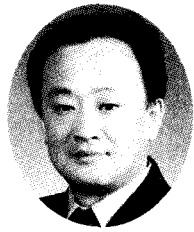


미래지향적인 초소형 공장의 전개



강재훈
한국기계연구원



송준엽
한국기계연구원



박화영
한국기계연구원

1. 서론

생산가공 시스템을 축소·소형화함으로써 작업 현장의 공간 활용성을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 공기 조화 측면과 장비, 시설 투자 비용 등을 포함한 에너지 소비와 생산 제조 원가의 절감화를 기대할 수 있으므로 최근에는 전세계적으로 그림 1과 같이 공장의 생산 라인에 이와 같은 이상적인 개념을 적절하고 효율적으로 도입하여 실용화하고자 하는 연구 개발 노력이 경쟁적으로 가속화되어 진행되고 있는 실정이다.

이와 같은 기술이 실현된다면 초소형 생산 가공 시스템을 기존의 공장 현장뿐만 아니라 청정실, 설계실, 연구실이 나 더 나아가 거주지 주택 내에도 설치하여 활용할 수 있을 것이다. 또한, 기술적인 측면에서도 초소형화에 따른 미세 메커니즘에 의하여 관성과 운동 구배 측면의 작용을 저감화할 수 있으므로 고속 가공과 고정도/고강성 동작 제어가 용이하게 이뤄지게 되어 가공 정도와 생산성 향상을 모두 기대

할 수 있다.

한편, 최근에 있어서 미세 가공 기술의 고도화와 더불어 마이크로 머신을 실현하기 위한 개발 연구가 활성화되고 있으며, 그 단계적인 결과로써 현재까지는 시계, 카메라·

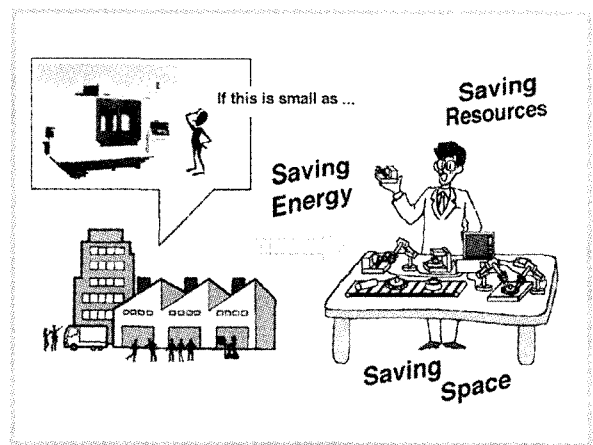


그림 1. 초소형 공장의 요구

캠코더, 모바일폰, OA기기 등의 생활 근린형 소형 정밀기
기들이 기존에 비하여 더욱 매우 미세한 다수의 부품들로
구성되고 있다.

그러나 현재로서는 이와 같이 미소한 부품들이 생산 대
상물이라고 할지라도 그 생산 제조 시스템과 조립 라인의
치수 및 규모는 매우 큰 실정이라고 할 수 있는 바, 향후에
있어서 제품의 고밀도화, 고집적화에 따른 제조 설비들도
역시 이와 같이 대형화된다면 설비 구축을 위한 투자 비용
이 막대하게 소요될 뿐만 아니라 생산 시스템에 있어서의
유연성이나 생산 효율이 저하될 수 밖에 없을 것이라는 예
측을 할 수 있다.

이러한 대형화 설비의 경향과는 다르게 일본의 경우에는
1991년에 "Micro Machine Center(29개의 협력회사와 9
개의 협력기관으로 구성)"를 설립하면서 통산성 공업기술
원 산하의 기계기술연구소(현재는 산업기술종합연구소로
개칭)에서 그림 2에 나타낸 바와 같이 초소형 기계류와 매
니퓰레이터로 구성된 "미소화 부품에 적합한 소형 생산 총
합 시스템"인 즉, "Micro Factory(초소형 공장)"의 개념을
제안한 것이 태동되어 실제로 에너지 절감, 자원 절감, 생
산 제조 공간의 축소 등을 지향하는 한편, 생산 대상물에
유연성 있게 대응할 수 있는 "초소형 공장"에 관한 약 10여
년 간의 체계적이고 지속적인 관련 연구를 수행한 바 있다.

본문에서는 최근에 전개되고 있는 미래지향적인 초소형
공장의 개발과 관련한 주로 일본의 기술 현황들을 비교, 분
석하여 나타내었다.

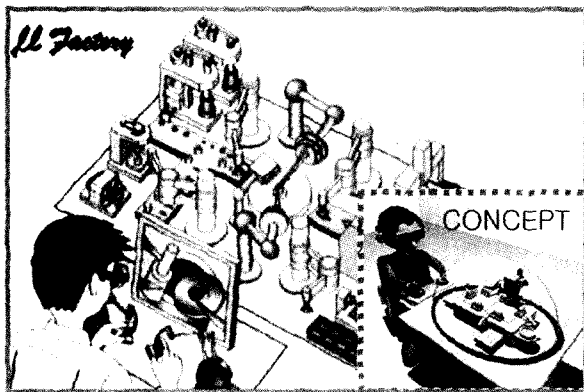


그림 2. 초소형 공장의 개념

2. 미소 부품의 생산 제조 시스템이 지니는 문제점

현재까지는 그림 3에 나타낸 바와 같이 대상 제품이 작
은 경우에 대해서도 대부분 규모가 큰 생산 제조 시스템을
활용하고 있는 실정이다.

예를 들어, 손목 시계를 생산하는 경우에 있어서 대부분
의 구성 부품들이 1mm 이하의 크기를 지니며 무게 자체도
수 mg 정도에 불과하지만, 그림 4에 나타낸 바와 같이 전
용 자동 조립 시스템의 총합 길이는 약 40m 정도이며 로봇
의 무게도 약 250kg 정도에 이른다.

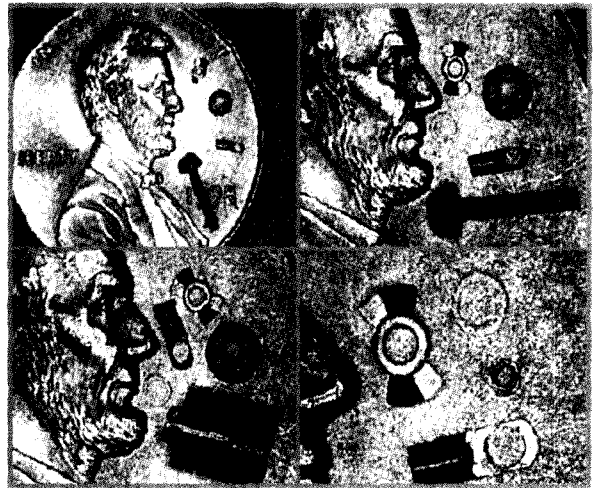


그림 3. 미소 부품의 예

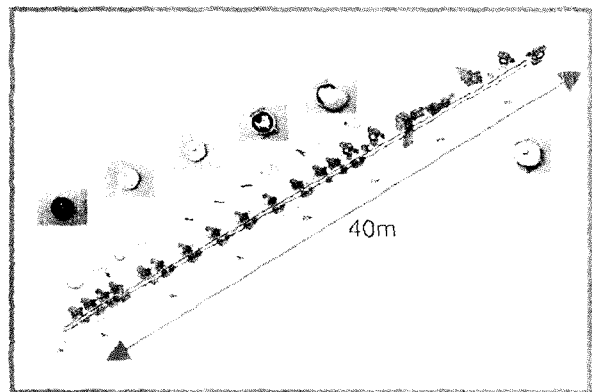


그림 4. 손목시계용 자동화 조립 공정 라인의 예

물론 이와 같은 시스템은 높은 신뢰성을 지니며 고속화와 고정도의 처리 성능을 지니므로 대량 생산에는 매우 적합하다고 할 수 있지만 소량의 생산에는 적절하지 않다는 단점을 지니기도 한다.

한편, 생산 제조 시스템의 크기가 매우 작아진다면 수요자의 요구에 적합하도록 가까운 현장에서 생산하는 것도 가능할 것이다. 그러므로 초소형 공장의 구성 공정용 디바이스는 매우 소형이면서 에너지의 소비가 낮고 공정 자체가 자동화되어야 한다는 특성을 지녀야 한다.

일반적으로 미소한 제품을 대상으로 하는 기계적인 제거 가공을 위해서는 가공 공구도 역시 미소한 크기를 지녀야 하나 강성이 부족하고 가공 정도가 저하되기도 하며 공작물과의 직접적인 접촉 과정에 있어서 공구의 마모가 정상 정도에 악영향을 미치기도 한다.

따라서 전기 화학적인 가공이나 방전 가공 방식에 의하여 공구와 공작물간의 접촉 과정 없이 불필요한 부위만을 선택적으로 제거할 수 있으므로 미소 형상의 제품을 생산하기 위한 적절한 기법으로 적용될 수 있지만, 전기 화학적인 반응에 의거한 특성을 지니므로 모든 가공 공정에 도입되는 것보다는 물론 첨가적인 공정으로 활용되는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

이와 같은 가공 방식은 화학적인 작용을 기본으로 하므로 가공에 소요되는 에너지도 적으며 작업 환경에 크게 구애받지 않는 특징도 지녀 초소형 공장에 적합하게 활용될 수 있다.

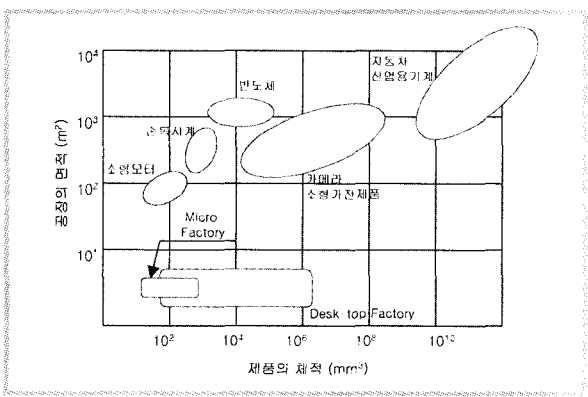


그림 5. 생산품의 크기와 공장면적의 관계

참고로 제품의 크기와 공장 면적간의 상대적인 관계를 비교하고자 그림 5에 횡축과 종축에 각각 유형별 제품의 크기와 해당 제품을 생산하는 공장의 면적을 나타내어 표시하였다.

예를 들면, 우측의 윗 부분에 표기된 자동차의 경우는 그 크기가 약 1010mm³, 공장의 면적은 약 103~104m²이며, 이와 비교하여 손목 시계의 경우는 그 크기가 약 103mm³, 공장의 면적은 약 102~103m²이다.

그 밖에 반도체나 소형 가전 제품, 카메라 등의 경우는 표기된 바와 같이 제품이 작아지게 되면 공장의 면적도 점차적으로 작아지게 되는 경향을 지닌다.

그러나 반도체의 경우에는 집적도가 높아질수록 역으로 공장 면적이 넓어지는 경향을 나타내는 바, 이러한 현상은 미세한 가공을 실현하기 위해서는 동반적으로 가공 정도를 추구해야 할 필요가 있고 이를 위해서는 강성을 극한적으로 향상시키는 한편, 방진 환경을 충분히 도모해야 하므로 결과적으로는 제조 장치의 대형화가 불가피하다는 이율배반적인 상황에서 비롯되는 것이라고 하겠다.

3. 초소형 공장의 특징

초소형 공장이 실현된다면 그림 6에 나타난 바와 같이 탁상형(Desktop type) 크기의 공장이 구축됨으로써 "필요한 것만, 필요한 만큼만, 필요한 때에, 필요한 장소에서 생산"하는 것이 가능하게 되어져 공장의 유지 관리에 있어서 요구되는 에너지, 자원, 공간을 절약할 수 있으므로 이들에 대한 효율적인 절감 효과를 획득할 수 있을 뿐만 아니라 높은 유연성을 발휘할 수 있다.

① 에너지 절감 측면

에너지 절감의 측면에서는 공작 기계류와 매니퓰레이터가 소형화됨으로써 용적률이나 중량이 감소하게 되어 구동용 에너지가 경감화되는 한편, 생산 공장에 있어서 소비되는 전체 에너지의 약 80% 정도가 공조 및 조명 등의 작업 환경 유지에 사용되고 있다는 점을 감안하면 생산 설비의 소형화에 의하여 환경 용적이 현저히 축소됨으로써 매우 큰 효과를 기대할 수 있게 된다.

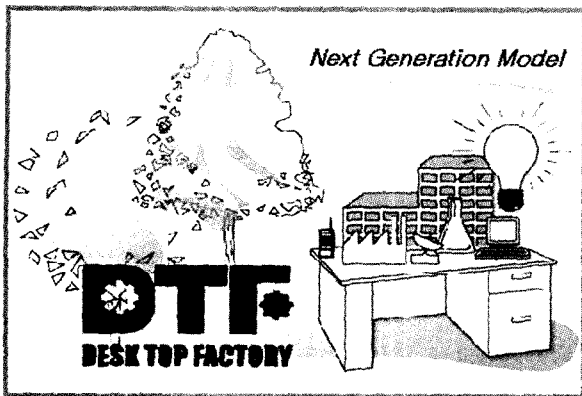


그림 6. 탁상형 크기의 초소형 공장 개념

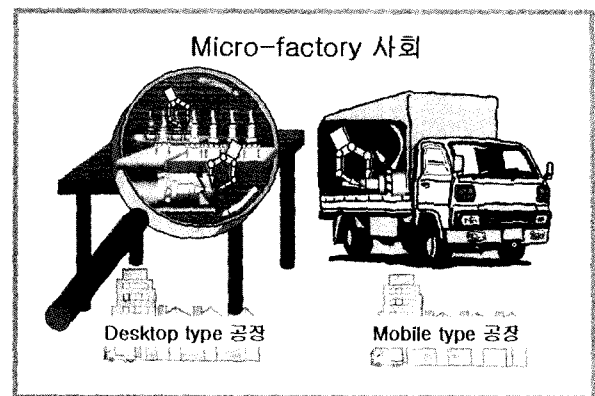


그림 7. 이동식 운영에 의한 초소형 공장의 사회

특히, 청정 분위기의 작업 환경이 요구되는 경우에도 Clean room이나 Clean bench 등의 청정 공간이 대폭적으로 축소될 수 있으므로 관련 에너지의 사용량이 크게 억제될 수 있다.

② 자원 절감의 측면

자원 절감의 측면에서는 장치나 시스템을 구성하는 재료의 감소는 물론 관련 부대 설비의 경감 및 공간 전체의 건설 재료의 감소 효과도 크게 달성할 수 있다.

화학 공장 등에 있어서는 취급하는 재료가 소량이 되면 고가의 시약이나 재료 등을 적게 사용하게 됨으로써 지구 환경 오염을 억제하는 효과도 부수적으로 달성할 수 있다. 또한, 필요로 하는 만큼만을 생산하는 방식의 On-site 생산 측면에서는 운송비의 절감과 생산성의 향상도 기대할 수 있다.

③ 공간 절감의 측면

작업 공간 저감의 측면에서는 생산 시스템 자체의 소형화에 따른 각종 분위기 가스나 진공 분위기 등 특수한 환경에서의 생산도 용이하며, 그림 7에 나타난 바와 같이 공장 용지를 필요로 하지 않는 이동 중의 생산도 가능하여 제품의 완성에서 소비까지의 소요 시간 단축 효과도 충분히 획득할 수 있다.

④ 생산 유연성의 측면

초소형 공장을 운용할 경우에는 유연성이 높은 생산도

가능하다는 특징을 지니기도 한다. 즉, 장치의 소형, 경량화는 크고 무거운 정반 등의 설치 공사를 배제하며, 각기 새로운 생산 제품마다 대응하여 변경해야 하는 생산 라인과 배치 문제들을 해결하여 생산의 유연성이 현저히 향상될 수 있다.

이와 같은 특징들을 충분히 활용하면 개인의 요구에 대응할 수 있는 생산 체계의 구축도 가능할 수 있으므로, 더욱 더 진보된다면 “개인의 시대”를 탄생시킬 수도 있을 것이다.

소형, 경량화에 의하여 구동부의 관성력이 감소하며, 위치 정도의 향상이나 임의 방향으로의 신속한 동작 제어가 가능하게 된다. 또한, 가공 및 조립부의 경우에는 다수의 소형화된 매니퓰레이터를 적용하게 되어 여러 방향으로 복수의 부품 가공이나 조립을 동시에 수행할 수 있으므로 제품의 생산 시스템이나 제품의 설계에 있어서의 자유도를 증대할 수 있다는 장점도 지닌다.

4. 일본의 초소형 공장 개발 현황

단체 제품을 대상으로 하는 초소형 공장의 본격적인 실현을 위한 연구 개발은 현재 대부분 일본에서 수행되고 있는 실정이다.

① 기업 컨소시엄 개발 사례

산업 과학 기술 연구 개발 제도에 의한 “마이크로 머신 기술 개발” 연구 과제의 일환으로써 1994년부터 착수된

“마이크로 가공·조립용 시작품 시스템”에서는 Desk-top 크기의 시작품을 개발하기 위하여 히타치, 파나, 미쯔비시 전기, 후지 전기 등 7개의 기업들이 공동으로 연구를 실시하였다.

그림 8에 나타낸 바와 같이 이와 같은 시작품 시스템은 약 60×65×75cm³ 크기의 Desktop형이며 마이크로 압, 반송용 디바이스, 마이크로 서보 압전 액츄에이터, 마이크로 펌프, 마이크로 전해 가공 디바이스, 환경 인식 디바이스, 접합 디바이스 등으로 구성되고, 1cm³의 작업 공간 범위에서 10mm 이하의 크기와 2g 이하의 무게를 지니는 대상물에 대한 가공을 수행할 수 있다는 특성을 지닌다.

기존의 일반적인 가공 기법에 의한 초소형 부품들의 가공에 있어서 작용될 수 있는 반력을 제외하기 위하여 습식 전해 방식의 가공 유닛트, 가공이 이뤄진 초소형 부품들을 운송하는 2차원 형태의 반송 유닛트, 초소형 부품들을 조립하는 정밀 조립 유닛트 등의 총체적인 복수 기능(공정)을 단위 시스템 내에 포함한 개념을 지니는 한편, 복수 기능을 상호 연계하여 복잡한 생산 공정이 완료될 수 있도록 하는 성능을 지닌다.

생산 대상 예를 Sub-mm의 직경을 지니는 기어를 포함한 기어 트레인으로 정하여 실험적인 생산 실험을 수행한 바, 우선 가공 유닛트에서 기어가 성형 제작된 후 반송용 디바이스에 의하여 조립용 유닛트로 공급되어 마이크로 압으로 조립되는 공정 순서를 지니며 다른 부품들은 공급용

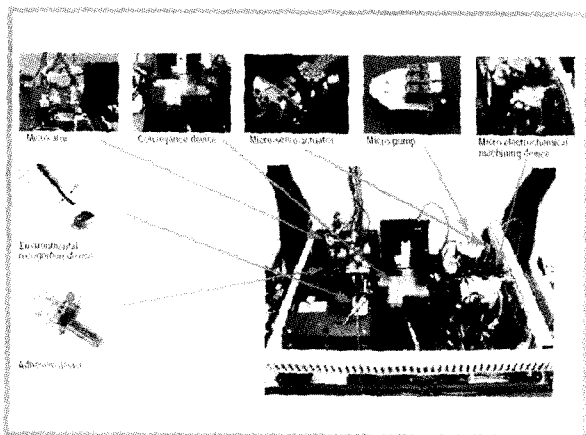


그림 8. 마이크로 가공·조립용 시작품 시스템의 예

스테이션으로부터 조립용 유닛트로 공급된다.

이와 같은 시스템에서는 초소형화를 위하여 두 가지의 접근 방식이 도입되었다. 즉, 미소한 대상 부품의 생산 제조에 적합한 새로운 전해 가공 방식 및 반송 유닛트와 기존의 조립 기구를 그대로 축소한 초소형의 조립용 유닛트를 이용한 기법이 적용된 것이다.

② 지역 컨소시엄 개발 사례

1997년부터 착수된 지역 컨소시엄 개발 제도에서는 “공작 기계의 소형화 기술에 관한 연구 개발”과제를 수행하여 리니어 모터를 탑재한 이송 축 기구를 도입한 고정도 다축 자동 선반의 개발을 추진함으로써 기존에 비하여 전체 외형 크기는 약 1/6, 소비 동력은 약 1/3 정도로 축소할 수 있게 되었다.

또한, “소형 정밀 기계 부품용 고기능 소형 생산 시스템의 개발 연구”과제를 수행하여 절삭이나 연삭 가공 기능이 약 200mm³ 정도의 용적 내에서 이루어질 수 있는 소형 생산 시스템을 개발하고 있다.

③ 대학의 개발 사례

동경대의 경우는 1997년에 학내 첨단 기술 연구소와 공동으로 그림 9에 나타낸 바와 같이 미소 부품에 대한 가공, 조립, 반송, 보관 등의 총합 생산 공정을 일관적으로 작업할 수 있는 1.5m² 면적 크기의 초소형 공장(일명 NMW :

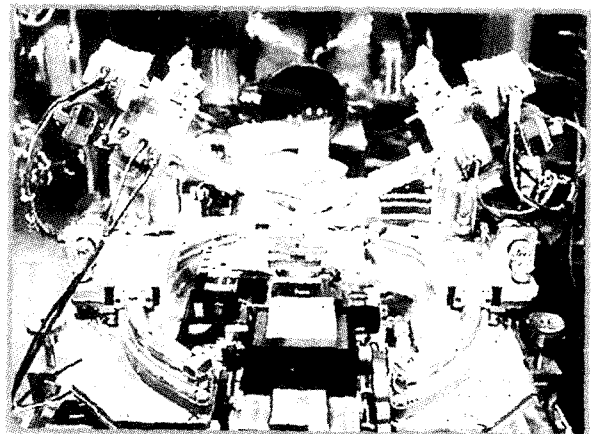


그림 9. “Nano manufacturing world” 개발 예

Nano Manufacturing World)을 개발하였다.

조립 작업은 작업자가 현미경 화상을 통하여 2개의 매니퓰레이터로 조작하며, 매니퓰레이터의 위치 결정도를 확보하기 위하여 현미경 화상 처리를 이용하여 자동으로 대상물을 탐색하는 즉, 위치 결정을 위한 보조 시스템을 동시에 개발하였다.

④ 기업의 개발 사례

일본의 SEIKO Instruments에서는 기계적인 제거 가공이 아닌 새로운 가공 방식으로 제조 장치의 소형화를 추구하기 위한 시도를 하였다.

그림 10과 같이 주사형 터널 현미경(STM)을 기본 장치로 하여 고분해능과 고정도화 기술을 미세 가공에 적용하고자 하였으며, 경취성을 지니는 크롬이나 SUS강 등을 대상으로 하여 가능한 한 빨리 가공을 수행하기 위하여 전기화학 반응에 의한 전해 가공 기법을 채택하였다.

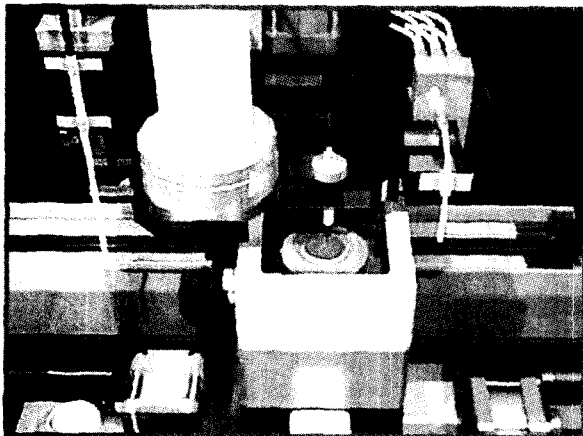


그림 10. STM을 이용한 마이크로 생산 시스템의 예

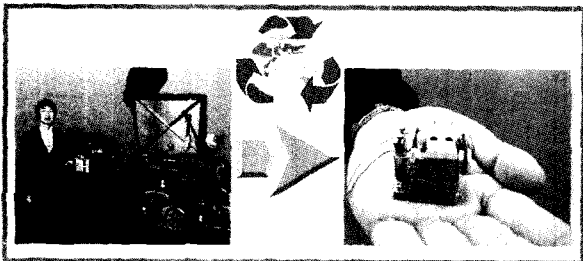


그림 11. 세계 최소형의 마이크로 선반 예

따라서 조립 과정에서 문제가 될 수 있는 칩 등이 전해액에 이온화되어 용해되므로 가공품을 세정할 필요가 없으며, 전극의 마모가 크지 않으므로 전극이 소모된 만큼 위치를 보정할 필요도 없다는 특징을 지닌다.

액체나 기체를 취급하는 초소형 공장의 경우에 있어서는 미소량의 화학 반응이나 분석 기능에 주안점을 두어 초소형의 펌프, 밸브류와 배관 등으로 이뤄진 화학 분석 시스템의 초소형화에 관한 연구 즉, 초소형 TAS (Micro Total Analysis System)를 실현하기 위한 연구들이 유럽의 국가들을 중심으로 활발히 이뤄지고 있다.

⑤ 기계기술연구소의 개발 사례

1996년에는 그림 11에 나타낸 바와 같이 손바닥 위에 올려놓을 수 있을 정도로 세계에서 가장 초소형이면서도 우수한 절삭 정도를 발휘할 수 있는 마이크로 선반(Micro

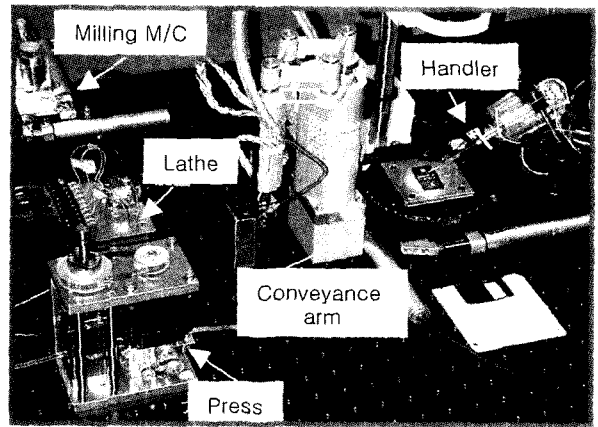


그림 12. 탁상형 초소형 공장의 개발 예



그림 13. 휴대형 초소형 공장의 개발 예

Lathe)을 개발하였으며, 1998년에는 전세계적으로 최초로 “Microfactory에 관한 국제 Workshop”을 개최하여 초소형 공장의 장래성에 대하여 심도 깊은 논의를 하는 한편, 초소형 공장에 대한 개념을 세계 각국에 홍보하였다.

그 후에 이와 같은 초소형 공장의 개념을 구현하기 위하여 1999년에는 그림 12에 나타낸 바와 같이 다수의 초소형 공작 기계류와 반송·조립용 매니퓰레이터를 조합하여 구성된 Desktop 형태의 기계 가공형 초소형 공장을 제작하였다.

제작, 구축한 초소형 공장에 의하여 mm이하 혹은 수 mm급의 소형 부품들에 대한 기계적인 제가 공을 수행하는 한편, 그 제품들을 조립하는 공정도 가능할 수 있다.

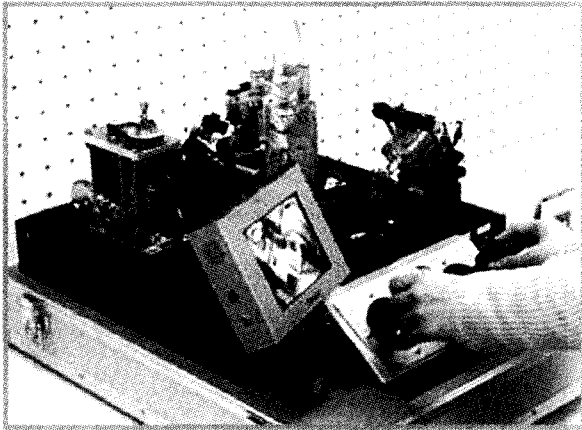


그림 14. 휴대형 초소형 공장의 운영 예

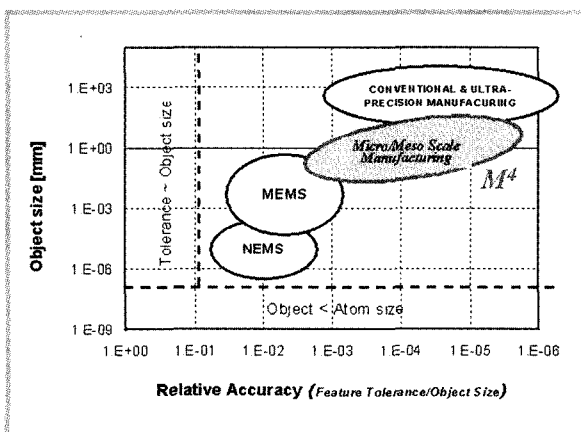


그림 15. Micro Factory가 대상으로 하는 Micro/Meso급 부품들의 범위

즉, 50×70cm의 면적내에 소형 부품들을 기계가공하는 초소형의 선반, 밀링 머신, 프레스와 소형부품들을 반송하는 암(Arm), 조립을 위한 저분형 2 Finger식의 핸들러가 설치되어 있다.

이 외에 경량화와 휴대화를 고려하여 2000년에는 더욱 간편하고 보완된 그림 13에 나타낸 바와 같은 “Portable Microfactory(휴대형 초소형 공장)”를 새로이 개발하여 일 반에 공개하였다.

625×490×380mm의 듀랄루민 케이스 내(발포 우레탄의 완충재 내장)에 면적 430×430mm의 초소형 공장이 위치되어 수납되는 한편, 차를 이용하여 임의의 장소로 수송된 후에는 건물내에서 외부에 장착된 4개의 바퀴에 의하여 움직일 수 있으며 총 중량은 34kg(본체 중량은 23kg)이고, AC 100V의 전원으로 동작되며 가동 중의 총 소비 전력은 약 60W 정도이다. 3대의 초소형 CCD 카메라가 탑재되어 있으며 가공 중의 화상을 5.8”의 액정 모니터로 관찰할 수 있다.

전원 용량의 최적화와 프로그램이 가능한 논리 IC 회로에 의하여 대폭적인 소형화와 경량화를 달성할 수 있었으며, 기기의 조작은 2개의 조이 스틱과 1개의 보턴형 스위치를 사용하여 수행하고 수동식 제어도 물론 가능하다.

그림 14에는 휴대형 초소형 공장의 운영 예를 나타내었다.

5. 결론

과거에는 공상 과학 소설이나 영화에 등장했던 인간형 로봇이나 마이크로 머신이 최근의 활발한 관련 연구들을 통하여 아직은 부분적이긴 하지만 단계적인 결과들로써 인류 사회에 널리 회자되고 있는 실정이다.

마이크로화라는 세계적인 추세에 부응하여 마이크로 부품을 제작하는 입장에 주안점을 둔 초소형 공장 즉, Micro Factory는 공장 자체 혹은 공장을 구성하는 기계 장치 등의 크기가 마이크로급이라는 것이 아니라 그림 15에 나타낸 바와 같은 Micro / Meso급의 부품들을 대상으로 하여 생산하는 공장이라는 의미를 지닌다.

향후 인간 각 개인의 단독 시대에 대응하여 “필요한 것을, 필요한 만큼만, 필요한 때에, 필요한 장소에서” 생산할

수 있는 효율적인 방안이 되는 한편, 에너지와 자원의 절감, 작업 공간의 대폭적인 축소, 공장 건축비와 구조 재료비의 절감 효과도 획득할 수 있을 뿐만 아니라 구성 기계 장치와 기기의 재배치가 용이하여 생산 계획의 변화에 유연하게 대처할 수 있고 이동식으로의 변환이 가능하여 물류 유통비를 억제할 수 있다는 측면에서도 우수한 장점을 지닌다.

미래에 있어서 이러한 초소형 공장이 보편화된다면 수요자의 주문에 즉각적으로 대응할 수 있는 점포형 공장이나 물류 과정에서 생산할 수 있는 이동식 공장 그리고 가정내 공장이나 간이 입차형 공장 등도 실현될 수 있을 것이다.

초소형 공장이나 이를 위한 구성용 초소형 기계류 등의 실현을 위해서는 마이크로 이공학에 의거한 설계, 재료, 가공, 접합·조립 등의 기초 기술과 미소형 디바이스 제작, 마이크로 발전·에너지 공급 등의 기능 요소 기술, 그리고 제어, 연계, 평가 등의 시스템 기술이 동반적으로 개발 추진될 필요성이 있다.

당 연구실의 경우도 다년간 축적된 관련 연구 결과들을 토대로 하여 최근에 특수 복합 가공 공정·마이크로 비전 측정 기술을 비롯한 자율, 협조, 분산 등의 제어와 인간 개재형, 원격 조작 등의 연계 및 기능 평가, 신뢰성 평가 등의

총합 시스템 평가 기술 분야를 중점으로 한 보다 진보된 국내에서의 자립적인 초소형 공장을 개발하기 위한 연구를 추진하고자 다각적인 준비를 하고 있다.

참 고 문 헌

1. N. Kawahara, T.Suto, T. Kitahara, N.Ooyama, T. Ataka, "Microfactories: new applications of micro machine technology to the manufacture of small products", Technical papers, Microsystem Technologies, pp.37-41, 1997
2. K. Furuta, "Experimental processing and assembling system (Microfactory)", Proceedings of the 5th International Micromachine Symposium, pp.173-177, 1999
3. T. Kitahara, K. Ashida, M. Tanaka, Y. Ishikawa, N. Oyama, "Microfactory and microlathe", IWMMF'98, pp.1-8, 1998
4. K. Ishii, M. Nakao, H. Amano, and Y. Hatamura, Concept and realization of micromechanical manufacturing system, IWMMF'98, pp.27-32, 1998