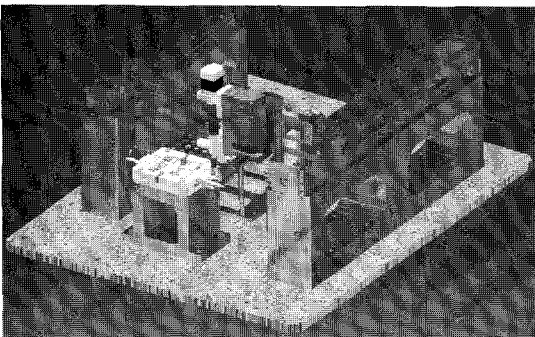
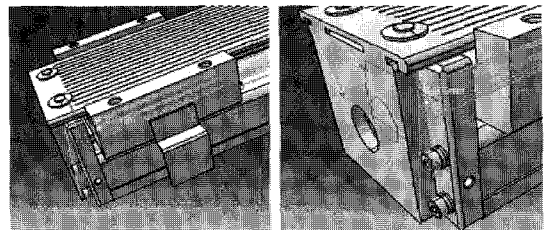
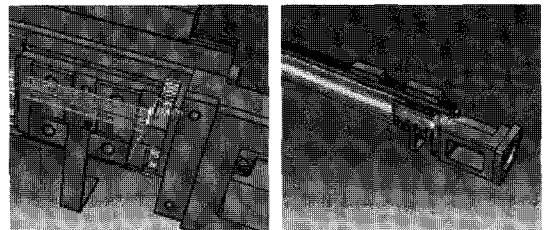


Fig. 5 Cluster type lens module assembly system

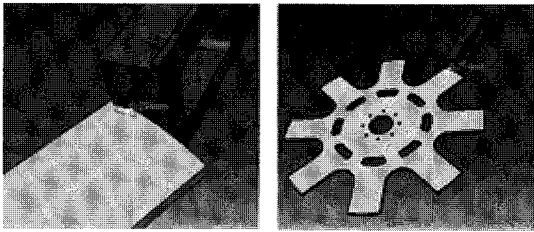


(a) Interference by differencing of moving distance

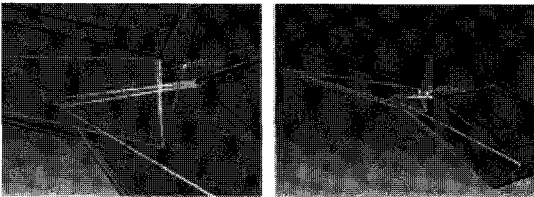


(b) Interference by pick-up head

Fig. 6 Collision checking of actuating micro-machine by evaluation



(a) Removable region between the circular table and supporter of micro-machine



(b) Removable region of machine bed

Fig. 7 Removable region checking by simulation

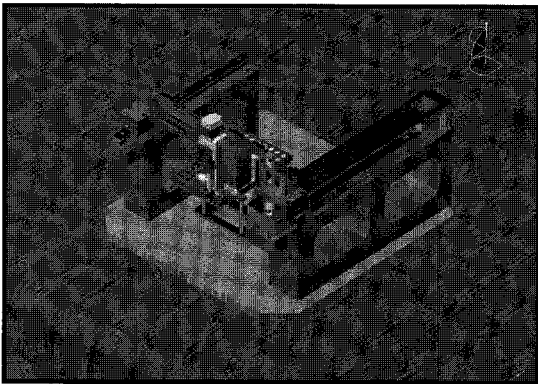


Fig. 8 Modified micro-machine after simulation result

조립공정을 위하여 홀더, 렌즈-3, 스페이서-B, 렌즈-2, 스페이서-A, 렌즈-1, 실드의 부품으로 구성되어진 제품모델에 대한 각각의 조립공정을 수행하게 되는 공작기계와 완성품에 대하여 제품 선반으로 이송하게 될 공작기계에 대한 순서로 배치한다.

#### 4. 결과 및 결론

앞서 설명한 바와 같이 초소형 공작기계와 자원모델들의 배치를 통해 구성된 초소형 공장에 대하여 제품모델에 대한

조립시물레이션을 수행하였다. 구축되어진 초소형 공작기계를 기반으로 자원들에 대해 실제 거동과 같은 기구학적 특성을 부여하여 구성된 모델에 대한 시물레이션을 통해 정해진 제한된 범위 내에서 초소형 공작기계와 자원모델을 배치함으로써 제품모델인 렌즈모듈에 대한 조립 및 이송 공정에 대한 검증을 수행하였다. 초소형 공장의 모델 트리에 대하여 위로부터 순차적으로 공정요소를 부여하게 되며 공정 순서 및 이들의 동적 움직임에 대해 나타내고 있다. 초소형 공장의 공정모델에 대한 공정 및 자원이 분석된 후 디지털 생산기술의 적용으로 제품 모델의 조립공정을 적용하였다.

초소형 공작기계에 대해 디지털 조립공장을 기반으로 각각의 자원을 통하여 구성 및 구축된 디지털 공장에 대한 정렬 및 모델 형상에 대해 공정 시물레이션을 하였다. 구축된 디지털 초소형 공장에서 공장의 조립공정 구축 시에 발생할 수 있는 문제점에 대하여 다음과 같이 분석을 수행하였다. 이때 발생하게 되는 간섭, 충돌 및 다양한 초소형 공장의 문제점에 대한 수정 및 보완을 통해 재검증 하며 최적형상에 대한 공정성 검증을 수행하였다.

이에 본 연구에서는 현재 연구 및 개발 중인 MST응용모듈 기반의 초소형 공장을 구성하는 클러스터 타입의 렌즈모듈 조립시스템인 초소형 공작기계의 구동부에 따른 자원모델과 이를 통해 조립공정을 수행하게 되는 제품모델인 렌즈모듈 및 이들 각각에 대하여 공정을 적용한 가상 공작기계 모델에 대하여 분석되어진 모델을 토대로 디지털 생산기술을 적용하여 시물레이션 함으로써 조립공정 구동 시에 발생할 수 있는 간섭 및 충돌에 대한 문제점 및 유효성 검증을 수행하였다. 자원과 제품 및 공정에 대하여 모델링하였으며, 구동에 따른 검증을 통하여 초소형 공작기계 모델을 구축하였으며, 자원, 제품, 공정의 배치 및 구동에 따른 검증을 통하여 초소형 공장 모델의 조립공정에 대한 공정시간 분석을 수행하였다. 이러한 시물레이션을 적용함으로써 배치에 따른 회전반경의 수정을 통한 검증 및 조립공정에 대한 공정시간을 절감하였으며, 제한된 범위 내에서 배치 형태를 변형시킴으로써 조립공정에 대한 분석을 수행하였다. 초소형 공장 모델의 구축을 통한 검증을 수행하여 자원과 공정시간에 대한 유효성 및 절감효과를 얻을 수 있었다.

#### 후 기

이 연구는 산업자원부의 차세대 신기술개발사업인 “차세대 지능형 Micro factory 시스템 기술 개발” 사업 중 “Reconfigurable u-factory 조립통합제어 기술개발” 프로젝트

트의 위탁과제로 수행되었으며 참여한 연구자의 일부는 “2 단계 BK21 사업”의 지원비를 받았음.

### 참고 문헌

- (1) Park, J. K., 2002, “Technical Trends of Micro Factory,” *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 19, No. 10, pp. 7~14.
- (2) Kang, J. H., 2002, “Development of Microfactory System for Future Industry,” *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 19, No. 10, pp. 15~22.
- (3) Lee, C. M., Lim, T. S., Jung, W. S. and Lee, D. W., 2002, “Micro-Measurement and Machining Complexation,” *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 19, No. 10, pp. 31~36.
- (4) Hong, J. H., 2004, “Technical Trends of Intelligent Microfactory for Next Generation,” *Journal of the Research Institute of Industrial Technology*, Vol. 19, No. 1, pp. 39~51.
- (5) Shin, J. G., Woo, J. H. and Choi, Y. R., 2002, “Production of Competitive Power by Digital Manufacturing,” *Journal of the KSME*, Vol. 43, No. 11, pp. 40~45.
- (6) Rendell, J., 2002, “The Digital Factory Decade,” *3D PLM Network*, Vol. 14.
- (7) Iwata, K., Onosato, M., Teramoto, K. and Osaki, S., 1997, “Virtual Manufacturing Systems as Advanced Information Infrastructure for Integrating Manufacturing Resources and Activities,” *Annals of the CIRP*, Vol. 46, No. 01, pp. 335~338.
- (8) Jayaram, S. and Jayaram, U., 1999, “VADE: A Virtual Assembly Design Environment,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 19, No. 6, pp. 44~50.