

## 초 점 기 획

## 기계산업의 기술혁신 패턴

李工來<sup>1)</sup>

## 목차

- I . 머리말
- II . 기계기술 패러다임의 변화
- III . 기계산업의 기술혁신 패턴
  - 1. 기술속성측면
  - 2. 혁신주체측면
  - 3. 혁신유발측면
- IV . 기계기술 혁신의 전개 방향

## I . 머리말

기계산업은 기업이 생산 활동을 영위하는데 필요한 생산 설비를 제작하여 공급하는 산업 부문이다. 대부분의 기업은 기계산업에서 생산된 기계설비를 구입하고 근로자를 고용하여 소비재를 생산하거나 서비스를 창출하여 최종 소비자의 효용을 충족시킨다. 따라서 기계산업은 최종 소비자에게 근접해 있지는 않지만 각종 소비재나 서비스의 생산을 위해서 없어서는 안될 필수적인 생산 요소를 생산하는 산업 부문이다. 동 산업은 또 기계설비의 생산에 투입되는 각종 부품과 소재를 다른 산업으로부터 구입함으로써 수요산업의 역할도 수행한다. 그러므로 기계산업은 산업의 중간 위치에서 전방 및 후방의 산업들과 공생 관계 혹은 보완 관계를 맺고 있다.

기계산업이 갖는 중요성은 무엇보다도 그것이 한 나라 경제에서 일어나는 기술혁신의 기폭점이며 기술혁신의 매체라는 점에 있다. 여러 기술분야에서 창출되는 신기술은 대개 기계설비에 體化한다. 그리고 이를 통해서 혁신된 기계설비가 산업 각 부문에 공급되어 활용됨으로써 기계산업은 기술혁신의 매체 역할을 담당한다. 이 때문에 기계산업이 존재하지 않는 나라에서는 기술의 창출→혁신→혁신→창출이라는 진정한 의미에서의 순환 메카니즘을 가진다고 보기가 어렵다. 이와 관련해서 잘 발달된 기계산업의 존재 여부가 先進國과 後進國을 가름하는 질적인 기준으로 종종 이용되기도 한다.

역설적이지만 우리 나라는 잘 발달된 기계산업을 가지지 못했으면서도 그 동안 높은 경제성장을 유지하여 왔다. 섬유산업부터 시작하여 신발, 석유화학, 자동차, 전자산업에 이르기까지 기계설비를 사용하는 각종 수요 산업이 때를 맞추어 고속으로 성장함으로써 국민 경제의 성장을 이끌어 왔다. 다행히 이들 수요산업들의 생산 활동에 필요한 자본재가 국제 시장에 존재함으로써 國內 기계산업의 미발달이 이들의 성장을 심각하게 제약하지는 않았다. 이들 기계산업의 수요산업은 그 동안 주위에 여러 우호적인 선진국들이 존재한 덕분에 그들의 市場을 활용할 수 있었으며 그들의 기술과 기계설비를 획득할 수 있었던 것이다.

그러나 과거와 같이 우리에게 호의적인 여건이 더 이상 지속되질 않고 있다. 선진국의 고급기계설비를 자유롭게 구

할 수도 없을뿐더러 선진국의 생산체제에 맞는 기계설비가 우리 생산체제에 적합하지도 않다. 이제는 생산성 향상을 위해서 기업별로 모두 다른 사용자 기업 특수적인(user firm-specific) 기계설비가 필요한 시점이다. 사용자 기업 특수적인 기계설비는 국내외의 시장에서 자유롭게 구할 수 없으며, 구할 수 있다 하더라도 높은 對價를 지불해야 한다. 이들 기계설비는 사용자 기업 자신이 직접 개발하거나 아니면 전문 생산기업, 대학 및 공공연구소간에 긴밀한 협력을 통해서 개발할 수밖에 없다.

그런데 기계산업의 기술혁신은 다른 제품의 혁신과는 다른 독특한 기술혁신의 특성과 메카니즘을 갖는다. 기술혁신에 다양한 기술 요소가 투입되며 여러 혁신주체들의 상호 작용이 필수적으로 수반하는 등 기술혁신의 과정이 복잡하다. 또한 기술혁신이 전방산업 부문의 성장과 투자 활동으로부터 큰 영향을 받게 되고 후방산업 부문의 기술혁신으로부터도 많은 영향을 받는다. 기계산업의 기술혁신이 국민경제에 외부경제효과를 발생하는 만큼 연관 산업의 기술 및 경제 활동으로부터도 많은 영향을 받는 것이다. 이 같은 특성을 고려한다면 기계산업의 기술혁신을 촉진하기 위한 기술혁신정책은 기계기술의 혁신 과정에 대한 정밀한 이해가 선행된 이후에 강구되고 추진되어야 할 것이다.

## II. 기계기술 패러다임의 변화

18세기 유럽에서 주로 무기를 제작하기 위하여 발명되었던 단순한 금속 절삭기계는 오늘날 로봇, NC선반, 머시닝 센터 등 간단한 單位機械부터 FMC, FMS, CIM 등 無人工場設備에 이르기까지 이루 헤아릴 수 없을 만큼 많은 종류로 발전하였다. 두 세기를 지나는 동안 기계설비기술은 끊임없이 혁신되었으며, 혁신의 결과 탄생한 새로운 기계설비들은 인간의 생활양태를 급속하게 변화시켰다. 기계설비의 기능도 이제는 단순한 제품의 생산 수단으로서가 아니라 서비스의 창출과 인간의 생활을 보조하는 生活便宜의 수단으로 변모하고 있다.

기계설비의 발전 과정을 역사적인 관점에서 관찰하여 보면 발명과 혁신이 일정한 주기를 갖고 군집을 이루어 나타나는 현상을 발견하게 된다. 1769년에 砲身加工을 위한 boring machine이 스위스에서 처음으로 출현한 이후 유럽에서는 각종 금속 가공기계가 군집을 이루어 나타나기 시작하였다. 1775년 英國의 Wilkinson은 와트가 발명한 증기기관의 실린더를 가공할 수 있는 boring machine을 제작하였으며, 1792년에는 원통형 철강 재료의 外徑을 정확하게 선스할 수 있는 기계가 발명되었다. 1797년 Maudslay는 공구 이송대가 달린 선반을 발명하여 작업 능력을 혁신하였다(0 상호·김종안·서대설, 1988).

새롭게 혁신된 이들 기계들은 각종 방적기계, 직물기계, 증기기관 등 산업기계의 대량 생

<표 1> 기계설비 분야의 기술혁신 과정

연도	내용	중심국	비고
1775년	최초의 보링머신(1769년) 현대식 보링머신(1775년) 정확한 외경旋削機(1792년) 플래너 발명(1793년) 나사(1797년)	영국 ↓	근대적 공작기계의 시초 (1972년)
1800년	밀링머신·만능밀링머신(1818년) 세이퍼 발명(1836년)	미국 ↓	
1850년	치차절삭용 만능 밀링머신(1855년) 치차절삭 원리 발견(1856년) 연삭 선반(1864년) 단속 자동 선반 연구 착수(1873년) 만능 연삭기 연구 시작(1876년) 현대식 드릴링머신(1885년) 경치차용 호빙머신(1887년) 자동치차 절삭기(1897년) 기어 세이퍼(1898년)	유럽 ↓	
1900년	원통연삭기 생산(1906년) 단속 자동 선반 완성(1908년) 치차연삭 성공(1913년) 만능 호빙머신(1917년) 생산형 밀링머신(초고속 선반)(1930년)	↓	
1950년	NC 프라이스칼 개발(1952년) 미시닝 센터(1958년) NC 상품화(1960년) DNC 시스템(1974년) CNC 공작기계(1976년) Robot 개발에 의한 AI 연구 추진(1979년) (공장 자동화)	일본 ↓	NC 공작기계 원년(1952년) 우리 나라 국산 선반 1호 (1950년, 벨트식)  우리 나라 NC 선반 최초 개발 (1977년)

자료: 이상호, 김종안, 서태설(1988)

산을 가능하게 함으로써 당시 英國의 산업 혁명을 촉진시켰다. 또 이들 금속 가공기계가 새로운 가공기계를 발명하여 제작하는데 이용됨으로써 發明이 發明을 유발하는 군집 현상이 나타났다. planing machine, shaping machine slotting machine, steam hammer, drilling machine 등 다양한 가공기계가 같은 시기에 출현하였다. 이와 함께 가공 정밀도를 측정하는 측정기술이 발전되었고, 가공 정밀도도 크게 향상되었다.

기계설비기술이 다양하게 혁신되고 발전되었지만 기계를 제작하는 기술자들은 과거와 다른 차원의 기술적 문제에 직면하였다. 금속의 가공 과정에서 동력의 傳達, 제어, 작업대의 移送, 마찰, 작업물에 가해지는 스트레스와 應力 등 많은 기술적 문제가 발생하였는데, 이들 문제들은 금속을 다루는 거의 모든 기계에서 공통적으로 발생하였다 Rosenberg(1976)는 이 같은 현상을 '技術的 收斂' (technological convergence)이라고 부르고, 이것이 기술 패러다임 변화의 근원이라고 설명하였다. 기계 기술자들이 이들 기술 문제를 해결하기 위하여 끊임없이 노력한 결과 20세기 초에 이르러서는 기계 기술이 크게 혁신됨으로써 새로운 기술의 패러다임을 형성하게 된다.

20세기 초의 새로운 기계기술 패러다임은 금속 재료의 혁신으로부터 비롯되었다. 高速度鋼은 이 당시 출현했던 대표적인 금속 재료였다<sup>2)</sup>. 고속도강은 금속 절삭의 속도를 分當 18~20피트로부터 80~100피트로 거의 5배나 향상시켰다. 그러나 기존의 기계 구조로는 이 같은 고속의 금속 절삭 작업을 수행할 수가 없었다. 고속 절삭이 가능하도록

베드, 슬라이드의 荷重이 무겁게 설계되어야 했으며, 動力의 향상도 필요하였다. 또 이에 적합하도록 기어, 벨트 등 기계 부품이 혁신되지 않으면 안 되었다. 결국 이들 부품은 고속도강을 활용하여 작업할 수 있도록 모두 혁신되었으며, 이들 혁신이 새로운 機械技術의 패러다임을 형성하게 되었다.

기계기술은 20세기 중반에 들어서서 또 한번 큰 변화의 물결을 맞이하였다. 급속히 혁신되기 시작한 전자기술이 기계기술에 응용되기 시작하면서 새로운 패러다임을 맞이하게 된 것이다. 가장 큰 기술적 변화는 수치제어기술(numerical control; NC)의 실용화였다. 1950년대 초 MIT에서 최초로 개발한 NC 기술은<sup>3)</sup> 초기에는 신뢰도가 낮고 실용화가 어려운 듯했으나, 電子素材와 컴퓨터 기술의 발전으로 실용화할 수 있었다. 1970년대에 들어와서는 새롭게 혁신된 마이크로 컴퓨터를 공작기계에 장착함으로써 NC 기술이 보편화되기 시작하였다. NC 기계는 한 개의 중앙 컴퓨터로 여러 臺의 기계를 동시에 통제하는 DNC 시스템(direct numerical control system)과 각각의 기계에 마이크로 컴퓨터를 내장한 CNC(computerized numerical control) 시스템으로 나뉘어져서 발전해오고 있다.

NC 기술 발전에 의한 기계기술의 革新은 기계산업뿐만 아니라 기계를 사용하는 거의 모든 산업에 크나큰 영향을 미쳤다. 柔軟性を 그다지 상실하지 않으면서도 생산자동화가 크게 증가하였으며 노동인력이 감축되고 생산성은 크게 향상되었다. NC 기술의 응용에 이어 전자기술이 각종 기계류에 광범위하게 응용됨으로써 이제는 電子化 되지 않은 기계설비를 찾아보기 힘들 정도로 보편화되었다. 이 같은 기술적인 경향을 가리켜 Fransman(1986)은 자동화의 軌跡(automation trajectory)이라 이름 붙였다. 기계설비산업에 있어서 자동화는 작업물 처리, 기계 가공 과정의 추적 공구 교환, 조립, 故障個所의 발견 등 더욱더 복잡한 작업과정에 응용되고 있다.

### III. 기계산업의 기술혁신 패턴

#### 1. 기술속성 측면

앞에서 설명된 기계산업의 기술혁신들은 어떤 과정을 통해서 이루어졌으며 또 어떤 특성을 가지는 것일까? 이를 이해하기 위하여 먼저 기술 속성 측면에서 기계기술의 내용과 구조, 獨立性和 複合性, 수명주기, 創出과 확산 과정 등의 측면을 차례로 살펴보자. 기계기술은 거시적인 관점에서 크게 제품기술과 생산기술로 나누어진다. 기계설비와 관련된 제품 기술은 각 기계마다 독특한 使用者의 전문기술(user-specific technology)을 체화하는 특성을 가지므로 그 종류가 헤아릴 수 없을 정도로 많다. 이 때문에 제품 기술의 產物인 기계설비도 구매하는 기업이 다양한 만큼이나 다양한 유형을 가진다. 그리고 기계설비는 대량으로 생산되는 시장 판매제품이 아니라 고객이 나름대로 요구하는 특수한 仕様에 따라 제작되고 납품되는 注文製作製品이다. 따라서 기술혁신 과정에서 주문자(使用者 혹은 수요자)의 기술적 의견과 착상이 중요하게 반영된다. 즉, 사용자의 전문 기술이 제품기술혁신을 결정하는 중요한 요인이 된다.

기계설비의 생산기술은 설계, 금속의 加工과 관련된 공정기술, 표면처리, 용접, 조립, 관리 그리고 이들과 연관된 소프트웨어 기술을 포함한다. 이들 생산 기술의 혁신은 기계설비를 효율적으로, 그리고 값싸게 제작하게 하는 것을 의미한다. 기계설비 산업에서는 자체에서 생산한 기계설비가 다시 자신의 생산설비로 사용되므로 製品技術의 혁신은 곧 생산기술의 혁신으로 이어진다. 제품기술의 혁신과 생산기술의 혁신은 서로 밀접하게 연관되면서 보완 관계를 갖는 것이다. 기계설비의 제작에 종사하는 기업은 이런 특성에 기인하여 기계설비의 제작자이기도 하면서, 다른 한편으로는 사용자이기도 하다. 따라서 기계설비를 제작하는 기업은 使用經驗에 의한 學習(learning by using)을 통하여 아이디어를 얻고 기계기술을 혁신한다.

使用者의 전문기술이 體化되는 기계설비의 특성은 기계기술이 기술적으로 매우 복잡하다는 것을 암시하기도 한다. 기계설비의 사용자는 최종소비재를 생산하는 음식료품 산업을 비롯하여 광업, 섬유산업, 화학산업, 제지산업, 전자산업, 소재산업, 건설업, 서비스산업 그리고 기계설비를 생산하는 기계산업 자신에 이르기까지 거의 全産業을 망라한다. 따라서 기계기술의 혁신에 투입되는 사용자의 전문 기술도 그만큼 다양하고 복잡하다. 이것은 기계기술이 E 산업기술과 독립적으로 존재하지 않고 상호 결합하여 의존적으로 존재한다는 것을 뜻한다. 또 기계기술이 다양한 前後方技術과의 복합기술이라는 것을 의미하기도 한다.

이 같은 기계기술의 複合的 특성은 기계설비의 기술혁신 과정에 잘 반영되고 있다. 기계설비의 기술혁신은 기계기술 시스템의 內部에서 비롯된 것도 있지만 재료기술, 전기기술, 전자기술 등 시스템 外部의 기술혁신에 의해서 이루어

진 것이 많다. 앞에서 설명된 기계기술 패러다임의 변화 중 첫 번째는(18세기 금속 가공기계들의 발명) 기계기술 主體에서 일어난 것이라 할 수 있으나 두 번째는(19세기 高速度鋼의 발명에 의한 加工速度의 혁신) 재료기술의 혁신에 의해서, 세 번째는(NC 기술의 적용에 의한 혁신) 전기기술과 전자기술의 혁신에 의해서 유발된 것이었다. 앞으로도 기계설비의 기술혁신은 이같이 외부 기술의 혁신에 의해서 끊임없이 촉진될 것이며, 또 기계설비의 기술혁신은 외부 기술의 혁신에 영향을 미치는 상호 작용을 계속할 것이다.

한편, 수명주기의 관점에서는 신기술이 기계설비에 누적적으로 체화되면서 제품의 수명주기가 여타의 제품과 마찬가지로 단축되는 경향이다. 수명주기의 단축 추세는 기계설비의 유형에 따라 큰 차이를 보이고 있으나, 내구 소비재의 특성을 갖는 수송장비, 건설 중장비, 서비스산업 기계 등에서 더 현저한 편이다. 이들은 소비자의 패션에 따라 소멸되고 또 생성되는 제품 수명주기의 패턴을 보인다. 그러나 각종 산업에서 사용되는 산업설비는 아직도 長期의 수명주기를 가지고 있어, 기업간에 中古機械設備가 거래되는 상황이다. 특히 개발도상국은 기계설비를 자체적으로 혁신할 수 있는 능력이 부족하므로 선진국의 기업들이 사용하던 중고 기계설비를 종종 구입하여 사용한다.

제품 수명주기의 단축 추세와 함께 나타나고 있는 또 하나의 기술혁신 추세는 發明에서부터 商業化에 소요되는 기간이 단축되고 있는 점이다. 1904년에 미국의 Buick가 발명한 승용차용 자동변속기 기술은 1948년에 실용화됨으로써 발명에서 실용화에 이르기까지 44년이 소요되었다(van Dujin, 1983). 그러나 1935년에 발명된 레이다는 1940년경에 실용화됨으로써 약 5년의 기간이 소요되었고 1930년에 발명된 제트 엔진은 1942년 비행기에 부착되어 사용됨으로써 발명에서 실용화까지 약 12년이 소요되었다. 승용차의 경우는 新車모델의 설계가 시작된 이후 약 2년이 지나면 市場에 나타나고 있어 발명과 혁신간의 기간이 기계산업에서도 크게 단축되었다.

이 같은 추세는 기계설비 기술혁신의 過程과 결정 요인에 큰 변화를 초래하였다. 과거에는 기계설비의 기술혁신이 주로 생산 현장에서 일하는 현장 기술자들의 經驗과 直感에 의하여 추진되는 것으로 이해되어 왔다(Pavitt, 1984) 그러나 최근에 와서는 현장 기술자의 경험만 가지고서는 기계기술을 혁신하기 어려운 것으로 인식된다. 그 이유는 최근 기계기술이 다양한 異種技術의 융합에 의하여 혁신되는 양상을 보이고 있기 때문이다. 기술 융합에 의하여 출현한 新技術은 과학적 지식을 바탕으로 생성된 것이기 때문에 과학적으로 이해하고 혁신하려는 노력이 필요하다. 기계기술의 혁신 과정에서 과학적 지식과 기술적 지식의 역할이 그만큼 중요해진 것이다.

## 2. 혁신주체 측면

기계설비의 기술혁신 과정에서 과학적 지식의 역할이 증가한다는 것은 몇 개의 기술 분야에만 특화하는 單一企業이 기계설비의 기술혁신을 추진한다는 것이 어렵다는 것을 의미한다. 기계설비를 생산하는 企業뿐만 아니라 이를 사용하는 수요기업, 대학과 전문기술연구소 등 과학적 지식과 기술적 지식을 생산하는 革新主體들의 역할이 커지는 것이다. 또 정부나 기업들의 연합체인 협회나 조합의 역할이 점차 확대되는 것이다. 이제는 기계산업의 기술혁신 체제에 연관되는 모든 주체들의 總合的 노력이 기술혁신의 중요하고도 필수적인 요인이라고 할 수 있다.

기계산업의 기술혁신에 참여하는 주체는 크게 종합 기계업체, 건설업체, 엔지니어링업체, 전문기계업체, 部品 및 소재업체, 수요업체, 협회 및 조합, 정부, 대학 그리고 공공 연구소 등이라 할 수 있다(<그림 1> 참조). 이들 중 종합 기계업체는 비교적 다양한 전문 기술분야를 포괄하는 技術資源을 보유하면서 발전설비, 철강설비, 석유화학설비, 등 수화설비 등 각종 산업설비를 설계하고 관련 기자재를 생산하거나, 부품·소재업체들로부터 부품을 공급받아 이를 조립하여 수요업체에 납품한다. 따라서 종합기계업체에서는 산업설비와 관련된 시스템 설계기술이 기술혁신 과정에서 중요한 비중을 차지하게 된다.

대부분의 산업설비가 플랜트의 성격을 띠기 때문에 산업 설비의 기술혁신 주체에는 건설업체와 엔지니어링업체가 포함된다. 건설업체는 산업설비를 생산 현장에 설치할 때 토목 공사나 건축 공사를 담당한다. 기계설비의 특성에 맞는 또는 인접 社會기반 시설과 연계되는 공장 위치의 선택, 地盤을 구축하는 문제 등 토목 공사와 관련된 기술혁신은 건설업체가 담당한다. 또한 산업 설비의 특성에 적합한 建物を 설계하고 건축하는데 관련되는 기술의 혁신도 건설업체가 담당한다. 따라서 건설업체는 기계설비의 기술혁신과 직접 혹은 간접적으로 연결됨으로써 기술혁신 主體의 한 부분을 형성한다.

엔지니어링업체는 플랜트의 기본설계, 산업설비에 조립되는 각종 機資材의 상세설계 그리고 산업설비의 작동, 유지 보수 등과 관련된 기술 서비스를 창출하고 제공하는 기술혁신 업무를 수행한다. 기계설비를 직접 제작하지는 않지만 製作을 위한 설계를 담당함으로써 사실 기계설비 기술혁신의 핵심 주체 중의 하나라고 할 수 있다. 많은 연구들이 기계설비의 기술혁신을 논의할 때 엔지니어링업체를 제외하는 경향이 있으나, 기계설비의 기술 특성을 고려한다면 오히려 論議의 핵심 대상이 되어야 할 것이다.

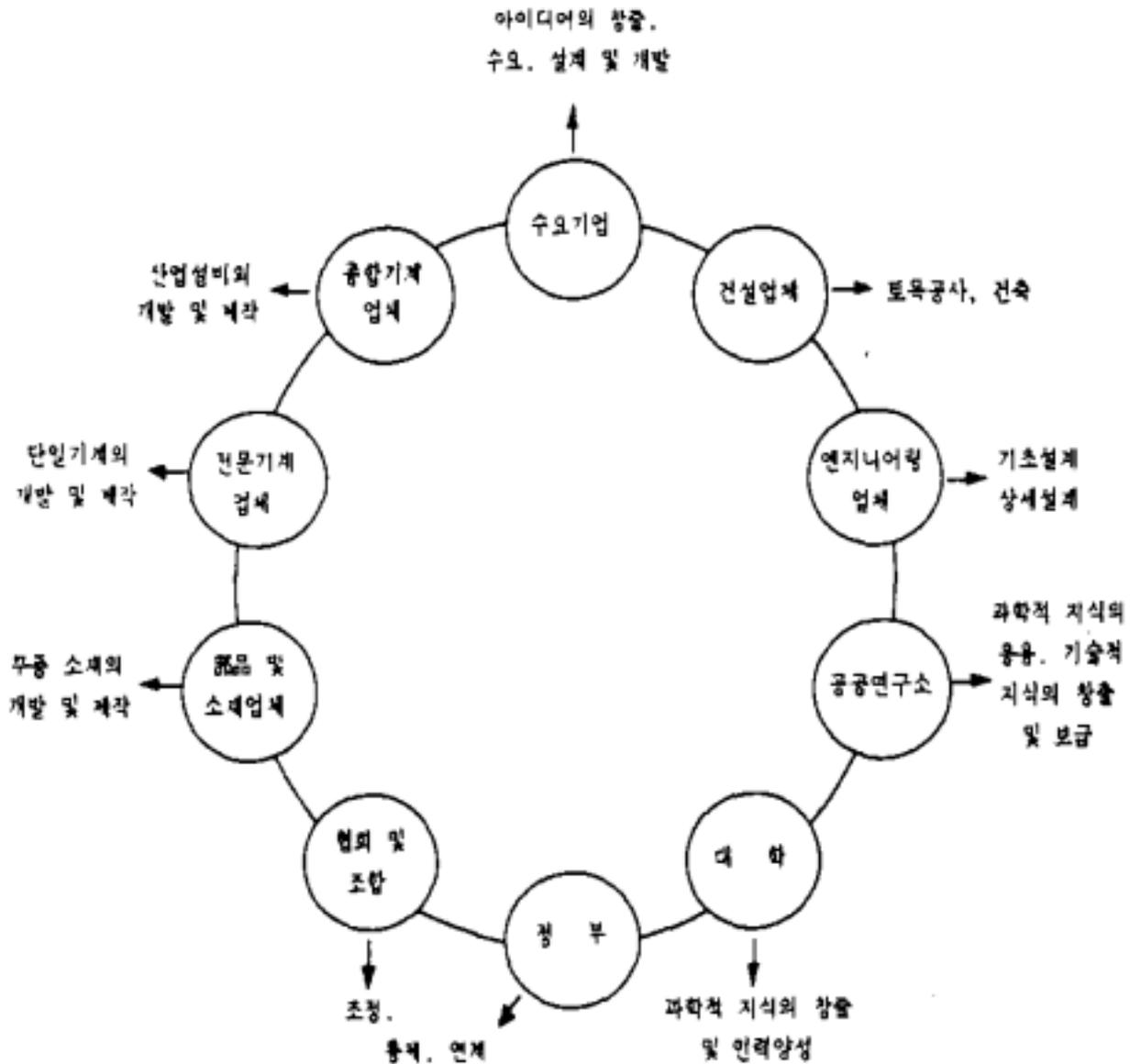
전문 기계업체는 산업설비가 아닌 단위 기계의 생산에 특화하는 업체들이다. 선반, 머시닝센터, 밀링머신, 보링머신 등과 같은 단위 공작 기계, 트랙터, 移秧機, 바인더, 콤바인 등 농업 기계, 굴삭기나 불도저와 같은 건설 중장비 등 단위 기계의 생산에만 특화하는 업체는 전문기계업체라 할 수 있다. 이들은 자동차 제조업체처럼 제품의 설계부터 시작하여 제작, 판매, 사후 정비 등 생산과 판매에 관련된 모든 過程을 망라하여 사업 활동에 참여한다. 이들의 기술혁신 과정이나 특성은 상호 유사한 측면을 가지고 있다. 전문기계업체는 전체 기계설비에서 단위기계가 차지하는 비중만큼이나 기술혁신 과정에서 중요한 위치를 차지한다고 볼 수 있다.

부품·소재업체는 기계설비에 투입된 요소부품과 전용 부품을 생산함으로써 기계설비 기술혁신의 중심부를 차지한다. 부품 및 소재를 제작하는 대부분의 업체는 中小企業이다. 따라서 이들은 小數의 세부 技術分野에 특화하여 비교 우위를 얻고, 이를 활용하여 기계부품을 제작한 후 관련 조립업체에 공급한다. 부품업체는 조립업체가 혁신한 기계 기술이 실용화될 수 있도록 보완적인 기술혁신을 담당하는 것이 일반적이다. 그러나 部品·素材業體가 부품 기술들 혁신하여 완성 기계 또는 산업설비의 기술혁신 방향을 유도하는 경우가 많다. 모터, 동력전달장치, 제어장치, 이송장치 등 기계부품의 기술혁신이 완성기계의 혁신을 유도했던 예로 지적할 수 있다.

한편, 기계설비를 사용하는 수요업체는 기계설비를 사용하는 과정에서 각종 기술적인 문제점과 개선할 여지를 발견하여 이를 제작용업체에게 알려줌으로써, 기술혁신의 기폭제적인 역할을 수행한다. 기계산업의 發展過程을 살펴보면 원래 기계설비 使用者가 제품을 생산하는 과정에서 아이디어를 얻고 이를 바탕으로 기계를 발명했음을 알 수 있다 (von Hippel, 1976). 기계사용자가 처음 발명한 기계는 차츰 유사한 생산활동을 하는 다른 사용자에게 알려져서 필요가 확대되었고, 나중에 가서는 처음 기계를 발명한 기업이 아예 그 기계를 專門으로 생산하여 판매함으로써 기계산업이 하나의 독립적인 산업으로 존재하게 된 것이다(Rosenberg, 1976).

수요업체가 기술혁신 과정에서 핵심적인 역할을 해 왔음에도 불구하고 과거 기술혁신 연구들은 흔히 이점을 간과하였다. 그 결과 기계

<그림 1> 기계설비 技術革新體制의 主要 구성주체



산업을 육성하기 위한 정부의 정책은, 전문 제작업체가 기술혁신의 전과정을 수행하는 것으로 가정하고 이들의 기술 혁신 활동을 지원하는데 초점이 모아졌다. 그러나 현재에도 기계설비의 사용 기업들은 自社의 특이한 기술 환경에 적합한 기계를 직접 발명하고 제작하여 사용하는 것으로 나타났다(von Hippel, 1976; Foxall, 1986; Lee, 1993). 따라서 기계 수요업체는 기술혁신의 수동적인 주체가 아니라 능동적으로 참여하는 核心主體로 인식되어야 할 것이다.

기계설비의 기술혁신 주체에 포함되어야 할 또 하나의 주체는 기계 제작업체들의 모임인 協會와 組合이다. 협회나 조합은 다수 업체들간의 다양한 의견을 조정하고 취합하여 업계 전체의 이익을 증진시키는 역할을 수행한다. 이들은 또 산발적으로 발생하는 각종 정보를 수집하여 업체에 보급함으로써, 기술혁신 체제의 효율을 증진시키는 역할도 담당한다. 기술혁신 과정에서 협회와 조합이 강조하는 또 하나의 이유는 기계산업에 종사하는 대부분의 기업이 中小企業이라는 점이다. 중소기업은 기술혁신 과정에서 중요한 역할을 수행하게 되나 여러 면에서 매우 취약하다. 따라서 취약한 중소기업들이 연합하여 정보를 수집하고 이를 활용한다면 그 취약점이 상당히 보완될 것이다. 협회와 조합은 바로 이 역할을 수행한다.

政府는 모든 기술혁신에 관련되는 主體들을 연계시키는 연계자로서 또는 조정자로서, 기술혁신을 지원하는 지원자로서, 그리고 기술혁신을 촉진시키거나 혹은 제약하는 통제자로서의 역할을 수행함으로써 기술혁신에 관여한다. 나라마다 정부의 역할은 상이하여 제각기 다른 형태의 기술혁신 패턴을 형성하나, 공통적으로 기술혁신 과정에서 중요한 위치를 차지한다. 많은 나라가 자국의 국제경쟁력을 배양하기 위하여 정부가 민간업체의 기술혁신을 직접 지원하는

추세를 보이고 있는데, 이것은 정부가 점차 기술혁신의 核心主體로서의 역할을 수행하고 있음을 암시한다.

大學은 기계설비에 관련된 과학적 지식을 창출하고 인력을 양성함으로써 기술혁신체제의 하부 구조를 형성한다. 과거에는 기계 설비와 관련된 기술혁신이 大學에서 다루는 과학적 지식과 별개로 진행되는 경향을 보였기 때문에 대학의 역할이 주로 인력 양성에 치우쳐 왔다. 그러나 최근 기술 융합에 의한 기술혁신이 기계설비의 기술혁신을 主導하면서부터 다양한 분야의 과학적 지식이 증가적으로 채용되고 있다. 따라서 기계설비의 기술혁신 과정에서 大學의 역할은 갈수록 중요해지고 있다. 대학은 많은 고급인력을 보유하고 있기 때문에 이를 얼마나 효율적으로 활용하느냐가 기계산업 기술혁신체제의 효율과 경쟁력을 좌우한다고도 볼 수 있다.

마지막으로 공공 연구소는 과학적 지식을 응용하여 기술적 지식으로 전환시키고 이를 기업이 제품 개발에 활용할 수 있도록 보급함으로써, 기계설비 기술혁신 주체의 한 부분을 차지한다. 공공연구소는 또한 각 기술혁신 주체들이 필요로 하는 각종 정보를 수집하고 적절하게 가공하여 이들에게 유통시키는 情報交換機的 기능도 수행한다. 이 같은 정보의 연계 기능은 기계설비의 기술혁신 체제 속에서 심장부분을 차지하는 것이다. 정보가 원활하고 신속하게 유통될 때 각 주체는 상호 유기적으로 연계될 수 있다. 그리하여 상호 의존적인 각 주체는 기계산업의 기술혁신이 최대한으로 일어날 수 있도록 제 기능을 발휘하게 된다.

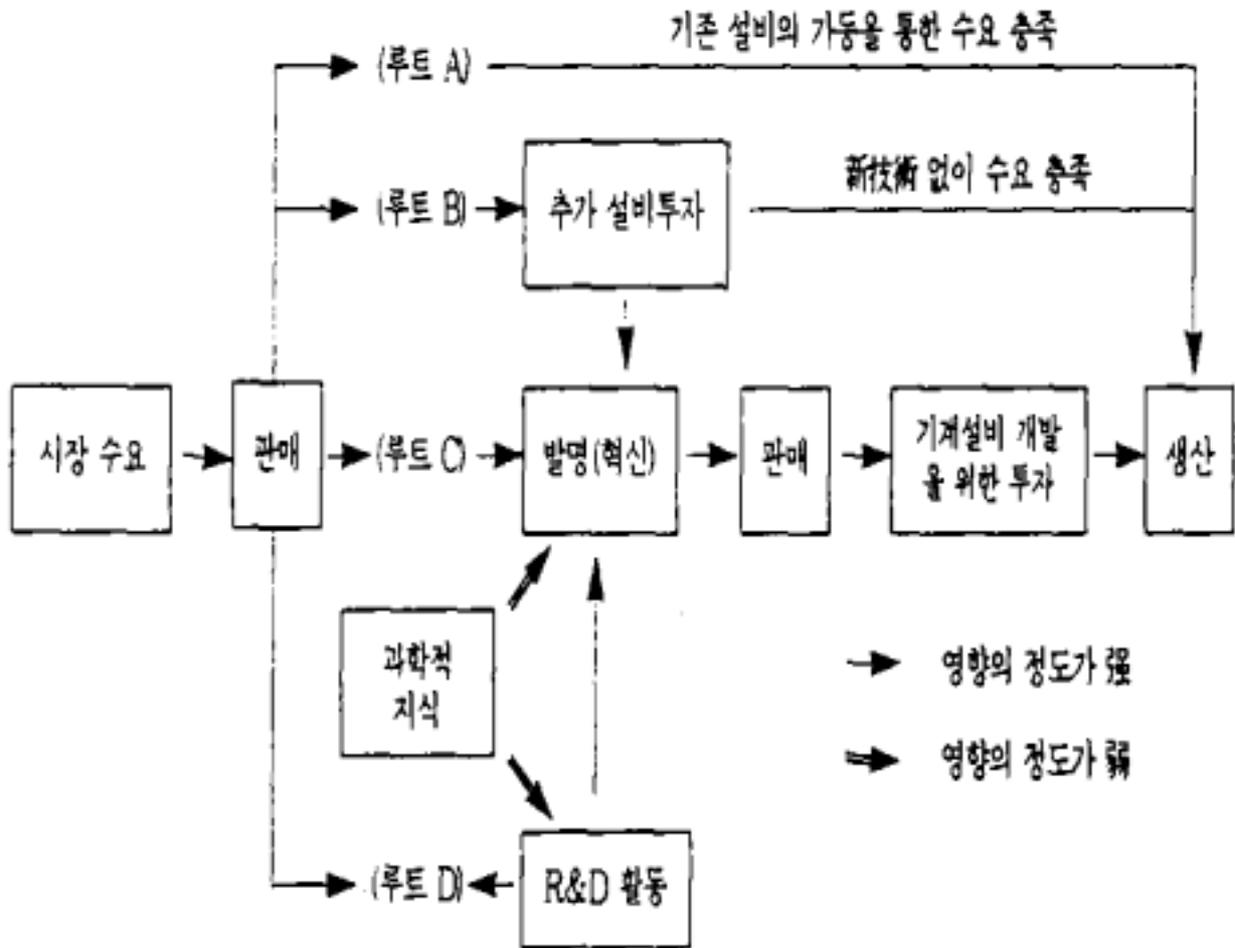
### 3. 혁신유발 측면

이상에서 기계설비의 기술혁신 특징과 패턴을 기술속성 측면과 혁신주체 측면에서 설명하였다. 앞에서 설명한 내용이 기계산업의 기술혁신을 이해하는데 중요한 의미를 갖지만 이 못지 않게 중요한 것이 需要側面에서 기술혁신을 유발하는 요인들이다. 수요 측면의 요인은 여러 가지가 있겠지만 크게 收益性 요인과 技術保護 요인을 지적할 수 있다. 여기서는 이들 두 요인들이 어떤 메카니즘을 거쳐 기술혁신을 유발하는가를 살펴본다.

기업이 기술혁신을 위해서 投資하는 근본적인 목적은 기업의 본래 존재 목적인 이윤 확보이다. 따라서 기계산업에 있어서도 기술혁신의 결과 얻을 수 있는 수익성의 高低가 기업의 기술혁신 활동에 큰 영향을 미친다. 수익성은 현재 존재하는 시장규모와 잠재적인 시장규모에 따라 달라질 것이다. 현재 시장규모가 어느 정도 존재한다면 기업은 비교적 분명하게 수익성을 예측할 수 있으므로 기술혁신 활동에 긍정적인 영향을 미칠 것이다. 한편 현재의 시장 규모 못지 않게 중요한 要因은 잠재적인 시장 규모이다. 잠재적인 시장 규모가 클 것으로 예상될 경우 기술혁신의 결과 탄생하는 제품의 성장률도 높을 것이므로, 기술혁신 활동이 보다 더 활발할 것으로 예상할 수 있다.

기계설비의 시장규모는 수요산업의 설비투자에 의해 결정된다. 수요산업에서 기계설비의 제작을 주문해야 설계를 초수하게 되고 설계과정에서 기계설비 기술이 혁신될 수 있는 아이디어가 생성된다. 수요산업의 설비투자와 기

<그림 2> Schmoockler가 주장하는 기계설비 기술혁신의 과정



자료: Rothwell, R. and Zegveld, W. (1984)

계설비의 기술혁신간의 관계는 Schmookler에 의해서 심층적으로 규명되었다. 그는 수요산업의 투자 활동이 활발할 때 기계설비의 기술혁신도 왕성하게 뒤따라 유발된다고 주장하였다. 또 수요 산업의 생산이 最大量에 도달할 때 기술적 문제들도 가장 많이 발생하게 되며, 이 문제들을 해결하기 위해서 기계설비의 需要者나 製作者가 공히 기술혁신에 왕성하게 참여한다는 것이다. 따라서 수요산업의 생산 활동, 투자 활동 그리고 기계설비의 기술혁신간에는 循環的인 상관 관계가 있음을 실증 분석을 통해 밝혔다.

이러한 Schmookler의 주장은 나중에 新發페터주의 學者들에 의해서 더욱 발전된 다음 수요견인이론(demand-pull theory)으로 이름 붙여져 오랫동안 주요 기술혁신 이론의 하나로 자리잡아 왔다. Schmookler가 주장했던 기술혁신의 發生메카니즘을 요약하여 정리하면 <그림 2>에 나타난 바와 같다. 이 그림에서 볼 수 있는 것처럼 기계설비의 혁신은 시장 수요가 존재함으로써 설비투자자와 R&D 활동이 유발되고 이들은 결국 기술혁신으로 이어진다.<sup>4)</sup> 그러나 기술주도이론(technology-push theory)에서 기술혁신의 핵심 요인으로 인식하는 科學的 知識은 수요견인이론에서는 외생적으로 여겨지며, 기술혁신 과정에서 弱한 보조적인 역할만을 하는 것으로 인식된다.

Schmookler가 주장하는 기술혁신의 수요견인이론은 산업 수준의 통계와 분석을 바탕으로 도출된 것이다. 수요 측면의 要因을 좀더 미시적인 측면에서 규명하기 위하여 설명을 사용자 기업과 생산자 기업의 관점에서 진행하여 보자. 기계설비의 기술혁신을 유발할 수 있는 아이디어는 설계 과정에서 使用者企業과 생산자 기업간의 빈번한 상호 작용에 의하여 생성되고 또 교류된다. 기계설비의 생산자 기업은 자신이 기계설비를 가동하면서 직접 기술혁신을 가져오

는 아이디어를 얻기도 하지만 더 많은 부분을 사용자 기업의 공장 가동 경험으로부터 얻는다. 사용자 기업이 기계설비의 기술혁신에 기여하는 활동들을 몇 가지 열거하여 보면 다음과 같다.

첫째, 사용자 기업은 생산자 기업이 공급한 기계설비를 가동하면서 機能不良을 발견하여 이를 생산자 기업에게 연락함으로써 생산자 기업이 기술혁신을 완성케 한다. 사용자 기업으로부터 연락을 받은 생산자 기업은 기계설비의 고장 개소를 찾아 고치고, 기술적인 문제점을 다음에 제작하는 기계설비에 반영하여 점차 완벽한 제품을 생산한다. 이때 기술 문제를 해결하기 위해서는 생산자 기업이 사용자 기업의 공장에 가서 장기간 동안 머물러야 할 필요가 있으므로 사용자 기업과 생산자 기업간의 信賴關係와 상호 작용은 기술혁신 과정에서 매우 중요한 요인이 된다.

둘째, 사용자 기업은 제품을 생산하는 과정에서 자신이 직접 끊임없이 발생하는 애로기술을 해결한다. 사용자 기업의 애로기술은 전문기계설비 생산자가 일부분을 해결할 수 있지만 대부분은 쉽게 해결하지 못한다. 그 이유는 使用者企業들이 겪는 애로 기술은 使用者 特殊의인(user-specific) 특성을 갖기 때문이다. 따라서 사용자 기업은 자체적으로 기술 문제를 해결하려는 노력을 불가피하게 기울이게 된다. 이 때문에 섬유, 화학, 식품산업에 종사하는 기업들은 기계기술자나 전기 및 전자 기술자를 아예 상사로 고용하고 기술 문제를 해결하고 있다. 사용자 기업은 기계설비기술에 관련된 문제들을 해결해 가는 과정에서 때때로 신제품을 발명하고 혁신한다. 이 신제품이 경제적인 시장규모를 맞이하게 될 때 사용자 기업은 기계산업으로의 企業的 參入을 시도한다(Lee, 1993).

마지막으로 사용자 기업은 기계설비에 관한 사용자 측면에서의 기술혁신의 방향과 비전을 제시한다(스기우라 케이시, 1992). 특히 사용자 기업이 제시한 미래 기술혁신의 비전은 기계설비 생산 기업에게 기술혁신의 방향을 의미한다. 사용자 기업은 자신의 생산 방법과 마케팅戰略이 경쟁 기업에게 노출되는 것을 염려하여 이 비전을 쉽게 제시하지 않을 것이다. 따라서 전문 생산자는 사용자 기업과의 긴밀한 협력 관계를 유지하고 이들이 갖는 생산설비의 기술혁신 비전을 얻어내는 것이 기술혁신을 다른 생산기업보다 한발 앞서 추진할 수 있는 매우 유익한 수단이 될 수 있을 것이다.

이상에서 언급한 요인들은 기계설비의 기술혁신이 유발될 수 있는 중요한 요소임에 틀림이 없지만, 이 외에도 혁신 유발요인은 많다. 기술자체가 갖는 외부성 때문에 새로이 혁신된 기술이 얼마나 보호될 수 있는가를 나타내는 專有性(appropriability)과 公共性(publicity)도 중요한 요인이다. 기술의 전유성은 발명이나 혁신으로 얻어진 신기술이 專有化되는 정도를 나타내고, 公共性은 반대로 신기술이 公共化되는 정도를 나타낸다. 專有性이 높다면 기술혁신의 유인이 클 것이고, 공공성이 높다면 기술혁신의 유인이 그만큼 줄어들 것이다.

현재 기계설비 기술혁신의 결과로 탄생한 신기술은 비교적 잘 보호되는 편이다. 신기술은 특허권, 실용신안권, 의정권 등 지적소유권으로 등록되어 제도적으로 보호될 수 있다. 혁신된 신기술의 일부는 知的所有權의 형태로 보호되지만 일부는 지적소유권으로 출원되지 않은 채 社内 기술비밀로 유지됨으로써 일반에게 공개되지 않는다. 특히 혁신의 대상이 생산 공정에 관련되는 경우는 기술혁신의 상당 부분이 비밀로 처리되어 공개가 되지 않는 경우가 많다. 그 이유는 공정혁신이 생산비용의 절감을 통한 生産性 增加에 일차적인 목표를 두고, 혁신의 결과를 상업화하는 데는 큰 관심을 두지 않기 때문이다.

#### IV. 기계기술 혁신의 전개방향

기계설비의 기술혁신이 앞으로 어떻게 展開될 것인가? 과거에 전개되어 왔던 기술혁신의 패턴이 앞으로도 지속될 것인가? 아니면 과거와는 전혀 다른 패턴의 機械革新이 전개될 것인가? 기술혁신의 패턴이 변화된다면 기계설비 기술과 이와 관련되는 기술구조에 어떤 변화가 일어날까? 이들 질문들은 최근 20世紀 후반에 일어났던 기계설비의 급속한 혁신들을 바라보면서 자연스럽게 떠오르게 된다. 다가오는 21世紀에 전개될 것으로 예상되는 몇 가지 기술혁신의 특징을 간단하게 정리하여 보면 다음과 같다.

첫째, 20세기 末에 있었던 技術融合에 의한 기술혁신이 더 넓은 幅과 깊이로 전개될 것으로 예상된다. 지금까지는 기술 융합이 전통적인 기계설비기술에 電子技術 및 광학기술이 결합되는 정도에 그쳤다고 할 수 있겠다. 앞으로는 이들 융합 기술이 더 발전하여 상당 기간 동안 전성기를 누림과 동시에 생명공학기술이 기계설비 기술에 결합되는 제2세대 융합기술이 출현할 것이다. 지금까지는 기계설비가 생산 수단으로 인식되고 활용되어 왔지만 앞으로는 인간

의 생활을 돕는 生活便宜手段으로서의 활용이 크게 확대될 것이다. 따라서 지능 로봇의 수요가 늘어나고 로봇의 핵심 기술인 센서 기술이 비약적으로 발전될 것이다. 센서 기술의 발전 과정에서 생명 공학 기술이 응용될 것이며 여기에 전자 기술이 결합되어 新融合技術이 출현할 것이다. 전자 기술과 생명 공학 기술의 융합은 이미 日本의 유명 기업인 日電(株)의 전문 연구팀이 연구를 시작한 것으로 알려지고 있다(이공래 외, 1989).

둘째, 기술 융합에 의한 기계설비의 기술혁신이 일반화되면서 기술혁신 과정에서 과학적 지식의 역할이 크게 증대될 것이다. 기계설비 기술혁신의 원천에 대한 종래의 인식에서는 현장 경험에 의한 노하우가 중요시된 반면 과학적 지식은 상대적으로 경시되었다. 과학적 지식이 중요해진다는 것은 구체적으로 기계설비의 기술혁신이 고도로 훈련된 과학자나 기술자들의 조직적인 연구개발 활동에 의해서 이루어진다는 것이다. 조직적인 연구개발도 종래에 해 왔던 學科別 연구(disciplinary research)가 아니라 學際的 연구(interdisciplinary research)로서 여러 전문 분야가 서로 협력하면서 연구를 수행하여야만 기술혁신이라 할 수 있는 新技術을 창출할 수 있을 것이다.

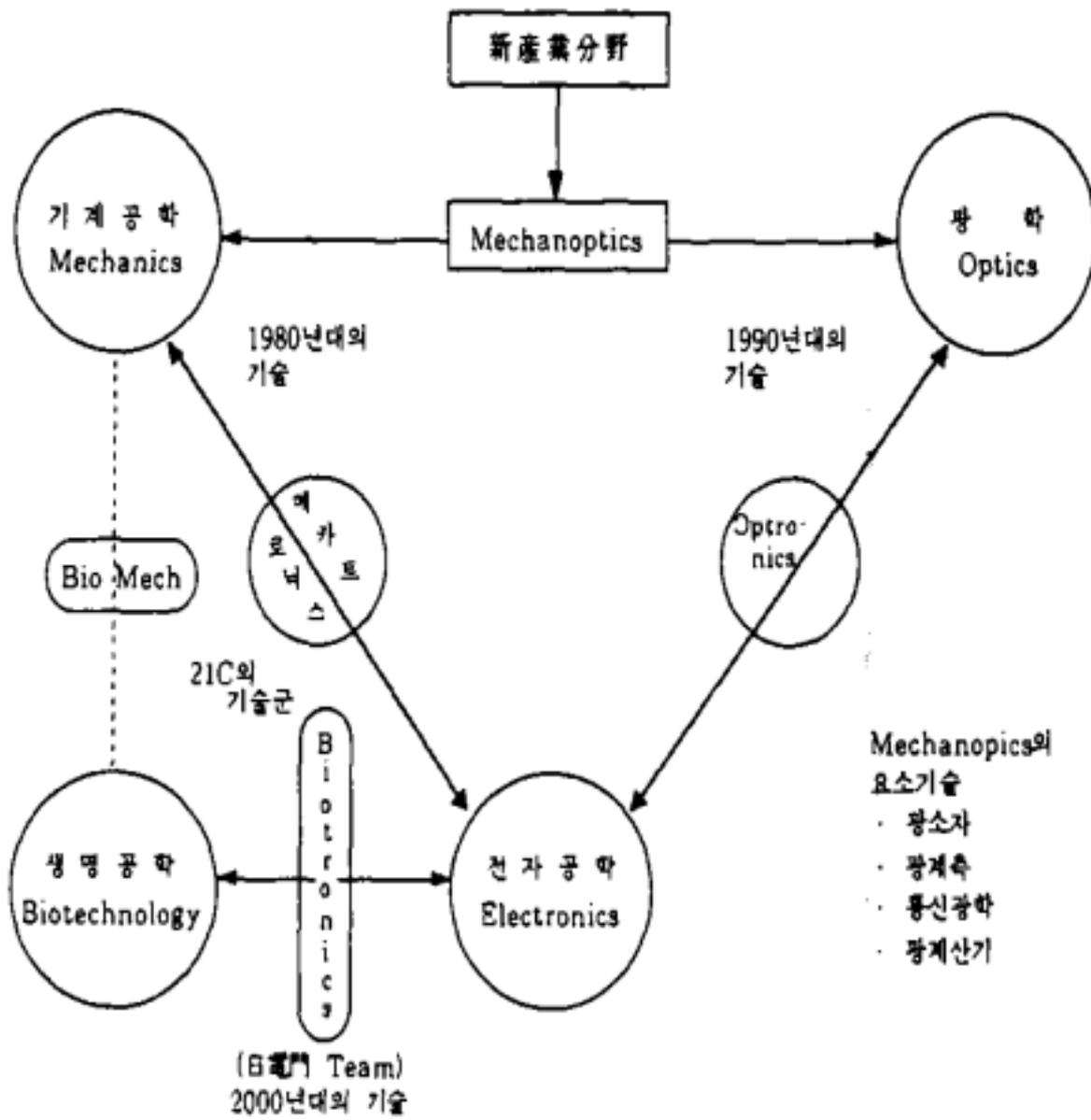
셋째, 레이저 기술에 의한 가공 정밀도의 혁신이 예상된다. 레이저는 1960년대에 최초로 개발에 성공한 이래 그 동안 주로 의료 및 측정기술에 응용되어 왔다. 최근에는 레이저를 금속부품의 가공에 응용하여 가공 정밀도를 크게 향상시키고 있다. 레이저 가공은 비접촉 가공이며 응용 분야가 넓고 품질의 향상, 재료비의 절감 등을 기할 수 있는 新技術의 하나이다(이상호, 김종안, 서태설, 1988). 앞으로 이 기술은 각종 가공 분야에 활발히 응용되어 기계설비 기술의 한 패러다임으로 정착할 것이다. 그리고 레이저기술은 기계설비 기술뿐만 아니라 타 산업 기술에도 큰 파급 효과를 유발할 것으로 예상된다.

넷째, 앞으로 신소재의 활용이 확대되어 기계설비의 전자화와 함께 複合化, 小型化 및 輕量化 추세가 가속될 것이다. 기계설비의 부품 생산에 투입되는 소재는 과거 주단조물이나 강판 등의 금속 소재로부터 새롭게 개발된 세라믹 고분자소재, 복합소재 등 신소재의 활용이 급속히 늘어나고 있다. 이들 신소재는 기계설비의 제작에 필요한 強度 防塵-吸音性, 彈性, 내열성, 내마모성 등 우수한 기계적 특성을 갖추면서도 가벼워서 기계설비의 소형화 및 경량화 추세에 적합하다. 앞으로 신소재의 사용이 늘어나면서 종래의 금속 가공 기술의 패턴도 크게 변모할 것으로 예상되고 있다(Tidd, 1991).

마지막으로 공장자동화 설비에 관련된 소프트웨어技術의 혁신이 가속될 것으로 예상된다. 일본에서는 로봇, CNC 기계, NC 기계, 머시닝센터 등 FMC(Flexible Manufacturing Cells)를 연결하여 시스템화하는 FMS(Flexible Manufacturing Systems) 단계를 넘어 이미 CIM(Computer Integrated Manufacturing)체제를 구축한 공장이 빠르게 증가하고 있다. 이에 따라 作業者가 자동화된 공장을 편안하게 가동시킬 수 있도록 관련 소프트웨어기술도 지속적으로 발전할 것으로 예상되며, 소프트웨어의 시장규모가 급속히 팽창할 것으로 전망된다.

이상에서 설명된 기계설비 기술혁신의 특징

<그림 3> 機械技術과 주변 기술간 技術融合의 展開方向



적 전개 양상은 기술혁신 과정에서 각 主體들의 역할과 위치에 적지 않은 영향을 미칠 것이다. 전통적인 기계설비 기술의 위치가 점차 약화됨에 따라 종합 기계업체나 전문 기계업체의 위치는 약화될 것이다. 그러나 이들은 변함없이 기계설비의 技術革新體制內에서 核心體로 존재할 것으로 예상된다. 소프트웨어기술의 중요성이 제고되기 때문어 이와 관련을 맺고 있는 엔지니어링업체들의 역할은 강화될 전망이다. 기술혁신에서 과학적 지식이 중요해짐에 따라 大學의 역할도 강화될 것이나, 융합적인 기술혁신의 특성을 고려할 때 대학이 學際的 연구를 서두르지 않으면 이에 대응하기 어려울 것이다. 기술 융합에 의한 技術革新 추세는 공공연구소의 역할을 과거보다 훨씬 더 강화시킬 것으로 예상된다.

기술혁신의 새로운 양상은 장기적으로 기술체계와 분류에도 크나큰 영향을 미칠 것이다. 즉, 소멸하는 기술과 새로이 생성하는 기술이 끊임없이 발생함에 따라 종래의 기술구조는 계속 변모할 것이다. 물론 기본적으로 국가의 총체적인 기술혁신 능력과 기술수준의 변화에 따라 기술 구조가 달라질 것이나, 위에서 살펴본 기술혁신의 새로운 양상에 비추어 기계산업의 기술구조는 다음과 같은 변화 추세를 나타낼 것으로 예상된다.

첫째, 기술융합에 의한 기술혁신이 가속될 것이므로 기존의 분류 체계에 속하지 않는 신기술이 계속 출현할 것이다 전자 기술과 기계기술의 융합기술인 메카트로닉스 기술(mechatronics)은 이미 독립적인 기계설비 기술의 하나로 확

고하게 자리잡았다. 조만간 광학기술과 기계기술이 융합하여 메카옵틱스 기술(mechanoptics)이 하나의 기술체계를 형성할 것으로 예상되며, 광학과 전자기술이 결합된 옵트로닉스 기술(optronics)도 새로이 자리잡을 전망이다. 21세기 초반 혹은 중반에는 기계기술에 생명공학기술이 접목된 바이오맥 기술(biomech)이 출현하여 인간의 생활 양태를 또 한번 변화시킬 것으로 예상된다(<그림 3> 참조).

둘째, 소프트웨어 기술의 비중이 계속 증가하여 기계기술 체계의 根幹을 이룰 것이다. 연구개발부터 시작하여 설계 제작, 시험, 검사, 관리, 마케팅에 이르기까지 거의 全過程에서 전산화와 情報化가 진전됨으로써 소프트웨어 개발이 기술개발 활동의 주종을 이룰 것으로 예상된다. 특히 정보화의 진전은 상상만 해 왔던 3차원 영상 매체를 이용한 원격설계가 실현되는 등 설계 기술의 구조를 크게 뒤바꿔 놓을 전망이다. 따라서 소프트웨어 기술은 향후 기계설비 기술에서 핵심적인 위치를 차지할 뿐만 아니라 종래의 기술분류 체계에 큰 변화를 일으킬 것으로 예상된다.

셋째, 정보화와 전산화의 진전이 설계 기술을 고도화시킴으로써 설계 기술의 패턴이 크게 변모할 것으로 예상된다. 컴퓨터를 이용하여 최적 설계를 수행하는 Solid modeling 기술, Surface modeling 기술, CAE 기술, Concurrent engineering 기술 등의 활용이 확대됨으로써 기술 자료의 계산과 해석이 고속으로 이루어지고 설계의 신뢰성이 크게 향상될 전망이다. 설계 기술의 고도화는 결국 엔지니어링서비스를 질적으로 향상시킬 뿐만 아니라 전반적인 기술혁신을 촉진시킴으로써 기술체계의 변화를 가속시킬 것이다.

마지막으로 자동화기술의 발전에 의한 기술구조의 변화이다. 로봇의 활용을 통한 생산자동화는 이제 지극히 일반적인 추세이다. 앞으로 로봇의 활용이 서비스 부문으로 급속히 확대될 전망이며 관련 기술도 고도로 발전할 것이다. 예를 들어 로봇의 활용이 원자로 보수작업, 심해작업, 우주작업, 의료서비스, 지하 작업등에까지 확대될 것이다. 로봇 이외에도 NC 선반, 머시닝센터 등 각종 공작기계를 유기적으로 연결시키고 이를 全生産過程에 활용하는 IMS(Intelligent Manufacturing System) 기술의 발전이 두드러질 것으로 예상된다. 따라서 로봇 기술과 함께 IMS와 관련된 시스템 기술이 기계산업의 중요한 기술분야로 자리잡을 전망이다.

#### 【참고 문헌】

1. 科學技術政策管理研究所 (STEPD), 「研究開發을 위한 韓國의 技術分類體系」, 1993.
2. 李佳鍾, 技術革新戰略, 나남新書, 1990.
3. 李相鎬·金鍾安, 「매카트로닉스 生産技術革新의 過程과 展開方向」, 産業研究院, 1986.
4. 李相鎬·宋基在·安鍾錫, 「一般機械工業의 실태와 輸入代替 촉진방안」, 産業研究院, 1986.
5. 李相鎬·金鍾安·徐泰雪, 「工作機械産業의 현황과 育成方向」, 産業研究院, 1988.
6. 李工來 外, 「機械産業의 기술도입과 技術發展」, 産業研究院, 1989.
7. 産業研究院, 「日本 21世紀 産業社會의 기본구상」, 1986.
8. 스키우라 케이시, 複維機械 開發을 위한 메이커-유저사이의 情報交換, 「産業動向」, 12月號, 1992.
9. Fransman, M. (ed.), 「Machinery and Economic Development」, London: Francis Pinter, 1986.
10. Foxall, C., 「Strategies of User-Initiated Product Innovation」, Bedford: Cranfield School of Management, 1986.
11. Lee Kong-Rae, 「The Role of User Firms in Industrial Innovation -The Case of Machine

- Tools in Japan and Korea», Ph.D. dissertation of Sussex University at Brighton, U.K., 1993.
12. Pavitt, K., "Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory", 「Research Policy」, vol. 13, no. 6, 1984. 4
  13. Rosenberg, N., 「Perspective on Technology」, Cambridge: Cambridge University Press, 1976.
  14. Rothwell, R. and Zegveld, W., 「Reindustrialization and Technology」, Harlow: Longman, 1984.
  15. Sciberras, E. and Payne, D., 「Machine Tool Industry」, London: Longman Group Ltd., 1985.
  16. Schmookler, J., 「Invention and Economic Growth」, Boston: Harvard University Press, 1966.
  17. Tidd, J., 「Flexible Manufacturing Technologies and International Competitiveness」, London: Pinter Publishers, 1991.
  18. van Duijn, J., "Fluctuations in innovations over time" in Freeman, C. 「Long Waves in the World Economy」, London: Butterworths, 1983.
  19. von Hippel, E., "The dominant role of users in the scientific instruments innovation process", 「Research Policy」, vol. 5, 1976.
  20. von Hippel, E., 「The Sources of Innovation」, New York: Oxford University Press, 1988.

주석 1) 산업혁신연구실, 책임연구원

주석 2) 高速度綱은 텅스텐, 바나듐 및 크로미움과의 합금이다. 테일러가 처음으로 발명하여 1900년 파리 전시회에서 선을 보였다(Rosenberg, 1976, pp. 113~4)

주석 3) Sciberras and Payne(1985)은 수치 제어 기술이 1948년 스위스의 지그제작업체인 파선스社(Parsons Corporation)에 의하여 최초로 응용되었으며, 4년 후인 1952년에 同社가 MIT의 서보기기연구소(Servo-Mechanisms Laboratory)에 NC 기술을 활용하여 수직축 밀링을 제작하는 기술 연구를 위탁함으로써 NC 기술이 최초로 실용화되었다고 주장하였다.

주석 4) 이 글에서는 Schmookler가 사용한 발명의 개념을 기술혁신과 동일시하여 사용한다.