

초소형 공장의 객체지향 분석 및 디지털 모델구축

박상호*, 최성일⁺, 정영상⁺⁺, 송준엽⁺⁺, 이창우⁺⁺, 무랄리⁺⁺⁺, 장석호⁺⁺⁺, 김진원⁺⁺⁺⁺
(논문접수일 2006. 12. 1, 심사완료일 2007. 4. 4)

UML Analysis and Digital Model Implementation for Micro-factory

Sangho PARK*, Sung-Il CHOI⁺, Young-Sang JUNG⁺⁺, Joon Yub SONG⁺⁺, Chang Woo LEE⁺⁺,
Murali SUBRAMANIYAM⁺⁺⁺, Seckho JANG⁺⁺⁺, Jin Won KIM⁺⁺⁺⁺

Abstract

Recent manufacturing system requires development on new production technology to enable prompt manufacturing of diverse products. Most of the researchers have been working on micro-factory. Especially, focus on manufacturing of micro parts. Present manufacturing system consumes excessive resources in the form of energy and space to manufacture the micro parts. In this study, the micro lens module assembly system was modeled, analyzed with MST (Micro System Technology) Application Module and simulated through UML Language(Unified Modeling Language) with object-oriented logical model analysis method. Digital model of micro-factory was modeled, to execute the new paradigm of digitalization on products, resources and processes of micro-factory.

Key Words : Micro-factory(초소형 공장), Digital Manufacturing(디지털 생산), Digital Virtual Factory(디지털 가상공장), UML (Unified Modeling Language), PPR(Product, Process, Resource)

1. 서론

최근 자동화 제조 시스템 분야는 소비자의 요구가 다양해지고 급변하며 글로벌 기업간의 경쟁이 치열해짐에 따라 시

장 환경은 좋은 품질의 보다 다양한 제품을 빠르고 효율적이고 신속하게 생산할 수 있도록 하는 새로운 생산기술체계의 발전을 요구하고 있으며 이에 대처하기 위해 마이크로화라는 세계적인 추세에 부응하여 마이크로 부품의 제작에 주

* 충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단 (spark@cnu.ac.kr)
주소: 대전광역시 유성구 공동220 충남대학교 기계설계공학과
+ 충남대학교 대학원
++ 한국기계연구원
+++ 충남대학교 BK21메카트로닉스사업단
++++ 한국항공우주연구원

안점을 둔 초소형 공장(Micro-factory)에 초점을 두고 있다. 초소형 공장은 공장 자체 혹은 공장을 구성하는 기계장치 등의 크기가 마이크로 급이라는 측면보다는 마이크로 급의 부품들을 대상으로 하여 크기에 부합된 초소형의 생산 공장이라는 의미를 지니고 있다.

일반적인 제조 시스템에 비해 높은 생산 유연성을 가지고 있어 미래의 제조 시스템으로 주목 받고 있으며 현재 초소형 기계의 실현을 목표로 한 연구개발이 세계적으로 활발하게 이루어지고 있다⁽¹⁾.

초소형 공장과 디지털 생산을 통합한 디지털 초소형 공장의 구현을 통해 실시간 시뮬레이션으로 초소형화와 고정밀화 되어가는 제조 시스템의 제품(Product)과 자원(Resource)에 대한 검사 및 기타 응용분야에 활용하기 위한 적합성 검증이 사전에 필요하다⁽²⁾. 따라서 본 연구에서는 차세대 MST(Micro system technology) 응용모듈 기반의 초소형 렌즈모듈 조립 시스템에 대하여 디지털 생산의 개념을 적용시키는 초기 연구단계로서 시스템 설계에 대한 객체 중심의 논리적 모델 분석방법인 UML(Unified Modeling Language)을 통해 공정 시스템 분석 및 모형을 수행하였다. 초소형 공장을 구성하는 제조 시스템에 대하여 디지털화라는 새로운 영역을 구현하기 위해 3D솔루션을 활용한 초소형 공장 모델의 제품과 자원에 대한 디지털 모델 생성 및 이를 통한 초소형 공장을 구축하였다.

2. 디지털 초소형 공장의 공정 분석

디지털 생산(Digital manufacturing) 개념을 적용시키는 초기 연구 단계로서, 시스템 개념과 시스템 사고에 근간한 시스템 접근적 방법으로 초소형 공장을 객체 중심의 논리적 모델 분석방법인 UML을 사용하여 디지털 초소형 공장 모델에 대한 생산 운용전략과 밀접한 관계가 있는 제조시스템을 구축할 수 있는 방법론을 제시한다. 초소형 공장을 구성하는 제조시스템에 대하여 디지털 화라는 새로운 패러다임의 구현을 위해 초소형 공장의 디지털 모델을 구축한다. 설비, 제조환경 및 제조시스템에 해당하는 자원 모델인 클러스터 타입(Cluster type)의 렌즈모듈 조립 시스템에 대해 초소형 공작기계라 하며, 이에 대한 제품 모델인 렌즈모듈에 대하여 3D CAD시스템을 사용하여 모델링하고 모델링 되어진 초소형 공장의 3D 모델의 자원 및 제품에 대하여 디지털 생산 솔루션의 적용을 통해 초소형 공장의 구축에 따른 다양한 공정을 시뮬레이션 한다. 자원과 공간 절약에 대한 효율적인 절감 효과 및 유연성 향상에 대한 적합성 검증을 미리

수행하고, 공간 활용성 향상과 제조시스템의 축소, 소형화에 따라 구동 및 조립 시 대두될 수 있는 문제점에 대하여 수정 및 보완하며, 조립에 대한 공정성을 검증하여 제조상의 문제점들을 설계 단계로 다시 피드백 함으로서 제조 품질 및 조립 프로세스의 향상 및 생산라인의 품질 향상에 기여하도록 한다.

2.1 디지털 생산

디지털 생산은 생산 제조 분야의 업무를 디지털 시뮬레이션과 디지털 공정계획을 통하여 추진되는 제조업의 전 과정에 포함된 설계, 생산, 엔지니어링 정보와 노하우 등 생산시스템의 물리적, 논리적 구성 요소와 거동을 엄밀하게 모델링하여 통합된 디지털 모델을 구성하고 가상현실(Virtual reality) 기술과 3차원 CAD, 시뮬레이션 등 다양한 컴퓨터 기술들을 활용하여 생산의 전 과정에 걸쳐서 이에 관련된 각종 오류의 사전 검증과 의사결정을 디지털 환경에서 수행함으로써 신속하고 효율적인 제품개발 및 제조를 실현하려는 기술을 말한다⁽³⁾. 이러한 디지털 생산 기술을 사용하여 실제 작업 전에 생산 작업에서 발생할 수 있는 현상을 미리 분석하고 예측할 수 있는 특징을 지니고 있다. 실제 제조 시스템 적용에 필연적으로 발생하는 잦은 계획 수정에 따른 비용과 시간을 절감할 수 있는 기술이다⁽⁴⁾. 생산가공 시스템의 축소, 소형화에 따른 초소형공장 시스템에서의 시제품 제작 및 소품종 소량생산에 따른 시제품 제작은 큰 의미를 가지지 못하므로, 초소형 공장과 같은 산업에서는 작업 과정의 가상 구현을 통한 검증 작업 및 작업 과정의 최적화에 대해 디지털 시뮬레이션 기반의 생산방식이 필요하다⁽⁵⁾. 디지털 생산은 가상적으로 구축되는 디지털 공장에서 실제 생산과정을 시뮬레이션 하는 방법으로서 실제 초소형 공장 구현 시에 생산성 및 정밀도의 향상과 작업 환경 개선 등을 이룰 수 있다⁽⁶⁾.

2.2 초소형 공장의 PPR에 관한 객체 지향적 분석

제조 시스템은 그 구성 요소들이 복잡하게 얽혀져 있고, 그 시스템 설계를 위해서는 논리적인 방법을 통해 모델을 분석하는 것이 가장 중요하며, 이에 대한 시스템 특성을 묘사하는 방법으로써 다양한 객체 지향 방법론이 적용되고 있다. 객체 지향론에서 객체는 곧 부품이며, 부품을 조합하면 복잡하고 규모가 큰 시스템이라도 쉽게 구축할 수 있다. 또한 부품단위로 기능을 추가하고 변경할 수도 있고, 하나의 부품을 기반으로 다른 부품을 만들 수도 있으며, 동일한 부품을 다른 시스템에서 재이용 할 수 있다는 이점을 가지고, OMT(Object Modeling Technology), ROOM(Real-time Object Oriented Modeling), UML 등과 같은 방법들이 사

용되고 있다. UML방법은 생산 시스템에 존재하는 객체를 분석하고 객체가 가지는 속성과 기능을 체계적으로 정리할 수 있기 때문에 복잡한 시스템 분석에 유용하며 분석결과를 구현하는 데 직접 활용할 수 있다는 장점이 있다⁽⁷⁾.

본 연구에서는 공장 시스템에서 공정개선의 새로운 접근 방법인 시스템 분석법에 대해 객체지향 분석법인 UML을 가지고 시스템의 제품, 자원과 공정 관점에서 시스템에 대한 분석 및 모형화를 수행하며, 이 작업은 가상공장에서 UML 모델을 통한 명확한 분석방법과 외부환경에 쉽게 적응하기 위한 재사용성을 제공한다.

2.2.1 PPR(Product, Process, Resource)

초소형 공장과 같이 미소 부품에 대한 시스템의 효율적인 분석을 위해서는 자원과 더불어 자원이 생산하는 제품과 자원 또는 중간 단계의 제품이 가지는 공정 정보가 동시에 고려되어야 한다⁽⁸⁾.

따라서 본 연구에서는 효율적인 시스템 분석을 위하여 초소형 공장에 대한 분석의 관점을 제품, 공정, 자원에 대해 체계화시키고 이들을 일관되고 연속적으로 연계시키고자 한다. Fig. 1은 초소형 공장의 제품, 공정, 자원의 구성 개념을 분석한 객체 모델링에 대해 나타내고 있다.

2.2.2 UML

UML은 그래디 부치(Grady Booch), 제임스 럼버(James Rumbaugh), 이바 야콥슨(Ivar Jacobson)에 의해 탄생 된 객체 지향 모델링 및 분석 방법이다. UML은 객체지향 방법론을 적용할 때의 결과물을 나타내기 위한 도구이며 시스템 분석 및 설계 결과를 그림으로 나타내기 위한 국제 표준 표기법이다.

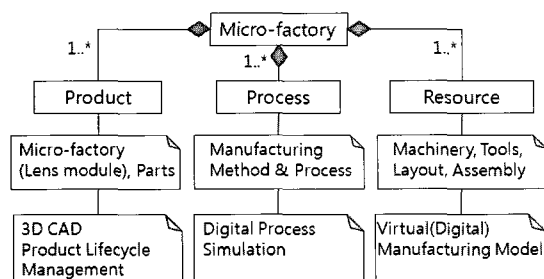


Fig. 1 Micro-factory Organization Concept by PPR

3. 디지털 초소형 공장 객체 지향적 분석

공정 설계를 위해 가장 선행되어야 할 작업은 구축하고자 하는 생산 공정에 대하여 특성을 파악하고 이를 분석하는 과정으로서, 본 연구에서는 제품모델인 렌즈 모듈과 자원모델들로 구성되어진 초소형 공작기계의 조합으로 구축되어지는 초소형 공장 및 이들 각각의 공정에 대하여 객체 지향 분석방법인 UML을 사용하여 시스템을 분석하며 이를 통하여 생성되어지는 모델에 대하여 모형화 하였다. 즉, 초정밀 가공기계 기술을 응용한 초소형 공장을 구성하는 마이크로 공작기계⁽⁹⁾에 해당하는 클러스터 타입의 렌즈모듈 조립시스템에 대하여 UML을 적용하여 시스템 분석을 하며 이를 기반으로 3D CAD 시스템의 디지털 생산 기법을 적용할 수 있는 초소형 공작기계 모델을 모델링하며, 이들의 조합으로 구축되어지는 초소형 공장에 대한 배치 및 초소형 제품에 해당하는 렌즈모듈에 대한 조립성을 시뮬레이션 하였다. 제품 모델로는 홀더, 쉴드, 렌즈, 스페이서로 구성된 렌즈모듈을 사용하였으며, 자원 모델로는 렌즈모듈 조립시 고정하는 렌즈모듈 기구부와 Y축의 움직임에 대한 기구부, X축과 Z축의 움직임에 대한 픽업 헤드 및 각각의 기구부를 설치 및 구동시키는 액츄에이터 서포터로 구성되어진 클러스터 타입의 렌즈모듈 조립시스템을 초소형 공작기계 모델로 사용하였다.

3.1 렌즈모듈 객체 지향적 분석

디지털 초소형 공장의 공정을 통하여 생산되어지는 제품 모델인 렌즈모듈 각각의 쉴드, 렌즈, 스페이서, 홀더의 부품들에 대하여 전처리 공정인 패키징 공정의 흐름에 대하여 행위 표시 여부에 따라 나누어지게 되는 클래스와 객체 다이어그램을 적용함으로써 전처리 공정의 행위에 대한 모델을 구축한다. Fig. 2는 초소형 공작기계에 대하여 객체 다이어그램을 적용한 것이다.

전처리 공정을 거쳐 생성 되어진 제품모델의 렌즈모듈에 대하여 클래스 다이어그램을 적용함으로써 각 부품들의 상속 및 포함 여부를 나타내며 이를 통하여 실제 하드웨어적인 배치와 연결 상태에 대한 각 컴포넌트의 포함 여부를 나타낸다.

3.2 초소형 공작기계와 공정 분석

초소형 공작기계는 클러스터 타입인 렌즈모듈 조립 시스템에 대한 배치와 자원들에 의해 구축 된다. 제품모델에 해당하는 렌즈모듈 각 부품에 대한 전처리 공정의 객체 다이어그램과 이를 통해 생성 되는 클래스 다이어그램과 그리고 자원모델인 초소형 공작기계 각 부품에 대한 상속 및 의존여

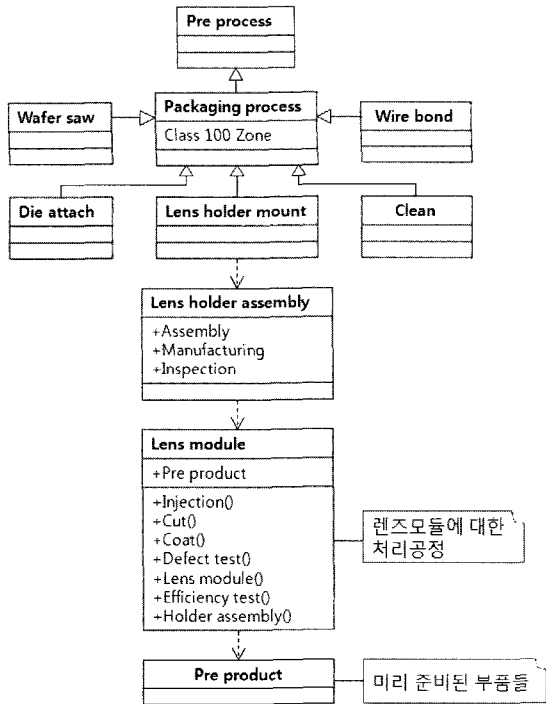


Fig. 2 Object Diagram of Fabrication Pre-process

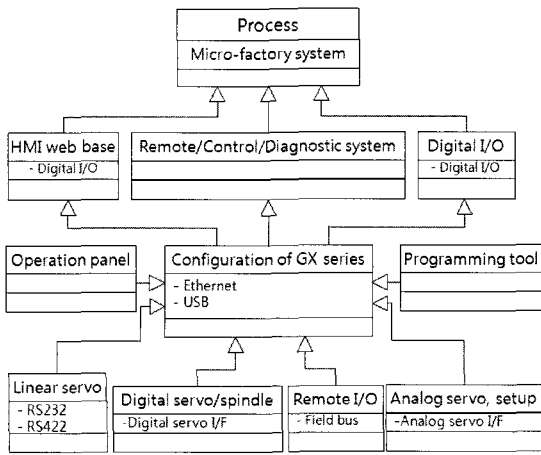


Fig. 3 Class Diagram of the Fabrication Process

부를 나타내는 객체 다이어그램을 통해 초소형 공장을 모델링 하였을 때, 이들 초소형 공장의 구동을 통하여 발생하는 공장 내부 신호처리들에 대한 공정은 Fig. 3에서와 같이 나타내어진다. 이때 공작기계의 공정 행위 여부에 대해 클래스 다이어그램으로 공정 흐름의 상속 및 의존성을 표현한다. 각

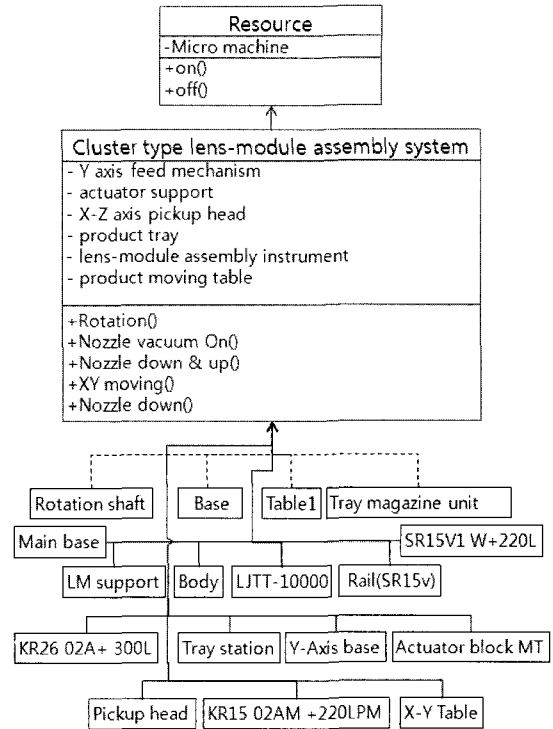


Fig. 4 Object diagram of the Fabrication Micro-machine

각의 구동부위는 초소형 공작기계의 구성과 초소형 공장의 구축을 통해 동적 요소를 부여한다. 렌즈모듈 조립시스템인 초소형 공작기계는 제품모델인 렌즈모듈 부품을 조립하는 자원으로 분류한다. 공정 분석을 위해 구축된 초소형 공장의 자원모델인 회전테이블과 선반들을 추가 배치를 하여 초소형 공장의 공정분석이 이루어지는 행위에 대해 각각의 흐름 및 포함관계를 Fig. 4와 같이 객체 다이어그램을 통해 나타낸다. 이때, 최상위 자원은 초소형 공작기계로서 제품모델인 렌즈모듈과 클러스터 타입의 모듈러를 포함하게 된다. 또한 객체 다이어그램은 초소형 공작기계에 대한 각각의 구동 여부에 의해 분류되는 부품과 이들의 공정에 대해 나타내며 다음 하위단계에서 초소형 공작 기계에 대한 제품 및 자원의 구성 부품들을 포함하게 된다.

3.3 초소형 공장 분석

초소형 공작기계와 공정분석을 위한 자원모델인 회전 테이블 및 선반들에 의해 Fig. 5와 같이 초소형 공장을 구축한다. 이에 대하여 메시지의 순서를 시간의 흐름여부에 대해 나타내는 Fig. 6과 같은 순서 다이어그램을 적용함으로써 클

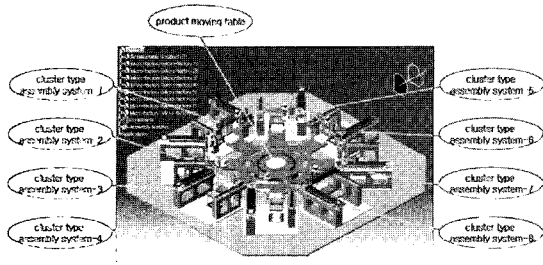


Fig. 5 Object of the fabrication Micro-machine

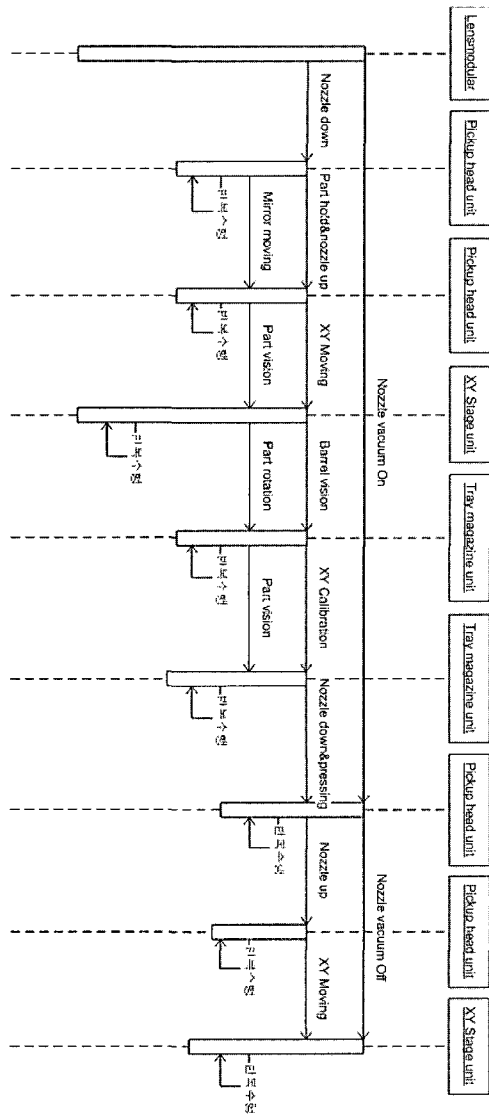


Fig. 6 Sequence diagram of Fabrication for Micro-machine

리스트 타입의 렌즈모듈 조립시스템과, 이를 통하여 생산되어지는 렌즈모듈을 이송시키는 제품 이송테이블에 대해, 시간에 따른 객체간의 메시지 교환에 관점을 둔 다이어그램으로 초소형 공장을 표현할 수 있다.

자원으로 구성되어진 초소형 공장에 대해 Fig. 7과 같이 제품 모델인 렌즈모듈의 조립공정에서 발생할 수 있는 간섭 및 충돌에 대한 검사를 수행 하고 이들의 간섭결과를 파악한다.

4. 디지털 초소형 공장 모델 구축

초소형 공장에 대한 배치 이전에 동작기계를 사전 시뮬레이션 함으로써 공장 구동시 발생할 수 있는 간섭 및 충돌을 확인하고 이에 대하여 Fig. 7에서 보는 바와 같이 Y축 액츄에이터와 X축 픽업헤드의 행정에 대하여 수정하였다⁽¹⁰⁾. 이렇게 수정 및 보완된 초소형 동작기계 모델에서 제품모델인 렌즈모듈에 대한 조립공정의 간섭 및 충돌에 대한 검증을 위해 자원모델 각각에 대하여 제품을 적재하게 되는 선반 및 선반에서 제품을 이송하는 이송테이블을 추가로 구성한다. 이렇게 구성되어진 초소형 동작기계는 제품모델인 렌즈모듈 각각의 부품에 대해 조립공정을 위한 배치를 수행한다. 조립공정을 위한 초소형 동작기계의 배치는 홀더, 렌즈-3, 스페이스-B, 렌즈-2, 스페이스-A, 렌즈-1, 실드의 부품으로 구성된다. 초소형 공장의 2D 모델의 배치는 제품 모델에 대한 각각의 조립공정을 수행하는 동작기계 그리고 완성품을 선반으로 이송하는 동작기계 순서로 이송 테이블에 대한 원형을 중심으로 하여 초소형 동작기계를 패턴 방식으로 배치한다.

동작기계와 자원모델들의 배치를 통해 구성된 초소형 공장에 대하여 제품모델에 대한 조립 시뮬레이션의 수행을 통해 자원들의 기구학적 특성을 부여하며 공정 모델에 대한 시뮬레이션으로 정해진 제한된 범위 내에서 초소형 동작기계와 자원 모델을 배치한다. 이러한 배치를 통하여 제품모델인 렌즈모듈의 조립 및 이송 공정에 대한 검증을 수행한다.

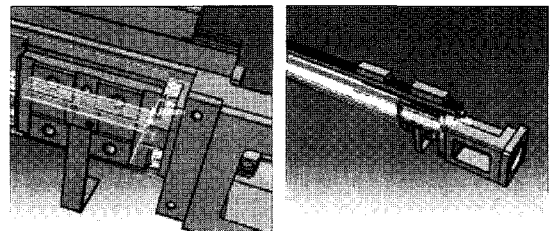


Fig. 7 Interference checking of the load actuator

UML을 통하여 분석한 초소형 공장의 공정모델에 디지털 생산기술을 적용하여 공정을 구축하였다. 제품 모델의 조립 공정은 퍼트차트(Pert chart)의 공정흐름 및 공정순서에 따라 하나의 완성품이 되기까지를 한 사이클로 구성하였다. 이들 각각에 대하여 초소형 공작 기계의 시뮬레이션 조건과 같은 행정 당 왕복 시간인 10mm/s로 조립공정에 대한 시뮬레이션을 수행 하였다. 초소형 공작기계와 그에 따른 제품모델의 배치로 구성 되어진 초소형 공장은 각각의 제품모델에 대한 조립공정을 통해 총 64회의 동시 시뮬레이션을 수행하였다.

5. 결론

제조에 비해 과다한 에너지와 공간 그리고 자원을 소비하고 있는 마이크로 부품의 공정을 개선하고자 추진되고 있는 초소형 공장의 실현은 제한된 범위 내에서의 고밀도 및 고집적화에 의해 정밀한 제어 및 조립 그리고 검사에 따른 신뢰성 있는 사전 검증이 필요하다. 이에 본 연구에서는 MST 응용모듈 기반의 초소형 공장을 구성하는 클러스터 타입의 렌즈모듈 조립시스템인 초소형 공작기계의 구동부의 자원모델과 이를 통해 조립공정을 수행하는 제품모델인 렌즈모듈 그리고 이들 각각에 대하여 공정을 적용한 모델에 대하여 객체 지향적 분석방법인 UML을 적용하여 분석하고 이를 토대로 3D CAD와 디지털 생산기술을 적용하여 시뮬레이션 함으로써 조립공정 구동시 발생할 수 있는 간섭 및 충돌에 대한 문제점 및 유효성 검증을 수행하였다.

객체 지향적 분석방법인 UML의 적용으로 자원과 제품 및 공정에 대하여 정적모델과 동적모델 및 흐름에 대한 UML 분석모델을 얻을 수 있었으며, 이를 바탕으로 생성되어진 자원과 제품 및 공정에 대한 모델링을 통해 초소형 공작기계 모델을 구축하였다. UML 분석은 앞으로 점차 미세화 되는 기술의 흐름에 대한 접목을 통해 Micro/Nano 공정의 발전을 촉진시킬 수 있으며, 고밀도 및 고집적화에 의한 정밀한 제어와 조립 그리고 검사에 따른 높은 신뢰성을 가지는 작업을 가상현실기반으로 수행할 수 있을 것으로 본다.

후 기

이 논문은 산업자원부의 차세대 신기술개발사업인 “차세대 지능형 Micro factory 시스템 기술 개발” 사업 중 “Re-configurable u-factory 조립통합제어 기술개발” 프로젝트

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

참 고 문 헌

- (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) Rendell, J., 2002, “The Digital Factory Decade,” *3D PLM Network*, Vol. 14.
- (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., 2001, “Introduction to Digital Shipbuilding,” *Workshop of the Society of CAD/CAM Engineers*, pp. 299~340.
- (6) 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.
- (7) Shin, J. G., Lim, H. J., Choi, Y. L. and Woo, J. H., 2004, “Introduction of Digital Manufacturing,” *Workshop of the Society of CAD/CAM Engineers*, pp. 38~42.
- (8) Kim, G. Y., Park, T. K., Noh, S. D., Hahn, S. D. and Shin, J. G., 2005, “Work flow Analysis of Shipbuilding for Digital Virtual Manufacturing,” *Proceedings of Annual Conference of the Society of CAD/CAM Engineers*, pp. 1~6.
- (9) Song, J. Y. and Lee, C. W., 2005, “The Development of Assembly and Control Reconfigurable u-Factory,” *Proceedings of the 1st Intelligent Microfactory System International Workshop*.
- (10) Choi, S. I., Park, S. H. and Jung, Y. S., 2007, “Micro-factory Evaluation Through Digital Assembly Simulation,” *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 16, No. 2, pp. 78~83.