

전자상거래 환경에서의 기계기술

미래의 기계기술은 이제 전자공학이나 컴퓨터 기술과 결합된 학제간 연구를 기반으로 전자상거래, 인터넷 등 정보기술의 발전과 관련한 기계기술의 변화 요구사항을 정리한다. **박진우, 박남규**

컴퓨터 기술, 자동화/정보 기술, 인터넷의 발달에 즈음하여 차세대 생산시스템에 대하여는 그 동안 세계 각국과 각종 국제 단체에서 많은 연구와 설문조사, 기획작업 등이 이루어졌다. 가장 각광받는 차세대 생산시스템 중의 하나인 지능형 생산시스템(IMS : Intelligent Manufacturing System)이란 결국 "기존의 생산기술에 정보기술을 결합하여 최고의 경쟁력을 유지하면서도 공해 문제들도 해결하여 인류의 생존과 발전(sustainable growth)을 가능하게 하는 생산시스템"이라 할 수 있다. 생산기술은 크게 기계기술과 공정기술로, 정보기술은 비즈니스 프로세스 기술과 컴퓨터 소프트웨어 기술로 세분할 수 있었는데 이들 기술들의 발전추세와 관련하여 생각을 정리해 보기로 한다.

미래의 생산기술과 관련하여 기계공학의 입장에서 생각해볼만한 하나의 주된 경향은 공학분야

에서의 학문간의 영역 구분이 사라지고 있다는 점이다. 이미 영국의 우수대학 등에서는 오래 전부터 학과의 이름을 Department of Engineering이라는 이름으로 표현하는 곳이 있다. 그 예로서 최근에 주목을 받고 있는 Mechatronics(Mechanical과 Electronics의 합성어)나 MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) 기술을 들 수 있겠다. 이들 생산 기술들은 그 이름이 보여주듯이 전자공학과 기계공학의 학제적 구분이 허물어지고 있음을 보여주고 있는 것이다.

아주 최근에는 산업공학이나 경영학 분야의 각종 분석기술과 비즈니스 프로세스 관련 기술들이 소위 IT(Information Technology)로 표현되는 컴퓨터 기술과 접목되어 전자상거래(Electronic Commerce 또는 e-Commerce)가 탄생되었고, 이제는 이 기술의 영향력이 신제품 개발 및 설계, 새로운 생산공정의 개발,

생산라인의 운용 및 구성 등에까지 확대되고 있다. 산업공학과 기계공학의 밀접한 연관성을 고려해 볼 때, 이들 전자상거래와 관련하여 불어닥치는 변화의 바람이 기계공학에 많은 변화를 요구하고 있음을 쉽게 상상할 수 있다. 그렇다면 전자상거래 환경에서 기계공학 및 기계기술 분야에 예상되는 변화는 무엇일까? 이와 관련하여 이미 미국, 이탈리아, 일본, 독일, 영국, 그리고 IMS 국제공동연구 프로그램 등에서는 10여 년 전부터 많은 연구가 진행되어 왔다. 이하 그 결과를 인용하여 설명하고자 한다. 특히 기계기술의 구체적인 분야에서의 예상되는 변화를 개별적으로 설명하기보다는 우리에게 다가올 중요한 변화의 추세와 주제를 소개하고 공유하고자 한다. 한 가지 덧붙이고 싶은 말씀은 안타깝게도 이런 변화의 추세가 기계기술의 개별분야에 어떤 변화를 요구하는지에 대하여는 자세히 언급

- 박진우/ 서울대학교 공과대학 산업공학과, 교수/ e-mail : autofact@snu.ac.rk
- 박남규/ IntelligenceWare, 대표 · 공학박사/ e-mail : npark@IntelligenceWare.com

드릴 수가 없다는 점이다. 사실 이들 분야의 변화가 너무 빠르기 때문에 과거의 전문가들의 예측이 빗나간 경우가 허다하다. 따라서 가장 최선의 방책은 해당분야에 종사하시는 모든 분들이 각자의 풍부한 식견과 경험을 토대로 각자의 분야에서 미래를 예측하는 것이라 생각된다.

미국에서 구성된 "Visionary Manufacturing Challenges"라는 위원회는 각종 설문조사와 연구를 통하여 2020년에 생산기술 및 기계기술에 영향을 줄 여섯 가지의 중요요소를 다음과 같이 정의하였다.

1. CAD/CAM 기술의 계속된 발전을 통한, 모든 작업에서의 동시성 확보(concurrency)
2. 작업자의 능률향상과 직무 만족도 제고를 위한 인간과 기계의 통합화(integration)
3. 각종 기계, 장치, 시스템 등에서 획득한 정보를 지식으로 변환시키는 기술(transformation)
4. 환경친화적인 기술의 개발
5. 시장 요구에 신속 대응이 가능한 가변형 구조 기계 개발(reconfigurability)
6. 물리적인 크기가 작아진 혁신적인 공정 기술 및 제품의 개발

이미 국내의 많은 연구개발 사업이나 각종 프로그램 등에서도 이와 같은 개념의 일부가 소개되었고 연구가 추진되고 있는 것으로 알고 있다. 전자상거래에도 많

은 유형이 있으나, 기계기술에 결정적으로 영향을 줄 부분은 소위 B2B(business-to-business)로 표현되는 기업간 전자상거래이다. B2B는 그 동안 우리가 다루어왔던 공학적인 영역의 문제에 인터넷이라는 도구가 가미된 성격이 짙기 때문이다. 원천적인 기계기술(가공기술, 설계기술, 역학 등)은 그 본원적인 부분을 과학에 기반하고 있기 때문에, 시간이 흘러가도 큰 변화가 없을 것이다. 다만 전자상거래 시대의 도래와 더불어, 소비자 및 시장의 반응과 직/간접적으로 연결된 부분은 변화가 불가피할 것이다. 구체적으로 예를 들자면 가공기술을 구현하고 제품을 생산하기 위한 생산 기술 및 제조공정 기술, 공작기계의 구성 및 운용, 절삭가공 기계의 생산성과 관련된 각종 요소의 구성, 전통적인 제품개발 및 제품 생산 개념의 획기적인 변화와 여기에 수반되는 각종 기술, 절차, 도구(하드웨어, 소프트웨어, 노동력의 배분) 등에도 큰 변화가 예상된다.

변화의 가장 큰 모멘텀은 인간 개성의 다양화 추구에 따른 매우 까다로운 고객 요구 사항이다. 고객의 시장 요구사항을 반영하는 과정에서 기계기술 분야에 영향이 미치는 요인을 네 가지 측면에서 살펴보기로 하자.

(1) 제품의 기획 및 설계 그리고 관련 생산공정의 설계 : 고객의 요구사항을 반영하고 신제품 출시 기간을 단축하기 위하여 이

미 CAD/CAM을 기반으로 동시 공학에 관한 연구가 많이 진전되어 왔다. 특히 STEP(Standard for The Exchange of Product model data) 등과 같은 중립적인 enabling technology에 관한 연구가 증가하고 있는데, 이는 기업간 전자상거래의 특성에 기인한다. 서로 다른 기업의 서로 다른 CAD 시스템, 정보검색 시스템들 사이에서 기존 투자를 유지한 채로 기업 간의 협업 및 자료 공유를 지원하기 위한 구현을 가능케 하는 기술(enabling technology)에 관한 개념이 신제품의 기획 및 설계 과정에 많이 도입되어야 한다. STEP은 한 가지 예라 할 수 있다. 특히 신제품개발 및 관련 생산공정기술 개발을 통합개발하기 위한 많은 노력이 이루어져야 할 것으로 사료된다. 물론 지금도 제품과 생산공정을 통합설계하고 있기는 하지만, 기업간 전자상거래 체제의 확산 시 시장주본 대응의 즉응성, 납기 약속 보장 등의 절박한 문제 때문에 전면적인 새로운 생산공정의 설계보다는 가공기계나 가공시스템의 가변성/다목적성 확보와 유연성 증대 등을 고려한 생산공정 설계 등에 더욱 초점을 맞추어야 할 것이다. 이 내용은 아래에 나오는 내용과 이 글의 끝 부분에 나오는 미래의 공장형태에 관한 개념을 참고하기 바란다.

(2) 절삭생산성을 획기적으로 높일 수 있는 고속 절삭가공 기술 개발 : 전문가들에 의하면 2020

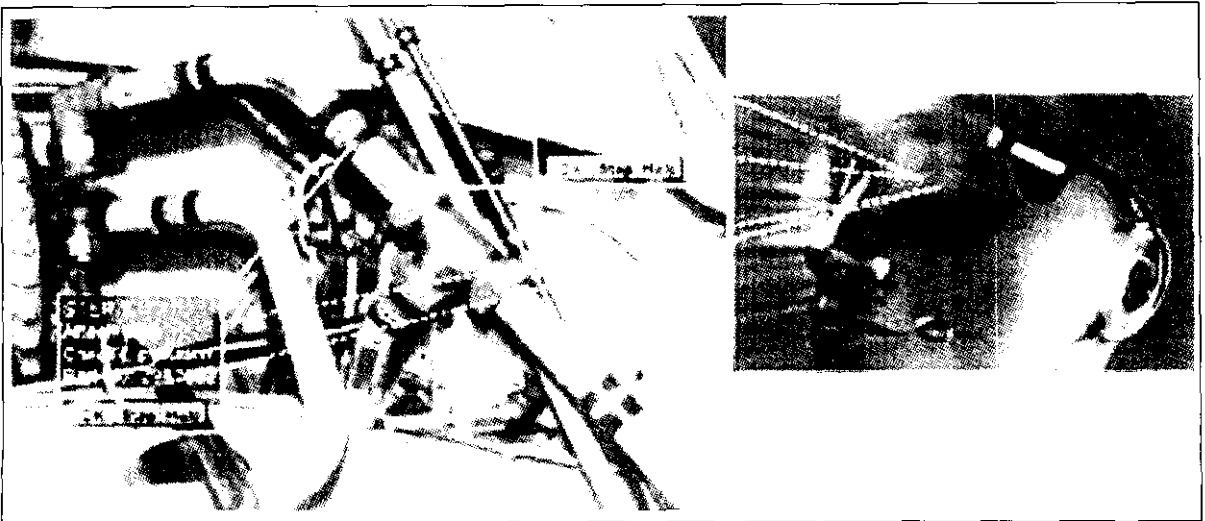
년 경에 이르면, 절삭가공 속도가 지금과는 비교할 수 없을 정도로 고속화될 것으로 예측되고 있다. 전자상거래 체제 하에서 다음과 같은 시나리오를 쉽게 연상해 볼 수 있다. 초고속 인터넷을 통한 주문과 기업 내 표준설계도의 검색, 그리고 간단한 조립과 수정 작업 등을 통하여 제품을 즉시 생산할 수 있는 초단납기 제품 생산 체제 구축 그리고 이에 따른 초고속 가공! 절삭가공의 속도와 품질을 높이기 위한 노력은 이 분야에서는 매우 고전적인 테마라 할 수 있다. 현재 구미 선진국에서는 초고속 절삭가공기술의 구현과 이를 위한 초정밀 제어기술의 확보를 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 초고속 정밀 절삭가공 기술의 개발은 역으로 제품 설계자에게 많은 설계 여유를 제공해준다.

(3) 가공시스템의 유연성을 높이기 위한 새로운 개념의 기계 및

가공시스템 개발 : 현재 IMS 국 제공동연구 프로그램에서는 가변형 가공시스템(reconfigurable machining system)과 관련된 연구프로그램을 진행하고 있다. 필자 중 한 사람이 2000년에 참석 하였던 연구결과 교류회에서는 기계공학과 산업공학의 전공자들이 모여서 함께 가변형 가공시스템에 관한 연구를 진행하고 있었다. 이 역시 주된 개념은 시간 단축, 제어 정밀도의 향상, 그리고 시스템 운영 성능의 향상이었다. 가공과 관련된 준비시간의 단축, 다목적 가변형 가공기의 개발을 통하여 시장의 반응에 대응할 수 있는 다재 다능한 생산시스템 구성, 그리고 운영기술의 효율화를 통한 생산납기의 단축과 생산성 향상 등이 연구 주제였다. 그 연구 교류회는 자동차 Big 3가 지원하는 연구 프로그램이었다. 비록 아직은 실용성이 떨어지지만

생산시스템의 기동성과 저 원가를 기반으로 향후의 주된 개념이 될 것으로 예상된다.(그림 참조)

(4) 작업자의 노동생산성 향상과 관련된 기술 개발 : 전 세계적으로 노동시장의 유연성 확보는 정치적으로나 경제적으로 큰 문제가 되어왔다. 그러나 이제는 이 문제가 기술영역으로까지 확대되고 있다. 세계 경제가 하나로 연결되는 세계화(globalization)의 추진이 가속됨에 따라서, 작업자 개개인의 노동 숙련도 차이가 마치 에너지의 차이와도 같이 전 세계적인 노동인구의 이동을 유발시키는 요인이 되고 있다. 이는 현재에도 조금씩 나타나고 있는 현상이다. 현재 한국에 인도의 IT 기술자들이 넘쳐 나는 현상이 좋은 예라 할 수 있다. 따라서 각국 사이의 문화장벽이나 언어장벽, 국지적 사고체계의 국제화 등을 가미한 인간-기계(또는 장치) 인



터페이스 문제가 향후 심각하고도 중요한 문제로 대두될 것이다. 이미 선진국에서는 (특히 미국에서) 이와 같은 문제가 가져올 심각한 영향을 고려하여 새로운 기계, 센서, 장치, 시스템 등을 개발하기 위한 본원적인 개념의 고안 작업에 착수하였고, 이 개념을 토대로 전혀 새로운 개념의 인터페이스 개발을 위한 연구를 기획하고 있다.

위 네 가지 분야에서 예상되는 변화가 현재의 기술을 기반으로 미래를 예측하는 미시적인 면이 강하지만, 이를 요약해 보면 2020년의 제조/생산 기술을 이끌어갈 거시적인 핵심요소를 다음과 같이 요약해 볼 수 있다.

- 기능성과 생산성보다는 창의성과 혁신을 기반으로 하는 경쟁체제의 도래
- 까다로운 고객요구와 이에 따른 시장요구에 즉응할 수 있는 경쟁체제 확보
- 혁신적인 생산 공정기술 개발에 따른 생산/제조의 범위와 규모 변화
- 전세계가 하나로 연결되었다는 관점에서의 환경보호
- 정보와 지식의 신속한 전파 및 공유 - 신속하고 순간적인 의사결정 요구
- 생산자원의 전 세계적 이동 및 분배 - 노동인력의 이동성

즉 위에 열거한 요소를 고려한 새로운 기계기술의 개발, 새로운 개념의 기계기술 확보, 그리고 인

접학문 분야와의 다학제간 연구 등의 전략추가가 곧 전자상거래 체제에서 새롭게 도래할 기계기술의 미래라 할 수 있다.

이 외에도 극소미세 전자공학 기술의 영향에 따른 생산시스템, 가공기계, 각종 장비의 소형화, 정밀화 추세, 나노 제작(nano-fabrication) 기술의 실용화 도입, 분자 조립(molecular assembly) 기술의 도입에 따른 의료용 로봇, 극소정밀 기구(device)의 구현, 바이오 기술(biotechnology)의 영향 그리고 환경문제를 고려한 생존과 발전이 가능한 저공해형 생산(sustainable, low-waste production) 등도 이미 연구실 단계를 넘어 실용화의 문턱을 진입하고 있는 기술들이다. 이와 같은 극한기술들의 실용화는 곧바로 까다로운 고객의 요구 반영, 즉 개성의 극단적인 다양화를 더욱 촉진하게 될 것이고 이는 다시 생산기계, 기구, 도구 및 각종 시스템의 극단적인 유연성을 요구하는 순환의 고리를 형성할 것으로 기대된다.

이탈리아나 미국, 독일 등의 선진 연구기관에서는 이와 관련하여 미래의 생산기술, 가공기술 등을 개발함에 있어서, 개념적인 설정을 먼저 도입하는 연구를 추진하였다. 즉, 극도로 작은 규모의 빌딩 블록을 조립하는 형태를 띤 생산기술 또는 공정기술의 출현을 공통적으로 제시하고 있으며, 이것이 이른바 미래의 공장이라 일컬어지는 다형성 공장(fractal

factory)의 기본 개념이다. 이렇게 추상적인 개념의 미래 기술과 미래 공장도 실제로 그 기반은 현재의 기술에서 출발하고 있음이 명확하며, 단지 다가오는 정보화 혁명을 어떻게 흡수 소화하느냐의 문제를 반영하고 있음에 다르지 않다. 위에 이미 열거한 변화의 방향과 거기에 내재된 핵심요소를 어떻게 해석하느냐에 따라서 미래의 기계기술의 모양이 결정될 것이다. 미래의 기계기술은 어떻게 보면 이미 그 방향이 정해졌다고 감히 말할 수도 있다. 단지 그 속도의 조절만이 남아 있을 뿐이다.

끝으로 미래의 기계기술을 논하는데 있어서 매우 시사적이라 할 수 있는 사항을 소개하며 이 글을 마치고자 한다. "Visionary Manufacturing Challenges" 위원회에서는 다양한 분석을 토대로 2020년의 기업 형태를 두 가지로 제시하고 있다. 첫 번째 형태는 "자재 기업(materials enterprises)"으로서 원자재나 재활용 자재를 반 완성형 또는 완성 자재로 만드는 형태의 기업이며, 규모의 경제 추구를 통한 원가절감을 추구하는 기업형태다. 두 번째 형태는 "생산 기업(product enterprises)"으로서 신물질이나 반 완성형 자재를 최종상품으로 만드는 형태의 기업이다. 전자상거래 체제의 확산 보급이 이루어지면 기업이든 고객이든 모든 개체가 정보단위가 될 것이고, 이에 따라 공산품의 보급도 마치 현재

동네의 가게에서 물건을 사듯이 이루어질 것으로 예측하고 있다. 따라서 소규모 지역시장에 대응하기 위하여 슈퍼마켓처럼 곳곳에 “product enterprises”를 설치하고 자율적으로 운영하는 시대가 올 것을 예견하고 있다. 여기에서 우리가 눈여겨 보아야 할 점은 이런 극단적인 기업이 2020년에 출현할 것이냐의 문제가 아니라, 바로 변화의 방향이다. 인터넷을 이용하여 주문하는 제품을 극단납기에 생산 및 배송하기 위하여, 자재를 표준 설계에 따라서

반 성형품 형태로 대량 생산하여 보유하고 있고, 대신 조립하고 배송하는 소규모의 지역상점을 곳곳에 설치하여 고객 대응성을 높인다는 점이다. 이는 현재 산업공학 분야에서 제품유통망관리 또는 공급망관리(supply chain management)의 미래를 연구하는 사람들 사이에서 산업공학의 미래로도 논의되는 분야이다. 매우 추상적이지만 여기에 제시한 극단적인 형태의 미래 기업형태는 기계기술의 미래가 어떻게 변해야 하는지를 말없이 요구하는

예제라 할 수 있다. 물론 공학의 타 분야에 대한 변화도 강력히 요구함은 자명한 사실이라 할 수 있겠다.

필자들은 이 의견에 전적으로 동의한다. 다만 시기의 문제는 유동성이 있으나, 결국 변화는 이미 이런 형태로 시작되었다고 생각한다. 현재 급격하게 진전되고 있는 기업간 전자상거래, 개인간의 무제한적인 가상 정보네트워크 형성과 이에 따른 아메바 같은 정보단위 형성 등이 좋은 예라 할 수 있다.

기 · 계 · 공 · 어 · 해 · 설

▶ 고에너지밀도용접(High-power Density Welding)

용융용접(fusion welding) 과정에서 열원의 강도가 대략 $10E9 \text{ W/Me}^2$ 이상으로 높아지면 접합부에서는 용융뿐만 아니라 금속의 기화현상이 일어난다. 새로 생겨난 금속증기에 의해 발생하는 압력은 정수압력 및 표면장력과 균형을 맞출 때까지 용접풀(weld pool)을 밖으로 밀어내며, 이러한 침투(penetrating)열원은 레이저 용접, 전자빔용접, 플라즈마-아크용접 등이 갖는 특성이다. 투사되는 빔압력 또한 용접풀에 힘을 가하여 손가락 모양의 키홀(key hole)이라 불리는 공동을 만들어내는 이러한 용접방법을 고에너지밀도용접이라고 한다.

▶ 마이크로 환관(Microfin Tube)

관 내에 미세한 형상의 환을 갖는 관으로서 환의 형상은 단면의 모양이 뾰족한 삼각형이나 사다리꼴의 모양 등을 가질 수 있으며, 이러한 환들이 나선형을 이루며, 관 내에 부착되어 있거나, 일렬로 직선으로 부착되어 있을 수 있다. 환은 관 내면적을 증가시키고, 액막의 두께를 변화시키며, 난류효과를 증대시킴으로써 열전달률의 향상을 가져오나 관내 저항의 증가로 압력 강하량을 증가시키는 부작용이 있다. 그러나 마이크로환관 열교환기의 소형화나 열전달률 향상에 크게 기여하므로 차후 사용이 늘어날 전망이다.

▶ 엔탈피방법(Enthalpy Method)

용융 및 응고과정을 수치적으로 해석하기 위해 이용되는 엔탈피방법(enthalpy method)은 각 검사체적에 그 온도에 해당하는 잠열함량(latent heat content)을 부여함으로써 상변화 문제를 해결한다. 즉, 상변화가 일어나면 각 검사체적의 잠열함량은 에너지 방정식에서 싱크 또는 소스의 형태로 잠열의 흡수 및 방출을 구현하도록 조정된다. 고정격자계를 이용하기 때문에 상경계의 위치는 온도나 액상분율 등의 형태로 내재적으로 결정되며, 비선형 이동경계 조건인 고체-액체 상경계에서의 에너지 균형조건을 따로 고려하지 않아도 된다.