IWMF2010에서 나타난 마이크로 팩토리 연구의 기술동향

박 종 권
한국기계연구원
나노융합 · 생산시스템연구본부
jkpark@kimm.re.kr

이 성 철
한국기계연구원
나노융합 · 생산시스템연구본부
sclee@kimm.re.kr

노승국
한국기계연구원
나노융합 · 생산시스템연구본부
cniz@kimm.re.kr

김 병 섭
한국기계연구원
나노융합 · 생산시스템연구본부
bkim@kimm.re.kr

1. 서 론

마이크로 팩토리 기술에 관한 국제학회 IWMF 2010 (International Workshop on Microfactories 2010)이 2010년 10월 24일부터 27일까지 한국 대전시에 위치한 대전컨벤션센터(DCC)에서 개최되었다. 본 학회는 1998년 1회 일본 츠쿠바 AIST에서 처음 개최된 이래, 스위스 프라이브루크(2000년), 미국 미네아폴리스(2002년), 중국 상하이(2004년), 프랑스 베장송(2006년), 미국 노스웨스턴대학교(2008년)에서 격년으로 개최되어 왔으며 올해로 7회를 맞이하였다.

21세기 5대(IT/NT/BT/ET/ST) 첨단산업의 전개로 생산부품들은 점차 미소화 되어가며 높은 정밀도를 요구한다. 이에 대응하기 위해서 마이크로 팩토리가 탄생하였다. 마이크로팩토리 기술은 필요한 만큼 최소한의 가공 능력과 고정밀의 미세 가공 능력을 보유한 초소형 공작기계를 중심으로 한 생산기술 및 응용 기술을 일컫는다. 마이크로 생산기술, 가공기술, 조립기술을 통한 바이오 기술, 더 나아가 마이크로/나노기술 분야의 응용에 대한 것이 본 학회에서 다루는 주요 관심 분야이다.

본 학회에서는 이상의 기술과 관련하여 130 여편의 논문이 제출되었고, 참석국가의 면모도 다양하였다. 한국, 미국, 일본, 독일 뿐만 아니라 스위스, 프랑스, 대만, 인도, 핀란드 등 마이크로 팩토리 관련 연구가 선진국을 중심으로, 다양한 국가에서 연구되고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 국내 논문이 60% 정도 차지하는 것으로 봤을 때, 이제 국내

에서도 소형 정밀기계, 바이오 기술에 대한 관심이 높고, 그에 대한 많은 연구 투자가 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다. 이와 같이 마이크로 팩토리 분야는 미래에도 지속적으로 육성되어야 하는 분야로 자리매김 하고 있다.

2. IWMF2010 연구발표 내용

IWMF 2010에서는 다양한 주제의 연구결과가 발표 되었지만, 본 학회의 주요 관심사는 마이크로 가공 및 생산 방법에 대한 것이었다.

학술대회 첫날 10월 25일 독일 하노버 라이프니츠대학 Berend Denkena 교수를 대신하여 참석한 Möhring 박사가 "마이크로팩토리의 혁신적 요소 기술" 에 대해 기조강연을 하였고, 10월 26일에는 삼성전기 고병천 부사장의 "마이크로 디바이스와 마이크로 센서의 산업동향" 의 기조강연과 함께 양일간 12개의 세션에서 130여편의 논문이 발표되었다.

전체 세션은 마이크로 팩토리 개념, 마이크로 로봇 및 기구, 마이크로 엑츄에이터, 마이크로 가공, 마이크로 EDM, 하이브리드 가공, 레이저 기술, 측정 등으로 분류되었다. 기조강연을 포함한 발표 논문을 주제별로 분류하고, 주요 발표내용을 요약하면 다음과 같다.

□ 기조강연

학술대회 첫날 10월 25일 독일 하노버 라이프니츠대의 Möhring 박사는 "마이크로팩토리의 혁신적 요소 기술" 에 대한 강연을 하였다.

마이크로 머신 부품들에 대한 소개에서 마이크로 가공기의 비접촉식 능동 가이드에 대한 이야기를 시작하였다. 기체 정역학적 가이드, 전자기 가이드, 변위센서와 추가적인 부품들에 대한 지금까지 개발된 내용을 발표하였다. 또한 현재 각광받고 있는 분야인 Surface Texturing과 마이크로 구조에 대한 그라인딩에 대한 발표가 이어졌다. 세부적으로, 마이크로 홈을 가공함으로써 마찰 저감 효과가 있음을 보이고, 미세 돌기에 의해 유속 손실이 감소된다는 주제에 대해 발표를 하였다. 마이크로 구조물 표면에 대한 정보 저장에 대해서도 이야기 하였다. 마지막으로 마이크로 워크피스에 대한 품질 관리를 위한 측정 방법에 대한 이야기로 강연을 마무리 하였다.

10월 26일에는 삼성전기 고병천 부사장이 "마이크로 디바이스와 마이크로 센서의 산업동향" 이라는 주제로 기조강연을 하였다.

고부사장은 산업계의 선두주자로 학술적인 발표가 아닌 현장의 목소리로 이야기 하였는데, 주제는 마이크로 디바이스와 마이크로 센서였다. 먼저 삼성전기에 대한 간략한

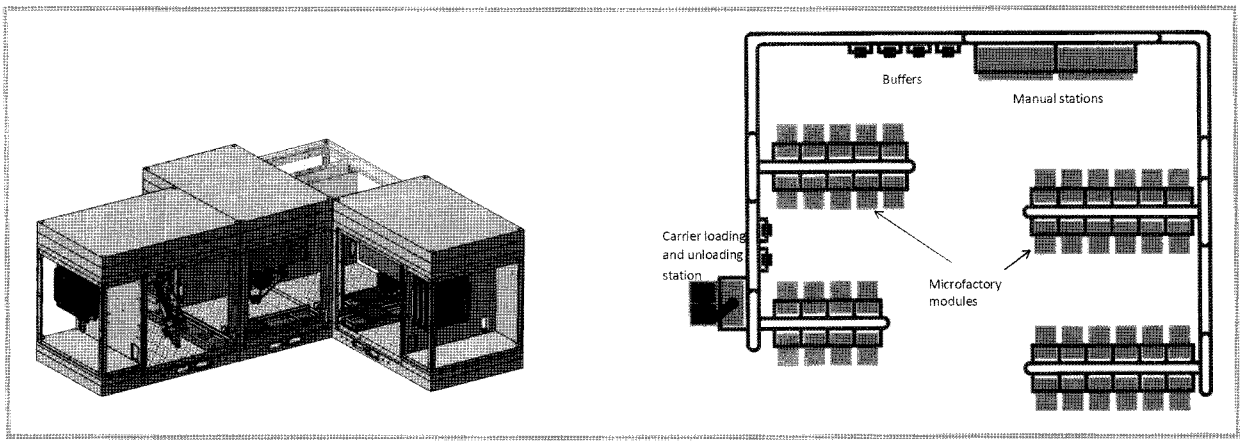

Fig. 1 Example of TUT-microfactory layout(좌), Example of an integrated micro assembly factory(우)[1]

설명을 시작으로, 글로벌 시장에서 마이크로 팩토리 분야의 시장 경향에 대해서 이야기를 하였다. 또한 현재 유망한 마이크로 팩토리 사업의 예를 발표하였다. 휴대폰의 경우에 있어서, 카메라 모듈, 네트워크 모듈, 진동자, 파워모듈 등에 마이크로 팩토리 관련 사업이 있음을 이야기하였다. 또한 잠재적인 미래 아이템에 대해서도 언급하였는데, RF MEMS 부품, Automotive smart 센서, Energy harvesting & 에너지 저장 장치, 유비쿼터스 센서 네트워크, 자연친화적 환경 감시 시스템 등에 대한 이야기로 강연을 마무리 했다.

□ 마이크로 팩토리 개념

마이크로 팩토리 시스템에 대한 연구 발표 주제는 다음과 같다. 운동학적 가변성 및 유연성 확보에 대한 연구, 새로운 개념의 마이크로 생산 시스템에서의 pick-and-place가 가능한 협업로봇 연구, 클린룸에 대응할 수 있는 원형 개념의 소형 조립라인 연구, 전 공정의 자동조립화를 위한 힘/위치 하이브리드 제어를 통한 마이크로 자동 조립에 대한 연구, 빠른 속도의 3자유도 트라이포드 병렬기구를 이용하여 ±0.015mm 조립 공차를 가지는 가변형 마이크로 팩토리 연구, 다양한 크기와 형상의 렌즈를 pick-and-place 할 수 있는 그립 모듈을 개발하여 조립 속도를 높이고 위치 에러를 줄일 수 있는 정밀 보상을 진행하는 연구 등 마이크로 조립 분야에서 활발한 연구가 진행 되고 있음을 확인할 수 있었다.

□ 마이크로 로봇 및 기구

이 파트에서는 마이크로 팩토리 전용 로봇이 소개되었다. 소형화 되었지만 넓은 작업 영역을 가지는 H-Scara 형태의 로봇을 개발하여 기계적 한계를 극복하고, 제어를 통해서 높은 정밀도를 구현하는 마이크로 팩토리 전용 로봇 연구가 발표되었다. 소형 로봇 Parvus의 성능을 향상시키기 위해서 사용된 마이크로 기어의 보상을 통한 정밀도 향상 연구를 발표하였다. 5절링크 형태의 저가의 압전소자 모터를 사용한 소형 병렬기구 APIS를 개발하고, 구동 개념과 제어를 통해서 반복 정밀도를 34μm이하로 구현한 연구를 발표하였다. 보이스 코일 모터(VCM)을 사용하여 구현한 3자유도 로봇은 핸드폰 카메라 렌즈 모듈이나 치과의 치관 정렬 용으로 사용 가능하다. 이러한 기구의 역기구학 해석, 모터 제어 구현 알고리즘을 연구하였다. 또한 렌즈 가공 등의 곡률 가공을 위해 회전 운동이 강조된 5자유도 가변형 소형 공작기계에 대한 연구가 소개되었다. 회전 운동에 필요한 엑츄에이터 토크 계산을 위한 동역학 해석을 수행한

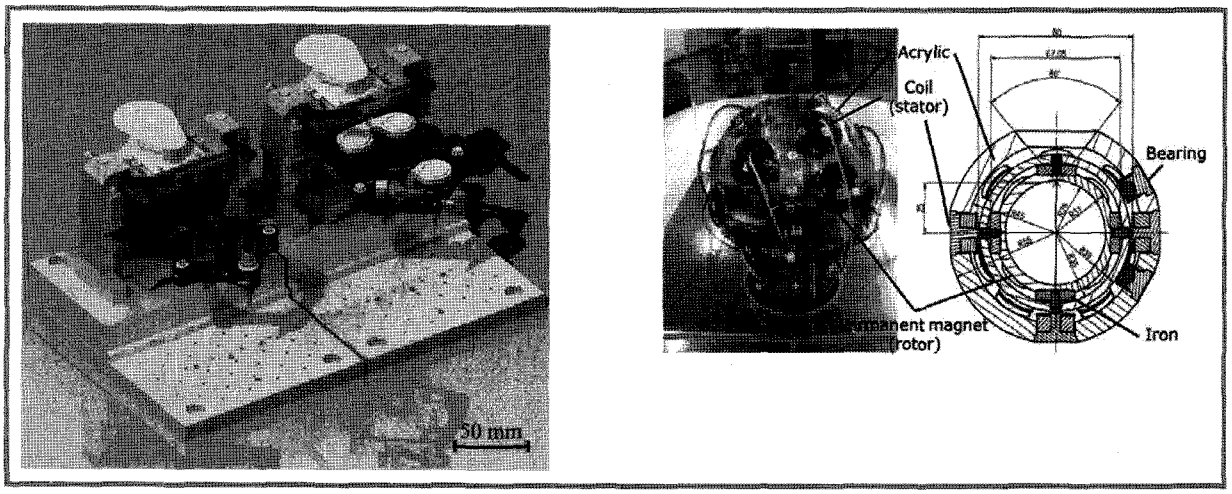

Fig. 2 Parvus (left), APIS (right) modular combined with the main frame of the Parvus(좌)[2], Developed 6-8 stepping motor(우)[3]

연구가 발표되었다.

□ 마이크로 엑츄에이터

새로운 형태의 다면체 기반의 구형 모터를 개발하였는데, 이러한 모터는 다자유도를 가지는 기구 개발에 있어 컴팩트하고, 에너지 절약을 할 수 있는 장점을 가진다. 또한 축방향으로 대칭이어서 전방향에 대한 물리적 특징이 우수하고 제어도 쉬우며 높은 토크를 낼 수 있는 단순 형상으로 개발된 마이크로 팩토리용 모터에 대해서 발표하였다. 마이크로 팩토리에서 직선 운동을 구현하기 위해서 중요한 요소로 강력한 힘을 가진 리니어 모터가 중요하다. 이 때, T형상의 자석을 사용하여 리플 힘을 줄이고 구동력을 높인 리니어 모터 설계에 대한 논문도 발표하였다. 다공성의 제한된 공기정역학적 리드 스크류 엑츄에이터(ALSA)를 개발하였다. 나노 마이크로미터 이하의 정밀도에 마찰이 거의 없으며, 작은 입력 측 공기압력 (<827kPa)과 50mm의 스트로크를 가지는 엑츄에이터였다.

□ 마이크로 가공

마이크로 가공에 있어서 가공은 매크로 크기의 가공과 사이즈 효과(negative rake angle과 물질의 elasto-plastic 반응)에 의해서 차이를 나타낸다. 마이크로 현상에 대해서 마이크로 밀링의 모델링을 수행하여, 에지 반경에 대해서 임계 칩 두께를 예측한 후, 실험을 통해서 예측 결과를 검증한 연구가 발표되었다. 마이크로 선반과 절삭력 측정 장비를 개발하여 구리 합금과 알루미늄 합금에 대해서 가공 실험을 수행하였다. 이 실험을 통해서 마이크로 크기의 칩 단면을 예측한 결과와 비교한 연구를 발표하였다. 생물학적 박테리아를 사용하여 바이오가공 프로세서를 진행하여 구리 표면에 마이크로 홈을 가공하고, 홈의 형상을 분석한 연구를 발표하였다. 다양한 가공 셋업과 가공 방법을 통해서 마이크로 팩토리가 친환경 효율적인 가공 방법임을 증명하는 연구도 발표되었다.

□ 마이크로 EDM

역마이크로 EDM 방법을 사용하여 고종횡비를 가지는 마이크로 구조 배열을 구현하였다. 이를 구현 하기위해서 전압, 저항, 피드 등을 변수로 가지는 다구찌 방법론을 사용하여 최적의 조건을 찾는 연구를 발표하였다. 마이크로 EDM 구현 시 탐침의 형상을 변경하여 성능을 향상시키는 논문, 유전체로 가스를 사용하는 Dry EDM의 사용 시 전극에 슬롯 형상을 변경하여, 툴 마모를 줄이고 잔해가 전극에 붙는 양을 줄이는 연구를 발표하였다.

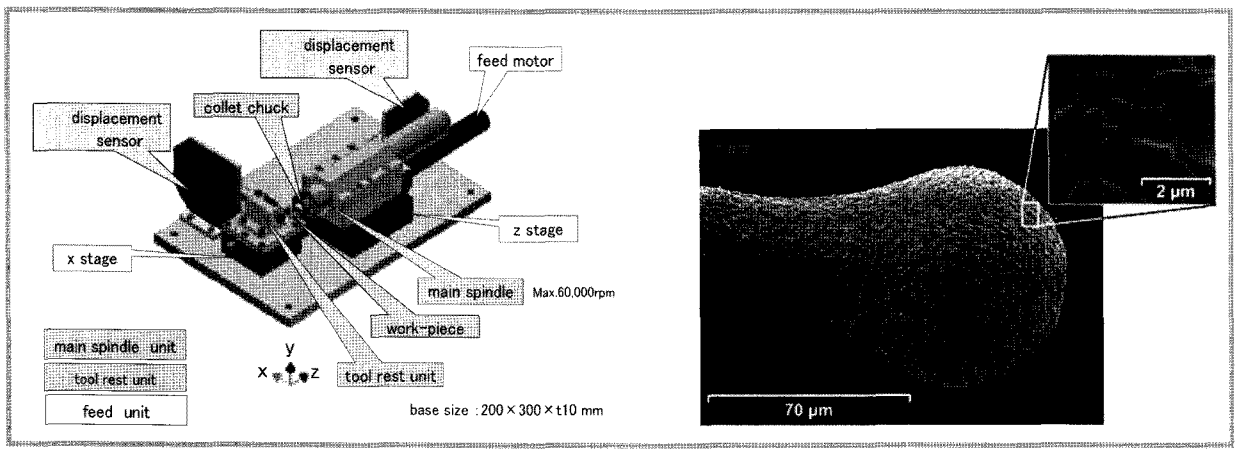

Fig. 3 Experimental apparatus(micro-lathe)(좌)[4], REM photograph of a probe sphere(우)[5]

□ 하이브리드 가공

초음파 진동을 가공 프로세스 중에 작용을 하면 툴의 힘과 가공에너지를 감소시킬 수 있다. 또한 가공물 표면을 부드럽게 하고, 열을 발산시키며 가공 입자가 표면에 점착하는 것을 방지할 수 있는 장점이 있다. 이런 초음파 진동이 하이브리드 가공에 적용되기 위해서는 단방향의 움직임을 나타낼 수 있는 기구학적 형태가 필요하다. 이런 기구학적 형태로 종횡방향의 진동 차이가 크게 나는 기구개발에 대한 연구를 발표하였다. 레이저/ECM 하이브리드 가공을 위한 가공기를 개발하였다. 90μm의 홀을 스테인리스 스틸 튜브에 구멍을 작업을 한 결과, 상용 머신 가공기 보다 성능이 우수함을 실험적으로 검증한 논문, EDM 방법과 밀링을 이용하여 하이브리드 가공을 수행하며, 최적의 입력 조건을 구하는 연구, 레이저 스폿에 생성된 플라즈마 상태로 하이브리드 마이크로 가공에 대한 시뮬레이션을 수행한 연구 등을 발표하였다.

□ 레이저 기술

Femtosecond laser direct writing(FLDW)이 적용 가능한 3D 구조물에 대해서 확인하고, 디스플레산업이나 IT 산업에 적용 가능한 타당성 조사에 대한 연구, 레이저 스캐너와 스테이지 동기화 시켜서 현재 $50\times50mm^2$의 한계를 가지는 측정 범위를 넓히는 연구 발표가 있었다. 스테이지 움직임을 지속적으로 보증하여, 왜곡을 줄이고 측정 속도를 높이는 연구도 발표하였다.

□ 측 정

3D 측정을 위해 교환 가능한 AFM 팁을 개발하였다. 이렇게 개발된 NanoBits는 쉽고 빠르게 교환가능하며 다른 마이크로 나노 AFM에 적용이 가능한 연구 개발이었다. 마이크로 가공 기계에서 오차를 측정하는 방법은 기계 정밀도를 높이기 위해서 필수 요소다. 이에 기존의 2D 형태가 아닌 비젼을 기반으로 한 3D 에러 측정 연구를 진행하였고,

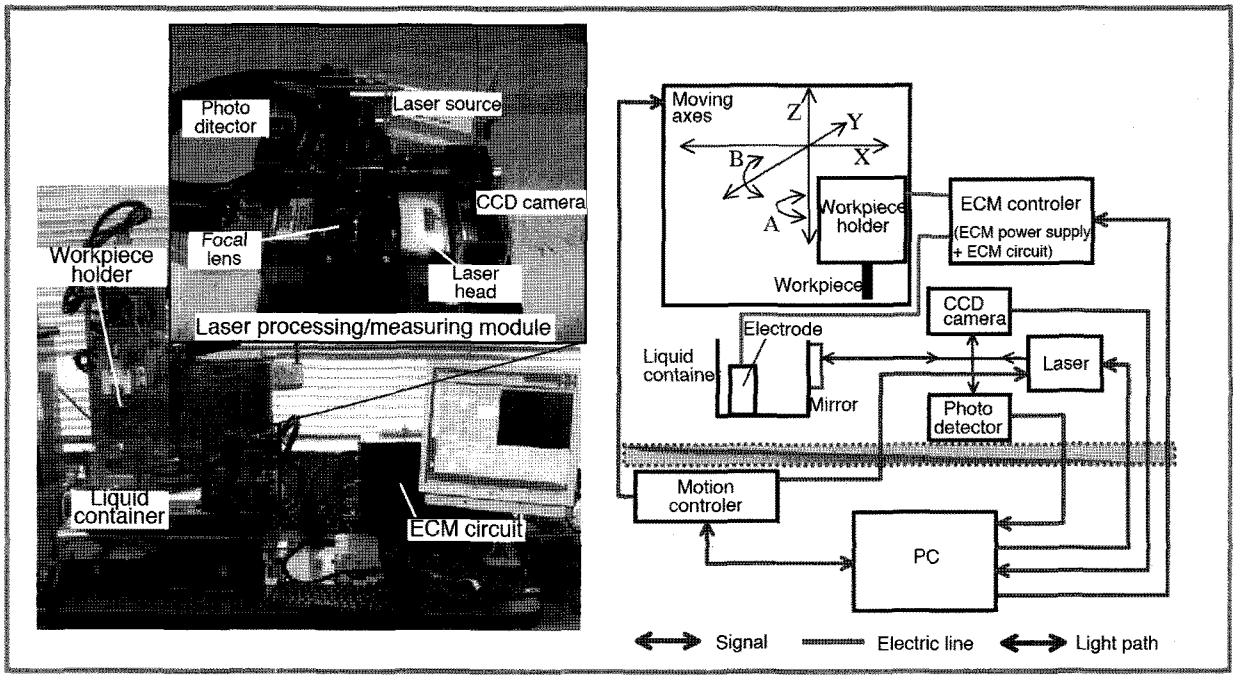

Fig. 4 Laser/ECM complex machine tool[6]

깊이 측정 모델과 그림자 효과를 줄이기 위한 2단계 보정 알고리즘을 제시한 연구를 발표하였다.

3. 연구 동향 및 결론

2000년대 초반, 생산시스템의 일반적인 대형화 추세와는 달리 "크기가 약 100~10,000μm 정도인 Micro/Meso급의 초소형 부품을 생산하기 위해서는 이에 적합한 작은 크기의 제조설비로 생산하는 것이 효과적이다." 라는 취지에서 초소형 공장이라는 개념이 도입되기에 이르렀다. 현재 제품의 고밀도화, 고집적화에 따라서 제품을 유연하고 효율성을 높일 수 있게 생산하는 방향으로 연구들이 진행되고 있다.

이러한 경향으로 기계가공과 소형 하이브리드 가공 등 가공 모듈과 조립자동화, 마이크로 로봇, 마이크로 구동 전용 엑츄에이터 등 기계 설비 모듈, 고정밀 구현을 위한 비젼 측정 및 보정 알고리즘 모듈을 중심으로 한 주요 핵심 연구 분야들이 연구의 주를 이루고 있다.

특히 소형/난삭재 부품의 가공을 위해서 기존의 단일 공정 가공 방식이 아닌 두 가지 이상의 가공을 동시에 진행하는 하이브리드 방식의 연구가 활발히 진행되고 있는 것을 이번 학회 내용을 통해서 살펴볼 수 있었다.

차기 IWMF 2012는 핀란드에서 개최될 예정이다.

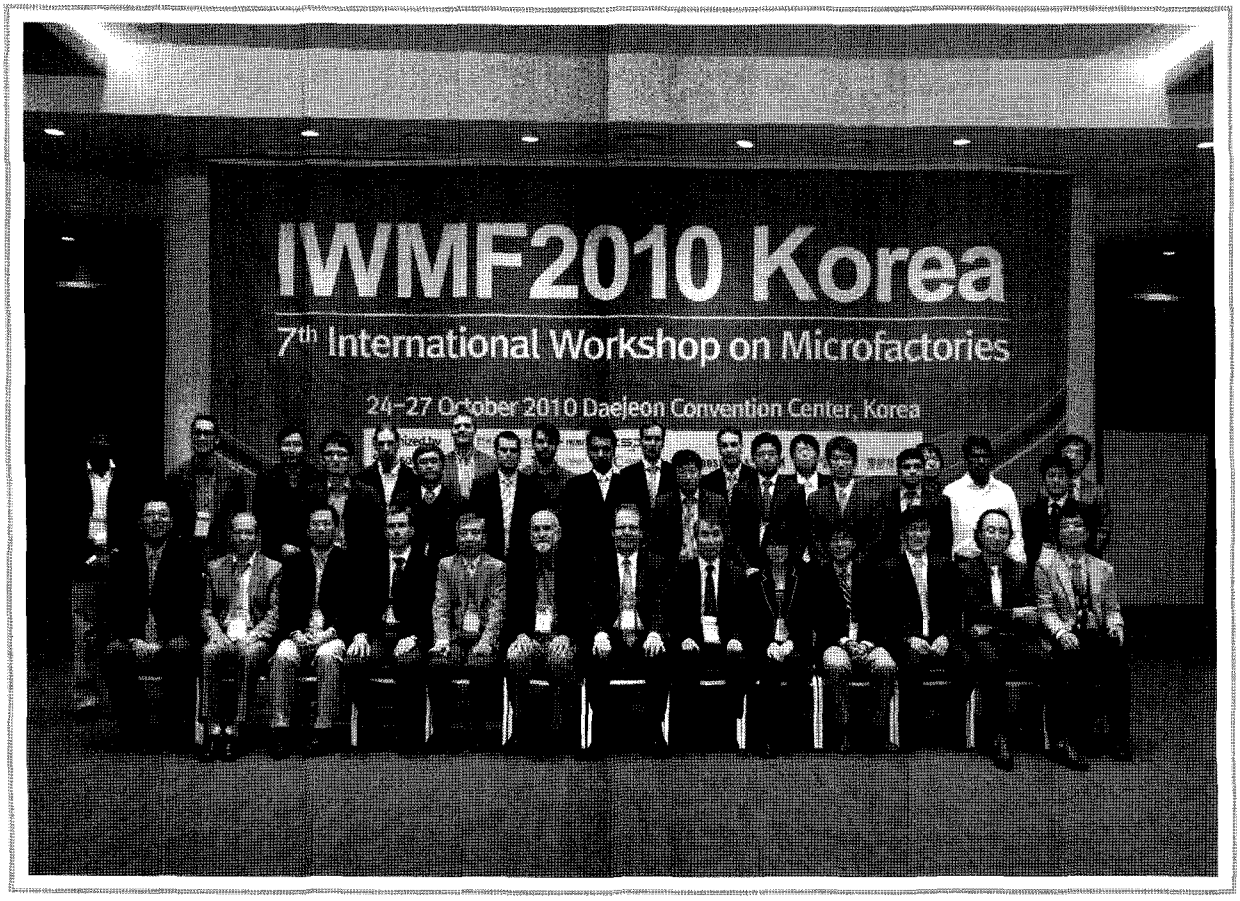

Fig. 5 참석자 사진

참 고 문 헌

(1) Eeva Järvenpää1, Riku Heikkilä and Reijo Tuokko, 2010, "Microfactory Concept for Highly Flexible Volume Assembly of Watch Mechanisms", Proceeding of IWMF2010, pp.9-14.
(2) Gunnar Borchert, Arne Burisch and Annika Raatz, 2010, "APIS - A miniaturized robot for precision assembly with low-cost piezoelectric motors", Proceeding of IWMF2010, pp.111-116.
(3) Tomoaki Yano, 2010, "Proposal of a spherical motor with three degrees of freedom for making the working machines compact and energy saving", Proceeding of IWMF2010, pp.119-124.
(4) Hiroyuki Kimura, Kimiyuki Mitsui and Tokio Kitahara, 2010, "Cutting Force Characteristics in Micro-turning Processes", Proceeding of IWMF2010, pp.65-68.
(5) Thomas Krah, Claudia Lesche, Christian Schrader and Stephanus Büttgenbach, 2010, "Star probes machined by micro-EDM for the use in micro-coordinate metrology", Proceeding of IWMF2010, pp.173-177.
(6) Tsuneo Kurita, Nagayoshi Kasashima and Nozomu Mishima, 2010, "Development of Laser/ECM complex machine tool for small diameter tube and rod", Proceeding of IWMF2010, pp.167-172."