

생산 및 설계공학부

부문위원장 : 정 석 주(서울산업대학교, 교수)

2000년 한 해 동안의 생산 및 설계공학 관련 분야를 소성가공, 절삭가공, 금형 및 사출성형, 용접 및 특수가공, 생산자동화 및 생산관리, CAD/CAM, 기계요소 및 기구설계, 공작기계 및 기계시스템설계, 지적설계 및 최적설계, 윤활 및 마멸, 생체공학 등으로 분류하고 각 분야별 활동 동향을 정리하였다.

소성가공

소성가공 분야에서는 지난해에 주요 연구주제였던 TWB(Tailor welded blank) 성형기술, 액압성형(hydroforming) 기술, 그리고 미세구조물(milli-structure) 등 정밀·미세 성형기술에 관한 연구가 여전히 큰 주류를 형성하였으며, G7 과제를 비롯한 범국가적인 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 기술발전을 이루었고, 판재 및 튜브 액압성형은 2000년 한 해가 절정이라 할 만큼 활발한

연구개발이 수행되었다. 정밀·미세 성형기술은 정보통신기기, 항공우주장비, 의료·생물공학기기, 조정밀기계 등 21세기를 주도할 첨단미래산업 분야에서 국제적으로 낙후되지 않기 위하여 필연적으로 확보해야 할 기술로서 이제 겨우 개발의 첫 걸음마 단계에 있으나, 정부의 지원과 대학 및 연구소들의 협동연구를 통하여 조만간 그 결실을 볼 것으로 기대된다. 이 세가지 분야에 대해서는 전년도 연감에 상세한 연구 동향이 소개되어 있으며, 2000년도의 연구개발 현황은 그 연장선상에 있는 것으로 보면 될 것이다.

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 등의 주제로 많은 연구개발이 이루어졌으며, 판재성형 분야에서는 성형성 평가 및 개선, 스프링백 저감, 소재 초기형상 설계(blank design) 등에 관련된 연구가 꾸준히 수행되었다. 또한, 각종 소성가공용 금형의 구조해

석·설계·제작 및 수명평가, smart tool 개발, 온간성형(warm forming), 3차원 형상 및 변형을 측정 등에도 적지 않은 발전이 있었다. 2000년 한 해 동안 국내에서는 단조, 박판성형, 압출·인발 심포지엄이 각각 개최되어 대학, 연구소, 산업체에서 같은 분야를 탐구하고 있는 연구·기술자들이 한자리에 모여 논문발표와 정보교환을 하는 기회를 가졌다.

한편, 최근 수 년 동안 성형공정 해석용 유한요소 프로그램의 개발에 매진해온 여러 연구자들의 노력이 결실을 맺어 그중 몇몇은 이미 상품화가 완료되었고 국내 보급 내지 수출 단계에까지 와 있는 상태이다. 지금까지 다른 분야와 마찬가지로 성형해석용 소프트웨어도 거의가 외국에서 개발된 제품을 비싼 가격에 도입해서 사용하여 온 실정이었으나, 기능면에서 전혀 뒤지지 않으면서 상대적으로 저렴한 국내산 소프트웨어의 개발·보급으로 국내 기술의 발전과 외화절감 등 많은 효과를 기대할 수 있게 되었다. 특정 가공공정 전용의 제품설계, 공정설계, 금형설계를 지원하는 소프트웨어의 경우에는 가격은

물론 품질 경쟁력도 더 우수하여 홍보와 마케팅이 뒷받침된다면 상당한 정도의 외화획득도 가능할 것으로 보인다. 관련 논문을 통하여 이름이 알려진 몇 가지 소프트웨어를 소개하면 다음과 같다.(알파벳 순)

- AFDEX, AFDEX/DIE : 2차원 단조 공정해석 및 단조 급형 구조해석
- CAMPform : 2/3차원 소성 가공 공정해석
- COPRA-FEA/RF : 롤포밍(roll forming) 공정해석 및 롤 설계 전용
- ESFORM : 박판금속 성형해석
- HAnD : 고무·폼(foam) 등 초탄성 재료 변형해석
- SAIT_STAMP : 박판금속 성형해석 [김형중, 강원대학교]

절삭가공

최근 반도체 및 정보통신산업의 급격한 발전과 더불어 절삭가공의 연구 또한 이러한 산업의 수요와 필요성에 기초한 연구들이 진행되기 시작하였다. 따라서, 일반가공으로 대표되는 선삭, 드릴링 및 연삭에 관한 연구는 어느 정도 감소하는 경향이며, 밀링가공의 경우에도 자유곡면의 가공과 관련한 엔드밀링에 관한 연구를 제외하고는 정체된 경향을 보이고 있다. 반면, 부품의 미세화와 정밀화에 발맞추어 초정밀가공을 위한 연삭 및 연마가공은 많은 연구자의 관심을 끌고 있다.

한편, 방전가공, 전해가공, 입자분사가공, 레이저 가공, 쾌속조형 및 고속가공으로 대표되는 특

수가공과 기계, 전기 및 화학적 특성을 모두 이용하여 미세형상을 제작하기 위한 마이크로 가공(micromachining)에 관한 연구는 활발히 진행되고 있다.

1) 일반가공

일반가공(traditional machining)의 대표적 유형이라 할 수 있는 선삭가공과 드릴가공에 관한 연구는 비교적 적은 편인데, 선삭가공에서는 Si와 Ge의 초정밀 절삭특성, STS304의 절삭성, Ti-6Al-4V 타이타늄 합금의 선삭특성, 비철금속의 선삭시 표면거칠기 등에 관한 연구가 발표되었으며, 선삭가공의 이상진단과 관련하여 증절삭시 공구 마모에 의한 절삭상태 변수 변화, 다이아몬드 선삭가공시의 진단을 위한 대영역 표면해석 등의 연구가 이루어졌다.

드릴가공에서는 강관의 드릴가공에 대한 절삭력 해석방법, 열연 강관의 드릴링시 공구의 이상상태 검출, 드릴링 가공시 버 형성 등에 관한 연구가 이루어졌다.

밀링가공에 관한 연구는 엔드밀 가공을 중심으로 이루어지고 있는데, 특히 자유곡면 가공과 관련된 연구들이 주류를 이루고 있다. 고속 엔드밀 가공시 동적 모델에 의한 표면형상 예측, 정면 밀링 가공시 버 형성, 정면 밀링 가공 중 반경방향 절입비의 실시간 추정, 엔드밀 가공시 절삭방향에 따른 특성, 엔드밀의 형상에 따른 절삭특성, 엔드밀의 성능 평가, 알루미늄 측벽 형상의 고속 엔드밀 가공, 엔드밀링의 가공 표면 정밀도 예측과 해석, 밀링 가공시 버 형상 예측 expert system

등의 연구가 이루어졌다. 볼 엔드밀 가공과 관련하여 볼 엔드밀 가공시 절삭방향의 영향, 칩(chip) 크기, 공구변형, 반구 가공시 절삭성, 공구형상에 따른 가공 정밀도, 가공물 검증, 고속 볼 엔드밀 가공특성 평가 등에 관한 연구가 발표되었으며, 절삭속도 일정제어를 이용한 자유곡면 가공, CNC 가공시 복합 자유곡면상의 공구간섭 탐지와 수정, 복합자유곡면의 공구경로 생성, 등에 관한 연구가 발표되었다.

연삭가공에서는 탄소섬유 에폭시 복합재료의 절단 연삭특성, 연삭작업을 위한 로봇제어, 계측 시스템 개발, 평면연삭에서의 연삭숫돌 마모 모니터링, 환경 친화적 연삭 가공기술, 입도 복합숫돌의 헬리컬 스캔 연삭기구, 머시닝센터를 이용한 평면 연삭기구, 자기베어링으로 지지된 연삭 스피들의 런 아웃 제어, 버트리파이드 본드 CBN 휠의 연삭특성, mist를 이용한 저공해 연삭가공 기술, 실험계획법을 이용한 최적 연삭 조건, 티타늄합금의 연삭, 쿼츠의 연삭 특성 등이 연구되었다.

연마가공에서는 자력에 의한 극정정 내면의 연마가공, 액중 부상방식에 의한 유리볼의 초정밀 연마기구, 원통내면의 전기연마, 연마공구의 압력보정에 의한 곡면금형의 형상 정밀도, 자성유체를 이용한 연마, 전기열화법에 의한 비자성 파이프 내면의 연마특성 등에 관한 논문이 발표되었다.

2) 특수가공

특수가공(nontraditional Machining)과 관련하여 발표된 연구들은 주로 방전가공, 전해가

공, 초음파 가공, 고속가공 및 쾌속조형 분야에 집중되고 있는데 와이어 전극의 도금재료가 W-EDM에 미치는 영향, W-EDM시 Die-hole의 진직 정밀도, W-EDM시 초경 합금재의 두께 변화에 따른 가공특성, 복합재의 ED Drilling, EDM 연삭에서 가공상태 감시시스템 개발, 엑사이머 레이저를 이용한 웨이퍼 크리닝, 층간 절연막 CMP의 초음파 컨디셔닝 특성, 불 엔드밀 절삭에서 전해 복합에 의한 표면거칠기 특성, 연속 전해 드레싱용 래핑 지식의 제작 및 전해특성, 전해 드레싱용 래핑 지식의 개발 및 성능평가, 실험용 초음파 가공기의 제작 및 가공 실험 등의 논문이 발표되었다.

쾌속조형은 엄밀하게는 절삭가공으로 볼 수 없으나, 차츰 그 활용도가 높아짐에 따라 기존의 절삭가공을 이용한 쾌속조형 연구도 다수 발표되었다. 광조형물의 형상 정밀도 향상, 다색 기능성 시작품의 색상특성, 광조형 장치의 작업변수 최적화, RP공정의 정밀도 비교평가, 용접과 밀링을 이용한 쾌속조형법, 절삭가공에 의한 금속 쾌속 시작품 제작, 레이저 용접공정과 밀링공정을 이용한 쾌속 금속 시작품 제작에 관한 연구가 이루어졌으며 고속가공과 관련하여 고속가공을 통한 커벤팅 로드의 금형가공, 인터넷에 의한 실시간 원격 고속가공 모니터링, 고경도강의 고속가공시 가공성 평가 및 감시, 고속용 엔드밀의 성능평가 등에 관한 연구가 발표되었다.

3) 미세가공

미세가공(Micromachining)과

관련하여 미세가공을 위한 기초 기술 연구들과 미소형상 제작을 위한 응용기술 연구들이 최근 활발히 진행되고 있다. 전해 프로세스에 의한 초미세펀치 제작, AJM을 이용한 유리의 미세홀 가공, 레이저를 이용한 마이크로 렌즈제조, 미세홀 형성을 위한 마이크로 가공기술, PDP격벽 금형의 마이크로 홀 연삭, 고속회전 에칭을 이용한 미소공구 개발, Millistrucre 생산기술, 초소형 정밀 금형 가공 및 이를 이용한 정밀 사출품 제작, MEMS 관련 기술, 3-D 미세방전 가공, ER유체를 이용한 미세연마가공, 화학기계적 미세가공기술, 점전극을 이용한 미세전해가공 기구, 단결정 실리콘의 초정밀가공 등에 관한 연구들이 발표되었다.

절삭가공에 관한 연구 주제들의 전반적 흐름을 보면 아직도 범용가공에 있어 가공기구 해석, 이상검출 및 진단, 절삭성 및 가공정밀도 등에 대한 연구들이 주류를 이루고 있지만, Millistrucre의 생산기술이나 Nanotechnology 관련기술 및 MEMS 관련기술의 개발이 정부의 지원하에 추진됨에 따라 특수가공이나 정밀 미세가공에 관한 연구들이 앞으로 더욱더 활발하게 이루어질 것으로 보인다. 또한, 최근에 환경의 중요성이 부각됨에 따라 환경을 고려한 절삭유 관련 연구, 환경 친화적 가공기술에 관한 연구들도 주목을 받을 것으로 예상된다. [박동삼, 인천대학교]

금형 및 사출성형

2000년도에도 금형·사출성형 분야는 고품질, 고생산성이 가장 중요한 기술적 관심사이었다. 금형은 고속가공기 및 5축가공기가 사용됨으로써 고품질, 고생산성을 해결해나아가고 있다. 특히 고속가공기는 가공면의 품질을 향상시키면서 가공공정의 단축 및 후공정의 생략으로 어느 정도 가능성을 보여주고 있다. 이 경우 고속가공기술은 공작기계, 고속가공용 공구 및 Chuck, CAD/CAM, 기술 인력이 모두 뒷받침되어야 제대로 성능을 발휘할 수 있다. 또한 유럽을 중심으로 금형에 5축가공기가 적용되면서 금형 분야에 다면 가공에 의한 생산성 향상이 급격히 진행되고 있으며, 일본에서도 자동차 금형에 점진적으로 적용이 증가되고 있다.

향후 국내·외에서 금형 분야의 연구는 이러한 고속 및 5축가공의 관한 연구와 Sub-nano 단위의 표면전도 및 micro 단위의 저밀도를 가지는 초정밀 금형에 관한 연구가 이루어질 것이다. 특히 Sub-nano 단위의 금형은 비구면 관련 금형에서 표면 정도를 요구하며, 금형 조립 정밀도를 수 micro를 요구하므로 금형 기술을 한 차원 높일 수 있는 연구 분야가 될 것이다.

사출 분야는 마이크로 피펫과 같이 의료용 초정밀사출 성형분야가 각광을 받는 것으로 사료된다. 이 분야는 바이오 테크놀로지의 시장이 확대에 비례하여 수요가 늘어나고 있다. 사출방식도 전통식으로 발전되어 가고 있고, 대부분 10,000 클라스 정도의 클린룸에서 성형을 하는 경향으로 발전되고 있다. 그리고 제품에 따라

서는 사출성형 전 공정을 FDA 승인을 받아야만 납품이 가능한 것의 적용범위가 넓어지고 있으며, 점차 사출성형기술만이 아닌 복합기술로의 기술 발전이 이루어지는 경향을 보이고 있다.

[현동훈, 한국산업기술대학교]

용접 및 특수가공

생산가공은 제품생산에 있어서 가장 중요한 공정 중 하나이다. 특히 용접공정은 자동차, 선박, 건설분야는 물론, 전자부품, 항공기, 컴퓨터 등의 첨단제품의 접합에 중요한 역할을 담당하고 있다. 최근의 연구 방향은 대량생산을 위한 생산 자동화 분야와 초정밀가공을 위한 기술의 개발로 대별된다. 용접공정은 1900년도 전반기에는 주로 아크를 열원으로 이용하는 아크용접이 주로 사용되어 산업발전에 큰 역할을 담당하여 왔다. 아크 용접에는 GMAW, GTAW, SAW, FCAW 등이 있으며, 그 후 열 집중이 좋고 정밀한 용접을 위하여 플라즈마 용접법이 개발되었다. 한편 자동차 등에 주로 사용되는 스폿용접 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, 전자 부품 등

에는 솔더링이 사용되고 있다. 최근에는 초정밀 용접이 점점 요구되고 있으므로 고밀도의 정밀 용접기법이 개발되고 있다. 그 중에서 대표적인 용접법으로 레이저 용접을 들 수 있다. 레이저 용접은 국부적인 위치에 고밀도의 용접을 할 수 있어서 자동차 산업 등에 사용이 증가되고 있다. 레이저 용접은 크게 CO₂ 레이저 와 Nd : YAG 레이저가 주로 사용되고 있으며, 특히 Nd : YAG 레이저는 다관절 로봇을 이용할 수 있기 때문에 앞으로의 이용이 증가할 것으로 생각된다. 또한 아주 정밀한 곳에는 전자빔을 이용한 전자빔 용접이 이용되고 있는데 진공챔버에서 용접하기 때문에 미려한 비드를 얻을 수 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 자동화 요소설계, 생산시스템 설계, 생산시스템 운영 및 생산관리, 시스템통합 분야로 분류할 수 있으며, 자동화 요소설계 분야는 독립된 분야로 설정되어 있으므로 본 내용에서는 제외한다.

1) 생산시스템 설계

효율적인 생산시스템을 위하여 3차원 CAD 라이브러리 및 설계 지식 데이터베이스를 구축함으로써

설계 프로세스에 필요한 시간과 노력을 절감하는 연구가 발표되었으며, 다품종생산시스템에서의 조립자동화, 통합물류시스템 설계에 관한 논문이 발표되어 생산시스템 무인자동화에 대한 연구가 지속적으로 수행중임을 보여주었다. 지능생산시스템 제어기로서 PC 기반 개방형 제어기를 제안하였으며, plug & produce 개념을 이용하여 시스템 요소를 추가/삭제가 자유로운 agile manufacturing system 설계에 관한 연구가 이루어졌다. 대기행렬이론을 이용하여 생산현장 조건을 고려한 생산시스템을 분석하였으며, 대기행렬이론 및 페트리네트를 이용한 시스템 성능 평가에 대한 연구논문도 다수 발표되었다. 시뮬레이션기법을 이용하여 설계된 시스템의 아산사건특성을 고찰한 연구가 수행되었다. 생산시스템을 컴퓨터상에 구축하는 VMS(Virtual Manufacturing System)에 관한 연구가 주목받았으며, 가상가공, 가상 NC, 가상공장에 관한 연구가 발표되었다.

2) 생산시스템 운영 및 생산관리

생산시스템의 일정계획 문제를 genetic algorithm을 이용하여 해결한 연구결과가 발표되었으며, ERP를 응용하여 주문생산시스템의 일정계획문제를 연구하였다. 가공 shop에서의 의사결정지원시스템을 구축하는 연구가 이루어졌으며, 다품종방향을 이용한 제품치수의 정밀도를 향상한 연구결과가 발표되었다.

3) 시스템 통합

2000년도에 가장 활발한 연구가 진행된 부문으로서 외부시스템과 생산시스템을 접속/통합하려는 연구가 많이 수행되었다. SFC/POP 연계형 DNC 시스템을 구현한 결과가 발표되었으며, 인터넷 기반 POP 시스템 구현 및 생산시스템의 차세대 이동통신 단말기 접속에 관한 연구가 진행되었다. 협업설계 프로세스 분석에 관한 연구 및 시스템 모니터링 및 오류진단에 관한 연구가 수행되었다. 또한 시스템 모니터링을 위하여 시스템 전 공정에 대한 정보를 접근할 수 있는 transparent factory에 대한 연구가 다수 발표되었다. 인터넷기술이 발전함에 따라 생산자동화와 웹을 결합하는 연구가 활발히 수행되고 있다. 웹을 이용한 원격제어에 대한 논문이 다수 발표되었으며, 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 발표되었으며, 올해에도 계속 수행되리라 생각된다. [김기범, 서울산업대학교]

CAD/CAM

자동차 차체설계 및 항공기 표면설계에서 시작한 CAD/CAM 연구는 변수설계와 전문가 시스템과의 연계를 통한 특징형상설계, PDM 및 동시공학설계와 연계되어 설계분야에서 없어서는 안 될 시스템의 한 모듈로 자리잡

았다. 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 설계평가가 기준에 대하여 현재의 설계가 그 기준을 얼마나 만족하였나를 검증하고, 만약 기준을 만족하지 못하였을 경우 적절한 설계대안을 도출시키고 선택을 돕는 시스템 개발방향으로 전환되고 있다. 이러한 개발환경의 전환으로 기존의 CAD/CAM 관련 정보의 재사용과 기존 정보의 Knowledge Base화를 통한 질의 정보화립을 위한 방향으로 구현되고 있다. CAD/CAM 관련 연구개발 동향은 국내의 www.cadcam.or.kr(한국CAD/CAM학회)나 국외의 www.cad-camnet.com을 통해 접할 수 있다. [이수홍, 연세대학교]

기계요소 및 기구설계

최근 한 해 동안 우리 학회 논문집 및 학술대회에 발표된 기계

요소 및 기구설계 관련 논문은 크게 다음과 같은 세 가지 분야로 대별할 수 있다. 첫째, 기계요소나 기구의 성능이나 기능 향상에 대한 논문보다 새로운 동작원리에 근거한 기계요소의 설계나 미소 기계요소의 설계 등에 더 많은 논문이 발표되고 있다. 일례로 거시적인 기계요소에서는 나타나지 않는 표면장력을 이용한 미소 기계요소설계에 관한 연구와 레이저 가공, 방전 가공 등 극미세 가공기술로 제작된 미소 기계요소 등을 들 수가 있다. 둘째는 정보저장기용 광 디스크 드라이버, 하드디스크의 헤드, 그리고 원자력 현미경(AFM)에 사용되는 기계요소 및 기구의 설계 및 해석에 관련된 논문이다. 특히 이 분야에서는 마이크로머신(MEMS)기술을 이용한 미소 기계요소 및 기구설계가 두드러지게 나타나고 있으며, 국내 기업체의 차세대 고밀도 정보저장 장치의 개발에 관한 연구결과 발표가 활성화 되었다. 최근 논문의 주류를 이루는 마지막 분야는 바이오 칩에 응용되는 미소 펌프나 미소 채널의 설계에 관한 내용이다. 이 분야는 최근 바이오 분야의 연구 활성화로 인해 세계적으로도 많은 관심과 연구가 이루어지고 있다. 이러한 최근 기계요소 및 기구설계 관련 논문은 대부분 MEMS 기술에 기반을 두고 있으며, 이는 국내 관련 기술개발사업의 기술투자에 기인한 것으로 사료된다. 한편 우리 학회의 MEMS 분과회, 대한전기학회 MEMS 연구회, 한국정밀공학회 마이크로머시닝 부문 그리고 한국센서학회 MEMS연구회 등 국내 네 개 학회의 관련

분과 및 부문이 연합하여 1999년부터 매년 4월에 국내 단일 'MEMS 학술대회'를 공동 개최하기로 합의하였으며, 2000년 4월 14일과 15일 이틀 동안에 걸쳐 제2회 MEMS 학술대회가 우리 학회 마이크로머신 분과회 주관으로 KAIST에서 개최되었다. 그리고 3인의 국외 전문가의 초청강연과 40여 편의 논문발표가 이루어졌으며 400여 명의 국내 연구자가 참석하였다. [조영호, KAIST]

공작기계 및 기계시스템 설계

공작기계 및 가공시스템의 설계기술에 관한 연구는 예전부터 꾸준히 진행되고 있는 분야로서 2000년도의 연구 경향은 주로 공작기계의 요소 기술분야에 대한 연구가 많은 부분을 차지하고 있다. 이는 고속화·고정밀화를 추구하는 연구를 수행하면서 가공정도를 향상시키기 위해 열변형 문제를 개선하는 연구를 비롯하여 상태 감시에 관한 연구, 또한 새로운 개념의 공작기계인 다기능·복합 가공기 및 원격 감시를 위한 연구를 수행한 것 등을 주요 특징으로 하고 있다.

고속 가공용 공작기계는 고강성 기계구조와 함께 고속으로 회전하여도 진동, 편향이 적고 열변위가 작은 고강성 및 고정밀의 주축시스템이 필요하다. 따라서 이러한 요소 기술을 중심으로 많은 연구가 이루어졌는데 그 내용을 살펴보면 먼저 고속 주축계의 열변형에 대한 연구를 들 수 있다. 즉, 열전달을 고려하여 고속 주축계의 열특성 해석을 수행한 연구,

고속 스핀들용 공기 베어링의 열특성을 평가한 연구, 고속 주축계의 냉각자켓의 유량 변화에 따른 냉각 특성 등이 있다. 그리고 고속·고정밀 주축 시스템의 안정성에 관한 연구를 들 수 있다. 이에는 불-유정압 복합베어링을 갖는 고정밀 주축의 회전 특성에 관한 연구, 자기베어링으로 지지된 연삭 스핀들의 런 아웃을 제어하는 연구, 자기베어링을 이용한 능동 제어 공작기계 주축의 안정성에 관한 연구 등이 있다. 그밖에 자기베어링 주축시스템의 모니터링을 위한 유도형 센서를 개발한 연구 등도 있다.

한편 고속 가공용 공작기계는 고품위의 가공면을 얻을 수 있도록 하기 위해서는 고속·고정밀 이송장치 및 제어기술이 필요하다. 지난해에는 이에 대한 연구도 이루어졌다. 고속·고정밀 이송장치 및 제어기술에 관한 연구로서는 고속 이송계의 열변형 오차를 자동 보정하기 위한 연구가 있으며, 직선 베어링 이송계의 운동정밀도를 해석한 연구, 공작기계 직선 베어링 안내면의 정도 설계에 관한 연구, 리니어 모터를 응용한 고속 이송계의 제어기술에 관한 연구, 고속가공기용 고추력 리니어모터 이송계의 특성을 평가한 연구, 고속 볼스크류를 이용한 이송계 특성에 관한 연구, 공기 정압 스테이지의 초정밀 위치결정을 위한 기본 특성에 관한 연구, 직선 베어링 이송계의 운동정밀도 해석에 관한 연구, 유한요소법을 이용한 양면 지지형 유정압 테이블의 운동 정밀도 연구, 공기 베어링 스테이지의 이송 특성에 관한 연구, 공작기계 직선베

어링 안내면의 정도 설계에 관한 연구, AE 및 가속도 신호를 이용하여 리니어 모터 이송 시스템의 특성 분석을 수행한 연구 등이 있다.

공작기계 구조에 대한 연구로는 기상 3차원 측정기술을 이용한 공작기계의 기하학적 정도를 시험할 수 있는 방법에 관한 연구, LM 가이드 상에서 건식 마찰접촉을 하면서 운동하는 Cross Head의 사행동에 관한 연구, 유전 알고리즘을 이용한 고속 금형 센터의 구조설계 최적화, 초고속 Line Center의 구조 설계에 관한 연구, 열적 환경변화에 따른 공작기계의 구조적 특성, 수직 이송계의 최적설계에 관한 연구, 선삭에서 고정밀 가공을 위한 심압대 구조에 대한 연구, 유전 알고리즘을 이용한 공작기계 구조물의 정강성 해석 및 다목적 함수 최적화, 작업 조건에 따른 공작기계의 열변형 특성 해석, 터닝센터의 내구성 예측 시스템 개발 등이 있다.

상태 감시에 관한 연구로서는 센서를 이용하여 어떤 특정 부분을 감시하는 일반적인 연구는 물론이지만 특히 네트워크를 이용한 원격 감시에 대한 연구가 새로이 등장하였다. 즉, 고속 가공시 다중 센서를 이용하여 가공상태를 감시하는 기술에 관한 연구, 웨이브렛 변환을 이용한 CNC 공작기계의 톨 모니터링에 관한 연구, 공작기계 원격감시를 위한 진단 모델, Web Based 공작기계 원격감시 및 진단 시스템 설계, 고속 인터넷 기반 실시간 원격 고속 가공 모니터링 연구 등이 있다.

그리고 최근의 공작기계는 다

기능, 복합 기능을 가진 가공기가 많이 등장하고 있는데 이에 대한 연구로서 다기능, 복합가공기의 킬링터릿 시스템의 진동특성 해석한 연구가 있다.

또한 가공상의 환경을 고려한 연구도 있다. 즉, 공작기계용 리니어 볼 부시의 소음 수준을 실험적으로 측정하고 그 특성을 분석한 연구, 환경 친화적 기계가공을 위한 절삭유 최적화에 관한 연구, 절삭 가공시 절삭유제가 환경에 미치는 영향에 관한 연구 등이다.

이밖에 공작기계의 기하학적 오차에 의한 가공오차를 이용하여 가공 형상을 재설계하고 오차 보정을 하여 가공 정밀도를 향상시키고자하는 연구, 병렬 기구 공작기계의 프로그램 개발, 공작기계의 설계지원 시스템 개발에 관한 연구, ADAMS를 이용한 킬링 터릿 이송 시스템의 동특성에 관한 연구, 공작기계의 신뢰성 평가를 위한 고장 모드 해석에 관한 연구, 앤드밀 가공시 가속도계를 이용하여 표면 형상을 시뮬레이션하는 연구, 고속 가공시 가공 변질층의 특성을 실험적으로 검토하여 가공 변질층의 두께를 최소화할 수 있는 최적 절삭조건을 선정하는 연구, PLUG.PLAY 방식의 고속 지능형 가공 시스템의 연구 등이 있다. [홍준희 충남대학교]

지적설계 및 최적설계

지적설계(intelligence design) 및 최적설계(optimal design)는 모든 제품의 설계에 적용되는 기반 기술로서 그 적용 범위가 매우 넓다. 산업계, 연구소, 학계에서 진행 중인 지적설계 및 최적설계

의 모든 연구 분야를 한정된 지면에 소개하는 것은 불가능하다. 따라서 여기서는 지난 1년 간(2000년) 대한기계학회논문집을 중심으로 국내 연구활동의 개요를 정리한다.

실제문제의 최적설계를 수행하기 위하여 여러 분야 원리의 통합이 요구되며, 이를 위한 다분야통합최적설계(multidisciplinary design optimization)의 연구가 국내에서도 시작이 되었다. 유전 알고리즘, 면역알고리즘, 라그랑지승수법 등의 최적화 알고리즘의 연구가 진행이 되었으며, 설계 민감도해석 기법의 개발 및 응용, 최적설계의 응용 등의 연구도 진행되었다. 실제문제의 해석을 대신하기 위한 근사화 방법으로 반응표면법(response surface method)의 연구 및 적용의 연구도 진행되었다.

1) 통합설계

분산컴퓨팅(distributed computing)환경에서 여러 분야의 소프트웨어를 통합하여 모사해석을 수행하기 위한 프레임웍의 개발이 국내에서도 진행되고 있다. 설계기간을 단축하고 개발비용의 절감을 위하여 분산된 가상설계 공간에서 최적의 설계를 수행하기 위한 프레임웍으로, CAD, 구조해석 및 기구운동해석 통합시스템의 개발이 진행되었으며, 이를 이용하여 자동차 시트 프레임의 최적설계를 수행하였다. CAD 프로그램인 Pro/E, 구조해석 프로그램인 ANSYS, 동적성능평가를 위한 DADS를 text file format 교환을 이용하여 통합시스템을 구성하였다.

2) 최적화 알고리즘

대형 동적 문제의 최적화를 위하여 개발된 Augmented Lagrange 승수법에서의 새로운 벌칙함수의 개선방법을 제안하여 동적 문제의 최적화에 적용하였다.

보강된 복합재 패널의 중량 최적설계를 위한 유전알고리즘(genetic algorithm)을 개발하여 전역 최적해를 구하였다. 다목적 형상최적설계에 생체의 면역기구가 갖는 다양한 항체생산기구와 자기조절기능을 모방한 면역알고리즘(immune algorithm)을 적용하여 탐색능력을 향상시킨 면역-유전알고리즘(immune-genetic algorithm)이 개발되었으며, 회전축계의 다목적 최적해를 구현하였다. 이런 유전알고리즘들은 전역탐색에 매우 효율적이지만 국부탐색에는 민감도해석을 이용하는 기존 미분기반 최적화 기법(sensitivity-based optimization)보다 비효율적이다. 따라서 유전알고리즘을 민감도해석과 조합하여 두 방법의 장점을 갖춘 새로운 방법도 제안되어 여러 가지 수학적 문제에서 그 유효성을 입증하였다.

3) 설계민감도해석

설계민감도 해석은 미분기반 최적화 기법을 수행하기 위하여 필요한 정보이며, 또한 이를 이용하여 설계개선 정보도 추출하고 있다. 상용 프로그램으로부터 정적 구조문제의 설계민감도 정보를 얻기 위한 모듈 개발의 연구가 준해석법 및 데이터베이스를 이용하여 ANSYS 상용 유한요소 해석 프로그램 환경에서 개발이

되었으며, 열전도문제의 형상설계민감도 정보를 연속체 방법을 적용하여 해석적으로 구한 연구가 수행되었다.

중복근을 갖는 고유치 문제의 설계민감도는 비선형성이 매우 높아서 유한차분법 (finite difference method)으로 설계민감도를 구하는 것이 어려우나 보조변수법(adjoint method)를 적용하여 설계민감도해석 기법을 개발하여 성공적으로 설계민감도 정보를 구하였다.

또한 고유치 민감도해석을 이용하여 자동차 후드의 보강경로를 최적화하는 위상최적설계에 적용하였으며, 박판성형 공정에서 최적 블랭크의 형상설계를 Pam-Stamp와 설계민감도해석 기법을 이용하여 수행하였다.

4) 반응표면모델

시스템이 복잡하고 수치해석 비용이 많이 드는 시스템의 최적설계는 근사화 기법을 적용하여 설계 수행 시간을 단축하고 있다. 이런 근사화 기법 중 가장 많이 쓰고 있는 방법이 바로 반응표면모델(response surface model)이다. 일반적으로 반응표면모델은 2차함수로 가정을 하여 표현하며, D-Optimal 반응표면모델을 자동차 새시 프레임 최적설계에 적용하였으며, 철도차량 대차의 탄성조인트 최적설계에도 적용하였다.

그러나 비선형성이 높은 경우는 2차 근사함수로서는 함수의 정확성을 향상시킬 수 없으므로 근사화 모델의 형태를 3차함수항과 역함수 항을 첨가하여 새로운 형태의 반응표면모델도 제시

되었다.

5) 최적설계

동하중을 받는 구조물의 설계를 등가 정하중을 받는 구조물의 최적화를 통하여 등적반응 최적설계의 시간을 단축시켰다. 설계에서의 불확실성을 고려하는 통계학적인 목적함수와 제한조건을 고려하여 설계의 신뢰성을 확보하는 강건설계(robust design)의 최적화 기법의 연구도 수행되었다. 또한 개념설계에 주로 적용되는 공리설계(axiomatic design)의 기법이 구조최적설계에 적용되었다.

최적설계의 응용사례는 매우 다양하며, 그 범위도 넓다. 여기서 몇 가지 중요한 응용사례를 기술하여 보기로 하면, 우선 구조물의 결합진단을 위하여 결합의 위치 및 크기를 최적화문제의 정의를 통하여 수학적으로 예측하는 결합인식연구가 수행되었다. 자동차 클러치의 다이아프램의 스프링 형상을 유한요소해석을 수행한 후, 최적화 문제로 정의하여 최적설계를 수행하였다. 원하는 주파수대역에서 소음기의 성능을 극대화하는 입출구덕트의 위치를 찾기 위한 최적설계 기법으로 소음기의 투과손실을 최대화하는 최적설계문제를 정의하여 최적의 입출구의 위치를 결정하였다. [이태희, 한양대학교]

운할 및 마멸

마찰·마멸·운할의 통합적인 학문적 분야인 트라이볼로지(tribology) 관련 연구가 국가의 21세기 첨단산업기술 개발 정책

과 더불어 활발하게 진행되었다. 트라이볼로지란 물체의 접촉부(interface)에 상대운동이 존재할 경우 야기되는 과학적·기술적인 문제를 다루는 분야로서 최근 과학기술의 발전추세인 소형화, 경량화, 고기능화, 고성능화, 장수명화 등 고신뢰성을 추구하면서 사용조건이 더욱 가혹화되어 가는 산업계의 요구조건은 이 분야의 연구 및 개발을 촉진시키고 있다. 접촉구동부의 상대운동으로 발생하는 마찰 및 마멸문제의 규명과 이의 적절한 제어방법의 개발은 에너지 및 자원의 보존과 환경보존의 21세기 인류 생존의 중요한 문제 해결에 트라이볼로지 기술이 핵심적인 기술로서 주목을 받고 있다. 최근 이 분야의 많은 우수한 연구인력이 선진 공업국에서 훌륭한 연구업적을 쌓고, 귀국하여 국내의 대학, 연구소, 산업체 등에서 활발하게 활동하고 있으며 그 연구결과가 국내에 많이 발표되고 있다.

2000년도 국내 이 분야 연구현황으로는 대한기계학회를 비롯하여 한국운할학회, 한국정밀공학회, 한국자동차학회, 한국공작기계학회, 한국요업학회 등에 관련 논문이 많이 발표되었다.

연구/개발의 내용을 보면 트라이보시스템의 고속화 및 고신뢰성을 위한 베어링 윤활 기술 개발, EHL 및 경계윤활 해석, 자동차 관련 트라이볼로지 문제, 브레이크의 마찰 해석과 마찰재 개발, 차륜의 마찰특성, 내구성 증대를 위한 코팅기술 개발, 트라이보시스템 모니터링, 마멸입자 인식기술, 신소재 마찰·마멸특성 평가, 고체윤활재 개발, 프레팅마멸 특

성, 바이오트라이볼로지(bio-tribology)기술, 마이크로 트라이볼로지(micro-tribology), 정보 저장 용기의 내구성 증대 문제, 접촉문제 해석 등 기초연구에서부터 응용기술개발 및 현장의 트라이보시스템 설계인력 양성에 이르기까지 다양하게 이루어졌다.

2000년도 국내 학술지를 통해 발표된 주요 연구결과를 살펴보면 다음과 같다. 축중양에 집중하중이 작용하는 두 개의 깊은 홈 볼 베어링으로 지지되는 축 시스템에 대하여 지지요소의 연성특성이 시스템의 거동에 미치는 영향과 축의 연성특성이 베어링의 하중분포, 수명 및 강성변화를 검토한 것을 비롯하여, 원주방향 변화를 갖는 슬롯 레스트릭터 베어링의 성능에 관한 연구, 일반좌표계 변환을 고려한 헤링본 그루브 베어링 해석, surface topography를 이용한 평행 스러스트 베어링의 혼합윤활 해석, 다양한 열전달 경계조건을 고려한 고속 저널 베어링의 난류 열유체 윤활 연구, HDD용 에어 베어링 슬라이더의 강건설계에 관한 연구, 평행라인 피벗식 추력베어링의 동특성 해석, 베어링 윤활 필름층의 비뉴턴성 거동에 관한 수치 해석, 박용디젤기관 밸브기구용 캠-롤러 사이의 비정상상태 탄성유체 윤활 해석, 탄성유체 윤활하에서의 유막 두께 측정에 관한 정성적 분석 등 베어링과 유체윤활 관련 연구가 활발하게 이루어졌다.

철강재료의 구름마찰시에 발생하는 마멸형태에 관한 연구를 비롯하여 플라스틱 재료의 왕복동 마찰, 마멸 거동, 레이저 표면개

질된 SM45C강의 마멸거동, 디젤엔진용 소결(W/C-35%Ni) 태핏의 마멸거동에 관한 연구, Fe₂O₃가 첨가된 지르코니아계 용사코팅층의 마찰·마멸 특성, 디지털 필터링을 이용한 마멸량 계산, 재래형 콤포지트 레진의 마찰·마멸거동, 분말고속도강의 미끄럼마멸특성에 미치는 Nb의 영향, 초고분자량 폴리에틸렌의 산화, 가교, 마멸과의 상관관계, STD11 와이어 방전가공면의 마찰특성, Hexamethylenetetramine의 함량에 따른 마찰재의 마찰·마멸 특성, 해수 중의 STS304강의 프레팅 마멸특성, 플라스틱 기어의 마멸특성에 관한 고찰, 초음파를 이용한 마멸표면 평가, Spur Gear의 미끄럼 마멸물에 관한 연구, 흑연과 지르콘의 상대적 함량에 따른 마찰재의 고온 마찰, 마멸 특성, 오염입자가 Picoslider의 헤드-디스크 인터페이스 마찰·마멸에 미치는 영향, 경계 윤활하에서 질화규소 볼의 미세구조 및 조성이 구름피로수명에 미치는 영향, 유용성 물리브렌 화합물의 마찰감소 작용과 분위기 효과 등 금속을 비롯한 플라스틱, 치과용 복합재료, 마찰재, 표면개질면의 마찰, 마멸특성 규명과 마멸량 산출에 관한 이론적 접근도 시도되었다.

고속전철용 디스크-패드 브레이크의 동적 특성, involute치형을 가진 유압기어펌프의 릴리프 홈의 위치에 관한 연구, 도브테일 그루브에 장착된 O-링실의 접촉응력에 관한 연구, 슬롯 링 형상을 갖는 전기 유변 스퀴즈 필름 펌퍼로 지지된 연성 로터의 동특성 및 최적설계 파라미터 실험 연

구, 길들이기 과정과 표면 파괴과정에서의 잔류응력 변화, 레이저 열 피스톤 펌프의 효율특성, 직접 구동형 밸브트레인 시스템의 캠-팔로우 접촉면의 접촉응력해석, Kurtosis 변화에 따른 Pressure Flow Factor에 관한 연구, 하드 디스크 슬라이더의 동적 수치해석, 검관스프링뎀퍼에서 측면 틈새에 의한 감쇠력 조절 등 접촉문제의 이론적 해석과 실험적 연구가 다양하게 수행되었으며, 산업계의 요구에 따른 응용적 연구가 많이 수행되었다. 한편 우주항공 분야의 트라이보 재료 개발 관련, MoS₂코팅과 고체윤활재의 개발과 트라이볼로지적 특성 평가관련 연구가 수행되었고, 기타 ZnDTP의 산화방지 기능에 관한 연구 등 윤활유 첨가제관련 연구, FFT-FEM을 이용한 윤활기구에 서 표면온도에 관한 연구, 신경망을 이용한 회전축의 이상상태 진단에 관한 연구, 유한요소법을 이용한 미끄럼 접촉시 내부 복수 균열의 전파해석 등 마멸기구의 파괴역학적 접근, 반복변형된 Cu 및 Cu-Al단결정 표면형상의 나노-스케일 관찰, HDD관련 연구 등 나노기술에의 트라이볼로지 기술의 응용을 위한 연구가 다양하게 수행되었다.

한편, 향후 국가 기술개발 정책의 방향과 더불어 바이오 트라이볼로지, 스페이스트라이볼로지(space tribology),마이크로/나노트라이볼로지, 메인テナンス 프리(maintenance free)을 위한 저마찰재 개발 등으로 그 연구분야가 더욱 다양화 될 것으로 전망된다. 트라이볼로지 기술의 산업체 에로의 활용을 위해 산업자원부