

# 사각패턴으로 구축된 초소형 공장의 디지털 조립 시뮬레이션

박상호\*, 최성일<sup>+</sup>, 무랄리<sup>++</sup>, 서주현<sup>+++</sup>, 송준섭<sup>++++</sup>, 박세진<sup>+++++</sup>  
(논문접수일 2008. 2. 29, 심사완료일 2008. 5. 27)

## Digital Assembly Simulation of Micro Factory Constructed with Rectangular Pattern

Sangho PARK\*, Sung-Il CHOI<sup>+</sup>, Murali SUBRAMANIYAM<sup>++</sup>, Joo hyun, SEO<sup>+++</sup>,  
Joon Yub SONG<sup>++++</sup>, Se Jin PARK<sup>+++++</sup>

### Abstract

In recent years, most of the researchers have been working on micro system manufacturing technological environment. With this international trend and one of the key researches in Korea, this paper gives the keynote on manufacturing the micro-scaled part with digital micro factory and its simulation. In order to construct and estimate reconfigurable simulation time, the digital simulation has been performed for the micro factory and for ultra small machines. From simulation result we came to know that micro factory requires less work-in space and processing time to manufacture micro-scaled part with different environment.

**Key Words** : Micro Factory(초소형 공장), Micro Machine(초소형 공작기계), Digital Simulation(디지털 모사), Reconfigurable Assembly Machine(재구성형 조립기계)

## 1. 서론

최근 생산 제조 기술 분야에 있어서 생산가공 시스템을 축소 또는 소형화하고 있다. 이로써 작업 현장의 공간 활용성을 향상시킬 수 있으며 공기조화 및 친환경적 측면에서의 효과, 장비와 시설투자 비용 등을 포함한 에너지 소비와 생산 제조

원가의 절감 등 다양한 효과를 기대할 수 있는 마이크로 시스템 기술개발에 대한 연구가 전세계적으로 진행되고 있다<sup>(1)</sup>. 공장의 생산라인에서도 이와 같은 이상적인 개념을 유효 적절히 도입하여 실용화하고자 하는 연구 개발의 노력이 지속적으로 진행되어 왔으며, 국내에서도 이같은 세계적인 추세에 부응하여 초소형 공장에 초점을 맞추어 연구개발이 진행중이다<sup>(2)</sup>.

\* 충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단 (spark@cnu.ac.kr)  
주소: 대전광역시 유성구 궁동220 충남대학교 기계설계공학과  
+ 충남대학교 대학원  
++ 충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단  
+++ (주)현대기전  
++++ 한국기계연구원  
+++++ 한국표준과학연구원

본 연구에서는 현재 설계 및 연구개발 진행 중인 차세대 MST(Micro system technology)응용모듈 기반의 초소형 렌즈모듈 조립 시스템에 대하여 디지털화라는 새로운 패러다임의 구현을 위해 3D시스템을 활용한 초소형 공장 모델의 자원(Resource)인 초소형 조립기계에 대하여, 초소형 조립기계의 재구성을 통해 디지털 모델을 생성하고 이를 통한 설비변경, 생산계획의 변경에 따른 생산량 및 장비 부하율의 예측과 사전 검증 및 생산시스템의 최적화를 위한 초소형 공장을 구축한다. 이러한 기술의 흐름으로 인해 점점 세분화 및 미세화 되어 가는 Micro/Nano공정에 발전을 촉진시킬 수 있으며 가상현실 기반의 고밀도 고집적화에 의한 정밀한 제어 및 조립 그리고 검사에 따른 신뢰성 높은 공정을 수행할 수 있을 것이다<sup>3)</sup>.

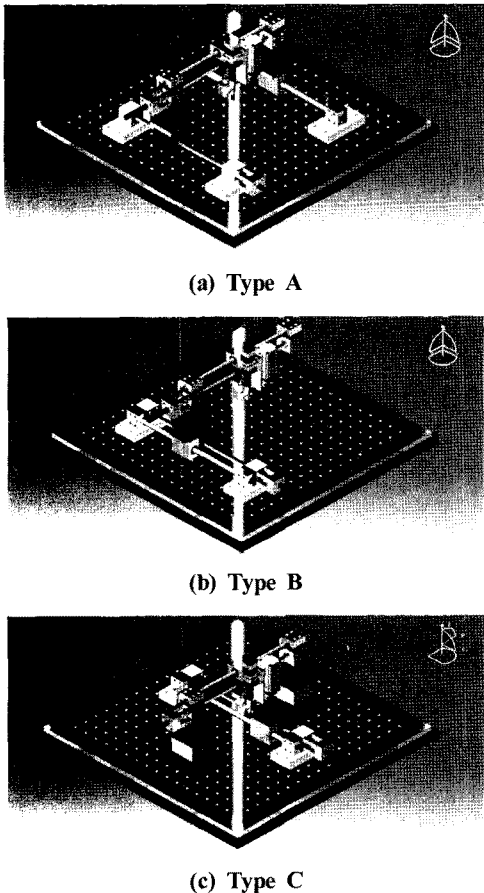


Fig. 1 Reconfigurable micro part assembly machine

## 2. 초소형 조립기계의 공장구축

### 2.1 초소형 조립기계

Fig. 1은 초소형 부품 조립기계의 구조형태와 공정 방향성을 고려하여 3가지 형태로서 재구성 가능형 초소형 조립기계를 표현하고 있다<sup>4)</sup>. 여기에서 작업공간과 시간소비의 효율 면에서 가장 효과적인 초소형 공장을 구축하기 위해 적합한 Type A와 Type B 두 가지 모델을 본 논문에서 적용하였다.

### 2.2 디지털 초소형 공장 구축

#### 2.2.1 제품(product) 모델링

전처리 공정인 패키징 공정을 거쳐 생성되며 재구성 타입의 렌즈모듈 조립시스템인 초소형 조립기계에서, 조립을 통해 생산되어지는 렌즈모듈의 제품 모델에 대해 이들을 구성하는 각각의 실드, 홀더, 스페이서 그리고 렌즈들의 부품을 3D CAD 시스템을 사용하여 모델링 하였다. Fig. 2는 제품 모델인 렌즈모듈에 대하여 모델링한 결과를 나타낸다.

#### 2.2.2 자원(resource) 모델링

제품 모델인 렌즈모듈을 조립하게 되는 재구성 타입의 렌즈모듈 조립시스템인 초소형 조립기계를 구성 하는 각각의 자원모델에 대하여 초소형 공장 구축 시 구동되는 장치별로 크게 렌즈모듈 기구부와 X축 기구부, Y축 기구부, 그리고

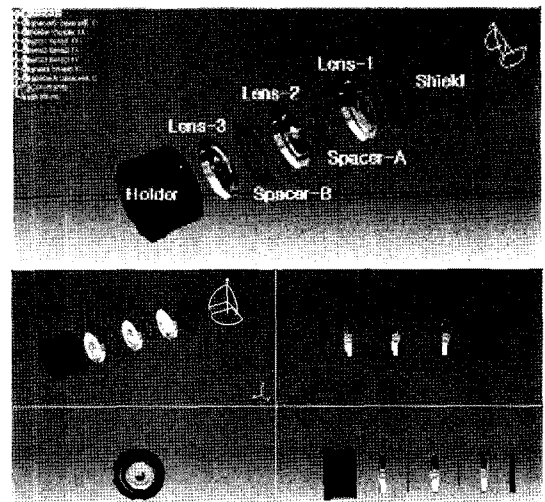


Fig. 2 Product modeling

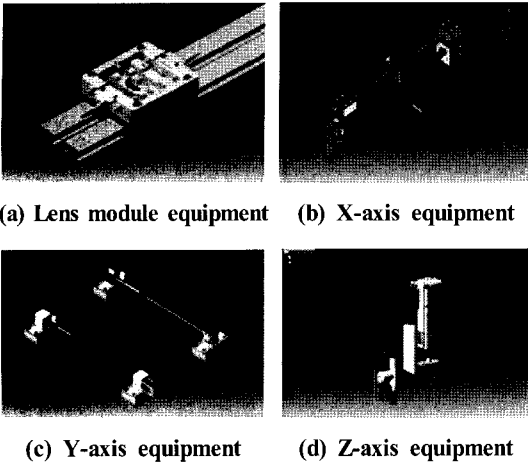


Fig. 3 Fig. 3 Modules of the resources

Z축 픽업헤드로 나누어 이들에 대하여 모델링 하였다.

Fig. 3에서는 제품모델인 렌즈모듈이 고정이 됨과 동시에 이송하기 위한 LM Guide에 대하여 우선 모델링 하였고, X축 구동을 위한 X-axis base와 가이드 및 기구부에 대하여 모델링 하였으며, Y축 구동을 위한 서보모터와 Y-axis base와 가이드 및 기구부, 그리고 Z축 구동을 위한 pickup head를 모델링한 결과를 보여주고 있다.

### 2.2.3 물류 설비 공정 모델링

자원 모델링을 통하여 구축되어지는 재구성 타입의 렌즈 모듈 조립시스템의 초소형 조립기계와 이들에 의해 조립되어지는 제품모델인 렌즈모듈 각각의 부품들에 대하여 초소형 공장을 구축하여 시뮬레이션에 따른 공정분석을 수행하였는데 이때 이들을 이송하게 될 이송 테이블과 부품을 적재하게 될 선반(tray)에 해당하는 자원 모델들에 대한 결과가 Fig. 4이다. 공정분석을 위해 초소형 조립기계의 배치와 추가로 모델링 되어진 자원모델들의 조합을 통하여 제품모델인 렌즈모듈 조립 공정에 대한 초소형 공장모델을 Fig. 5와 같이 구축한다. 이에 대하여 디지털 생산 기술을 적용함으로

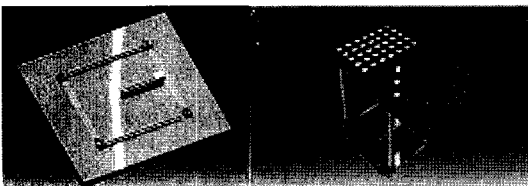


Fig. 4 Resource modeling

써 Fig. 6과 같이 구축되어진 공정 분석 시뮬레이션 시스템인 초소형 공장모델에 대한 공정을 가시적이고 분석적으로 수행하기 위한 요소, 클래스, 그룹, 하위모델 또는 간단한 논리와 기하학 저장 및 실제 생산 변수 및 흐름과 순서에 대하여 정의한다.

### 2.3 디지털 초소형 공장의 공정 모델 구축

초소형 조립기계에 대하여 초소형 공장에 대한 배치 이전에 사전 시뮬레이션을 수행함으로써 공장 구동 시에 발생할 수 있는 간섭 및 충돌에 대하여 검증한다. 이와 같이 검증된 초소형 조립기계 모델을 적용하여 제품모델인 렌즈모듈에 대한 조립공정의 간섭 및 충돌에 대한 검증을 위해 초소형 공장을 구성하게 되는 자원모델 각각에 대하여 제품을 적재하게 되는 선반(tray) 및 선반에서 제품을 이송하게 되는 제품 이송테이블을 추가로 구성하게 된다. 이들로 구성되어진 초소형 조립기계는 제품모델인 렌즈모듈 각각의 부품에 대해 조립공정을 위한 배치를 한다. 초소형 조립기계의 조립공정을 위한 배치는 홀더, 렌즈-3, 스페이서-B, 렌즈-2, 스페이

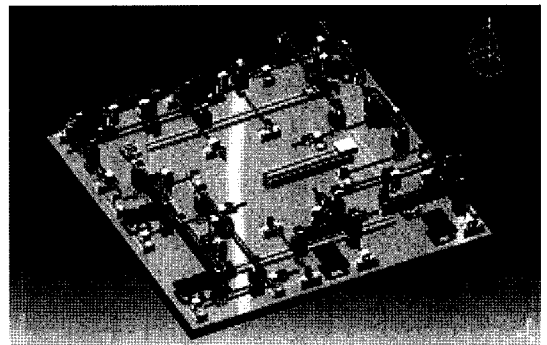


Fig. 5 Building digital micro factory

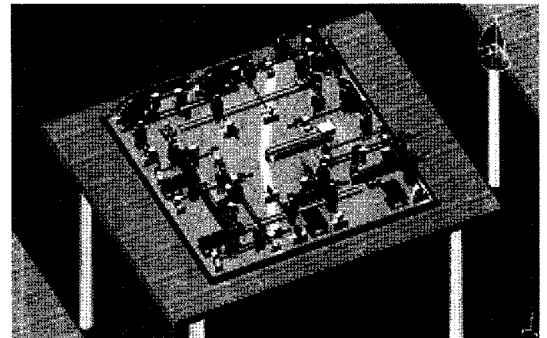


Fig. 6 Building micro factory for process analysis

서-A, 렌즈-1, 슬드의 부품으로 구성된 제품 모델을 조립하는 공정을 수행하는 조립기계와 완성품에 대하여 제품을 선반으로 이송하는 조립기계와 같은 순서대로 초소형 공장의 이송 테이블인 LM Guide에 대하여 사각패턴(rectangular pattern) 방식으로 배치한다.

디지털 생산기술의 적용으로 공정모델에서의 모델 트리를 기반으로 한 퍼트차트의 공정흐름 및 순서에 대해 제품 모델의 조립공정을 통해 하나의 완성품이 되기까지의 총 7 단계의 조립과정에 대하여 한 사이클로 구성하여 공정을 구축하였으며, 이들 각각에 대하여 시간적 요소를 행정길이당 왕복시간인 10mm/s로 조립공정에 대한 시뮬레이션을 수행한다.

초소형 조립기계와 자원모델들의 배치를 통해 구축되어진 초소형 공장에 대하여 제품모델에 대한 조립 시뮬레이션 수행으로 재구성된 초소형 조립기계를 기반으로 각각의 자원들에 실제 거동과 같은 기구학적 특성을 부여하여 구성된 공정 모델에 대한 시뮬레이션을 수행한다. 제한된 범위(1500×1500mm) 내에서 초소형 조립기계와 자원 모델을 배치함으로써 제품모델인 렌즈모듈에 대한 조립 및 이송 공정에 대한 검증을 수행한다.

초소형 조립기계와 그에 따른 제품모델의 배치로 구성되어진 초소형 공장은 각각의 제품모델에 대한 조립공정을 통해 총 67회의 동시 시뮬레이션을 수행하게 된다. 이를 통하여 초소형 조립기계에 대한 제품모델인 렌즈모듈에 대한 조립공정의 시간적 분석을 수행하게 된다.

초소형 공장의 공정 과정에서 순서 및 구동속도와 동적 움직임을 부여한 공정 모델에 대한 시간적인 소요를 간트차트에서 확인할 수 있으며, 이를 통해 전체 공정에 대한 시간

적 시뮬레이션을 수행한다

### 2.4 초소형 조립기계의 재활용성

Fig. 7에서 보이는 것처럼 기존의 초소형 조립기계는 3축 공정이 모두 가능하다고는 하지만 그 형태가 고정 되어있기 때문에 한 가지의 형태만을 고수할 수밖에 없다. 본 연구에서는 전후좌우의 움직임이 있는 전치리 공정 과정을 시뮬레이션 하기 위해 조립기계를 배치하여야 하는데 이때 발생할 수 있는 간섭과 충돌 그리고 오차의 문제를 해결하기 위하여 배치방향을 보다 넓게 하고 조립기계의 베이스 부분을 재모델링하였다. 하지만 재구성 타입의 초소형 조립기계는 지면과 닿는 블록의 위치만을 조정하여 간섭과 충돌 문제를 충분히 해소할 수 있었고, Fig. 8의 Join 부분에서 나타내는 것처럼 별다른 설비 조건 없이 서보모터 구동축과 가이드 축을 공유함으로써 렌즈모듈이송장치를 이동시키는 회전용 기기를 배치할 수도 있어 재활용성에 대한 효과를 볼 수 있었다.

이와 같이 초소형 조립기계의 가장 큰 장점은 조립기계를 구성하게 되는 모듈 하나하나가 블록 형태로 되어있기 때문에 사용자가 원하는 형태로 재구성 가능한 초소형 조립기계를 매우 다양하게 창성해 낼 수 있다는 것이다. 이로써 향후 재구성성의 발전 가능성에 대한 청사진도 제시할 수가 있게 되었다.

### 3. 디지털 시뮬레이션

시뮬레이션이라는 것은 대상 공정 및 시스템의 특성을 모델로 구성하고, 공정의 유입 및 유출 성상과 공정 규모 및

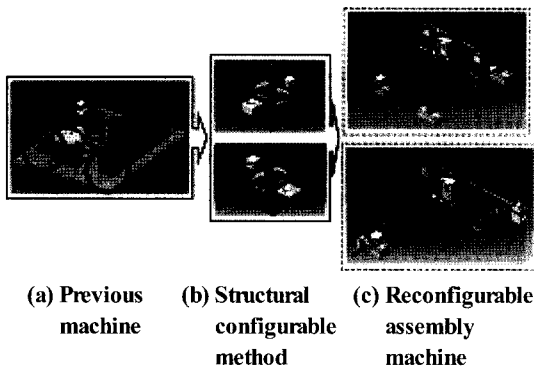


Fig. 7 Strong point in reconfigurable micro assembly machine

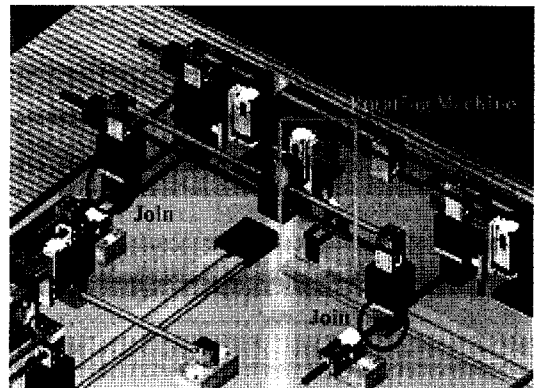


Fig. 8 Recycling of reconfigurable micro machine

특성, 그리고 운전 조건 등의 변화에 따른 공정의 성능을 계산하고 평가하여 그 특성을 이해하거나, 최적 설계 및 운전 정보를 획득하는 기법을 말한다. 이는 단지 보여주기 위한 가시화의 의미가 아닌 정보가 부여된 것으로 디지털 생산은 가시화에 의미 있는 정보의 결합을 뜻한다. 시뮬레이션 기반 생산의 목표는 시뮬레이션을 기반으로 한 생산으로 작업 공정의 유효성 판단과 최적화가 가능하다는 것이다. 따라서 실제 공장의 공정 이전에 초소형 공장의 공정 시뮬레이션을 선행함으로써 생산 효율성의 증대에 큰 기여를 할 수 있다는 것이다. 또한 생산 전 공정을 시뮬레이션 한다면 최적화 된 공정 라인의 설계도 가능하다<sup>5)</sup>.

### 3.1 재구성 초소형 조립기계의 공정배치 시뮬레이션

조립공정을 위한 배치는 홀더, 렌즈-3, 스페이서-B, 렌즈-2, 스페이서-A, 렌즈-1, 실드의 부품으로 구성되어진 제품 모델에 대한 각각의 조립공정을 수행하게 되는 조립기계와 제품 선반, 완성품에 대하여 제품 선반으로 이송하게 될 이송기계, 그리고 이송 테이블을 LM Guide에서 다음 LM Guide로 이동시켜 줄 회전이송장치(Rotating machine)에 대한 순서로 Fig. 9에서 보여지는 바와 같이 이송 테이블에 대하여 초소형 조립기계를 사각패턴 방식으로 배치한 후 각 조립기계의 모터 구동축과 가이드축을 공유하여 회전이송장치를 배치한다. Fig. 10은 초소형 공장의 배치 모델에 대하여 초소형 조립기계와 회전이송장치 그리고 자원모델을 사각패턴으로 배치함으로써 구축된 초소형 공장을 나타내고 있다.

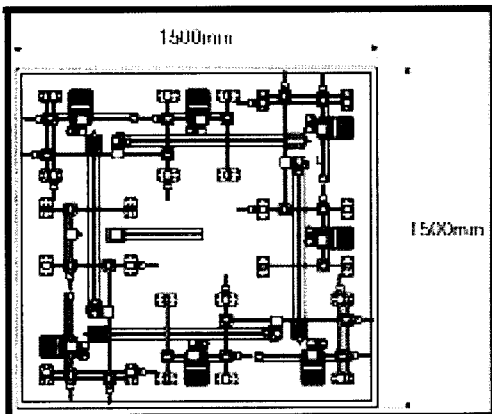


Fig. 9 Rectangular pattern arrangement of micro factory

### 3.2 공정 시뮬레이션 결과

재구성된 초소형 조립기계들의 사각패턴 방식으로 이루어진 초소형 공장의 최적배치를 통해 제한된 작업공간에서 공정과정을 거쳤을 때 Table 1에서 보는 것처럼 1-Cycling에 소요되는 총 공정시간이 314.03s(5.23min)인 것을 확인할 수 있었다.

## 4. 결론

본 논문에서는 초소형 조립기계와 자원모델들의 배치를 통해 구성된 초소형 공장에 대하여 제품모델에 대한 조립시뮬레이션을 수행하였다. 재구성형 초소형 공장을 구성하는 초소형 조립기계에 대하여 Type A와 Type B로 재구성하였고, 구동부에 따른 자원 모델과 이를 통해 조립공정을 수행

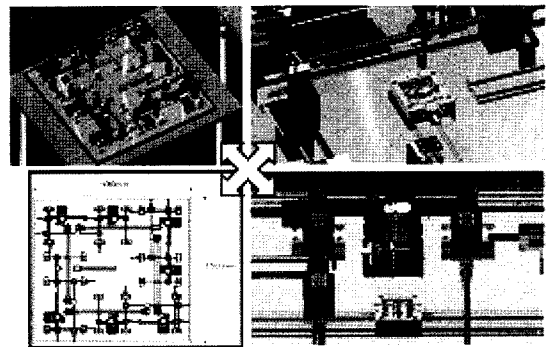


Fig. 10 Reconfigurable Micro Factory model

Table. 1 Reconfigurable simulation time of micro factory

Micro-machine Lensmodule	X Axis pickup head		Z Axis picker		Y Axis feed mechanism	
	sec	mm	sec	mm	sec	mm
Holder	9.64	96.36	2.06	20.59	11.89	118.92
Lens_3	4.52	45.18	2.06	20.59	7.17	71.66
Total time	135.58s/1355.81mm					
Rotating Robot	1.86	18.65	9.37	93.73	4.45	44.5
LM Guide	28.94s/289.42mm					
Total process time	Total time + (Rotating ×4) + (Move LM Guide × 4) = 314.03s (5.23min)					

하게 되는 제품 모델인 렌즈모델 및 공정과정에 대하여 3D CAD와 디지털 생산기술을 적용하여 시물레이션 함으로써 자원, 제품, 공정의 배치 및 구동에 따른 검증을 하였고 초소형 공장 모델을 구축하였다. 또한 조립기계의 성능데이터를 적용한 조립공정 시물레이션을 통하여 공정시간 분석을 수행하였으며 제한된 작업공간 내에서 사각패턴 배치를 함으로써 조립공정의 공정시간에 대한 분석을 수행하였다. 이에 대하여 사각패턴 배치에 따른 검증으로 조립공정에 대한 공정시간을 절감하였고 자원과 공정시간에 대한 유효성 및 절감효과를 얻을 수 있었다.

가상환경에서 재구성형 초소형 공장을 구축하여 공정 구축 시 발생할 수 있는 배치 및 조립의 구동에 대해 사전 검증하였으며 이에 대한 효율적인 공장 배치와 공정을 구성 및 시물레이션을 수행함으로써 시간 및 자원의 절감 효과를 얻는 것을 목적으로 하였다. 이 과정에서 기존의 설계에서 발생하는 자원과 시간의 소모를 축소시키는 효과를 얻을 수 있었다.

마이크로 부품의 제조에 비해 과다한 에너지, 공간, 자원을 소비하고 있는 공정을 개선하고자 추진되고 있는 초소형 공장에 대한 디지털 생산 기법의 적용을 통해 가상환경에서의 공정을 구축함으로써 이를 토대로 설비 변경과 생산 계획 일정 변경에 따른 생산량 및 장비 부하율의 예측과 사전 검증이 가능하게 되며, 사전 검증을 통한 생산 시스템의 최적화를 구성할 수 있게 되고 민첩하고, 유연성 높은 생산 시스템을 구축할 수 있을 것이며, 제한된 크기 내에서의 고밀도, 고집적화에 의해 정밀제어 및 조립, 검사를 요구하는 기술의 흐름에 대해 신뢰성 있는 사전 검증으로 Micro/Nano 공정의 발전을 촉진시킬 수 있을 것이다. 또한 가상현실 기반 기술을 이용하여 높은 신뢰성을 가지는 선행 검증 작업을 수행할 수 있어 생산기간 단축과 비용 절감 및 품질 향상 등을 통한 경쟁력 향상에 크게 기여할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

이 연구는 지식경제부의 차세대 신기술개발사업인 “차세대 지능형 Micro factory 시스템 기술 개발” 사업과 한국표준연구원의 위탁과제의 일부로 수행 되었으며 참여한 연구자의 일부는 2008년도 2단계 두뇌한국(BK)21 사업에 의해 지원되었음.

## 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) Choi, S. I., Park, S. H., Jung, Y. S., Subramaniyam, M., Jang, S. H., and Song, J. Y., 2007, “Micro-factory Evaluation Through Digital Assembly Simulation,” *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 16, No. 2, pp. 78~83.
- (3) 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.
- (4) Choi, Y. H., Park, H. M., Jang, S. H., and Park, J. K., 2006, “Structural Configuration Creating Method for Reconfigurable Micro Machine Tools,” *Proceedings of the KSMTE SpringConference 2006*, pp. 123~128.
- (5) Jayaram, S. and Jayaram, U., 1999, “VADE:A Virtual Assembly Design Environment,” *IEEE CGA*, Vol. 19, No. 6, pp. 44~50.