

## 생산 및 설계공학부문

이 글에서는 2005년도 생산 분야의 주요 연구 동향을 절삭가공, 연삭가공, 공작기계, 측정 기술, 마이크로나노기술 등으로 나누어 소개한다.

### 절삭가공

2005년에 유관 학회 정규 논문집에 발표된 논문들을 중심으로 절삭가공 분야 연구동향을 살펴보았다. 작년 한 해 동안 총 60편에 달하는 논문들이 대한기계학회, 한국정밀공학회, 한국공작기계학회, 한국기계가공학회 등에 발표된 것으로 집계되었다. 논문 내용을 검토해본 결과, 최신 연구 동향을 고효율/고품위 절삭가공(36편), 미세/특수가공(21편), 환경친화적 절삭가공(3편)등으로 요약할 수 있었다.

고효율가공을 위한 대표적인 연구로서 고속절삭가공을 들 수

있다. 고속절삭가공이란 반경이 작은 공구를 사용하여 높은 주축 회전속도, 낮은 날당 이송량 및 높은 이송속도로 절삭하는 가공 기술이다. 이 기술을 통하여 고품위의 표면정도를 실현할 수 있고 공정 수를 감소시켜 생산성을 향상할 수 있다. 현재 항공기산업을 비롯하여 금형산업, 자동차산업 분야에서 급속하게 적용 범위를 넓혀가는 기술이다. 고속절삭가공은 일반 절삭가공과는 다른 절삭 특성을 보이기 때문에 공정의 효율적인 제어를 위해서 공구수명과 절삭조건 간의 상관 관계, 최적 절삭 조건 등을 검토하는 연구가 이루어졌다. 일반 절삭가공

에 해당하는 선삭, 밀링, 연삭 공정에 대한 최적화 연구도 진행되었다. 선삭에서 채터 회피 방법, 밀링에서 절삭동력 기반의 이송 속도 최적화 전략, 연마 거칠기 향상을 위한 연마조건의 최적화 등과 같은 논문들이 발표되었다. 효율적인 NC 가공을 위하여 개선된 공구경로 창성 알고리즘이 2차원다양체 메시 모델, 삼각형망을 이용하여 제안되었다. 가공 공정의 모델링과 특성 평가에 대한 연구들도 꾸준히 이어졌다. 엔드밀 슬롯가공 시 칩 두께 모델의 개선, 평면 연삭의 반응표면모델 개발, 초음파 드릴링의 가공 메커니즘 분석, 정면커터의 표면

가공특성, 난삭재 가공에 이용되는 로터리 공구의 절삭특성 분석 등이 작년에 발표된 연구 결과들이다. 저순도 알루미늄 세라믹 가공에 대한 공구수명 검토, 공구수명 예측 프로그램 개발 등과 같은 공구수명 관리에 관련된 연구들도 보고된 바 있다. 가공 공정에 대한 이상상태 검출 및 진단 기술도 활발하게 이루어졌다. AE 신호를 이용하여 드릴링 버(burr) 생성, 연마 공정, 미세입자가공 등을 감시하는 연구들과 절삭력 신호, 영상 신호, 진동 변위 등을 이용한 공구상태 감시에 관한 연구가 진행되었다.

고품위 절삭가공기술은 치수정밀도와 표면정도를 높이는 가공 기술을 의미한다. 고품위 절삭가공을 위한 방법들로서 다이아몬드 단인 공구에 의한 초정밀 절삭, 기계화학적 연마가공(CMP : Chemical-Mechanical Polishing), 버 제거 기술 등에 관한 연구가 주로 이루어졌다. 다이아몬드를 이용한 초정밀 절삭에 관한 연구로는 적외선 우주망원경용 비구면 렌즈, 알루미늄 합금, Al6061-T651 소재 등에 대한 다이아몬드 선삭의 최적 가공 조건 및 가공 특성에 대한 연구 등을 들 수 있다. 광학 부품의 수요 증가로 인하여 비구면 렌즈 가공과 관련된 연구들이 활발하게 수행되었다. 초정밀 연삭에서 비구면 형상 정밀도 향상을 위한 보정가공 방법, 우주광학소재인

Zerodur의 초정밀 연삭 특성, 비구면 렌즈 금형의 연마를 위한 연마경로 생성방법 등에 관한 논문들이 발표되었다. 반도체 적층 공정에서 웨이퍼 상의 요철을 제거하기 위하여 표면을 평탄화시키는 공정이 CMP이다. 반도체 공정에 대한 필요성 증대로 인하여 CMP에 대한 연구 발표가 두드러지고 있다. 2005년에도 이와 같은 경향이 이어졌다. 산화막 CMP, 금속 CMP, 소자분리 CMP 등 여러 CMP 방법들에 대한 연구가 진행되고 있으며 슬러리, 패드와 같은 요소기술에 대한 연구가 활발히 보고되었다. SiO<sub>2</sub> 슬러리의 마찰 특성, 패드 그루브(pad groove)의 형상과 밀도 변화, 멤브레인(membrane) 방식의 압력 가변 연마헤드 등이 CMP 특성에 미치는 영향이 검토되었다. Lithium Tantalate, 사파이어, 텅스텐 등 다양한 웨이퍼 소재에 대한 최적 연마 조건을 구하기 위한 실험적 연구도 이어졌다. 표면 품질을 떨어뜨리는 버를 효과적으로 제거하기 위하여 자기연마를 이용하는 방법, 초음파 진동을 이용하는 방법, 전해연마를 이용한 전해디버링 등이 시도되었다.

최근 전자 및 광학 기술의 발달과 더불어 초소형 부품에 대한 수요도 증가하고 있다. 부품을 소형화하기 위하여 미세 형상을 구현하는 기술로서 미세가공기술에 대한 연구가 활발하다. 미세부품

을 가공하기 위하여 고강도의 금속을 높은 형상 정밀도로 가공해야 하므로 미세가공기술은 기존 절삭가공 방법과는 다른 특수가공법들을 응용하여 사용하고 있다. 현재 연구가 진행되고 있는 미세가공 기술은 리소그래피(lithography)와 에칭(etching) 등의 반도체 제조기술을 응용한 기술과 절삭, 연삭, 방전가공, 전해가공 등의 기계가공 기술을 응용한 것으로 크게 분류될 수 있다. 전자에 해당하는 가공기술은 포토리소그래피(photo lithography)를 비롯하여 포토리소그래피의 최소 선폭 한계를 극복하기 위한 전자빔리소그래피, 리소그래피 기반의 탐침 공정, 딥펜리소그래피 등과 같은 다양한 나노리소그래피(nano lithography) 기술로 대표된다. 후자에 속하는 대표적인 가공법으로는 미세방전가공, 미세전해가공, 레이저가공, 미세초음파가공, 미세블라스트가공 등을 들 수 있다. 2005년에 유관 학회에 발표된 논문들은 주로 후자에 속하는 방법들을 다루고 있었다. 와이어 방전가공을 이용한 미세전극 제작기술이 개발된 이래 방전가공은 고강도 금속재료의 미세구멍 가공이나 3차원 미세형상을 가공하는 데 이용되고 있다. 작년에 발표된 미세방전가공에 대한 논문들은 주로 공정의 최적화에 관한 내용을 담고 있다. 방전가공 시 발생하는 전극마모에 의한 형상오차 보정, 이송

제어, 절연액 및 가공조건에 따른 효율성 제고, 테이퍼 형상 제어, 가공액 초음파 가진 등과 같이 미세방전가공의 정밀도와 효율성 향상을 위한 연구를 지속적으로 진행하였다. WEDG(Wire Electrical Discharge Grinding)와 역방전 가공에 의한 미세 공구 제작 관련 연구도 찾아볼 수 있었다. 전해가공은 재료의 원하는 부위를 전기화학 반응으로 용출 시킴으로써 형상을 제작하는 기술이다. 초단 펄스파를 전원으로 사용하면 전해 현상을 국부화시킬 수 있기 때문에 수 마이크로미터의 형상을 구현할 수 있다. 구리, 니켈, 스테인리스강 등 여러 재료에 대한 미세전해가공기술에 대한 연구가 진행되었으며 디스크 전극, 와이어 전극, 가공 간극의 제어 등을 통하여 가공 효율성을 높이기 위한 연구가 보고되었다. 극초단펄스 레이저를 사용한 미세가공 연구가 활발히 진행되었다. 펨토초 레이저의 이광자 흡수 현상을 이용한 개선된 나노 복화 공정, 실리콘 웨이퍼에 펨토초 레이저를 이용한 수 마이크로미터의 선폭 가공, 레이저 마킹부의 선폭 예측 모델 개발, 폴리머에 대한 엑시머 레이저 어블레이션 과정 해석 등의 연구들이 2005년에 발표되었다. 그 외에 타원 진동 절삭운동을 통한 개선된 초음파가공법으로 미세홈가공을 수행하거나 기존 일반 가공법을 개선한 마이크로드릴링, 마이크로

엔드밀링, 마이크로 세이핑 등의 가공기술들이 구멍, 풀, V형 그루브 등과 같은 미세형상가공에 이용되었다.

근래에 들어서 환경이란 단어가 범 학문적으로 중요한 키워드가 되었다. 절삭가공 분야에서도 공정 중에 발생할 수 있는 환경 오염적인 요소를 제거하기 위하여 환경 친화적인 절삭가공법에 대한 연구가 진행되고 있다. 2005년에는 주로 절삭유와 관련된 연구가 보고되었다. 절삭유 미립화가 환경에 미치는 영향, 절삭유 에어로졸 거동 특성에 관한 연구가 이루어졌다. 절삭유를 쓰지 않는 건식 선삭가공 시 압축공기의 효과를 검토한 연구도 발표된 바 있다. 아직까지는 다른 주제만큼 연구 발표가 활발하지는 않지만 근래에 산업자원부에서 실시하고 있는 '청정생산기술개발 보급사업'을 계기로 활발한 연구가 진행될 것으로 예상된다.

[최덕기, 강릉대학교]

## 연삭가공

연삭가공 분야에서 최근의 연구목적 및 기술동향은 초정밀화, 고속가공화, 지능화, 환경친화적 연삭가공화, 신복합 연삭가공화 등의 연삭가공기술을 추구하고 있다. 그동안 국내의 연구를 보면 주로 연구소와 학회에서의 이론과 실험을 겸비한 연구와 업체에서의 제작에 관련되는 실무적인

개발 연구로 구분되고 있다. 그동안 연구소와 학회를 통한 연구를 살펴보면 대한기계학회와 기타 학회를 통하여 약 100여 편의 순수 연삭연구가 발표되어 왔고 아직도 많은 새로운 아이템 창출이 필요하고 이 분야의 많은 연구 결과가 필요할 것으로 사료된다. 최근 기존 순수 연삭에 특수가공을 접목시킨 형태의 초정밀 가공 입자연구가 최근 MEMS 분야의 확산으로 이 분야에 많은 활성화가 되고 있다. 그러나 연구의 내용은 기초적인 인프라 구성에 도움이 되고 있으나 최고의 기술을 확보하기에는 아직은 상당한 차이가 있는 것으로 사료된다. 국제적으로 1990년 중반부터 ISAAT(International Symposium on Advances in Abrasive Technology)를 통하여 많은 이론을 겸비한 좋은 연구가 발표되고 있고 국내의 연구 수준은 아직은 최고의 수준에는 약간 미흡하나 일부의 연구에 있어서는 과거보다는 상당한 기술차를 줄여 나가는 상태이다. 업체에서는 실무적으로 연삭기계 제작 및 설계에 있어서 많은 발전을 보았으나 최선두 기술을 확보하는 데는 아직도 시간이 필요하다. 실무를 추구하는 업체의 입장을 고려하여 보면 최근 공작기계 회사의 주된 관심사는 보다 정밀하고 신뢰성이 높은 기계를 만드는 데 관심을 두고 있으며 또한 고속화에 있어서는 입자(abra-

sive)의 발전이 상당한 기여를 하고 있다.

최근에는 정밀화에 유리한 리니어 모터의 장점을 이용하여 구동시스템을 구현하는 연구가 이루어지고 있으나 아직은 기존의 정수압 리이드 스크루 시스템을 적용한 연삭기계의 정밀도 면에서는 아직도 충분한 신뢰성을 주지 못하고 있다. 최근 연삭기계에는 정밀 디지털 제어 시스템을 도입하고 있으며 이는 드레싱 및 연삭가공 정밀도를 높이는 데 적용되어 상당한 기술수준의 상승 효과를 나타내고 있다. 또한 정수압 베어링 주축과 리니어 구동시스템의 기술을 적용하여 연삭정밀도를 높이려는 시도가 계속되고 있다. 고속연삭의 특징은 연삭숫돌의 주속도만이 아니라 공작물 이송속도를 증가시켜 그 목적을 구현할 수 있다. 가공특성 면에서 원통연삭의 경우 공작물의 속도를 높이는 것은 어렵지 않으나 평면연삭의 경우는 쉽지 않다. 이런 점에서 평면연삭 분야에서 리니어 모터는 고정도와 고속반응의 특성을 가지고 있어 고정도와 고속화에 유리하다고 할 수 있으며 또한 유지 보수면에서도 강점을 가지고 있어 최근 주요한 연구 대상으로 되어 있다. 고속화 방법으로 강성이 크고 동력이 큰 기계를 이용하여 기존의 밀링이나 선반과 같이 캠 형상을 한 번에 입자가공으로 가공 완성할 수 있도록 하는 강력한 연삭기를 제

작하여 궁극적으로 가공속도를 높이는 효과를 얻는 방법을 시도하고 있으며 또 이를 적용하여 연삭기의 유지와 생산라인을 줄여 연삭가공 단가를 낮추려는 연구가 수행되고 있다.

연삭가공기계의 주된 개발 연구대상 분야는 앞에서 제시한 주된 목적을 구현하기 위해 숫돌헤드부, 연삭숫돌, 정수압 슬라이더, 숫돌헤드 슬라이드부, 리니어 모터, 스피들하우징, 연삭숫돌축, 모터하우징부, 정수압베어링 등을 연구대상으로 하여 목적에 맞도록 성능을 개선하려고 하고 있다. 강력한(robust) 연삭기의 구현, 그 연삭기 부품부의 운동정도를 높여 오차를 줄이려는 설계가 시도되고 있다. 현재 기존 연삭기에 CNC 시스템을 적용하여 연삭정밀도가 상당히 향상되었지만 아직도 제거하기 어려운 작은 오차에서는 CNC 제어의 보간 및 구동 분해능을 보완하여 고정도를 구현하려는 시도가 계속되고 있다. 이를 적용하기 위해서는 복잡한 수학적 처리 알고리즘의 개발과 이를 따를 수 있는 하드웨어의 기술적인 구현이 필요하다고 할 수 있으며 점차 오차를 줄여가 기존의 연삭기에서 과거에 구현이 곤란한 것도 점차 실현될 수 있는 상황으로 연삭기 개발이 계속되고 있다. 연삭숫돌을 효과적으로 쓰거나 연삭 트러블을 극복하기 위하여 진단시스템을 적용하여 점차 연삭가공기

의 각 부품 가공 시 나오는 출력 신호를 검출하여 트러블에 적응하도록 하여 최적의 가공을 유지하여 연삭가공이 되도록 연삭기 지능화가 계속적으로 개발되고 있다.

연삭가공 후 부품이나 공구 및 보조재의 재활용, 즉 역생산(inverse manufacturing)의 환경문제에 대응하기 위하여 연삭가공 시 배출되는 것들을 최소화하여 가공하려는 역제기술의 개발에 초점이 맞추어지고 있으며 한 가지 방법으로 연삭액을 사용하지 않고 연삭하는 건식연삭법에 관심을 갖게 되었다. 또한 연삭액의 처리비용을 줄이려는 시도가 수행되고 있으나 근본적인 연삭가공온도의 생성 문제 때문에 이를 완벽히 수행하기에는 아직 어려움이 많다고 할 수 있다. 연삭가공의 고정도, 고속가공의 목적을 이루면서 가공효과를 높이기 위한 또 다른 방법으로 최근 기계적인 방법과 전기나 화학의 특성을 조합하여 가공하는 특수가공법을 개발하여 사용하고 있으며 전해가공, 방전가공 등에 입자가공을 조합한 복합가공법이 연구되어 응용 개발되고 있고 래핑이나 폴리싱(CMP : Chemical Mechanical Polishing)기술의 적용으로 반도체 평탄화에 적용되고 있다. 자성유체와 같은 새로운 입자와 가공원리를 응용하여 정도를 초정밀화하려는 경향으로 새로운 연마법을 개발하

려 하고 있다. 관련 기술자의 관심에 따라 이 분야의 발전의 속도를 빠르게 할 수 있고 이 분야에 많은 관심과 투자가 이루어지면 상당한 발전이 기대된다고 할 수 있다. 현 추세로 볼 때 조만간 이러한 연구의 일부가 실용화가 될 것으로 기대되며 앞으로 연구실을 떠나 점차 실용화되는 기술도 더욱더 많을 것으로 사료되고 이러한 연구개발 결과는 연삭분야의 기술발전을 현 단계에서 한 단계 뛰어 넘길 것으로 사료된다.

[윤문철, 부경대학교]

## 공작기계

2005년은 국내의 소비 및 투자부진, 고유가 그리고 환율하락 등 경영환경이 불안하여 공작기계 업계가 전반적으로 어려웠던 해라 할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 우리나라 기계 분야의 무역수지가 처음으로 흑자로 돌아섰고, 특이하게도 경영상 이익을 내기 어려운 공작기계 분야에서 흑자를 내서 산업자원부에서 기계분야의 위상과 의의를 재조명하는 한 해가 되었다. 공작기계 분야는 작년 총 생산액 3조로서 세계 8위를 달성하였고, 이 중에서 40%를 수출하는 쾌거를 이루었다. 이러한 성과 뒤에는 업계의 무한정한 노력이 있었기에 가능한 일이었고, 더불어 학계와 연구계의 지난 10년간 지원이 한 몫을 했으리라 생각된다. 다만 지금

공작기계 분야의 산학연 관계가 예전 같지 않아서, 이제 막 과거의 협력체제가 세계시장에서 열매로 나타날 때에 국내 학계와 연구계의 인력이 국가의 대규모 연구투자처인 Nano 기술 쪽으로 대거 이동해서, 또 한 번 국내 공작기계 업계가 자력으로 세계도약이 필요한 때에 신기술 개발에 문제가 생기게 되었다.

그러나 이러한 어려움을 공작기계 분야의 경영자, 기술자들이 인식하고 새로운 대규모 연구프로젝트를 구축하여 국내의 공작기계 연구자들이 다시 모여서 연구를 할 수 있는 여건을 만들려고 노력하고 있고, 동시에 국내 공작기계 생산을 고급품 위주의 생산구조로 만들려고 국내 기업들의 경영, 기술에 대한 광범위한 평가가 진행되고 있다. 현재 공작기계를 제조하는 대기업의 평균 연봉은 6,000만 원이고, 중소기업은 3,000만 원으로서 중소기업은 기존 대기업의 인기 있는 저가 품목을 OEM으로 생산하고, 대기업은 고가의 신기종 품목으로 생산구조를 변화시켰다. 대기업과 중소기업의 연봉의 차이에 대한 개선책은 여러 기관에서 노력 중에 있어 여기서는 서술할 필요가 없고, 다만 이러한 한국의 특수전략이 공작기계를 세계적 고품질로 유지시키면서 세계에서 가장 싸게 생산해서 위에서 서술한 수출증대와 흑자전환을 달성하는 계기가 되었다. 이와 함께

한국이 세계시장에서 큰 역할을 하면서 국제표준에 일익을 담당하여 ISO TC39(공작기계 안전)의 간사기관으로서 그리고 ISO 230의 위치결정위원회의 위원으로서 지명이 되어 산학연 전문가들이 국내의 공작기계 제조환경을 유리하게 이끌기 위해 함께 노력 중에 있다. 이외에도 국제전력부품 통제위원회인 바세나르 협의체에서 공작기계의 통제안건이 상대적으로 많이 거론되는 관계로, 음지에서 국내 제조기업을 위해 산학연의 관계자들이 활동하고 있다. 이렇게 보이지 않는 곳에서 산학연의 전문가들이 활동을 하고 있지만, 국내의 생산규모가 커지면서 확대된 산학연의 협력이 절실하다. 한국공작기계협회에서는 공작기계 분야의 산학연 기술교류회와 공작기계 설계기술 포럼 등을 개최하여 다양한 기술정보 교류사업을 추진하고 있다.

2005년에는 산학연이 협력하는 국책연구과제가 다소 적었으나 실제적으로 기업에 도움이 되는 연구를 하고 있다고 평가할 수 있다. 이 중에서 대표적인 연구를 살펴보면, 두산인프라코어가 주관이 되어 다계통 복합 가공기를 개발하면서 CNC 장치와 복합기 본체를 자체에서 개발함으로써 벌써 매출이 급격히 증가하고 있고, 위아의 병렬형 자동화 장치를 개발하여 가공시스템의 무인화 방향으로 집중함으로써

기존 가공장비를 복합화시킨 무인화 Cell 개념을 실현하고 있다. 화천의 경우는 광주지역 연구사업으로 초미세 금형가공기를 개발하면서 수원지역의 IT관련 산업계의 대대적인 호응을 얻고 있다. 그리고 성광은 소형 초정밀 연삭기를 개발하면서 초소형 IT 원통형 부품가공에 목표를 맞추고 있다. 두산메카텍과 한국공작기계는 국내 기계공업의 역량이 커지면서 대형 기계부품의 생산이 많을 것을 예상하여 대형 공작기계에 목표를 맞추면서 장비를 산학연으로 협력하여 개발하고 있다. 한국기계연구원에서는 대면적 미세 금형가공기와 사출 기술을 개발하여 광학부품과 소형 IT부품에 대한 설계와 제조를 모두 우리업계의 손으로 이루어 내기 위해 협력하고 있고, 한국생산기술연구원에서는 공작기계 제조를 위해 협력기업끼리 원활하고 신속한 생산활동을 유지하기 위해서 설계, 제조, 운영에 관련된 사항을 실시간으로 연계할 수 있는 e-Manufacturing 사업을 1단계에서 좋은 실적을 보임으로써 2단계 사업을 확대할 계획을 세우고 있다.

대학의 공작기계 관련 연구실에서는 밀링을 이용한 평활화 가공기술과 CNC를 이용한 고속 공구경로 제어기술, 공작기계의 신뢰성 평가기술, 신 복합가공기술 등의 종류가 논문으로서 많이 발표되었지만 점차 공작기계 분

야의 논문이 감소하는 추세에 있다. 이 원인으로서의 우선 산학연 공동연구의 과제가 대폭 감소해서 학계의 연구의욕이 감소한 이유가 있고, 다른 이유는 공작기계 같은 생산기계는 경험적인 지식이 바탕이 되므로 학계에서 이 경험적 지식을 공유할 기회가 적어 신진 연구자에게는 의사소통의 기반이 되는 경험적 지식이 적어서 기술교류의 장애가 되기 때문이다. 여기에 점점 공작기계는 다양한 기술이 복합화 되면서 지속적으로 기술동향을 관찰하지 않으면 기업이 필요한 연구가 무엇인지 구분하기 어려운 특성이 있어서 그 이유가 되기도 한다.

[이찬홍, KIMM]

## 측정 기술

한국 제조산업 부문에서의 측정 및 검사기술의 중요성은 지속적으로 강조되고 있다. 일반 기계류 부품 제조 산업에서는 중국을 포함한 개발도상국의 추적을 견제하기 위해 제품의 정밀도 향상을 통한 고품질의 경쟁력의 확보가 중요하다. 또한 국내 부품산업의 선진 국제시장에의 진출을 위해서는 일본을 비롯한 산업선진국과의 경쟁이 불가피하며, 이를 위해서는 제품의 고급화와 균일화를 위한 측정 검사 기술이 필수적으로 요구된다. 최근의 국내 경제의 침체로부터의 회복 추세는 국내 제조업체들로 하여금 측

정기술의 확보에 요구되는 설비의 투자 및 연구 개발을 점진적으로 활력화시키고 있으며, 이의 결과로 국내의 측정기 제조업체들도 많은 어려움으로부터 미소하나마 회복 추세에 있다. 더욱이, 최근 국내의 대기업이 주도하고 있는 디스플레이와 반도체 산업은 이제 제품과 생산기술에서 세계의 선도적 위치를 점유하고 있으며, 이러한 전략산업의 지속적인 성장을 위해 독자적인 측정 검사 기술의 개발과 응용에 많은 노력을 경주하고 있다.

국내 산업의 현황의 결과로 일반 제조업을 위한 전통적 기계식 또는 전기적 측정기술 분야에서는 지속적인 침체기에서 미소한 회복기를 맞고 있다. 이의 예로 부품의 치수 정밀도 측정에 소요되는 삼차원 측정기를 비롯한 접촉 또는 비접촉 센서들과 측정기기의 시장은 다소 회복 추세에 있으며, 기술개발에 있어서도 점진적인 활력이 회복되고 있다. 이와 대비하여 디스플레이 제조를 위한 생산 검사 설비에서는 광을 이용한 광계측기술이 획기적인 발전과 성장을 이루었다. 특히 백색광 간섭을 이용한 마이크로 형상의 삼차원 측정기술은 디스플레이 패턴 제조공정에서 중요한 검사기술로 성장하였으며, 이에 대한 국내의 측정기술의 성장은 선진국 기술과의 경쟁을 통한 괄목할만한 성장을 이룩하였다. 또한 타원편광법과 백색광분광법을

이용한 박막의 두께측정기술도 반도체와 디스플레이의 제조공정에서 지속적인 성장을 유지하고 있다. 광계측과 더불어 새로이 연구개발에서 두각을 나타내고 있는 것이 FIB(Focused Ion Beam) 기술이다. 이는 전자현미경(SEM)과는 달리 측정과 가공을 동시에 수행할 수 있으며, 수나노미터에 이르는 측정분해능을 제공할 수 있어, 차기 마이크로 가공분야에서 많은 응용이 예상되고 있다. 이와 더불어 AFM(Atomic Force Microscopy)기술도 나노분야에서 꾸준한 성장을 계속하고 있다. [김승우, KAIST]

## 마이크로/나노 기술

2005년도 1년간 대한기계학회 논문집에 발표된 마이크로/나노 기술 관련 분야의 논문은 총 15편이 발표되었다. 그리고 학회 영문 논문집인 *Journal of Mechanical Science and Technology*에는 총 15편이 발표되었는데, 그 중 12편이 Vol. 19 No. 11에서 마이크로/나노 기술 관련 분야의 특집호(special edition)을 통하여 발표된 것이 특징이다. 대한기계학회논문집과 *Journal of Mechanical Science and Technology*에서 발표된 30편의 논문을 분야별로 살펴보면, 화학 기계적 연마

(chemical mechanical polishing) 관련 연구가 5편으로 가장 많아 여러 연구자들에 의하여 연구가 진행 중임을 나타내었다. 패드 그루브의 치수, 슬러리의 마찰 특성 등의 공정파라미터에 따른 CMP 연마특성에 관한 연구와 라운딩 효과(rounding effect) 등의 CMP 특성 개선, 그리고 CMP를 이용한 사파이어, lithium tantalate 웨이퍼 등의 연마 등에 대한 연구가 발표되었다.

나노/마이크로 스케일 패턴 제작을 위한 리소그래피 공정에 대한 연구들도 다수 발표되었는데, 나노임프린트(nanoimprint)관련 논문이 2편, 이광자 흡수 광중합을 이용한 나노스테레오리소그래피 관련 논문이 2편, 기계적 나노스크래칭을 이용한 패턴링 관련 논문 2편이 발표되었다. UV-nanoimprint공정에서는 웨이퍼 변형에 따른 잔류층 분석과 폴리머 레지스트의 변형에 관한 분자동역학 시뮬레이션이 발표되었다. 이와 기술적 연관성이 있는 연구로서 100nm급 패턴의 킬츠마스터 제작과 이를 이용한 사출성형 실험에 관한 논문이 있었다. 그리고 이광자 흡수 광중합을 이용한 마이크로 셀 제작과 나노구조물 제작을 위한 contour offset algorithm(COA)에 관한 논문이 발표되었다. 그리고 기계적 나노스크래칭과 화학적 에칭을 이용

한 마이크로 그루브 제작, 스크래칭 시 패턴피치(pattern pitch)의 영향에 대한 논문이 발표되었다. 기타 연구로서 마이크로 프린팅을 위한 미소분사기(micro injector) 제작과 분사특성에 관한 논문은 그 응용성에서 주목할 만하다.

또한 주목할 것은 바이오 응용 관련 논문발표가 증가했다는 점이다. 마이크로 믹서 개발 관련 논문이 3편 발표되었는데, 마이크로광조형기술, 사출성형 등 다양한가공방법이 제안되었다. 기타 요소기술로서 PDMS 재질의 마이크로 펌프 제작에 관한 논문도 발표되었다.그 외에, 다양한 마이크로/나노 기술 관련 연구들이 발표되었다. 그 내용을 살펴보면, 마이크로 덩플의 밀도에 따른 마찰특성, 메조스케일 펀칭 시 버(burr) 컨트롤, 유체시스템 적용을 위한 마이크로 PZT 액추에이터 제작, 주사탐침현미경(SPM : Scanning Probe Microscopy) 관련 열전탐침 제작과 스위처블 캔틸레버(switchable cantilever) 제작, nanoparticle 제조, 카본나노튜브를 이용한 이온게이지, near-field optical patterning, surface modification 등 다양한 분야에서 발표되었다.

[김규만, 경북대학교]