

## 생산 및 설계공학부문

부문위원장 : 정 석 주(서울산업대학교, 교수)

지난 2001년 한 해와 올해에 걸쳐 생산 및 설계공학 관련 분야를 중심으로, 소성가공, 절삭가공, 금형 및 사출성형, 용접 및 특수가공, 생산자동화 및 관리, CAD/CAM, 기계요소 및 기구설계, 공작기계 및 기계시스템설계, 지적설계 및 최적설계, 운할 및 마멸, 생체공학, MEMS/NEMS 등으로 분류하여 각 분야에 있어서 그 동안 발전된 연구와 관련 동향들을 정리하여 보면 다음과 같다.

### 소성가공

지난해에 주요 관심사였던 TWB성형기술, 액압성형기술, 그리고 미세구조물 등의 정밀·미세성형기술이 올해에도 여전히 큰 주류를 형성하여, G7 과제를 비롯한 대단위 과제로서 연구개발이 지속적으로 추진되고 있다.

TWB를 적용한 자동차 부품으로서 Door Inner Panel, Front Side Member 등은 이미 양산단계에 들어섰을 만큼 최근 수년간 괄목할 만한 기술 발전을 이루었고, 판재 및 튜브 액압성형은 절

정에 도달할 정도로 활발한 연구개발이 수행되었다. 정밀·미세성형기술로서는 정보통신기기, 항공우주장비, 의료·생물공학기기, 초정밀기계 등 21세기를 주도할 첨단미래산업 분야에서 국제적으로 낙후되지 않기 위하여 필연적으로 확보해야 할 기술로서 이제 시작 단계에 있으나, 정부지원과 대학 및 연구소들의 협동 연구를 통하여 서서히 결실을 볼 수 있는 단계로 접어들고 있다.

이와 함께 전통적으로 소성가공의 주요 위치를 차지하고 있는 단조, 압연, 압출, 인발 등 입체성형(bulk forming) 분야에서는 정밀성형, 공정설계 자동화, 신제조기술, 난가공 재료/제품 성형 등 다양한 주제로 많은 성숙된 연구개발이 이루어졌으며, 판재성형 분야에서도 성형성 평가 및 개선, 스프링백 저감, 소재 초기형상 설계(blank design) 등에 관련된 연구가 꾸준히 수행되었다.

또한 각종 소성가공용 금형의 구조해석·설계·제작 및 수명평가, smart tool 개발, 온간성형(warm forming), 3차원 형상 및 변형을 측정 등에도 많은 후속적

인 발전이 이루어졌다.

한편 최근 수년 동안 성형공정 해석용 유한요소 프로그램의 개발에 매진해온 여러 연구자들의 노력이 이제는 그 결실을 맺어 이미 상품화가 완료되고, 국내 보급단계에서 수출단계에까지 와 있다.

성형해석용 소프트웨어도 외국에서 개발된 제품이 주류를 이루어 왔으나, 이제는 기능면에서도 전혀 뒤지지 않으면서 상대적으로 가격 경쟁력이 있는 국내산 소프트웨어의 개발·보급으로 국내 기술의 발전과 외화절감 등 많은 효과를 기대할 수 있는 수준에 도달하였다. 특정 가공공정 전용의 제품설계, 공정설계, 금형설계를 지원하는 소프트웨어의 경우는 가격은 물론 품질 경쟁력에서도 우수하여 상당한 정도의 외화획득도 가능할 것으로 여겨진다.

국내에서 개발되어 경쟁력이 확보되고 있는 주요 소프트웨어 들로서는 AFDEX, AFDEX/DIE(2차원 단조 공정해석 및 단조금형 구조해석), CAMPform(2/3차원 소성가공 공정해석), COPRAFEA/RF(롤포밍 공정해석 및 롤 설계 전용), ESFORM

(박관금속 성형해석), HAnD(초탄성 재료 변형해석), SAIT\_STAMP(박관금속 성형해석) 등이 제품이 있다.[김형중, 강원대학교]

### 절삭가공

최근 정보통신산업을 중심으로 하여 각 산업분야에서 미세부품 제작을 위한 MEMS 기술과 Nano 기술에 관한 중요성이 크게 대두되면서 절삭가공에 대한 연구분야 또한 이러한 산업의 수요와 필요성에 기초한 연구들이 본격적으로 이루어지고 있다. 따라서, 일반가공으로 대표되는 선삭, 드릴링 및 연삭에 관한 연구는 물론이고 밀링가공의 경우에도 자유곡면의 NC가공과 관련된 연구를 제외하고는 정체된 경향을 보이고 있다. 그러나 이러한 일반가공의 경우에도 산업 전 분야에서 확대되고 있는 자동화를 위한 공정 모니터링이나 이상현상의 검출 및 진단에 관한 연구나 환경친화적 가공기술에 관한 연구는 예년에 비하여 증가되고 있으며, 특히, 부품의 미세화와 정밀화에 발맞추어 초정밀가공을 위한 초정밀 선삭이나 연삭 및 연마가공은 많은 연구자의 관심을 끌고 있다.

한편, 방전가공, 전해가공, 입자분사가공, 레이저 가공 및 고속가공으로 대표되는 특수가공과 기계·전기 및 화학적 특성을 모두 이용하여 미세형상을 제작하기 위한 마이크로 가공(micro-machining)에 관한 연구는 더욱

활발히 진행되고 있다.

### 일반가공

기본 절삭이론에 관한 연구로는 유한요소법을 이용한 칩형상과 칩유동 및 2차원 절삭가공면의 소성스트레인 해석, 직교배열법에 의한 칩절단 특성 예측, 신경망과 실험계획법을 이용한 절삭력 예측 등이 발표되었다.

일반가공(traditional machining)의 대표적 공정인 선삭가공과 드릴가공에 관한 연구는 비교적 적은 편인데, 선삭가공에서는 해석다중비교를 이용한 절삭유량에 따른 온도변화 분석, 절삭조건과 표면거칠기, 다이아몬드 터닝의 절삭력과 미세절삭력 측정용 Tool Holder, SM45C의 비절삭에너지 특성 평가, 액화질소를 이용한 고정도하드터닝, 통계적 기법을 이용한 가공 절삭조건에 따른 공구온도 예측 등의 연구가 이루어졌다.

드릴가공에서는 Die-cavity 형상의 황삭 가공경로 생성, 마모를 고려한 절삭력 모델, 온도 변화에 따른 절삭력 변화와 가공정밀도 평가 등에 관한 연구가 이루어졌다.

밀링가공에서는 엔드밀 가공의 경우 코너 가공시 가공 정밀도, 전단특성 및 마찰특성, 로드셀을 이용한 절삭력 측정시스템, 등가경사절삭 시스템에 의한 Inconel 718 엔드밀 공정의 전단 및 마찰 특성 해석, 초미립 초경소재 개발을 통한 공구의 성능 평가, 절삭력에 미치는 공구형상오차, 플랫 엔드밀을 이용한 자유곡면 가공

경로 생성, 구성인선을 고려한 소형 박관 밀링 공구의 설계 등에 관한 연구가 발표되었다. 볼 엔드 밀 가공의 경우는 절삭속도 최적화, 전해복합의 효과, 곡면가공 시뮬레이션 시스템 개발, 상용 Solid Modeler를 이용한 절삭력 예측 등에 관한 연구가 있으며, 그 외에 공구경로 생성을 위한 아일랜드를 포함하는 영역의 오프셋, 새로운 공구경로 간격 알고리즘을 이용한 자유곡면에서의 CNC 공구경로 계획 등에 관한 연구가 발표되었다.

연삭 및 연마가공에서는 평면연삭가공시 발생하는 연삭열, 소형 비구면 렌즈 금형의 경면연삭, 적층연삭숫돌에 의한 원통연삭 가공물의 표면 특성, 선형 가이드용 블록연삭 공정 시뮬레이션 및 개선, 평면연삭반에서 난삭재의 ELID 연삭, 유리 재료의 헬리컬스캔연삭 조건, 연삭가공시 Mist의 냉각효과, CBN 휠에 의한 다섯 종 재료의 연삭 특성, 스트레이트 숫돌에 의한 대직경 Si-wafer의 ELID 경면연삭, 티타늄합금의 연삭, 경취성 난연삭 재료의 연삭 특성, CBN 숫돌을 이용한 연삭에서 공작물의 표면성상, 평면연삭에서 연삭력 변화와 숫돌수명, 렌즈용 금형의 연삭가공, M/C에 사용되는 내면연삭 휠의 ELID 특성, 레지노이드본드 CBN 휠의 연삭 특성, 이동열원에 의한 온도분포, 평면연삭 가공조건의 최적설계, 3축 가공기를 이용한 곡면 금형의 연마 정밀도, 고정입자 패드를 이용한 증간절연막 CMP, 패턴에 따른 증간절

연막 CMP의 모델링, 자기연마법에 의한 비자성 파이프 내면의 연마 특성, 알루미늄 재의 전해연마가공 특성, 초고속 원통플런지 연삭에서 공작물 속도의 영향, 화학 기계적 연마시 발생하는 온도 특성과 마찰력, STS304 파이프 내면의 초정밀 자기연마 등에 관한 논문이 발표되었다.

공구 관련 연구로는 SiC-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 세라믹 절삭공구의 미세구조 및 절삭 특성, 초미립 서멧 절삭공구의 절삭성능과 기계적 특성, 금속 절삭공구에 대한 PVD 코팅기술의 동향, SiC계 세라믹 절삭공구의 절삭 특성 평가, HSS 공구와 PVD 코팅기술의 영향, 사출 금형 CAM 작업 지원용 공구 선정 시스템 개발, Ti(C,N)계 서멧 공구의 WC와 IV족 원소 첨가와 단속 절삭성능, 엔드밀의 형상설계에 관한 연구 등이 이루어졌다.

한편, 최근 큰 주목을 받고 있는 고속가공과 관련하여서는 고속가공을 이용한 시작금형 및 시작품의 쾌속제작, 볼 엔드밀을 통한 자유곡면의 고속가공에서 절삭방향에 따른 가공성 평가, 금형가공을 위한 고속가공 및 톨링 기술, 고속가공에 의한 쾌속제작용 자동충진 공정개발, 고속가공용 엔드밀의 형상설계, 고속가공의 상태 감시를 위한 실험적 평가 기술, 형상가공을 통한 고속가공 시스템 평가방법, 실험계획법을 이용한 고속가공의 가공정밀도, 고속가공시 절삭조건과 미시적 정밀도의 관계에 대한 연구들이 발표되었다.

버(burr) 관련 연구로는 버의

최소화를 위한 밀링가공 파라미터의 최적화, 화학 기계적 미세가공 기술에 의한 버 최소화, 밀링가공시 버 형성 예측을 위한 전문가 시스템 개발, 드릴가공시 버형상, 유한요소법을 이용한 절삭가공 버 예측과 생성 특성, 알루미늄 박막의 표면화학반응이 버 감소에 미치는 영향, 구멍가공시 버형상 최소화를 위한 드릴 형상 개발 등에 관한 연구가 발표되었다.

또한, 각 가공공정에서의 공정 감시와 이상 검출 및 진단에 관한 연구도 꾸준히 계속되고 있는데 슬라이딩 모드 제어기를 이용한 밀링공정의 절삭력제어, 절삭력 신호를 이용한 정면 밀링에서 공구 파손량 예측, 고속 엔드밀 가공시 가속도 신호를 고려한 가공 표면의 시뮬레이션, 엔드밀 가공시 chatter 모델링과 진단, 난삭재의 고속가공 특성 평가 및 모니터링 시스템 구축, 열연관과의 드릴가공시 공구의 마멸량 검출, 가공면의 상태 변화, 엔드밀링 가공시 과도 영역에서의 안정성 평가, 선삭가공 중 신경망을 이용한 chatter 진동의 감시, 드릴공정시 절삭 토크 제어, 평면 연삭에서의 연삭숫돌 마모 추정 및 실험적 검증, 주축 변위 측정을 통한 공구 마모 진단, 절삭공정 모니터링을 위한 이송모터와 주축모터 전류, 압전 소자를 이용한 AE센서 및 연마 공정 감시장치 개발, 드릴가공시 신경망에 의한 공구 이상상태 검출, 공구마모 보정을 위한 전기접점식 자동공구 보정시스템, 정지 상태 모터의 전류신호를 이용한

피삭재의 가공면 적응제어, chatter 모델링과 진단법, AE를 이용한 숫돌의 수명판정 및 Dressing 시기의 결정에 관한 연구 등이 수행되었다.

한편, 최근에 환경친화적 가공 기술의 중요성이 더욱 커지고 있는데, 냉각공기에 의한 환경 친화적 절삭가공 기술, 압축냉각공기를 이용한 환경친화적 연삭가공 기술, 환경친화적 전해드레싱 적용 초정밀 래핑가공 기술, 환경친화적인 세미드라이 선삭가공 기술 및 환경친화형 기계가공을 위한 전략적 접근 등에 관한 연구들이 수행되었다.

### 특수가공

최근 미소가공 혹은 나노기술의 중요성이 높아지면서 특수가공(nontraditional machining)에 관한 연구도 더욱 활발하게 진행되고 있는데 종래의 기본적인 특수가공 보다는 기계 화학적 특성이 융합된 특수가공의 연구가 관심을 끌고 있다. 와이어 방전가공기용 와이어의 진동 특성과 장력 변동 저감, 연속 전해드레싱용 래핑숫돌 개발 및 성능평가, 층간 절연막 화학기계연마에서 입자코팅패드에 관한 연구, PC-NC 제어 water jet 가공기의 개발과 티타늄의 시험 절삭, 래핑가공에 의한 와이어 방전가공면의 표면형상, 자기연마법에 의한 비자성 파이프 내면의 연마특성, 미세 방전가공을 이용한 반구형 전극 제작, 점 전극을 이용한 마이크로 전해현상의 고찰, Ni-Ti 형상기억합금의 전해가공과 형상복원 특성의

관계, 주물용 스티로폼 목형 제작을 위한 레이저 가공 공정 개발, 스텐실 제작용 레이저 공정기술 개발, 와이어 종류에 따른 방전가공 부품의 기계적 특성, 열처리 조건에 따른 티타늄합금의 와이어 방전가공, 레이저 용접공정과 밀링공정에 의한 패속 금속 시제품 개발, 불베어링 레이스면의 슈퍼피니싱 등에 관한 논문들이 발표되었다.

### 미세가공

정부 주도로 개발이 진행되고 있던 Milli-structure의 생산기술이나 MEMS 관련 기술과 더불어 지난해에는 Nano technology 관련 기술개발 계획이 추진됨에 따라 특수가공이나 정밀 미세가공(micromachining)에 관한 연구들이 점차 증가해 가는 추세를 보여주고 있다.

특히, 특수가공과 미세가공이 결합된 미세가공 기초기술 연구들과 미소형상 제작을 위한 응용 기술 연구들이 활발히 진행되었는데 표면 미세가공 기술을 이용한 수평감지 방식의 정전용량형 다결정 실리콘 가속도계의 설계, 제작 및 가공 오차 영향 분석, Micro Abrasive Jet Machining을 이용한 유리의 미세 홀 가공, 전기화학적 에칭을 이용한 텅스텐 미세 탐침 가공, 전해 프로세스를 이용한 미세축 가공 및 특성, 레이저를 이용한 미세에칭, 크롬 박막의 레이저 어블레이션, 기계적 미세가공 시스템 구성 및 응용 연구, 전원특성에 따른 마이크로 전해가공, 유리의 미세구멍

가공시 출구 크랙 발생장치, 알루미늄( $Al_2O_3$ ) 세라믹 미세구멍 가공시 레이저빔 특성, Powder Blasting을 이용한 미세 포켓가공, 마이크로 Deep hole가공 특성, CMP와 Spin Etching에 의한 Blanket Wafer(TEOS)가공 특성, Excimer laser를 이용한 알루미늄 세라믹의 미세구멍가공 특성과 3차원 마이크로가공, 미세박판가공을 위한 마이크로 NCT 제작, MCP 제조를 위한 미소구멍가공, 방전 미세구멍가공 특성, 초음파 진동을 이용한 미세구멍가공, 다층 PCB 기판의 미세가공을 위한 UV레이저 어블레이션, 미세 엔드밀을 이용한 마이크로 격벽가공기술 등과 같은 연구내용들이 발표되었다. 이와 더불어 고속저능형 마이크로머시닝을 위한 진단시스템 및 특성평가 연구도 이루어졌다.

한편, 절삭가공에 관한 연구 주제들의 전반적 흐름을 보면 미래의 기계기술로 대표되는 Milli-structure기술이나 MEMS 및 Nano 기술과 접목을 시도하려는 연구들이 나타나고 있는데 이러한 추세는 향후에도 계속될 것으로 보인다.

따라서, 이러한 미래의 기계 기술에 대한 절삭가공의 적용분야나 한계에 대한 종합적 기술 검토가 시작되어야 할 시점이라고 판단된다.[박동삼, 인천대학교]

### 금형 및 사출성형

급속히 성장하고 있는 중국의 추격을 뿌리치기 위한 노력과 차

별화가 금형 및 사출성형 분야에 서 서서히 나타나고 있다고 보인다. 금형과 관련하여 비록 학술 논문집에는 많은 양의 논문이 보이지 않지는 않지만 학술 세미나, 심포지엄 그리고 각종 금형 관련 모임에서 그러한 현상이 나타나고 있다. 금형에서 중국과의 차별화 방향은 고부가가치의 금형, 초정밀금형 그리고 CAD/CAM 기술의 적극적 활용과 정보화 기술 및 표준화, 품질관리 등의 합리화 기술에 의한 저비용 고품질의 실현이다. 초정밀금형가공에 있어서는 가공기계의 정밀도와 공구의 정밀도 등 절삭가공에 관련된 분야의 발전이 선행되어야 할 것이며, 생산성을 높이기 위해서는 가공기계의 자동화 및 고속화 등 공작기계와 가공 시스템 분야의 발전이 이루어져야 할 것이다. 2001년 한 해 동안 반도체 금형과 IT산업과 관련된 사출금형이 활발히 사용되었고, 비구면 렌즈를 위한 금형가공의 노력도 있었다. Blow용 금형에서는 캐릭터 PET병을 만들기 위한 금형이 각광을 받았고 앞으로 이러한 캐릭터 병의 수요는 증가될 전망이다.

사출성형 분야에서 사출기는 타이바가 없는 Tiebarless 성형기가 선보였으며, 이는 금형의 크기가 타이바에 제한 받지 않는 장점을 가지고 있다. 또한 DVD의 쓰임이 증가함에 따라 이를 생산하는 사출압축성형기도 많이 사용되었다. 이 성형기는 사출후 금형의 압축과정을 하나의 기계에서 수행함으로써 제품의 밀도를 균일하게 할 뿐만 아니라 잔류응력

을 낮고 균일하게 하여 광 특성을 좋게 하는 장점이 있다. 이는 DVD 외에 타제품에도 활용이 기대되는 공정이다. 박육성형의 요구가 늘어남에 따라 이를 위한 고속사출기 역시 많은 활용이 있었다. 특히 휴대용 전화기 케이스 및 배터리 팩의 사출에서 많이 사용되었다. 배터리 팩의 경우 두께가 0.3mm 정도이기 때문에 고속사출이 아니고는 성형하기 불가능하고 고속사출을 위한 금형은 핫 러너를 사용하고 있다. 핫 러너 금형은 생산성과 품질을 향상시키는 데 중요한 역할을 하고 있어 종전에는 일부 제품에 국한되어 사용되었던 것이 지금은 일반적인 사출성형에도 많이 채용되고 있다. 위에서 살펴본 바와 같이 사출성형 분야에서는 기존의 전통적인 사출 방법을 뛰어넘어 신개념의 사출기 및 공정이 사용되고 있음을 시사하고 있다.

사출성형을 위한 CAE 해석 프로그램도 단순히 셀 요소를 사용하여 두께 방향의 흐름과 압력의 차이를 무시하고 계산하는 단계(hydrodynamic lubrication theory 적용)를 넘어 3차원 요소를 사용하여 보다 정밀하고 실제 상황에 가깝게 해석하는 경향도 나타나고 있다. 이는 두께가 두껍거나 불균일한 제품에서 보다 정밀한 결과를 준다. 3차원 해석이 계산시간은 길지만, 3차원 CAD 작업에 의해 설계된 제품을 그대로 3차원 유한요소로 나누어 해석할 수 있어 편리하며, 해석을 위해 셀 요소로 변환하는 작업의 시간을 단축시켜 주는 장점을 갖

고 있다.

정밀한 사출성형품을 얻기 위해서는 수지의 특성, 특히 수축과 그의 이방성이 정확히 고려된 금형 설계가 먼저 이루어져야 하고, 그렇게 설계된 금형이 정밀하게 제작되어야 한다. 그리고 성형공정 역시 수지의 특성과 사용하는 금형의 특성에 맞도록 조작되어야 할 것이다. 플라스틱 수지의 성형 수축은 대략 0.5% 내외(비결정성 수지)에서 2% 내외(결정성 수지)이고, 여기에 무기물이 첨가되면 수축은 감소한다. 또한 흐름방향에 따라 현저한 수축의 이방성을 보이며, 공정변수에 따라서도 변한다. 이렇게 다양한 변화를 보이는 수지를 이용하여 정밀한 제품을 성형하기 위해서는 사용되는 수지의 특성을 정확히 이해하는 노력과 연구가 있어야 될 것이라고 사료된다. 정밀 사출품이란 제품 표면의 거칠기보다는 전체적인 치수와 형상의 정확성에 그의 비중이 크기 때문이다.[류민영, 서울산업대학교]

### 용접 및 특수가공

용접공정은 생산성을 향상시키는 중요한 공정 중 하나이다. 산업이 발달하면 할수록 제품을 접합하는 공정은 점점 확대되고 있으며, 제품의 질을 결정하는 요인으로 인식되고 있다. 용접공정은 조선, 자동차, 항공기 등의 수송기계는 물론 건설, 전자제품과 최근에는 반도체 분야에도 적용이 되고 있다.

최근의 연구 방향은 대량생산

을 위한 생산자동화 분야와 초정밀가공을 위한 기술의 개발로 대별된다. 용접공정은 1900년도 전반기에는 주로 아크를 열원으로 이용하는 아크용접이 주로 사용되어 산업발전에 큰 역할을 담당하여 왔다. 아크 용접에는 SMAW, GMAW, GTAW, SAW, FCAW 등이 있으며, 그 후 열 집중이 좋고 정밀한 용접을 위하여 플라즈마 용접법이 개발되었다. 한편 자동차 등에 주로 사용되는 점(spot)용접 등의 저항용접이 박판용접에 사용되고 있다. 아직까지도 아크용접과 점용접이 전체 접합공정의 90% 이상을 차지하고 있다. 그 이유는 값이 저렴하면서도 열을 충분히 발생하고 있으며, 최근에는 자동화가 용이하기 때문에 대량생산을 위한 로봇과의 연계가 가능하기 때문이다.

한편 자동차 라디에이터, 혹은 파이프의 연결 등에는 브레이징 접합이 주로 사용되어 생산성을 향상시키고 있으며, 전자부품 등에는 솔더링이 사용되고 있다. 최근에는 초정밀용접이 점점 요구되고 있으므로, 고밀도의 정밀용접기법이 개발되고 있다. 그 중에서 대표적인 용접법으로 레이저 용접을 들 수 있다. 레이저 용접은 국부적인 위치에 고밀도의 용접을 할 수 있어서 자동차산업 등에 사용이 증가되고 있다. 레이저 용접은 크게 CO<sub>2</sub> 레이저와 Nd:YAG 레이저가 주로 사용되고 있으며, 특히 Nd:YAG 레이저는 광파이버를 이용한 레이저 전송이 가능하며, 다관절로봇을 이용

할 수 있기 때문에 앞으로의 이용이 증가할 것으로 생각된다. 최근에는 레이저의 장점과 아크용접의 장점을 동시에 이용하는 Hybrid-arc-laser 용접법이 개발되어 후판용접을 주로 다루는 선박제조 공정에 이용하여 경쟁력을 확보하고 있다.

또한 전자빔을 이용한 전자빔 용접이 사용되는데 주로 항공기 혹은 전자부품 등의 초정밀 접합을 요구하는 곳에 적합하지만, 진공챔버에서 용접하기 때문에 고가이며, 용접수행에 여러 가지 제한이 따른다. 저항열을 이용하여 용접하는 심용접, 플래시버트용접 등도 많이 사용하고 있다. 이 밖에도 마찰용접, 폭발용접, 초음파용접, 확산용접 등 많은 용접공정이 있다. 그러나 생산라인에는 그 공정에 맞는 용접공정을 선택하여 생산성과 경제성을 고려하여 결정하는 것이 바람직하다. [이세현, 한양대학교]

### 생산자동화 및 생산관리

생산자동화 및 생산관리에 관한 연구로는 생산시스템 설계, 생산시스템 운영 및 생산관리, 시스템통합 분야로 분류할 수 있다.

#### 생산시스템 설계

PDM(Product Data Management), 3차원 CAD 시스템 및 설계지식 데이터베이스를 통합하여, 인터넷으로 제공함으로써 설계프로세스에 필요한 시간과 노력을 절감하려는 연구가 진행되고 있으며, 다품종생산시스템에

서의 조립자동화, 통합물류시스템 설계에 관한 논문이 발표되어 생산시스템 두인자동화에 대한 연구가 지속적으로 수행 중이다. 지능생산시스템 제어기로서 PC 기반 개방형 제어기를 제안하였으며, Plug & Produce 개념을 이용하여 시스템 요소를 추가/삭제가 자유로운 Agile Manufacturing system 설계에 관한 연구가 이루어졌다. 또한 쾌속조형장비, 광조형장비 등을 이용하여 제품개발 기간을 단축하는 방안이 활발히 연구되었다. 대기행렬이론 및 페트리넷을 이용한 시스템 해석에 대한 연구가 이루어졌으며, 시뮬레이션기법을 이용하여 설계된 시스템 특성을 고찰한 연구가 수행되었다. VMS(virtual manufacturing system)의 구축 및 활용방안에 관한 연구가 주목 받았다.

생산시스템 운영 및 생산관리 생산시스템의 일정계획 문제를 Genetic Algorithm 및 ERP를 응용하여 해결하는 연구가 이루어졌으며, 에이전트를 이용하여 생산자원을 할당하는 연구가 발표되었다. 다중 에이전트를 기반으로 생산현장에서의 의사결정지원시스템을 구축하는 연구가 이루어졌다. 다꾸찌방법을 이용하여 제품치수 정밀도를 향상시킨 연구결과가 발표되었다.

#### 시스템 통합

SFC/POP 연계형 DNC 시스템을 구현한 결과가 발표되었으며, 인터넷 기반 POP 시스템 구

현 및 생산시스템의 차세대 이동통신 단말기 접속에 관한 연구가 진행되었다. 모바일 환경에서 생산현장의 자원을 통합하는 논문이 발표되었으며, 협업설계 프로세스 분석에 관한 연구 및 시스템 모니터링 및 오류진단에 관한 연구가 수행되었으며, 협업 시스템 아키텍처가 제안되었다. 또한 시스템 모니터링을 위하여 시스템 전 공정에 대한 정보를 접근할 수 있는 Transparent Factory에 대한 연구가 다수 발표되었으며, CORBA를 이용하여 생산시스템의 고장진단을 수행한 연구가 발표되었다. 웹을 이용한 생산시스템 원격제어에 대한 논문이 다수 발표되었으며, 특히 감시카메라를 이용한 원격감시 및 보안시스템의 연구가 활발히 이루어졌다. 시스템을 통합하기 위하여 시스템 내 네트워크, 특히 Field Bus에 대한 연구가 수행되었다. 시스템통합을 위하여 표준화, 생산시스템과 B2B 전자상거래와의 통합, CRM(customer relationship management)과의 통합관리, XML을 이용한 지식기반시스템에 대한 연구가 지난해에 이어 활발히 진행되었다. [김기범, 서울산업대학교]

#### CAD/CAM

자동차 차체설계 및 항공기곡면설계에서 시작한 CAD/CAM 연구는 변수설계와 전문가 시스템과의 연계를 통한 특징형상설계, PDM 및 동시공학설계와 연계되어 설계분야에서 없어서는

안될 시스템의 한 모듈로 자리잡았다. 초창기 Mainframe 컴퓨터에서만 가능했던 시스템이 하드웨어, 소프트웨어의 발전과 함께 PC급 수준에서도 변수설계가 가능하게 되어 사용자의 범위는 급속히 확대되었다. CAM분야도 기존의 NC Machining뿐 아니라 신속시작조형(rapid prototyping)으로 확대되어 현재 산업계의 핵심 이슈 중 하나인 제품의 라이프사이클 감소를 통한 적기출하의 이득을 최대화하려는 업계의 노력에 잘 부응하고 있다. 향후 CAD/CAM 분야의 연구는 고객의 요구가 다양해지면서 제품의 종류가 다양해지고, 기능도 복잡·고도화되고 있어 이런 시장환경의 변화에 대응하기 위한 방향으로 연구가 진행되고 있다. 즉 제품 개발은 설계자가 정한 설계평가 기준에 대하여 현재의 설계가 그 기준을 얼마나 만족하였나를 검증하고, 만약 기준을 만족하지 못하였을 경우 적절한 설계대안을 도출시키고 선택을 돕는 PDM/CPC/PLM 등의 시스템 개발방향으로 전환되고 있다. 이러한 개발환경의 전환으로 기존의 CAD/CAM관련 정보의 재사용과 기존 정보의 Knowledge Base화를 통한 질의 정보확립을 위한 방향으로 구현되고 있다. CAD/CAM 관련 연구개발동향은 국내의 www.cadcam.or.kr(한국CAD/CAM학회)나 국외의 www.cadcamnet.com을 통해 접할 수 있다.[이수홍, 연세대학교]

### 기계요소 및 기구설계

지난 한 해 동안 우리 학회 논문집 및 학술대회에 발표된 기계요소 및 기구설계 관련 논문은 종래에 주류를 이루었던 링크기구설계나 차량용 기계요소 설계 등의 논문의 크게 줄어든 반면 MEMS 기술에 기반을 둔 미소기계의 새로운 구동원리나 미소기계요소에 관한 논문이 주류를 이루고 있다. 일례로 2001년 춘계학술대회에서 발표된 생산 및 설계공학부문 논문 106편 중 기계요소 및 기구설계 관련 논문은 기어펌프 설계, 스프링구동 링크기구와 공기베어링 설계에 관한 것이 있으며, 이에 비해 새로운 가공기술에 의한 미소기계요소의 제작이나 미소기구설계에 관한 논문이 크게 증가하였다.

미소기계요소의 제작이나 미소기구설계에 관련된 논문들은 크게 두 분야로 나눌 수 있다. 먼저, 새로운 설계기술이나 기계요소들이 요구되는 정보 저장기용 광디스크 드라이브의 헤드, 하드디스크의 헤드 및 암(arm), 그리고 원자력 현미경(AFM)에 사용되는 미소 프로브(probe) 등에 관련된 기계요소 및 기구 설계에 대한 논문이다.

두 번째 분야는 바이오 기술의 대두로 바이오 칩에 응용되는 기계요소와 기구 설계에 관한 것이다. 바이오 칩에 응용되는 기계요소와 기구에는 미소펌프, 미소혼합기, 미소필터와 미소채널 등이 있다. 특히 이와 같은 미소기계요소와 기구는 관성력보다는 표면

장력이나 모세관 현상에 의한 힘 등이 지배적인 힘으로 작용하여 종래의 기술과는 다른 설계가 요구된다. 또한, 이러한 기계요소 및 기구의 설계는 대부분 최적설계에 그 기반을 두고, 제작은 MEMS 기술에 바탕을 두고 있다.

이와 같은 논문 주제 및 기술분야의 전환은 종래 관련 기술개발 투자의 위축과 국내외적으로 MEMS 기술, 바이오 기술 및 나노 기술에 대한 기술개발투자의 확대에 인한 것으로 사료된다. [조영호, KAIST]

### 공작기계 및 기계시스템 설계

예년과 마찬가지로 작년에도 공작기계 및 가공기계시스템의 설계기술에 관한 많은 연구논문이 대한기계화회를 비롯하여 한국정밀공학회, 한국공작기계학회, 한국소음진동공학회 등에서 발표되었다. 이들 연구논문들은 최근 공작기계 기술 개발동향을 잘 반영하고 있다. 즉, 고속화, 고정밀화, 복합다기능화, 지능화, 인터넷 기반의 원격감시 및 지원, 친환경화 등에 관한 연구가 주류를 이루고 있다. 이밖에도 병렬기구형 공작기계나 가상공작기계 등과 같은 신개념 공작기계 기술에 관한 연구도 눈에 띈다.

공작기계의 고속·고정밀화는 주축의 고속·고정밀화, 이송계의 고속·고정밀화, 고강성·저진동 구조설계 기술과 ATC의 고속화 기술 등이 조화를 이루어야 가능하다. 따라서 발표된 논문도

이러한 몇 가지 요소기술을 중심으로 지난 한 해 동안 국내에서 발표된 연구사례를 요약하여 살펴보기로 한다.

먼저 주축의 고속·고정밀화와 관련하여 관성 중량을 줄일 목적으로 모터내장형 주축이 도입됨에 따라 모터 발열에 따른 주축의 열변형 대책과 냉각특성 및 윤활에 대한 연구가 활발해졌다. 즉, 고주파 모터내장형 주축의 냉각특성 해석, 모터내장형 주축계의 구조에 따른 열특성 해석에 관한 연구, 공기저널 베어링에서 저널의 고속회전시 공기 유막 내의 열발생에 관한 연구, 고속 주축에 있어서의 예압력 변화가 회전 정도에 미치는 영향, 각접촉 볼베어링의 정위치 예압변화에 따른 회전체계 동특성 변화 연구 등의 많은 논문이 발표되었다. 이밖에도 자기베어링을 고속주축에 응용하기 위한 연구나 고속주축의 척킹오차, 복합재료 주축 설계 등에 대한 연구로서 16극의 반경방향 전자석을 갖는 자기부상 주축계 연구, 반경방향 자기베어링의 강성에 관한 연구, 페룰 가공용 고정밀 주축시스템 설계, 페룰 동축 연삭시 척킹 오차해석, 고속 공기 주축부를 위한 복합재료 주축의 최적설계 등이 있다.

최근의 해외 공작기계전시회(JIMTOF, EMO 등)를 통하여 고속·고정밀 이송시스템으로 부각되고 있는 리니어 모터 이송시스템에 대한 연구도 국내에서 매우 활발하다. 리니어모터의 운동 성능에 관한 연구, 공작기계용 철심형 리니어 모터 기술개발, 리니

어 이송시스템의 2축제어 특성, 공작기계 고속이송용 리니어 모터의 열특성 및 운동특성에 관한 연구, **Synchronous Linear Motor**의 구조변경에 의한 열특성 개선, 초고속 이송방식 **Laser Cutting M/C** 개발에 관한 연구 등이 그것이다.

고속 공작기계를 위한 고강성, 저진동 구조설계 기술 연구로는 동적 벌점함수 유전알고리즘과 다단계 설계방법을 이용한 공작기계 구조물의 최적설계, 유전자 알고리즘을 이용한 공작기계 구조물의 정강성 해석 및 다목적 함수 최적화, 고감쇠 레진콘크리트 공작기계 베드 제작에 관한 연구, 초고속 지능형 라인센터용 구조물 설계에 관한 연구, 휠형 공작기계구조물의 다단계 최적화 등이 있고, 구조물 열변형 관련 연구로는 초고속 수평형 머시닝센터의 열특성 해석, 작업조건에 따른 공작기계의 열변형 특성해석 및 보정에 대한 연구 등이 있다.

고정밀화 연구도 주축과 이송계의 운동해석과 정밀도에 관한 연구, 열변형 보정, 기상오차 측정 및 보정 등을 중심으로 연구가 활발하다. 예로서 고정도 이송을 위한 공기정압 커플링에 관한 연구, 리니어 모터 제어기설계 및 운전상태 예측에 관한 연구, 단열재에 의한 리니어모터의 열특성 향상, 리니어 모터를 이용한 척킹 컴플라이언스 보상, 볼스크류의 축-비틀림 복합강성을 고려한 이송계 모델링, 초정밀 위치결정을 위한 유정압 안내면의 온도특성 분석, 전달함수를 이용한 유정압

테이블의 운동정밀도 해석법의 제안 및 검증, **FEM**을 이용한 유정압테이블의 운동정밀도 해석, 고속 이송계의 열변형 특성 및 보정, 공작기계 이송시 스틱 슬립에 관한 고찰, 평면 2자유도 모델을 이용한 **LMG**상에서 이송되는 **Cross Head**의 사행동 해석, 고정도 열변위보정을 위한 주축대의 열적급힘에 대한 연구, 자기베어링 지지 연삭기 주축계의 고속 회전시 런아웃 적응제어, 기준물을 이용한 공작기계 위치오차 보정 기술에 관한 연구 등이 있다.

공작기계의 지능화·정보화 기술은 최근 통신기술의 발전과 인터넷의 확산에 힘입어 인터넷을 기반으로 한 기상측정과 원격감시, 고장진단 및 지원 등에 대한 다양한 기술연구와 응용이 시도되고 있다. 예를 들면 웹기반의 공작기계 원격감시 기술, 공작기계의 성능시험을 통한 고장모드 해석, 공작기계 부품의 고장 데이터 해석 및 데이터베이스 프로그램 개발, 열변형 오차를 고려한 기상측정 오차보정에 관한 연구, 엔드밀의 마멸측정을 위한 기상계측 시스템 개발, **Plug/Play** 타입의 개방형 **CNC** 기술연구, **SERCOS** 기반의 고속 고강성 이송시스템 드라이버 개발, 공작기계 핵심 **Unit**의 신뢰성 평가 기법 및 활용에 관한 연구, 공작기계의 열변형 오차 모델링 기법, 자동공구교환장치와 **PC**용 프로그램을 이용한 지능형 연마 로봇 시스템의 개발, 공작기계의 지능형 고장진단과 원격 서비스 모델 등이 있다.



친환경화 연구는 기술면에서는 가공기술이나 윤활기술 등과 중복되는 면도 있다. 최근 반도체 가공장비 등과 같이 생산제품의 품질 향상과 환경오염 방지에 대한 요구가 강화되는 추세이므로 이 분야의 연구도 꾸준히 증가되었지만 아직까지 국내에서는 상대적으로 발표 사례가 많지 않은 편이다. MQL이나 냉풍가공, 건식가공 등 다양한 방법이 활용되는데 지난해에 발표된 대표적인 연구사례는 압축냉각공기와 오일미스트를 이용한 환경친화적 연삭가공 기술, 환경친화적인 세미드라이 선삭가공 기술, 환경친화적 전해 드레싱 적용 초정밀 래핑가공 기술, 반도체 공정에서의 환경친화형 프로세서, 환경친화적인 절삭가공 기술 등이 있다.

복합다기능 공작기계나 병렬기구형 공작기계, 가상공작기계 기술 연구도 최근 활발하다. 그 예로서 병렬 킬팅 테이블의 개발에 관한 연구, 병렬기구형 공작기계의 보정시스템에 관한 연구, 병렬기구형 킬팅 테이블 및 RAD Tool 프로그램 개발에 관한 연구, 3차원 작업영역에서 링크강성이 육면 병렬기구 오차에 미치는 영향, 유한요소 모델링을 이용한 킬팅터릿 시스템의 진동특성 해석, 가상 공작기계의 연구개발 등이 있다.

이밖에 공작기계의 설계지원 시스템 개발에 관한 연구, 소규모 시스템의 요건에 의한 설계(requirement driven system design process), 영향계수를 이용한 고속주축시스템의 자동밸런

싱 기법에 관한 연구 등이 있다.[최영휴, 창원대학교]

### 지적설계 및 최적설계

실제문제의 최적설계를 수행하기 위해서는 여러 분야 원리의 통합이 요구되며, 이를 위한 다분야 통합최적설계(multidisciplinary design optimization)의 연구가 국내에서도 활발히 진행되고 있다.

유전알고리즘, 면역알고리즘, 진화알고리즘, 라그랑지승수법 등의 최적화 알고리즘의 연구가 진행이 되었으며, 설계민감도해석 기법의 개발 및 응용, 최적설계의 응용 등의 연구도 활발히 진행되었다. 실제문제의 해석을 대신하기 위한 근사화 방법으로 크리깅 방법의 연구도 활발히 진행되었다.

### 통합설계

국내에서도 통합설계 분야에서는 분산컴퓨팅(distributed computing) 환경에서 여러 분야의 소프트웨어를 통합하여 모사해석을 수행하기 위한 프레임워크의 개발이 활발히 진행되고 있다. 설계기간을 단축하고 개발비용의 절감을 위하여 분산된 가상설계 공간에서 최적의 설계를 수행하기 위한 프레임워크로, CAD, 구조해석 및 기구운동해석 통합시스템의 개발이 진행되었으며, 이를 이용하여 자동차 시트 프레임의 최적설계에 적용하는 연구가 주목되고 있다. CAD 프로그램인 Pro/E, 구조해석 프로그램인 ANSYS, 동적성능 평가를 위한

DADS를 Text File Format 교환을 이용하여 통합시스템을 구성하는 경향이 많았다.

### 최적화 알고리즘

보강된 복합재 패널의 증량 최적설계를 위한 유전알고리즘(genetic algorithm)을 개발하여 전역 최적해를 구하는 연구가 활발히 진행되었다. 다목적 형상최적설계에 생체의 면역기구가 갖는 다양한 항체생산기구와 자기조절기능을 모방한 면역알고리즘(immune algorithm)을 적용하여 탐색능력을 향상시킨 면역-유전알고리즘이 개발되었으며, 회전축계의 다목적 최적해를 구현하였다. 이러한 유전알고리즘들은 전역탐색에 매우 효율적이지만 국부탐색에는 민감도해석을 이용하는 기존 미분기반 최적화 기법보다 비효율적인 특징이 있다. 따라서 유전알고리즘을 민감도해석과 조합하여 두 방법의 장점을 갖춘 새로운 방법도 제안되어 여러가지 수학적 문제에서 그 유효성을 입증하는 연구가 진행되었다. 이에 대한 초기연구로 차분진화알고리즘의 연구도 진행되었다.

### 설계민감도해석

상용 프로그램으로부터 정적구조문제의 설계민감도 정보를 얻기 위한 모듈 개발의 연구가 준해석법 및 데이터베이스를 이용하여 ANSYS 상용 유한요소해석 프로그램 환경에서 개발이 되었으며, 열전도문제의 형상설계민감도 정보를 연속체 방법을 적

용하여 해석적으로 구한 연구가 수행되었다.

중복근을 갖는 고유치 문제의 설계민감도는 매우 비선형성이 높아서 유한차분법으로 설계민감도를 구하는 것이 어려우나 보조변수법을 적용하여 설계민감도 해석 기법을 개발하여 성공적으로 설계민감도정보를 구하는 연구가 진행되었다. 또한 고유치 민감도 해석을 이용하여 자동차 후드의 보강경로를 최적화하는 방법을 위상 최적설계에 적용하였으며, 박판성형 공정에서 최적 블랭크의 형상설계를 Pam-Stamp와 설계민감도해석 기법을 이용하여 수행하는 연구가 진행되었다.

### 반응표면모델

복잡한 시스템에 대해 수치해석 비용이 많이 드는 시스템의 최적설계는 근사화 기법을 적용하여 설계 수행시간을 단축하고 있다. 이러한 근사화 기법 중 가장 많이 쓰고 있는 방법이 반응표면 모델이며, 일반적으로 반응표면 모델은 2차함수로 가정을 하여 표현하며, D-Optimal 반응표면 모델을 자동차 새시 프레임 최적설계에 적용하였으며, 철도차량 대차의 탄성조인트 최적설계에도 적용하는 연구가 진행되었다.

그러나 비선형성이 높은 경우는 2차 근사함수로서는 함수의 정확성을 향상시킬 수 없으므로 근사화 모델의 형태를 3차함수 항과 역함수 항을 첨가하여 새로운 형태의 반응표면모델도 연구되었다.

비선형성이 높은 전산실험의

근사모델을 위한 크리깅 메타모델링 기법의 연구가 진행되었다.

### 최적설계

설계에서의 불확실성을 고려하는 통계학적인 목적함수와 제한조건을 고려하여 설계의 신뢰성을 확보하는 강건설계의 최적화 기법의 연구도 활발히 수행되었으며, 공리설계의 기법이 구조 최적설계에 적용되는 연구가 진행되었다. 최적설계의 응용사례는 매우 다양하며, 그 범위도 넓어지고 있다.

우선 구조물의 결합진단을 위하여 결합의 위치 및 크기를 최적화 문제의 정의를 통하여 수학적으로 예측하는 결합인식연구가 수행되었다. 자동차 클러치의 다리아프래의 스프링 형상을 유한요소해석을 수행한 후, 최적화문제로 정의하여 최적설계 등이 활발히 수행되었다.[이태희, 한양대학교]

### 윤활 및 마멸

Tribology는 상대운동을 하는 표면의 상호관계를 연구하는 학문으로서 주로 마찰(friction), 마멸(wear) 및 윤활(lubrication) 등의 세 분야를 다룬다. Tribology연구는 새로운 첨단산업을 가능하게 하였으나, 아직도 과도한 마찰과 마멸에 의한 문제나 미소마멸문제에 대한 섬세한 설계가 필요한 경우가 있다.

초기, 에너지를 절약한다는 관점으로 출발한 이 분야의 연구가 최근에는 컴퓨터 하드디스크와

같은 정보저장기구의 설계에서 점착력을 없애며, 미소 틈새를 유지하여 정보저장능력을 최대화하는 설계의 핵심 연구분야로 자리 잡고 있다. 또한 MEMS와 같은 나노기술 분야에서 미소기구의 운동에서 가장 방해가 되는 마찰력에 관한 설계 등은 앞으로 이 분야의 연구 개발에서 중요한 역할을 담당할 것이다.

2001년도 국내의 연구 현황으로는 대한기계학회를 비롯하여 한국윤활학회, 한국정밀공학회, 한국자동차학회, 한국공작기계학회 및 한국요업학회 등에 관련 논문이 많이 발표되었다.

중요한 발표 내용을 살펴보면, 마찰과 마멸 분야에서는 지르칼로이 튜브와 인코넬 튜브 등과 같은 원자력기기 분야의 프레팅 마모(이 분야는 원자력 기기의 정확한 수명예측을 위해 다양한 팀에서 연구가 진행되고 있으며, 앞으로 종합적인 연구가 필요한 분야로 여겨진다), AE센서를 이용한 마찰 거동 예측(이미 하드디스크 분야에서 활용되었지만 스커핑 파손 등의 수명예측)과 FFT 해석에 의한 거동의 예측, 박막코팅(SPM 이용 코팅, WC/C 코팅, 플라즈마용사코팅, 원자혼합법에 의한 증착코팅, TiAlN, TiN, DLC 코팅, 지르코니아 용사 코팅, 폴리머코팅된 피스톤 스커드, DDPO<sub>4</sub>와 ODPO<sub>4</sub>, SAM 코팅)의 트라이볼로지적 특징에 관한 연구가 많이 증가되었고, 마멸분의 형상 특징의 분석을 위한 차원해석과 회전기구의 파손에 따른 마모 및 진동해석과

질화규소의 Erosion 거동 영향, 비석면 마찰재의 고온 마찰 특성, FVM과 반무한체 해석을 이용한 표면온도 예측, 마찰조정제가 엔진마찰 및 연비에 미치는 영향, 마멸 입자의 형상분석을 위한 프렉탈 파라미터의 적용, 3차원 접촉의 피로균열시작수명 및 마찰재의 트라이블로지 특성에 영향을 미치는 성형 인자 등이 있었다.

윤활에 관한 연구로는 윤활공학과 설계분야에서는 구름베어링 설계를 위한 유전 알고리즘 기반 최적설계, 피스톤 구면부의 정압 윤활특성, 근접회전하는 두 원통 사이의 윤활해석, 미케니컬 페이스 실의 해석, 윤활유의 공기 혼입에 따른 동하중 조건에서의 저널 궤적, 공조용 압축기의 축거동 측정용 베어링 내장형 센서의 개발, 기하학적 불완전성을 갖는 볼 베어링의 진동 해석, 경사진 평면 실의 변형거동 특성 해석, 유체의 온도변화를 고려한 선 접촉면의 탄성 유체윤활해석, 파형구름 볼 감속기의 접촉윤활해석, 마찰 특성에 미치는 전류의 영향, 음원 특성에 관한 연구, 변속기용 구름 베어링의 파손현상, 구의 미끄럼 접촉시의 3차원 온도해석, 토러스형상돌기의 흡착 유한요소해석 등과 탄성유체윤활 등에 관한 연구가 활발히 진행되었으며, 공기 베어링 분야에서는 여러가지 형상의 동압 공기윤활 슬러스트베어링의 성능, 공기윤활 범프오일 저널베어링의 내구성, 동적계수 및 부상 특성, 초소형 가스터빈제너레이터용 슬러스트베어링의 설

계, 미끄럼 유동을 고려한 초소형 공기베어링의 정특성, 2열외부가 압공기저널베어링의 급기구 위치에 따른 동적계수의 변화 및 부하 지지 특성, 공기윤활다열포일베어링의 부상특성 및 규격형공기정압베어링의 개발 등이 있었다.

윤활유에 관련된 연구로는 폴리머윤활베어링의 특성, 극압첨가제 조성에 따른 마모특성, 오염도 측정연구 및 폴리올레스테르의 합성 및 열 안정성에 관한 연구 발표가 있었다.

또한 정보저장기구와 나노트라이블로지에 관한 연구로는 공기 베어링 개념을 이용한 디스크의 진동 저감 연구, 표면형상의 젖음 각과 마이크로/나노 트라이블로지 특성, 하드디스크 드라이브용 패드 슬라이더의 트라이블로지 특성에 관한 실험적 연구, 슬라이더의 좌표축 변화에 의한 직접해석 연구 및 디스크의 텍스처 표면에 관한 나노 트라이블로지에 관한 실험적 연구 등이 발표되었다. 최근에 연구되고 있는 생체 관련 연구로는 치과용 저작 매스티게이터의 개발 연구, 토끼의 관절연골의 마찰 및 윤활 특성 연구 및 두 가지 기구 운동을 하는 초고분자량 폴리에틸렌 핀의 마멸 등에 관한 연구가 활발하였다.

개발 연구로는 다양한 소재와 코팅 방법에 따른 마찰·마멸 특성 분석에 의한 개발 연구와 초소형 가스터빈을 위한 포일베어링의 개발이 연구소 및 항공 관련 기업을 중심으로 활발히 진행 중이며, 정압공기베어링의 개발이 대학산업기술지원단의 지원에 의

해 행해졌다. 또한 산업자원부 지원에 의한 트라이보계시스템 인력양성사업이 미래의 트라이블로지 관련 인력의 배출을 책임지고 있으며, 의료기용 공기베어링 시스템 관련 개발사업이 선정되어 연구 개발되었다. 일부 대학에서는 베어링의 부품개발을 위한 기술이 인정받아 사업화를 시행하고 있으며(마그네틱베어링, 회전체 시스템의 진동해석, 기어해석프로그램, 정압공기베어링, 다열형포일베어링, 의료용 기기) 연구 개발력을 지닌 요소부품기술로서 그 기반을 다지고 있다. 또한 대기업을 중심으로 차세대 정보저장기구에 대한 활발한 개발 연구가 슬라이더의 극소 윤활 해석 및 최적화설계, 디스크와 슬라이더의 나노트라이블로지 특성, 슬라이더의 다양한 형상설계, 디스크의 진동저감기술, 디스크의 고속회전술 및 고속용 윤활제 개발 등을 중심으로 진행 중이다.[황 평, 영남대학교]

## 생체공학

올해에도 생체공학(bioengineering)분야에서는 그 동안 지속되고 있었던 과제의 결과물이 일부 제품화되어 사용되는 시기이었다. 지난 일 년간 개발이 완료된 것 중 대표적으로 다음과 같은 연구결과를 들 수 있겠다.

정형외과기기가 대표적으로 상품화되어 현재 임상에서 사용하고 있다. 현재 세 가지 종류의 척추 나사못(pedicle screw)을 이용한 척추 고정기기(주로 요추

용)들과 경추고정기들이 개발 완료되었으며, 인공 고관절 및 인공 슬관절 개발이 거의 완료단계에 도달하고 있다. 이외에도 외부 고정장치(external fixator), IM(inter-medular) Nail, Bone Plate, Vertebral Cage 등이 개발되고 있는 상태이다. 이들의 상품화와 관련된 연구 논문들은 국내외 학회지를 통하여 관련 학회를 통해 보고 된 바 있다.

재활공학 분야에서는 통합형 인공 대퇴의지의 개발 및 기능성 전기 자극 장치의 개발, 그리고 기능성 활체어 및 전동활체어 개발이 눈에 띄는 실적으로 기록되었으며, 이들 제품들은 모두 실용화를 눈앞에 두고 있다.

통합형 대퇴인공의지의 경우, 기존에 제품과는 달리 입각기(stance phase)와 더불어 유각기(swing phase)에서도 대퇴의지의 운동을 공압실린더로 제어함으로써 보행패턴을 보다 정상인에 가깝도록 설계되었다. 이밖에도 편마비 환자용 단하지 보조기 등이 개발되었다.

전기구동 이동형 인공호흡기, 혈류투석기, 심장보조장치 등이 혈류역학 분야 연구자를 중심으로 개발 중에 있으며, 스텐트 설치술에 의한 혈류역학적 변화, 수두증 환자의 치료를 위한 셉트밸브의 개발, 뇌척수액을 제거하는 소형 밸브의 개발도 진행 중에 있다.[김영은, 단국대학교]

### MEMS/NEMS

2001년 한 해 동안 대한기계학

회논문집 및 학술대회에서 발표된 MEMS/NEMS 관련 논문은 크게 다음과 같은 다섯 가지 분야로 구분될 수 있다. 첫째 분야는 MEMS/NEMS 소자의 시뮬레이션에 관한 것으로 비교적 성숙단계에 진입한 미소 관성센서의 최적설계 시뮬레이션 기술에서 미소 채널 내의 유동현상에 관한 기술주제로 그 관심이 확산되고 있다. 둘째는 마이크로 센서의 설계, 제작 및 성능 실험에 관련된 논문들인데, 대표적인 센서는 가속도 센서이며, 최근에는 바이오 기술의 대두로 혈당량 센서나 DNA/RNA 센서에 대한 관심이 높아지고 있다. 세 번째는 미소기계요소 및 미소유체를 대상으로 한 마이크로 액추에이터의 개발에 관한 것이다. 이와 관련된 연구는 새로운 동작원리나 제조기술에 바탕을 두고 지속적인 연구가 진행되고 있는 분야이다. 종래에는 미소 펌프용 압전 액추에이터, 열구동 액추에이터 및 전자기 액추에이터가 주류를 이룬 반면, 최근에는 하드디스크의 헤드와 초정밀 스테이지에 응용되는 열구동 액추에이터와 전자기 액추에이터 등이 주류를 이루고 있다.

네 번째 연구 분야는 극미세 가공기술이다. 이 연구분야는 레이저 가공, 방전 가공, 화학기계적 가공 등을 포함하며, 이러한 극미세 가공기술은 실리콘 웨이퍼의 미세가공에서 폴리머, 세라믹, 유리기관 등의 미세 가공으로 확대 발전되고 있다. 마지막으로 앞서 언급한 기술과 각각의 미소요소의 결합을 통한 MEMS 응용 및

적용기술분야를 들 수 있으며, MEMS 기술에 바탕을 둔 광통신 및 바이오 산업에 관한 응용기술 개발이 지배적이다.

이와 같이 MEMS 기술에 관한 연구가 활발히 진행되는 이유는 정부의 MEMS기술개발투자에 기인된 것으로 사료된다. 1995년에 시작된 국가선도기술개발(G7) 초소형 정밀기계기술개발 사업을 통해 국내 MEMS 기술기반이 형성되었으며, 2001년부터 과학기술부의 나노기술종합발전 계획에 관한 기술개발투자와 산업자원부의 차세대 신기술 개발 사업의 일환인 고기능 초미세 광·열유체 마이크로 부품개발 사업 등 MEMS/NEMS 관련 중장기 정부 기술개발 투자로 확대되고 있다.

한편 우리 학회의 마이크로머신(MEMS) 분과회에서는 대한전기학회 MEMS연구회, 한국정밀공학회 마이크로머시닝 부문 그리고 한국센서학회 MEMS연구회 등 국내 타 학회와 연합하여 1999년부터 매년 4월에 국내 단일 "MEMS 학술대회"를 공동 개최하고 있으며, 2001년 4월 13일과 14일 양일간에 걸쳐 제3회 MEMS 학술대회가 서울대학교에서 개최되었다. 본 MEMS 학술대회에서는 3인의 국내위 전문가의 초청강연과 45편의 논문발표가 있었으며, 국내 관련분야 연구자가 함께 참석하였다.[조영호, KAIST]