

디지털 마이크로 밀링머신의 조립성 분석

최성일⁺, 박상호*, 무랄리⁺⁺

(논문접수일 2007. 6. 20, 심사완료일 2007. 8. 6)

Analysis of Assembly Relationship for Digital Micro Milling Machine

Sung-il CHOI⁺, Sangho PARK*, Murali SUBRAMANIYAM⁺⁺

Abstract

Assembly is mentioned as important process saving time and cost where we produce the machine with many parts relationships. In this study, parts assembly relationship is analysed for assembly information of micro milling machine which have been developing for research. Liaison diagram, datum flow chain and assembly tree are applied to discuss assembly characteristics of micro milling machine model. We can find out the characteristics of micro machine assembly and discuss about facility of assembly. Some analysis in this paper about micro milling machine will give a useful tools for assembly. We knew that the predicted results from analysis in this study are alignment and clearance among the parts. The 3D model of micro machine which is studied in this paper is not a complete model. Main parts of a micro milling machine are used and presented.

Key Words : Assembly(조립), Micro-Machine(초소형 공작기계), Assembly Characteristic(조립특성), Liaison diagram(접촉 다이어그램), DFC(Datum Flow Chain)

1. 서론

최근의 생산기계는 끊임없이 진화하여 마이크로나 나노 단위 기계 부품의 가공을 요구하고 있으며 이를 초소형 기계 또는 마이크로머신이라고 부른다. 마이크로머신이라는 말에는 “작다”라는 의미가 포함되는데 본 논문에서는 중요치수 가 작은 부품이나 기계를 조립하거나 생산해 내는 분야를 의

미한다. 산업용 마이크로 머신의 제품개발 핵심은 미소영역에서의 물리현상 및 물성에 관한 과학적 기초지식에 근거하여 주어진 기능과 성능 사양을 만족시킬 수 있는 미소 기능요소설계 제작 기술을 확보하고, 이를 실험적으로 검증하는데 있다. 마이크로 제품에서도 이에 따른 조립 관련 평가 시스템이 필요하게 된다. 조립은 생산기계로부터 가공되어진

* 교신저자, 충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단 (spark@cnu.ac.kr)
주소: 대전광역시 유성구 공동220 충남대학교 기계설계공학과
+ 충남대학교 대학원 기계·기계설계·메카트로닉스공학부
++ 충남대학교 BK21메카트로닉스사업단

개개의 부품을 여러 체결 방법에 의해 완성품을 만들어 내는 생산의 마지막 단계로 수작업이나 조립 로봇 등을 이용하여 상대적으로 노동력이 집중되어 있는 공정이다⁽¹⁾. 이 중에서 수동 조립은 각 조립공정을 기계가 아닌 인간의 손을 이용한 인간중심의 조립을 의미한다. 이러한 수동 조립은 작업점, 작업 공간 할당, 온도, 습도, 잡음 등의 작업 환경과 회사의 여러 제반 조건에 따라 유동적이므로 생산성이 떨어지고 일정하지 않을 수 있다. 한편 산업 사회의 경향은 항상 인건비가 증가하는 쪽으로 발전하고 있으며 이러한 수 조립에 의한 결함을 최소화 시키면서 생산성을 높이고 신뢰성 있는 제품을 대량 생산 하기 위해서 자동 조립 시스템을 구축하게 되었다. 자동 조립이란, 현재의 수동 조립을 컴퓨터에 의해 제어 가능한 기구나 기계, 전기적인 장치를 이용하여 생산성의 향상, 유연성, 신뢰성을 높일 수 있도록 조립 공정을 무인화하는 것이다. 하지만 이러한 완전 자동화의 유용성은 품질 개선, 매출의 증가, 노사 관계의 개선, 회사 이미지의 제고 등 포착하기 어렵고 예측할 수 없는 측면에서 존재하며, 회사 여건상 불가능하고 불합리한 측면이 많은 부분을 차지하고 있다. 따라서 조립공정을 자동화 할 때 다른 공정에 비해 그 기술적, 경제적 위험 부담이 매우 높고 제품에 따라 조립 시스템이 달라지기 때문에 완전 자동화를 실행한다는 것은 매우 어려운 일이다. 이러한 현장에서의 조립 작업은 많은 비용을 지불해야 하기 때문에 최근에는 컴퓨터설계 시스템을 이용한 가상 조립작업을 수행하고 있다. 가상 조립은 CAD 시스템을 이용하여 컴퓨터상의 가상 기계와 가상 공장에서 모의 조립작업을 수행함으로써 사전에 조립공정에 대한 평가를 수행할 수 있게 한다. 가상공장은 많은 업체에서도 적용하고 있는 분야이다. 한편, 이러한 많은 모의 조립 작업을 수행함에 있어서 그 목적은 대부분 제품의 외형디자인과 부품들 간의 간섭 등을 점검하는 것이다. 그러나 좀 더 조립에 대한 중요성을 고려한다면 각 부품들이 실제 조립을 할 때 어떠한 특성과 절차를 갖는지를 파악해야 할 것이다. 아울러 이러한 정보들을 제공하는 분석 방법이 필요하다.

본 논문에서는 초소형 공작기계 조립의 분석 정보를 제공하기 위하여 가상 부품들을 이용하여 마이크로공작기계의 조립 연관성을 분석한다. 가상 환경에서의 평가는 디지털 시뮬레이션 기술을 적용하여 초소형 공작기계의 조립성을 평가하는 연구가 있었다^(2,3). 초소형 부품의 조립에 관한 연구를 살펴보면 Lee, C. W. 는 수 밀리미터 단위의 마이크로렌즈 모듈을 조립하기 위해 자가조립 시스템을 개발하였다⁽⁴⁾. 유럽에서는 초소형 부품을 이동하고 잡는 방법에 관한 연구가 이루어 지고 있다. Gauthier, M. 등은 액체 내부에서 초소

형 부품을 이송하여 조립을 하는 것을 연구하였다⁽⁵⁾. Dafflon, M. 등은 마이크로 집계를 이용하여 50마이크로 크기의 볼을 잡는데 있어 힘과 그립 핑거의 정렬성, 접근성 등을 연구 하였다⁽⁶⁾. Dafflon, M. 등은 또한 Bubble을 이용하여 초소형 부품을 그립하였고⁽⁷⁾, Lorent, B. 등은 그립퍼의 끝에 급성 얼음을 생성하여 초소형 부품을 잡고 다시 가열하여 부품을 놓는 연구를 하였다⁽⁸⁾. 마이크로 부품을 조립 하기 위하여 부품의 회전방법과 공구가 필요한데 마이크로 로봇을 이용하여 직육면체의 부품을 회전시켜서 붙이는 실험 및 연구가 이루어졌다⁽⁹⁻¹¹⁾.

2. 부품의 조립성 분석정보

2.1 마이크로 공작기계

마이크로 공작기계는 부품의 크기가 일반 공작기계보다 상대적으로 매우 작다. 마이크로 공작기계는 수mm~수백nm 단위로 가공하는 기계일 뿐만 아니라 공작기계 자체의 크기도 테이블에 올려놓을 수 있을 만큼 작은 크기를 갖는다. Fig. 1 (a)는 본 연구에서 이용한 마이크로 밀링머신의 모델을 보여주고 있다. 본 마이크로 밀링머신은 마이크로 단위의 정밀도를 갖는 유압기계의 부품을 가공하기 위하여 개발되고 있다. Fig. 2는 분리된 마이크로 밀링머신을 보여준다. 본 연구에서는 세 부분의 모듈로 분리하였는데 (a)는 마이크로 밀링머신이 가공할 부품을 고정하는 척 모듈, (b)는 가공 축을 나타내는 스피들 모듈 그리고 (c)는 지지대, 컬럼 그리고 X-Y 스테이지를 보여준다.

2.2 분석 자료에 이용된 조립평가 이론

제품을 조립하는데 있어서 이를 평가하는 방법은 다양한 관점에서 시도 될 수 있다. 비용과 시간 그리고 공정에 대한 평가 등 여러 가지가 있을 수 있는데 본 연구에서는 부품들 간의

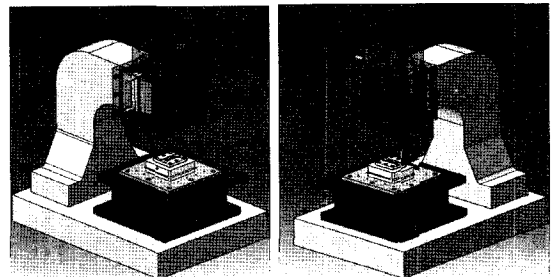


Fig. 1 Micro milling machine Model

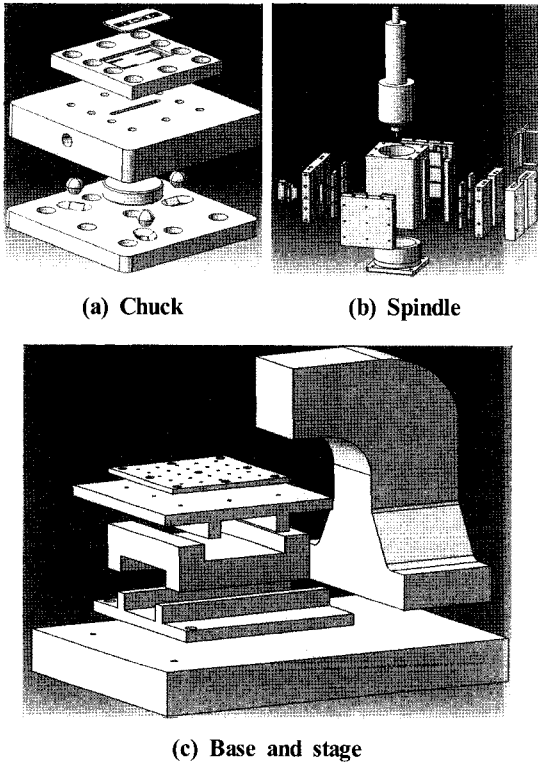


Fig. 2 Exploded diagram of micro milling machine

조립 특성을 분석하는데 그 목적을 두었다.

2.2.1 Liaison diagram

접촉 다이어그램(Liaison Diagram)은 부품들과 연결부들을 나타내는 다이어그램이다⁽¹²⁾. 부품을 노드로, 연결성을 선으로 나타낸 간단한 그래프로서 연결 정보를 증강 시킬 수 있다. 접촉 다이어그램은 부품간의 조립 순서를 알아볼 수 있는 방법이다. 따라서 조립체를 이루는 부품 결합면 정보는 포함하고 있지 않다.

2.2.2 DFC(Datum Flow Chain)

DFC는 구속과 조립 특징형상 그리고 공차 내용을 포함할 수 있는 부품간의 결합 가능성을 나타낼 수 있는 Top-down 모델을 생성하게 된다. DFC는 공차가 아니고 공차를 만족하게 하는 방법을 설계할 수 있게 한다. 부품들이 위치될 구속 목록을 구축한다. 구속 구조물과 DFC를 설계할 때마다 그 구조물의 공차능력을 해석할 수 있다⁽⁹⁾. 이 방법은 조립 순서도와 가공 방법이 수정 사항을 발견하기도 한다. 또한 DFC는 접촉 다이어그램과는 다르게 순환하지 않는 방향성을 갖는다. 부

품들 간의 관계는 짝(mate)의 관계와 맞닿음(contact)관계가 있을 수 있다. 이들 관계에 따라 특수한 조립의 방법이 필요하게 된다. 조립품 중의 대다수는 조립이 어렵거나 특별히 중요하게 고려해야 할 조립 부분이 있는데 이러한 관계를 중요특성(KC: Key Characteristic)이라고 한다. 즉, 제품의 중요 특성이 되는 곳이라고 할 수 있다. KC는 한 제품을 조립하는 순서 내에서 여러 개가 발생 할 수 있으며 이 KC를 중심으로 조립계획을 세워야 한다.

3. 조립 연관성 분석

본 연구에서는 마이크로 밀링머신을 구성하는 부품들에 대하여 적용하였는데 Table 1은 Fig. 2에서 보여준 가상 마이

Table 1 Part list of Micro Milling Machine

Part No.	Part Name	Qty
1	Base	1
2	Column	1
3	Stage Base	1
4	XY Stage Bottom	1
5	XY Stage Top	1
6	Bread Board	1
7	Coupling Base	1
8	Ball	3
9	Magnet Cylinder	1
10	Coupling Top	1
11	Vacuum Cuck	1
12	Under Plate	1
13	Quill	1
14	Spindle	1
15	Spindle holder	1
16	Fixed block	1
17	Porous	24
18	Quill Cover	3
19	Split Cover	2
20	T-Magnet	2
21	T-Coil	2
22	Encoder	1
23	Encoder Bracket	1

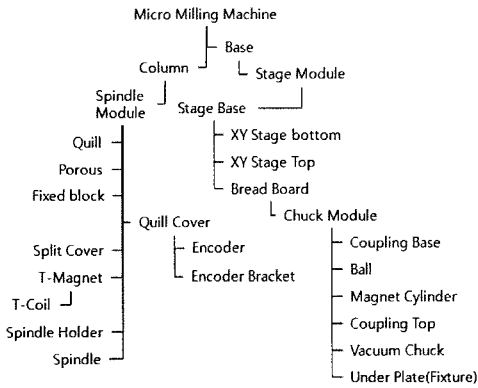
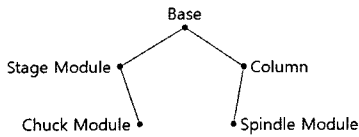
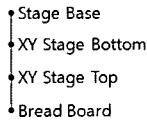


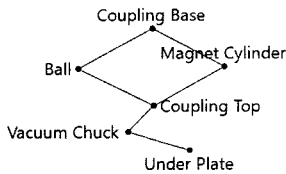
Fig. 3 Assembly tree of micro milling machine



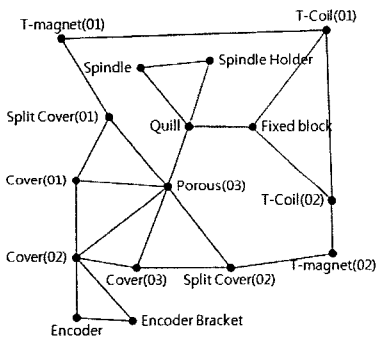
(a) Liaison diagram of product main assembly



(b) Liaison diagram of Stage assembly



(c) Liaison diagram of table assembly



(d) Liaison diagram of spindle assembly

Fig. 4 Liaison diagram of Main, stage and spindle assembly

크로밀링머신을 구성하는 부품들의 리스트를 보여주고 있다. Fig. 2의 3D 모델은 주 부품들을 중심으로 구성되어 있으며 현재 체결 등의 부품은 생략되어 있다.

3.1 Product Structure

Fig. 3은 마이크로밀링머신을 구성하는 부품의 구성도를 보여주고 있다. 베이스와 컬럼을 중심으로 스테이지와 스핀들로 구성되어 있다.

3.2 Liaison Diagram

Fig. 4는 부품들의 결합 관계를 보여주는 접촉 다이어그램이다. (a)는 4개의 모듈인 컬럼, 스테이지, 척, 그리고 스핀들의 관계이고 (b)는 스테이지 모듈 (c)는 척 모듈의 테이블의 접촉 다이어그램을 보여주고 있다. (d)는 스핀들 모듈을 구성하는 부품들의 결합 관계를 보여주고 있다. Fig. 4에서 마이크로 밀링머신의 부품의 결합 특징을 알 수 있는데 스핀들을 제외하고 비교적 단순한 순차적 결합 형태임을 알 수 있다. Fig. 5는 부품 결합의 관계를 전체적으로 보여주고 있는데 이러한 다이어그램을 바탕으로 조립 순서와 조립 특성을 분석하고 계획을 수립할 수 있다.

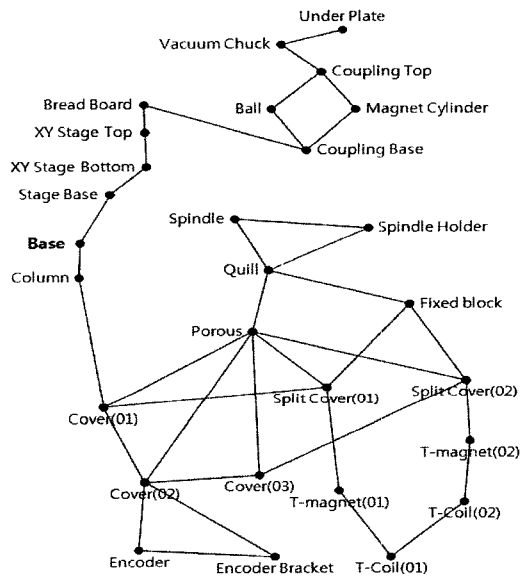
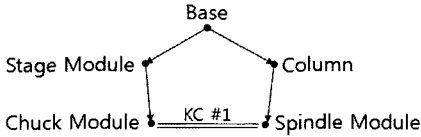


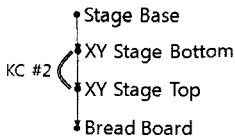
Fig. 5 Liaison diagram for related each module of micro milling machine

3.3 Datum Flow Chain

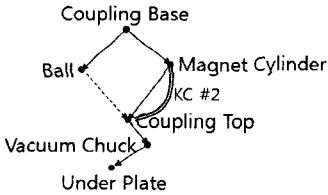
Fig. 6은 마이크로밀링머신 부품들의 조립 관계를 나타내는 DFC를 보여준다. 마이크로밀링머신은 3가지 중요특성(KC: Key Characteristic)을 갖고 있는데 Fig. 6에서 보는 바



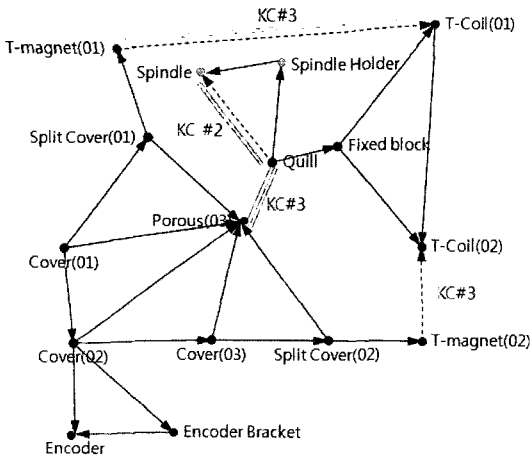
(a) Datum flow chain among the main module



(b) Datum flow chain of stage module



(c) Datum flow chain of chuck module



(d) Datum flow chain of spindle module

Fig. 6 DFC diagram of micro milling machine for each assembly module. KC#1 is positioning, KC#2 is alignment between the mated parts and KC#3 is clearance

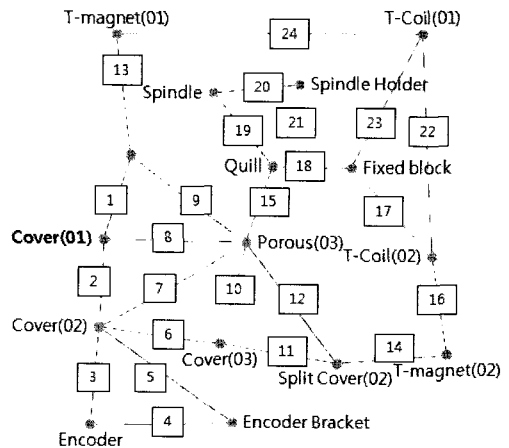
와 같이 위치의 중요특성(KC#1)과 정렬의 중요 특성(KC#2) 그리고 여유에 대한 중요특성(KC#3)를 가지고 있다. KC#1은 스펀들과 척 모듈간의 위치라고 할 수 있다. 즉 가공축과 공구대의 관계가 KC가 된다. KC#2는 스테이지의 X-Y 테이블에서 상하 테이블은 정확한 수직 움직임을 결정할 수 있도록 정렬되어야한다. 그리고 척 모듈에서는 커플링베이스와 커플링 상판 사이에 존재하는 마그넷실린더와 커플링 상판과 정렬을 이루어야 하며, 특히 3개의 볼은 커플링의 베이스와 상판의 사이에서 “맞닿음(contact)”상태이므로 조립 순서에 있어서 결합의 관계와는 구별하여 취급하여야 한다.

3.4 Assembly sequence diagram

본 연구에서 분석하는 마이크로 밀링머신은 개발 초기단계의 모델로 주로 순차적 결합이 되도록 구성되어 있다. 그러므로 3차원 모델과 Fig. 4 (d)와 같이 회전 모듈을 제외 하고는 단순한 일렬형으로 조립될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 비교적 부품이 많은 회전모듈에 대하여 조립 순서를 분석하였

1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24

(a) Table of assembly number



(b) Assembly number with liaison diagram

Fig. 7 Table of assembly number and assembly relationship between the mating or contacting parts for analysis

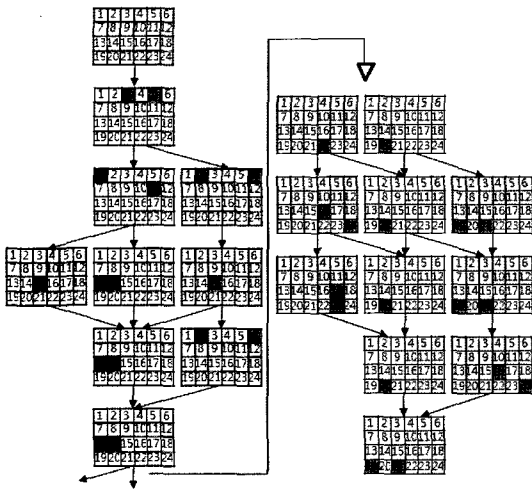


Fig. 8 Possible assembly sequence of spindle module

다. Fig. 7은 부품들 간에 조립 되는 쌍들의 조립 번호를 부여한 그림이다. 여기서 번호의 순서는 특별한 의미가 없으며 단지 조립관계에 부여한 번호이다. 조립 번호와 접촉 다이어그램을 이용하여 조립 가능한 조립의 순서를 분석할 수 있는데 Fig. 8은 회전 모듈의 가능한 조립 순서 그래프를 보여준다. 분석 대상인 마이크로밀링머신 모델의 회전 모듈은 현재 독립된 블록형태의 부품으로 이루어져 있어서 초기 5개의 독립된 조립 쌍들로 출발 할 수 있다. 이 5개의 조립 쌍에 조립 순서를 고려하여 분리할 경우 불필요하게 많은 양의 조합이 발생하기 때문에 본 논문에서는 Fig. 8에서 볼 수 있는 바와 같이 초기 5개의 조립 쌍이 완성된 상태에서 조립을 시작하는 것으로 하였다. 여기서 조립번호 19는 KC#2, 15, 16, 24는 KC#3를 가지므로 이를 고려하여 조립 라인을 결정해야한다. 제품의 조립과정은 부품들의 결합 또는 맞닿음 상태의 관계를 갖는다.

4. 결론

본 연구에서는 마이크로밀링머신의 부품들의 조립 연관성에 대하여 분석하였다. 분석 대상은 초소형 공작기계인 마이크로밀링머신의 모델을 이루고 있는 주된 부품이었다. 3차원 모델링 된 마이크로 밀링머신의 부품들을 조립 연관성을 고려하여 접촉 다이어그램, DFC 그리고 조립 트리 등을 분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 분석된 정보는 마이크로 밀링 머신의 부품들 간의 조립 연관성을 파악할 수 있었다.
- (2) 이러한 분석 자료를 통하여 조립 시 중요한 부분을 찾고 이에 대한 조치를 취할 수 있는 정보를 얻을 수 있었고 마이크로 밀링머신의 부품간의 조립 특성을 분석 할 수 있었다.
- (3) 조립 순서는 회전 모듈에서 많은 경우의 수가 발생 할 수 있는데 중요특성이 되는 조립은 이송장치와 회전축의 중심 정렬, 회전축의 외형 틀과 상하 그리고 부품20번과 21번 사이의 여유에 있었다.

실제 마이크로 밀링 머신에서는 체결을 위한 볼트 부품과 부품들 간의 조립공차 등이 고려되어야 한다. 본 연구에서는 이러한 마이크로밀링머신의 3차원 모델의 부품을 고려하였으므로 향후 본 연구에서 배제되었던 부품의 정보들을 고려하여야 할 것이다. 본 연구에서는 제품을 조립하기에 앞서 발생 할 수 있는 조립특성을 분석하는 몇 가지 방법을 이용하였다. 그러한 분석 데이터는 조립 시 소요되는 시간과 비용을 절약하기 위한 계획을 세우는 데 도움을 줄 수 있다.

후기

이 논문은 산업자원부의 차세대 신기술개발사업인 “차세대 지능형 Micro factory 시스템 기술 개발” 사업 중 “Reconfigurable u-factory 조립통합제어 기술개발” 프로젝트의 위탁과제로 수행되었으며 참여한 연구자의 일부는 “2단계 BK21 사업”의 지원비를 받았다.

참고 문헌

- (1) Koren, Y. and Ulsoy, A. G., 1997, “Reconfigurable Manufacturing Systems, engineering Research Center for Reconfigurable Machining Systems (ERC/RMS),” Report #1, The Univ. of Michigan, Ann Arbor.
- (2) 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.
- (3) Park, S. H., Choi, S. I. and Jung, Y. S., 2007, “UML Analysis and Digital Model Implementation for Micro-factory,” *Transactions of the Korean Society*

- of Machine Tool Engineers*, Vol. 16, No. 3, pp. 44~49.
- (4) Lee, C. W., Song, J. Y. and Ha T. H., 2005, "The Design of a Self Adjustment Module for μ -part Assembly," *Proceedings of the Korean Society of Machine Tool Engineers Spring Conference 2005*, pp. 401~406.
- (5) Gauthier, M., Heriban, D., Regnier S., Gendreau D., Regnier S., Lutz P. and Chaillet N., 2006, "Micro-factory for submerged Assembly: Interests and Architectures," *International Workshop on Micro Factories*.
- (6) Dafflon, M., Lorent, B., Clavel R., Beyeler F. and Nelson B. J., 2006, "Characterization of Micro Manipulation Tasks Operated with Various Controlled Conditions by Micro Tweezers," *International Workshop on Micro Factories*.
- (7) Dafflon, M. and Lorent, B., Driesen W. and Clavel R., 2006, "Characterization of an inertial Micro Gripper Base on Adhesion force," *International Workshop on Micro Factories*.
- (8) Beatriz Lopez, W., Michael, G. and Nicolas, C., 2006, "Principle of a Submerged freez Microgripper," *International Workshop on Micro Factories*.
- (9) Bohringer, K. F., Fearing, R. S. and Goldberg, K. Y., 1999, "Microassembly," *handbook of Industrial robotics*, Chapter 55, Wiley, New York, NY, pp. 1045~1066.
- (10) Arai, F., Ando, D., Fukuda, T., Nonoda, Y. and Oota, T., 1995, "Micro manipulation based on micro physics," *In Proceedings of the 1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and systems*, pp. 236~241.
- (11) Moll, M., Goldberg, K., Erdmann M. A. and Fearing, R., 2002, "Aligning parts for micro assemblies," *Assembly automation*, Vol. 22, No. 1, pp.46~54.
- (12) Whitney, D. E. 2004, *Mechanical Assemblies: Their Design, Manufacture, and Role in Product Development*, Oxford University Press.