

기계기술 발전과 대학



이택식 (한국기계연구소 이사)

- '48. 서울대학교 공과대학 기계공학과 졸업
- '69. 서울대학교 대학원 공학박사
- '65. 기술사(기계부문, 유체기계분야)
- '73-'75. 대한기계학회 회장
- '80-'83. 서울대학교 공과대학장
- '89.8. 서울대학교 정년퇴임

1. 머리말

지금 세계적으로 과학기술이 국력의 향상이나 인류적인 과제의 해결에 미치는 역할에 대한 평가가 높아지고 있다. 미국이나 유럽 여러나라에서는 국제경쟁력의 강화와 그 기반을 이루는 과학기술의 강화가 국가 정책의 큰 기둥으로 되어 있다. 개발도상국에 있어서도 근래에 와서 과학기술이 경제발전의 원동력이라는 인식아래 과학기술에 관한 국가계획을 수립하는 움직임이 뚜렷하다.

과학기술이 사회의 구성구석까지 침투하고, 아울러 사회전반이 과학기술에 대한 의존도가 높아지고 있다. 경제사회의 완벽한 발전을 실현하고, 보다 풍요한 21세기 사회를 만드는 데 있어서 과학기술이 수행하는 역할은 크다고 할 수 있다.

국내에서도 1960년대 정부의 의욕적인 경제개발계획의 실시로 산업발전을 위한 저변을 형성하였으며, 1970년대에 들어오면서 의욕적인 중화학공업화를 추진하여 철강·조선·석유화학과 함께 기계공업도 전략산업으로 지정되었다. 선진국의 기술과 자본을 도입하여 주요 산업설비의 국내 제작을 시도하였다. 이리하여 기계공업의 양적팽창에는 기여하였으나 질적인 구조고도화는 과제로 남게 되었다.

그러나, 우리나라 기계공업이 꾸준히 성장함으로써 국민총생산 및 총수출에서 차지하는 비중이 상승하여 왔다. 1986년도의 국민총생산에서 기계공업이 차지하는 비중은 5.7%로 1970년의 1.3%에 비해 크게 제고되었으며, 또 기계제품의 수출이

상품총수출에서 점유하는 비중은 1970년의 2.8%에서 1986년에는 14.0%로 증가하여 기계공업이 주요 수출산업으로 부상하였다. 한편 우리나라 기계산업의 국민총생산에 대한 비중은 일본의 기계산업과 비교하여 약간 낮은 수준에 있다, 그러나 1970년의 1.3%로부터 1986년에는 5.7%에 도달하였다.

우리나라 기계산업의 총수요 규모는 1986년 현재 13조5,790억원('80년 불변가격)으로, 1970년~1986년 기간중 년평균 16.3%의 성장율을 시현하였다. 이중 내수증가율이 14.8%로써 수출증가율 29.9%보다 훨씬 낮으나, 절대규모면에서는 수출보다 3배이상 커져서 우리나라 기계산업의 향후 성장은 수출못지 않게 내수의 증가 특히 수입대체에 크게 좌우될 것으로 보인다.

자본재를 주도하는 일반기계와 전기기계·정밀기계·조립금속기계등을 포함한 기계산업은 1987년부터 1990년 사이에 국내생산은 평균 21.8%가 증가될 것으로 전망되며, 수입은 평균 6.1% 증가될 것으로 보이며, 한편 1980년 기계공업의 내수가 4,047억원에서 1990년에는 28,306억원으로 년평균 17.1%의 성장율을 보일것으로 전망되고 있으며, 수출은 같은 기간 내수에 비하여 다소 높은 17.3%의 성장율을 보일 것으로 기대하고 있다.

우리나라 기계류 국산화 추진성과가 본격적으로 나타나는 1990년이후 수입의 급격한 대체와 기계류의 수출본격화로 기계류의 무역수치는 급격히 개선되어, 2000년대에는 160억불수준의 기계분야 무역흑자가 이루어질 것으로 전망된다.

우리나라 기계산업관련 사업체수는 1987년에 11,077개로 제조업 전체의 사업체수 57,100개의 19.4%에 달했으나 앞으로 기계관련 사업체수는 점차 증가되어 2000년대에는 총 제조업체수의 22.4%에 해당하는 28,763개 업체로 늘어날 것으로 전망하고 있다. 그리고 종업원수도 2000년에는 전체 제조업 종사원의 21.1%에 해당하는 150만명에 이를 것으로 예측하고 있다. 기계공업 제품이 총 수출 상품에서 차지하는 비중은 1987년에 6,152백만불로 전상품 수출액 47,281백만불의 13%에 해당하는 기계류를 해외로 수출하였으나, 2000년에는 전상품 수출액 311,522백만불의 16.2%에 해

당하는 50,591백만불 어치의 기계류를 수출할 것으로 예측된다. 이렇게 되면 2000년에 세계 기계류시장에서 차지하는 우리의 비중은 10%수준이 될 것이다.

2. 기계기술의 특징

기계산업은 국가의 기간산업으로 생산설비를 공급함으로써 타산업에 대한 파급효과가 크고, 고도기술 및 숙련노동이 필요한 기술집약적 산업이며 전문화·계열화가 강조되는 산업인 동시에 많은 설비투자과 장기간의 기술축적이 요구되는 산업이다. 따라서 정부도 자금 및 세제지원, 전문기술 인력의 지원, 시장보호 및 국산기계의 수요창출 지원등의 강력한 육성정책을 시행할 것이 요망된다.

그러나 주어진 주제가 기계기술에 관한 것이기 때문에 우선 기계기술의 특징을 먼저 살펴보기로 한다.

첫째로 기계기술은 산업연관성이 가장 두드러진 특징을 가지고 있다. 그리고 이 연관성은 다른 사업으로부터 받는 것보다 주는 입장에 있다. 이 이유는 기계가 생산재이기 때문에 그자체의 성능이 타산업 제품의 성능을 결정하기 때문이다.

둘째로 기계는 생산성의 결정요소라는 점이다. 생산성을 결정하는 요소에는 여러가지 있지만 노동생산성 만을 생각할 때 기계의 가공속도 고속화와 생산시스템의 자동화는 우리에게 필연적인 과제이며, 공장자동화(factory automation)의 기술은 국제경쟁력을 향상시키기 위한 중요한 전략이다. 이 기술은 전통적인 기계기술에 전자기술과 컴퓨터기술이 복합된 것이지만 역시 기계기술이 근본이라 할 수 있다. 생산자동화는 기계기술에서 가장 특징적인 기술혁신이라 할 수 있으며, 선진국에서는 현재 CAD/CAM과 FMS기법의 도입이 활발히 진전되고 있으며, 1990년대에는 CAD/CAM기술을 바탕으로 미래형 공장을 지향하는 CIM(Computer Integrated Manufacturing)기술개발과 현장에서의 실현이 이루어질 것으로 예측되고 있다.

셋째로 기술의 복합성과 시스템 지향성이다.

과거에는 단순가공에 의하여 단위기계 제품을 제작 하였으나 오늘날에는 기계제품의 성능과 기능을 고도화하기 위하여 컴퓨터·전기·화학등 주변기술과의 복합도가 보다 증대되고 있고 새로운 재료의 등장이 급속히 진전되고 있다. 또한 부가가치가 높은 항공기·선박·해양구조물·철도차량·가공설비등의 시스템 제품들은 보다 다양하고 보다 복잡한 구조를 가지는 것으로서 고도의 시스템 설계 및 엔지니어링을 요구하고 있다. 이러한 기술에 대하여는 대형프로젝트를 추진할 수 있는 관리조직이 필요하다.

넷째로 기계기술은 기술의 발전속도가 상대적으로 느리고 장기간이 소요된다는 점이다. 전자·정밀화학기술과 같이 연구개발이 공업화와 직결되는 것과는 달리, 기계기술은 요소기술·설계엔지니어링기술·생산기술·시험평가기술등이 한데 어울려 그 결과로 시작품이 개발되고 또다시 되풀이 되어 최종적으로 제품이 완성되는 특징이 있다.

끝으로 중요한 특징중의 하나는 기계산업 자체는 특정산업 또는 전략산업으로 지정하는 것이 가능하고 또는 정책적으로 때에 따라서는 필요하지만, 기계기술은 다르다는 점을 들 수 있다. 어떠한 기계나 시스템을 설계·제작하기 위하여는 설계데이터를 주는 요소기술이 기본적으로 필요하고, 제작에 필요한 생산요소기술이 반드시 필요한데 물론 각각의 기계나 시스템에 따라서 특수한 요소기술과 생산기술이 요구되지만 대부분 공통적인 기술이 많다.

따라서 기술개발을 통하여 그 수준을 향상시키려면 광범위한 모든 기술에 대하여 끊임없이 연구투자를 하여야 하며, 이러한 기술의 발전속도는 대학에 대한 연구비 및 연구시설투자와 비례하는 것이 일반적이다.

3. 기계기술의 수준

중화학 공업화 정책이 전략적으로 추진된 이래 우리나라 기계산업은 빠른 템포로 발전을 이루어 왔다. 이를 공업적 측면에서 볼 때, 우리나라의 기계산업 구조는 선진공업국에서 개발·생산하고

있는 제품을 모방·생산하고 있는 형태를 갖추고 있다. 공작기계·자동차·선박·철도차량·열유체기계·원자력설비·제철·제강설비·석유화학설비산업등이 이미 가동되고 있으며 수입대체가 수출에서 중요한 기여를 하고 있는 것이 사실이다. 그리고 고도기술의 복합체인 항공기산업 역시 산업의 한 형태로 발전해 가는 단계에 있다. 그러나 기계에 대한 수요는 거의 대부분 기술도입에 의존하여 왔고 아직도 우리는 선진공업국들이 1970년 이전에 개발 실용화한 기술의 모방이 주류를 이루고 있다. 기계의 요소부품만 보더라도 볼트·너트·스프링·베어링·기어·유공압기기등의 기술혁신이 선행되어야 하며, 현재 범용·저부가가치 부품을 제외한 핵심기능·고부가가치 부품 전량을 수입에 의존할 정도이다. 또한 요소부품의 품질수준과 가장 밀접한 관계에 있는 고급탄소강·합금강 및 기타 특수강등의 수준 저위도 문제이며, 특히 고정밀 베어링·기어류·유공압기기등 핵심기능부품의 설계 및 가공기술의 취약은 국산기계류의 잦은 고장을 초래하고 있어 큰 문제점으로 지적되고 있다.

다시말하면, 우리나라의 기계산업에 있어서 공장건설이라는 거시적인 공업화의 진전속도는 지난 십수년 동안 놀라운 발전을 이룩하였지만, 미시적인 기술자체의 발전은 거시적인 공업화의 진

표1) 우리나라의 기계관련 기술수준 비교

추 정	지 표	우리나라	선진국
생 산 성	상 대 비 교	1/3	1
수 출 품	불/톤	600	2,000
평 균 단 가			
에 너 지	백만 TOE	0.67	0.32
소 비 효 율	10억불		
산 업 설 비 자 급 율	상 대 비 교	40	100
설 계 기 술 수 준	상 대 비 교	30-40	100
자 동 화 기 기 보 급 율	상 대 비 교	1/20	1

자료) 한국기계연구소 '88. 11

전속도를 따르지 못하였다. 이는 기계기술의 속성을 단적으로 나타내는 것으로 볼 수 있다.

최근 우리나라의 기계관련 기술수준을 평가한 몇가지 지표를 보면 선진국과의 격차가 매우 큰 것으로 나타나고 있다.(표1 참조)

이를테면 노동생산성은 선진국의 약3분의 1수준이며 설계기술 수준은 상대적으로 선진국100에 대하여 30-40 밖에 되지 못하며 국산승용차 엔진의 국산부품 사용비율은 약40% 수준에 머물고 있다. 즉 기계의 설계·엔지니어링·생산기술·시험평가기술등 대부분이 선진국과 현격한 격차를 나타내고 있고 수입되고 있는 기계류·부품들은 상당부분 국내에서 개발·생산이 어려운 고기능·복합기술 제품들이 밝혀져 있다. 이러한 기술적인 요인에 의하여 수입되고 있는 기계류와 부품은 1987년도에 약 157억불에 이르고 있다.

4. 기계기술의 전망

세계경제의 급격한 변동에 따라 미국은 보호무역정책을 강화하고 있고, 유럽은 경제침략에 공동전선을 펴기위하여 유럽공동체 결성을 눈앞에 두고 있으며, 일본도 아세안제국에 대하여 기술공여를 통해서 우리나라를 포함한 신흥공업국들의 부상을 견제하고 있다. 한편 공산주의 경제권도

체제의 구조적 모순을 자각하고 개방·개혁을 가속화하고 있다. 뿐만아니라 지금까지 저임금 노동력을 찾아 한국·대만등지에 진출했던 미국·일본등의 다국적 기업이 철수할 조짐이 있고, 노사분규등의 사회혼란에 의한 생산의 차질을 가져와 국제경쟁력과 수출경쟁력이 약화되고 있다.

그리고 기계산업 구조도 많은 변화가 예상되고 있다. 2000년대에는 항공우주산업, 고속전철등 새로운 수송기계산업, 광용용기기, 정밀측정기기, 정밀가공기기, 의료기기등의 정밀기기산업, 해양자원이용을 위한 해양개발산업, 자동화와 관련된 하드웨어·소프트웨어산업등 기술집약적·두뇌집약적산업으로 중요한 위치를 차지할 것으로 보인다. 그런데 이러한 産業이 성공되려면 관련된 기술이 독자적으로 확보되어야 한다. 이와같은 기계산업은 오늘날과 같은 기술전쟁 시대에는 기술이전이 용이하지 않을 뿐만아니라 그 기술의 특징이 연구개발형이기 때문이다.

1986년말 과학기술처가 발표한 "2000년을 향한 과학기술발전 장기계획"에 따르면, 기계기술이 중심이 된 산업요소기술의 2000년대 목표는 전반적으로 선진국과 거의 대등한 수준에 이르는 것으로 설정해 놓고 있다. 즉 설계·엔지니어링 기술, 부품·재료기술, 기계 자동화 기술, 생산기반기술, 시험평가 기술등이 선진국과 경쟁하고, 창조적 개발능력을 보유하는 수준까지 이르는 것을 목표로 하여 중점추진과제를 도출하고 그 계획을 기초로 하여 현재 연구개발사업을 추진 중에 있다.

여기서 정부의 역할에 대하여 언급하고자 한다. 정부는 과학기술 지식을 산출하고 활용하는 주체로서는 중요하지 않다. 이러한 역할은 대학과 산업의 것이다. 그러나 정부 시책의 목적이 서있으면 기술개발과정에 관련하는 인적 및 물적자원, 인센티브 또는 장애에 대하여 중요한 영향을 미칠 수 있다는 것이 경험으로 알려져 있다. 그러나 모든 나라에 적용할 수 있는 일반적인 정책 처방전을 만들 수는 없다. 왜냐하면 나라에 따라서 인적·물적자원도 환경도 목적도 상이하고, 정부의 시책 구성부분이 각각 어떠한 효과를 미치는가가 잘 알려져 있지 않기 때문이다. 그럼에도 불구하고

표2) 우리나라 승용차의 국산부품 사용 비율

구 분	(단위:백만불,%)	
	수입액(1986)	국산부품 사용비율
엔진부품	132.6	35.3
구동·전달 및 조종장치부품	103.7	55.8
현가·제동 장치부품	30.5	78.5
차체부품	7.8	95.7
전장부품	38.8	85.2
기타용품 및 탑재공구	12.7	87.3
계	326.1	73.0

자료) 한국기계연구소 추정

일국의 기술혁신을 위한 시스템이 성공하려면 그것은 공업분야에서의 연구개발능력을 동반한 강력한 기초연구를 포함하여 세계시장에의 지향에 대비하고, 유연한 구조와 방법을 가지는 것으로서 더욱 더 다양한 기술의 창조·교류·적용이 가능하게 되어 있어야 한다.

점점 개방화되고 상호의존적으로 되어가는 국가간에서는 고도의 기술분야에서 각국이 특정한 기술분야에 특화하는 것이 필요하다. 한편 정부는 과학기술의 진보 속도와 방향 그리고 인적·물적자원의 활용에 강한 영향을 미치는 대규모의 과학기술계획에 자금원조를 하는 경우가 많다. 이들의 계획은 특정분야의 기술혁신에 중요한 효과를 미쳐왔으나 나라에 따라서는 이와같은 대규모계획이 없었더라도 기술혁신이 효과적으로 이루어져 실적을 올린 경우도 있다.

끝으로 정부는 기술개발에 대한 환경의 정비가 중요한데, 기술혁신에 적합한 환경으로 정비하기 위한 일반적인 정책을 검토하려면 기술혁신과정 3개의 기본적인 성격을 염두에 두어야 한다. 첫째 기술혁신 활동이 가져오는 것이 불확실한 것이므로 위험을 무릅쓴 것은 그런대로 보상되어야 하고, 그리고 개인이나 기관도 새롭고 예견할 수 없는 상황에 적용하는 능력을 가지고 있어야 한다. 둘째는 기술혁신이 결코 폐적하다고 말할 수 없는 변화를 가져오는 일이 많으므로 변화를 구하는 압력이 존재하여야 하고, 변화의 사회적 코스트는 될 수 있는한 적어야 한다. 셋째는 기술적 지식의 이동은 사람에 의하여 행해지므로 기술혁신 과정의 여러가지 단계에 있어서, 그것에 종사하는 조직의 내부에서 또는 조직상호간에 사람과 사람과의 접촉과 모빌리티가 촉진되어야 한다는 것이다. 이와같은 필요성으로부터 정부 시책 목적으로는 다음과 같은 것들이 있을 수 있다.

- 기술적혁신을 가져오는 압력으로서 산업분야에 있어서 경쟁을 확보할 수 있도록 하는것.
- 세계와 특허제도에 의하여 기술혁신에 대한 적절한 보상제도를 확보할 것.
- 기술혁신의 성공에 필요한 유연성과 다양성 뿐만아니라 사회적 코스트와 이익을 고려해서 법령·규칙·기준을 설정할 것.

- 기술적인 변화에 의하여 초래되는 산업이나 기능의 변화에 적응하는 적극적인 지역정책 및 노동정책을 준비할 것.
- 산업의 기술수준을 상승시키도록 정부조달을 활용하고, 기술을 보다 효율적으로 전체의 사회수요에 결부시킬 수 있도록할 것.
- 과학자·기술자의 모빌리티를 촉진할 것. 특히 정부연구기관 부터 또는 정부연구기관으로의 모빌리티를 높일 수 있는것.
- 벤처비지네스의 기업가정신을 고양하기 위한 정책수단을 정비할 것.
- 무역 및 자본의 자유화를 계속 추진함으로써 세계적인 기술혁신에 대한 압력과 인센티브를 높여 신기술 이익의 급속한 국제적 확대를 실현시킬 것.

5. 대학의 과학연구와 공업기술

5.1. 대학의 과학연구와 공업기술

과학과 기술과의 관계는 과거 200년사이에 무관한 사이에서 때로는 결부되는 관계로 되고, 지금은 상호의존적인 관계로 발전하고 있다. 이와같은 움직임은 경제와 군비의 경쟁으로부터 초래된 것이고, 1860년대에 독일 화학공업의 출현과 잇따른 다른 과학의존 산업의 출현, 그리고 제2차 세계대전에 의하여 야기된 과학·기술분야의 발전을 보기로 설명할 수 있다. 이것은 과학지식이 점점 이용하기 쉽고 적용하기 쉽게 되었다는 것으로 설명될 수 있다. 과학·기술지식을 이용가능한 것으로 혹은 적용가능한 것으로 하는 힘은 지금도 작용하고 있으며, 과학과 기술의 사이를 더욱 깊게 결부시키는 경향은 예견가능한 장래에는 소멸할 것 같지 않다. 과학·기술은 점점 수많은 분야에 도입되고 있으나 결코 모든 분야에 도입되어 있다고는 할 수 없다. 실제로 만족할만한 정도로 충분히 모든 나라에 도입되어 있다고는 더 더욱 할 수 없다. 그러므로 과학을 현실적인 일, 그리고 시스템적으로 적용한다는 것은 아직도 상당한 여지가 남겨져 있다고 할 수 있다.

한나라의 과학력에 대하여 공히 받아들여지는

표3) 노벨상의 각국별 수상자수

구	분	1901-1945년	1946-1988년	그중 최근10년간	합 계
미	국	19	128	35	147
영	국	25	40	6	65
독	일	36	21	9	57
프	랑	16	7	2	23
스	웨	6	9	4	15
소	련	2	8	-	10
화	란	8	2	1	10
스	위	4	7	2	11
오	스 트 리	7	1	-	8
덴	마	5	3	1	8
이	탈 리	3	4	2	7
벨	기	2	3	-	5
일	본	-	5	2	5
기	타	8	14	2	22
계		141	252	66	393

주) 여기서 노벨상은 자연과학분야의 물리학·화학·의학·생리학의 각상 만이다.

지표를 발견한다는 것은 어렵다. 더욱 단독의 지표로서는 완전하지 않다. 많은 경우 과학력의 지표는 과학논문의 수와 과학분야에서 얻은 노벨상의 수이다.

1901년부터 1945년사이에 독일이 36인의 노벨상을 받는데 대하여 영국은 25인, 프랑스는 16인, 그리고 미국이 19인밖에 얻지못한 것은 주목할만하다. 이 숫자는 이 시대에 독일이 군사 및 민간의 기술이 지도적인 힘을 가지고 있었다는 것을 나타내는 지표이다. 그러나 제2차 세계대전후, 과학분야 노벨상의 분포가 근본적으로 변화하였다. 1946년부터 1988년사이에 미국은 128인으로 수위에 올라서고, 영국은 40인으로 이에 따르고, 독일은 불과 21인이 되었다. 이것은 기초연구의 중심이 유럽대륙으로부터 미국으로 옮겨졌다는 것을 의미한다. 또 이시기에 미국은 지도적인 입장의 기술대국으로 발전하였다. 그렇다하더라도 일국의 과학 능력과 기술의 능력사이에 직접적인 인과관계가 있다고 말할 수는 없다. 아마 과학 능력과 기술의 능력은 다같이 다른 사회적·경제적인 또는 정치적인 요인에 의존하고 있는 것 같다.

5.2. 대학으로부터 산업에의 지식이전

과학이 어떻게 기술과 결부되어 있는가를 검토하기 이전에 과학과 기술을 산출하고 활용하는 대학과 산업에 초점을 두어야 한다. 과학과 기술의 결부는 대학과 산업의 결부를 의미한다. 그러나 산업과 대학의 본래 목적은 상이한 것이고 때로는 서로 대립하기까지도 한다. 최근까지 유럽의 여러나라들은 모두 정도의 차이는 있으나 명확하게 대학의 주된 그리고 아마 가장 숭고한 임무는 연구를 진행시켜 대학자신을 위하여 교육을 행하는 곳이라 생각하여 왔다. 대부분의 나라에서도 대학과 산업의 목적이 다르므로 과학과 기술사이에 중대해가는 상호침투를 여하히 조화시키는가가 문제였다. 산업과 대학의 밀접한 결부를 촉진시키려는 경제적·정치적 압력은 동시에 이에 대항하는 힘을 야기시킨다. 과학과 기술을 접근시키는 속도는 이 두 힘의 상대적인 강도와 이들을 조화시키는 정도에 의존한다. 대학의 과학이 산업의 기술과 깊이 결부되어 있는가에 관한 연구 중 하나는 Project Hindsight이고 또 하나는 TRA-

표4) 연구개발 성과의 기관별원천

Project Hindsight에 의한 연구개발 성과의 분포	
국방총성의 연구기관	39%
그밖의 연방정부 연구기관	2
산업	49
대학	9
외국	1
합계	100

자료) Sherwin and Isensen, First Interim Report on Project Hindsight (Summary) Office of Director of Defence Research and Engineering, Washington, 1966

TRACES에 의한 연구개발의 형태별 분포

	비 목적 지향형의 연구성과	목적 지향형의 연구성과	개발 및 응용 성과
연구기관 및 정부	10%	15%	10%
산업	14	54	83
대학	76	31	7
합계	100	100	100

자료) Illinois Institute of Technology Research Institute: Technology in Retrospect and Critical Events in Science (TRACES), report prepared for NSF, NSF · C535, 1969

CES이다(표4). 전자는 미국의 국방총성이 행한 미군의 기술혁신에 관한 모든 연구성과를 나타낸 것인데 그 중 국방총성과 산업분야의 연구기관의 연구성과를 중요시하고 있다.

후자는 민간의 기술혁신이고, 미국 국립과학재단으로부터 자금이 공급되어 대학에 있는 과학자가 연구에 종사하고 있는데 대한 한 연구이고, 기술혁신에 기초연구가 필요하다는 것을 강조하고 있다. 대부분 기술혁신에서는 대학의 과학이 공헌하는 정도는 정량적으로 TRACES에 표시된 상한과 Project Hindsight에 표시된 하한과의 사이에 있다고 생각된다. Project Hindsight는 1945년이후에 개발된 무기시스템에 대하여 조사한 것이고, 이것에 의하면 자발적인 연구(대략적으로 「기초과학」으로 보인다)은 20개의 무기시스템 개발에는 아무런 주목할 가치가 있는 역할을 하지 못하였다고 할 수 있다. 자발적인 연구는 모든 연구개발

성과의 단지 0.3%에 공헌한데 지나지 않는데 응용연구는 7.7% 그리고 기술은 92% 공헌하고 있다. 어떠한 조직이 관여했는가를 보면, 모든 연구성과의 9%는 대학으로부터 49%는 산업으로부터 그리고 39%는 정부연구기관으로부터 초래한 것이다. 그러나 대학의 공헌이 보기에 적은 것은 주로 Project Hindsight의 조사자가 고려의 대상으로 한 기간이 대단히 짧는데 기인한다. 그러나 TRACES가 이 결론에 도전하고 있다. Project Hindsight는 시간적으로도 대상에 대하여도 한정되어 있었으나 TRACES는 이 2가지 제약을 탈피하였다. TRACES는 정부의 자금원조도 없이 경제적·사회적으로 중요한 5건의 중요한 비군사적 기술혁신에 대하여 조사한 것이다. 즉 자기페라이트, 비데오테이프레코드, 경구피임약, 전자현미경, 매트릭스아이스레이션이다. TRACES가 취급한 과학적인 사상은 19세기 중엽까지 소급하고 있다. 어떠한 경우는 고려된 시기의 길이가 Hindsight Project의 10배도 된다. 따라서 TRACES의 결론은 Hindsight Project와는 상이하다. 즉 5개의 기술혁신을 초래한 합계 341건의 중요한 연구개발 성과중 70%는 비목적지향형 연구이고 20%가 목적지향형 연구이며 그리고 10%가 개발과 응용이었다. 그리고 비목적지향형 연구의 성과중 76%는 대학으로부터 탄생하고 있다. 즉 예견할 수 있는 목표를 향하여 행해진 목적지향형의 연구보다 비목적지향형의 연구는 그 수에 있어서나 기술혁신에 있어서 중요한 주로 대학에서 생산되는 거대한 일반적 지식의 2개 원천으로부터 오는 것이다. 이 5개의 기술혁신은 대학이 창출하는 일반적인 지식의 집적이 없으면 가능하지 않았을 것이다. 이러한 실패로부터 볼때 과학은 명백히 산업의 기술혁신에 공헌하고 있으며 또 어느 경우에 과학은 기술혁신 과정의 중요한 일부를 이루는 것이다.

기초과학과 기술혁신과의 관계는 연구개발 성과가 대학으로부터 산업으로의 단순한 이전 관계에 그치는 것이 아니다. 미국의 권위자들은 응용연구의 발전이 현저한 부분은 기초연구분야에서 훈련된 인사에 의하여 행해진데 대하여 주목하고 있다. 과학과 기술의 결부 정도는 학문의 분야마다 또는 산업의 분야마다 다를 것이다. 영국의 대학과

산업과의 관계에 관한 보고에서는 우수한 과학자·기술자를 높은 비율로 상층경영자의 지위에 앉힌 고도기술산업은 대학과도 깊은 접촉을 가지고 대학부터의 consultant도 잘 활용하고 있다고 언급하고 있다. 과학지식은 여러가지 경로로 산업에 이전된다. 그 주된 것은 개인적인 접촉과 교육이고 간행물을 통해서이다. TRACES는 이 이전과정의 길이를 어느정도 알 수 있는 통계를 제공하고 있다. 조사대상인 전부 5개의 기술혁신은 가장 초기의 비목적지향형 연구 성과가 얻어진 단계부터 그 성과의 기술적인 적용까지에는 약 30년의 기간이라고 하였다. 그러나 이것은 이해와 연계의 결부가 있는 경우에는 훨씬 단축될 수 있을 것이다.

대부분 사람에 의한 지식전달은 대학졸업생이 기업에 취직한다든지 대학교수가 consultant업무를 한다든지 또는 산업인이 대학의 교육을 받는다든지하는 형태로 행해진다. 대학에 있는 과학자에 의한 산업에의 consulting의 중요성은 다음과 같은 실태로 알 수 있다. 독일에서는 대학에 있는 과학자나 기술자의 주요한 사람으로서 산업계와 아무 관계도 없는 사람은 거의 없으며, 미국에서는 대학교수에 의한 외부에의 컨설팅은 공공적인 서어비스로 생각되어 때로는 대학의 기능으로 생각된다. 모든 대학이 외부 consulting을 허가하고 있으며 일부의 대학은 외부 consulting을 위하여 대학시설에 대한 사용을 허가하고, consulting을 위한 휴가도 용인하고 대학원 학생의 사용도 인정하고 있다.

최근에 외국에서 받아들여지고 있는 대학으로부터 산업에의 지식이전의 또한가지 방법은 「과학적기업가」로 지칭해지는 것으로서 즉 대학의 과학자가 그 지식을 상업적으로 활용하게끔 벤처비즈니스를 창립하는 방법이 있다.

5.3. 대학에 있어서 연구·교육에 대한 산업에의 영향

국제적인 또는 국내적인 경쟁의 틀안에서, 대학에 있어서 지식의 생산·구조·유출에 영향을 미치기 쉬운것은 산업기술의 요청이다. 연구를

조직하고 자금을 공급하는 사람들로서의 「동기」라는 것은 어떠한 응용을 생각하지 않고 연구에 종사하고 있는 과학자가 가지는 「동기」와는 대단히 다를 수 있다. 그러나 대학은 한나라의 「기관」으로서 과학자를 교육하는데 이 과학자는 어느곳에든 고용되어야 한다. 이 단순한 사실은 산업에 의해 영향을 받는 피동적인 입장에 두는 것이나, 산업이 과학기술 관계 졸업생의 중요한 고용주이므로 오늘날에는 산업의 인재에 대한 요청에 대하여 대학은 책임을 가져야 한다는 인식이 널리 승인되고 있다. 산업의 요청은 대학의 교육에 영향을 미칠뿐만아니라 연구에도 영향을 미친다. 한때 독일이 노벨상 수상에서 앞섰다는 것은 독일의 과학이 산업분야 기술의 수요에 비하여 상대적으로 우수하였다는 것에 기인한다고 생각된다. 산업이 대학의 산업기술에 유용하게 영향을 미치는데는 직접·간접적인 방법들이 있다. 기초과학을 산업에 유용하게 하는데에 일견하여 한나라의 산업시스템과 대학의 시스템을 완전히 합일시키는 것이 가장 효과적인 방법으로 보이나, 이것은 기술적으로 지도적인 입장에 있는 기업이 한 대학을 완전히 지배하는 전략인데 이것은 부적절하다. 기업논리가 대학의 정책에 영향을 미치는데 있어서 어느정도까지 지배한다는 것이고 완전지배라는 것은 있을 수 없다. 오히려 산업이 자금의 일부를 공급하는 형식, 따라서 산업이 부분적으로 대학에 영향을 미치는 형식을 찾는 것이 유망하다. 이에 더하여 산업이 대학의 연구계획에 영향을 미치는 더 교묘하고 간접적인 방법이 있다. 산업에 대한 consulting을 함으로써 대학인은 그 연구과제의 선택에 영향을 받게 된다. 또한 대학의 관리에 중요한 역할을 하는 곳에 산업인 또는 적어도 산업의 수요에 민감한 인사가 취임하는 일이다. 대학의 시스템에 영향을 미치는 직접적인 방법외에 직접적은 아니나 효과가 적지않은 방법이 있다. 정부는 그나라의 모든 대학 시스템에 대한 최대의 자금의 원천이므로 산업에 관심을 고려하여 정부가 조정하는 것이 대학의 시스템에 대하여 산업이 행사하기를 원하는 가장 중요한 간접적인 영향이 된다.

6. 대학과 산업사이의 효율적인 협력

이제까지 대학과 산업사이의 관계 중요한 2가지 특징에 대하여 검토하지 않았다. 첫째는 과학의 발전과 응용의 불확실성이다. 따라서 유연하고 복선적이고 계속적인 대학과 산업과의 연계를 가능하게 하는 틀이 필요하다는 것이고, 둘째는 대학과 산업사이의 정보 흐름이 사람을 통해서 이루어진다는 특징이다. 따라서 과학 능력의 강도와 기술 능력의 강도사이에는 강한 유대감의 결부가 있다.

6.1. 산업에서의 기초연구

미국에서 행해진 기술혁신에 관한 많은 케이스스타디를 평가한 논문이 다음과 같이 결론하고 있다.

- 기술혁신은 정보에 의존하는 것이나 어떠한 정보가 필요한가는 명확하게 예측할 수 없다. 따라서 미리 계획할 수 없는 것이 전형적이다. 키이가 되는 정보는 무관한 연구를 통해서 주어지는 것이다. 기술혁신의 과정은 조직·지역 또는 학문분야상의 경계를 초월해서 자유롭고 유연한 정보의 교류에 의하여 크게 전진되는 것이다.
- 기초연구가 기술혁신 과정에서 수행하는 기능이 많은 경우, 과학측과 기술측의 의의있는 대화로써 이를 수 있다. 기술혁신 과정에 있어서 기업가는 보통 기술측에 속하고 있는데

대하여 필요한 과학지식의 소유자는 흔히 과학측에 속하고 있다.

대학과 산업은 이 불확실성과 의의있는 대화의 필요에 어떻게 적응하는가가 문제이다. 효율적인 상호대면이라는 것은, 한편에 산업측에 「기초연구」가 있어서 기업에 의한 기술의 응용뿐만아니라 널리 대학이나 학술수준 향상의 전망을 가지고 있고, 다른 한편 대학측에 「응용연구」가 있어서 학술수준의 향상을 달성할 뿐만아니라 그 응용에도 전망이 있다라는 주장은 타당하다. 그러나 대학에 있어서의 응용연구에 지나치게 무게를 두는 것은 잘못이다. 이는 미국과 같은 선진국에서 증명이 되고 있다.

6.2. 사람과 사람과의 접촉

대학과 산업사이의 상호대면이 있다는 것은 그 자체 과학능력과 기술능력사이의 강한 지역적 결부가 있다는 것을 설명하는 것은 아니다. 기초연구 성과의 대부분은 그것이 어디에서 발견되었던 그것을 사용할 수 있는 사람은 이용 가능한 것이다. Hindsight Project는 비공식의 사람과 사람과의 연계가 대단히 중요하다는 것을 명백히 하였다. 표5는 사람의 접촉이 Hindsight Project에서 검토된 모든 연구개발 활동에서 중요하나 과학의 단계보다도 기술의 단계에서 더욱 중요도가 높다는 것을 나타내고 있다. 이는 무기개발에 필요한 비밀유지라는 점이 있으나, 민간의 기술개혁에 대한 다른 연구도 마찬가지로 개인적 접촉의 중

표5) 20개의 무기시스템을 초래한 연구개발 성과에 있어서의 지식이전 형식

(백분율)

구분		지식이전의 형식			합 계
		개인적접촉	간행물 또는 보고서	세미나 또는 심포지엄	
과 학		45	53	2	100
기 술	신소재 개념·기능	64	33	3	100
	디자인 기능	79	21	0	100
	제조기술	77	23	0	100

자료) Isensen, Some notes on Creative Scientists and Engineers and the Growth of Technology, NATO Defence Research Group, 1967

표6) 미국에 있어서 민수 기술개혁에 관한 3연구에 기준한 과학자·기술자사이의 지식이전 방법

지식이전의 방법	실 수		
	연구 I	연구 II	연구 III
1. 간접형(새로운 과학지식의 발명자와 사용자사이에 직접적인 대화가 없는 예)	8	5	25
2. 수동형(과학자측으로 부터는 대화를 자진해서 하지는 않으나 기술자가 조언을 구할때 이에 응하는 예)	28	17	43
3. 직접참가형(과학자·기술자 양측에서 공동작업에 참가하든지 학제적인 프로젝트 팀으로 참가한 예)	38	18	40
4. 게이트키퍼형(극히 소수의 재능이 풍부한, 대단히 적성이 있는 과학자로서 과학을 실제로 응용하는데 관심을 가진 사람 즉 게이트 키이퍼가 직접 행동에 의하여 지식이전을 한 예)	14	2	6

자료) Price and Bass, Scientific Research and the Innovative Process, in Science, 1969

요성이 확인되고 있다.

표6도 3개의 다른 조사결과를 요약한 것인데, 이것에서도 과학자와 기술자의 개인적인 접촉(제2방법과 제3방법)이 지식을 전달하는데 가장 잘 사용되는 방법이고 관찰된 사례의 약80%인 것을 알 수 있다.

기술혁신에 종사한 사람들의 대부분은 교육수준이 대단히 높다. 미국에서 교육을 받은 연구종사자의 60%이상은 소수의 center of excellence 출신이다. 이들은 박사과정의 교육이라든지 정부지출의 연구개발 계획으로 보아서 미국 대학의 톱클래스에 위치하고 있다. 이들 13개의 톱클래스 대학은 미국전체의 박사학위 취득자의 약30%밖에 교육하고 있지 않다. 그러나 전체적으로 보아 소수의 대학에 연구와 박사학위 취득교육이 집중되어 있는 것은 의미가 깊다. 이와같이 제1급의 연구와 제1급의 교육이 정부와의 깊은 관계를 소수의 장소에 집중시키므로 친밀한 인적접촉을 동반하는「길드(guild)」시스템을 만들게 한다.

이것으로부터, 첫째 사람과 사람과의 접촉이 길드적성격을 가지는 것과 더불어 지식을 응용에 이전하는 데는 정보전달 과정에서 주된 특징인 한 존속할 것으로 생각한다. 둘째로 미국의 대학과 산업사이의 관계는 훌륭한 것이나 그 골격을 이루는 것은 약 20개의 유력대학에 있는 center of excellence 이다. 이들 20개 대학에서 상응한 연구를 하고, 대학원교육에 종사하고 있는 교수들은 산

업계나 정부와의 접촉도 있고 이 길드 즉 엘리트시스템(elite system)속의 가장 중요한 인물이다.

끝으로, 사람과 사람과의 접촉의 중요성에 반해 사회적인 장해가 여러가지 존재한다는 것은 대학과 산업계와의 효율적인 관계를 방해하는 것이다. 대학의 과학자 교육을 다른 것과 엄격히 구별하는 교육체계, 산업인과 대학인 사이의 사회적 지위의 차이, 대학과 산업계 사이의 사고방식 차이, 더욱 지나친 법적·행정적인 규제는 모두 대학과 산업계와의 관계를 어렵게 만들고 있다.

7. 결 론

전반부에서는 우리나라의 기계공업에 대한 개황과 미래에 대하여 개괄하였고, 이어서 기계기술의 특징과 우리나라 기계기술의 수준과 전망에 대하여 논하였다. 후반부에서는 기술개발 또는 기술혁신과 관련하여 대학에서의 과학연구와 산업체에서의 공업기술, 대학에서 연구의 중요성, 대학으로부터 산업에의 지식이전, 대학에 있어서의 연구·교육에 대한 산업에의 영향에 대하여 언급하였고, 다음에 대학과 산업사이의 효율적인 협력에 대하여 기술하였다.

끝으로 한나라의 기술혁신 능력은 그나라의 대학에 있어서 연구능력과 일치하는 수준의 것이어야 하므로 대학의 연구는

• 궁극적으로 기술혁신에 대한 중요한 input이

되는 과학적 발견을 가져오는 것이어야 하며

- 세계의 어느곳에서 행해진 과학적 발견의 습취 필요성을 감지하고 그것을 가능하게 할 것이며
- 교육과정이나 그밖의 여러가지 수단으로 지식을 산업에 전달할 것이며
- 응용연구의 질을 높이고 응용연구에 의하여 제기된 문제를 해결하는 것을 도우며
- 응용연구와 개발을 달성하기 위한 기능과 인재를 제공하여야 한다.

미국의 경험이 지침일 수 있다면 소수의 학문적으로 우수한 사람들로 이루어진 center of excellence와 산업과의 관계를 생각할 수 있다. 그러나 일반적으로서 기초연구는 기술적 활동보다 값싸

므로 스펙트럼의 가장 기초적인 면에서는 특정 분야등에 특화하지 않고 산업기술보다 광범한 분야를 카바하는 것이 가능하다. 과학의 진보 방향과 응용 가능성은 본래 불어다니는 불확실성을 고려할 때, 이와같이 기초과학 단계에서 많은 분야를 카바하는 것은 현명한 정책일 수 있을 것이다. 그럼에도 불구하고 한나라의 과학에서의 center of excellence는 한층 기술에 관한 center of excellence에 반영되느냐는 것은 생각해 볼 가치가 있을 것이다. 또 과학의 center of excellence가 소수의 대학에 집중되어야 하느냐 또는 '학제적인 연구의 중대경향을 생각할 때 학문분야에 따라서 많은 대학에 분산시킬 것'인가라는 것도 고려해볼 가치가 있을 것이다.

국제 학술대회 참가안내

-Mechanics and Physics of Advanced Materials and Structure-

일 시 : 1990년 8월 1일~4일 (4일간)

장 소 : Singapore

분 야 : ●Modelling of material microstructure and behavior, ●Characterization and interaction of mechanical, thermal, magnetic, optical and chemical effects, ●Translation of laboratory specimen data to structure operating under service condition, ●Prediction of damage, life expectancy and reliability, ●Optimization of material behavior with structure performance, ●Processing, quality control and inspection.

일 정 : 1990년 2월 15일 : 영문초록 마감

1990년 5월 15일 : 영문 논문 원고마감

제출처 : Professor George C. Sih

Institute of Fracture and Solid Mechanics

Packard Laboratory, Building No. 19

Lehigh University

Bethlehem, Pennsylvania 18015, USA

※기타 자세한 내용은 한양대학교 기계설계학과 김정규 교수께 문의바람.

전화(02)292-3111, 2111(교환 2264, 4501)