초점기획

(3) 21세기 산업의 환경친화적 혁신을 위한 과제

목차

Ⅰ. 머리말

Ⅱ. 기술-경제 패러다임과 환경문제

Ⅲ. 환경친화적 기술혁신의 과제

Ⅳ. 맺는말

林 基 哲

기획조정실, 실장

(tel: 02-250-3251)

Ⅰ. 머리말

환경문제는 크게 지구환경문제와 국내환경문제로 구분되어 기술적 정책적 논의가 진행되어 왔다. 지구환경문제는 국제환경협약의 체결과 같은 다자간 협력 차원에서 그 해결이 모색되고 있는 반면, 국내환경문제는 국민 복지뿐만 아니라 산업의 경쟁력 제고와도 맞물려 있어 규제의 강화, 경제적 유인책 및 기술확보 측면에서 그 해결책을 찾고 있다. 기술측면에서 내면을 들여다 보면 과거 화석연료 중심의 에너지 체계가 먼저 변화되어야 하며 산업구조 역시 저에너지 소비와 소재의 절약을 추구하는 방향으로 바뀌지 않으면 안된다. 이와 함께 사회경제적 측면에서는 사회전반에 환경을 염두해 두는 가치관이 확산 될 때 비로소 환경친화적 기술혁신은 패러다임적 완성을 이루게 될 것이다.

즉 환경문제는 기술-경제-생태계라는 서로 연계된 고리 속에서 그 근원적 해결책을 찾아 볼 수 있다. 이러한 틀은 일종의 진화적 관점에서 환경적으로 지속가능한 개발을 논의하는 동시에 경제성장과 기술변호를 상호 연관지어 고찰할 수 있는 도구가 된다. 이러한 관점은 '기술을 최고선(善)'으로 간주하던 2차대전 직후의 사고방식이 1960년대 말부터 비판받기 시작하고, 환경오염이 성장은 물론 인간의 존재 자체까지도 부정할 수 있다는 시각이 대두됨에 따라 '지속가능한 개발'이라는 개념이 형성된 결과, 경제계와 생태계는 밀접하게 상호작용하며 두 개의 목표는 별개로 추구될 수 없다는 믿음에 바탕을 두고 있다. 이 개념에 따르면 정책집행시 환경과 경제를 통합한 사고 방식에 따라 접근해야 함에도 불구하고 과거의 경험은 그렇지 못했으며, 특히 우선순위를 판단할 기준이나 정책을 효과적으로 집행하기 위한 사회적 과정도 별로 고려되지 않았다는 사실이 이를 뒷받침해 준다.

최근의 견해에 따르면 기술이란 자신의 고유 경로에 따라 움직이는 '독립적'인 존재가 아니라 사회를 구성하는 여러 이익집단들의 사회적 경제적 조직적 우선순위가 반영된 결과로 볼 수 있으므로 기술이 크게 야기한 문제들인 자원고갈, 환경오염 등을 해결하기 위해서는 기술 그 자체에 어느 정도 의존하지 않을 수 없다. 그러나 이 때 개발된 기술이 부차적 환경문제를 일으키지 말아야

하며 기술이전에 있어서도 보다 값싸고 빠르게 확산될 수 있어야 한다는 전제가 뒤따른다. 하지만 앞으로의 환경기술혁신은 단기적인 '최적기술'의 확산에서 벗어나 '새로운 기술개발과정'을 탐구할 때 환경문제에 대한 해결의 실마리를 찾을 수 있을 것이다. 이러한 전제 아래 기술과 경제와의 상호연관성을 여러 기술혁신 논의들과 모형과 연계지어 살펴보고 이를 토대로 환경친화적 기술혁신방향을 모색해 보기로 한다. 그 중 제품수명주기의 각 단계에서 환경친화적 제품설계를 통해 소재의 개선 또는 공정혁신을 꾀하는 방법을 구체적으로 살피고 문제점도 짚어 보고자 한다.

Ⅱ. 기술-경제 패러다임과 환경문제

1. 기술-경제 패러다임의 의의

기술과 경제의 상호관계에 대한 인식이 변화 된 것은 경제성장에 있어 기술변화를 동태적으로 분석하면서 비롯되었다고 할 수 있다. 이러한 연구의 직접적인 동기는 1970년대부터 시작된 세계적인 경기 침체가 다양한 정책수단의 집행에도 불구하고 장기적이고 구조적인 형태로 고착된 데에서 원인을 찾을 수 있다. 즉, 1930년대의 대공황과 같은 대규모 불황을 케인즈적 정책수단을 통해 해결할 수 있었다는 낙관론이 근본적인 취약점을 드러냄으로써 전통경제학에 대한 비판적 분석이 이루어지게 되고 그 과정에서 전통경제학이 간과했던 기술요소의 중요성이 인식되기 시작한 것이다.

전통적인 경제이론은 기술요소의 수준이 일정하다는 가정 아래 기술요소를 외생변수(exogenous variable)로 간주하고 다른 요소들의 효율적 결합을 모색하는 정적 효율성에 그 초점을 맞추어 왔다. 그러나 경제성장의 분석을 통해 경제시스템의 메카니즘은 훨씬 복잡한 것이며, 그 중요한 내생변수(endogenous variable)의 하나가 기술요소라는 사실이 밝혀지기 시작하였다. 따라서 지속적인 혁신을 통한 기술요소의 동태적 변화가 경제성장의 잠재력으로 작용하게 되고, 산업들 사이에는 기술요소로 인한 잠재력의 차이가 존재하므로 어떠한 산업을 특화하느냐에 따라 각국의 잠재적 성장 가능성은 구조적인 우열을 갖게 된다는 사실에 주목하기 시작한 것이다. 기술-경제 패러다임(Technoeconomic paradigm)은 이러한 Schumpeter의 이론을 재구성하려는 Perez와 Freeman(1988) 등에 의해 정립되었는데, 그들은 경제적 하부체계와 사회 제도적 하부체계 사이의 정합과 부정합으로 이를 설명하고자 하였다.

한편 기술 패러다임의 변화는 필연적으로 새로운 핵심기술과 전략산업의 등장으로 연결되었다. 전통적인 비교우위에 의해 형성되었던 산업의 국제분업 구조가 무너지고 동태적 성장의 잠재력을 지니는 핵심기술과 그 기술을 토대로 한 이른바 전략산업을 중심으로 산업구조가 개편되고 국제 경제 및 과학기술정책의 우선순위가 조정되는 변화의 과정이 시작된 것이다.

오늘날 기술경제적인 관점에서의 전략 산업은 좀 더 포괄적인 의미를 갖게 되며 대체로 다음의 몇가지 속성을 지니는 것으로 파악되고 있다.[1)] 우선 어떤 산업은 다른 산업 부문들에 대해 파급효과를 미칠 수 있어야 한다. 다시 말하면 한 부문의 발전이 다른 부문들의 동반적 성장에 커다란 영향을 미칠 때, 또 한 부문의 산출요소가 다른 부문들의 필수불가결한 투입요소로 사용될 때 그 부문은 전략 산업으로서의 특징을 보유하게 된다. 둘째, 어떤 산업부문에 필요한 기술이 누적적이고 학습적인 속성을 가져야 한다. 해당부문의 육성을 위해서는 지속적인 연구개발을 통한 기반의 구축이 선행되어야 하고, 그 과정을 통해 축적된 기술의 스톡이 투자의 경제성을 충분히 보장할 수 있는 잠재력을 지닐 때 전략산업의 범주에 들게 되는 것이다. 셋째, 규모의 경제를 통한 수확의 체증성이 이루어져야 한다. 특정부문의 생산능력을 확대시키고 국제화를 통해 시장규모를 늘려 나갈수록 수익성이 향상되는 성격을 지녀야 한다는 것이다.

이러한 인식의 변화를 뒷받침할 수 있는 이론의 하나로 소위 '장기파동이론'을 들 수 있다. 1920년대에 콘트라티에프(Kondratieff)가 제시한 이래 체계화의 과정을 계속하고 있는 장기파동이론의 요체는 세계 경제가 '60년 정도의 주기적인 변화의 파동을 그리면서 진행되어 왔으며 새로운 주기

의 시작은 혁신적인 신기술과 신산업의 등장으로 이루어진다는 것이다. 또한 각 주기마다 해당 주기를 주도하는 신기술을 개발하고 그것을 중심산업으로 발전시킨 국가가 세계경제를 선도하게 된다는 주장이다.

2. 장기파동이론과 기술혁신

정밀전자혁명의 대표적인 산물인 반도체와 컴퓨터를 사용한 정보통신기술과 자동화 기술에 생물기술 신소재 신에너지기술 등이 추가됨으로써 첨단기술산업은 지속적인 성장과 변화를 주도하고 있다. 이러한 신산업과 신기술의 혁명적 대두와 국제질서 재편이 서로 맞물렸던 시기가 역사상 이번이 처음은 아니다. 멀리는 18세기말 '산업혁명'과 자본주의의 중심지였던 영국의 부상, 19세기말에서 20세기초에 이르는 전기 내연기관의 발전과 제국주의 체제 성립, 그리고 가까이는 2차대전 후 전자 석유화학산업의 발전과 미국 중심의 새로운 자본주의 질서 및 냉전체제 성립 등이 역사적 과정으로 인지되고 있다. 신산업과 신기술의 태동 및 국제질서 재편 사이에는 어떤 매개요인이 있거나 서로 밀접한 인과적 관련성을 지닌다는 사실이 인식되면서 새로운 관점과 통찰력을 제공해 줄 수 있는 이론으로 장기파동이론이 대두되고 있다. 여기서는 이를 환경친화적 기술혁신과정의 모색에 하나의 틀로 제시해 보고자 한다.

기술과 자본주의 경제발전과의 관계 그리고 기술혁신의 역사적 전개와 진화 과정에 대해 최근 약 20년간 괄목할 만한 연구의 진전이 있었다. 이러한 연구는 기술을 경제의 내생적인 변수로 보고 기술혁신의 창출과 확산을 일종의 사회적 과정으로 이해하는 「신슘페터주의(Neo-Shumpeterian)」 경제학자들에 의해 주로 이루어졌다.[2] 이들은 일반균형과 정태분석보다는 불균형과 동태분석, 확실성보다는 불확실성의 가정, 완전경쟁이 아닌 혁신에 의한 불완전경쟁을 자본주의 경제발전 분석의 핵심으로 삼는다는 점에서 신고전파 주류의 경제학자와 차별된다.

신슘페터주의 경제학자들의 중요한 연구영역 가운데 하나는 18세기말 산업혁명 이후 오늘날까지 세계 자본주의 질서의 변화와 기술혁신과의 관련을 '장기파동'의 역사적 관점에서 해명하고자 하는 것이다. 자본주의 경제가 약 50년에 걸쳐 새로운 위기를 주기적으로 겪게된다는 관점인 장기파동이론(Long wave theory)이 대두하게 된 경험적 측면에서의 배경은 크게 두가지로 요약될 수 있다. 첫째, '70년대에 겪은 두차례의 석유 파동을 정점으로 서구자본주의의 위기적 양상이 인지되었으며, 둘째 냉전체제와 미·소 양극체제의 붕괴, 경제블럭화, 사회주의 국가들의 급속한 정치·경제개혁 등 일련의 거대한 세계질서 개편의 물결 속에서 '정밀전자기술혁명(Microelectronics: ME)'으로 일컬어지는 신산업과 신기술혁명의 진행이 갖는 중요성에 대한 인식이다.[3]

이러한 기술변화에서 주목하여야 할 점은 주기가 바뀔 때마다 국가간의 세력 판도가 바뀌었다는 점이다. 다시 말해서 그 시대의 패권국이 되기 위해서는 각 주기의 주도기술을 확보하여야 한다는 것이다. 예를 들면 미국은 포드(Ford)의 컨베이어 시스템을 이용한 생산기술을 보유하였기 때문에 제4주기에 주도국이 되었다. 이른바 포드주의(Fordism)는 과학적 관리를 추구하던 제3주기의 생산방식이었던 테일러리즘에 대해 새로운 기술혁신, 즉 콘베이어벨트라는 흐름라인을 도입함으로써 부품과 원료의 일관된 이송 및 순환에 기초한 기계적 체계의 수립과 노동자의 불필요한 노동력을 감소시켜 고도의 생산성에 의한 내포적 축적을 가능하게 하였던 생산방식이었다.

현재는 제5주기의 상승국면이라 할 수 있으며 반도체로 대표되는 정밀전자기술 신소재 유연생산체제(FMS) 등이 주도산업이라 할 수 있고, 생물산업이 규모는 작으나 급격히 부상하는 분야로 지목되고 있다(<표1>참조). 제5주기에 등장한 이러한 산업들은 대량생산과 대량소비로 특징지워졌던 기존의 패러다임하에서의 생산기술을 비효율적으로 만들어 버렸다. 이에 따라 포드주의하에서 성립되었던 미국주도하의 기술질서는 와해되었으며, 이러한 상황은 새로운 기술패러다임하에서 우위를 확보하기 위한 국가간의 기술경쟁을 촉발시키는 배경이 되었다. 따라서 패권국가를 지향하는 선진국들은 이들 산업에서 우위를 확보하기 위한 필사적인 기술개발 경쟁을 시작하기에 이른 것이

다.

반도체를 핵심요소로 하여 정보기술혁명이 진행되고 있는 제5주기에는 환경문제와 기술혁신유형을 연계시켜 해결책을 모색할 충분한 근거가 있다. 이는 다름 아닌 신소재 개발로 인한 제품의 소량화 · 경량화 · 저에너지소비 특성 등

<표1> 장기파동과 기술패러다임의 변화과정

주 기	시 기	특 징	핵심요소	주도산업	국제환경	기 술 주도국	교통통신
제1주기	1770-80~1830-40	산업혁명 기계화 초기단계	면화 신철	섬유, 화학, 기계 철주조	영국의 등장	영 국 프랑스	1830 최초철도
제2주기	1830-40~1880-90	제1차 기술혁명 증기기관의 등장	석탄 수송	증기기관 공작 기계 철강 철도 장비	영국이 패권국으로 등장 · 자유무역 금본위제도	영 국 프랑스 벨기에 미 국	1876 전화발명 철도 · 전신
제3주기	1880-90~1930-40	제2차 기술혁명 전기 및 내연 기관의 이용	제철	전기기계 전선 · 중화학 중공업	제국주의 제1차 세계대전 경제공황	독 일 미 국 영 국 프랑스	1903 자동차 비행기 전기통신 라디오
제4주기	1930-40~1980-90	제3차 기술혁명 에너지 대량 생산 대량소비	에너지 (석유)	자동차 석유화학 항공기	제2차 세계대전 브레튼우즈 협정 냉전체제	미 국 독 일 일 본 스웨덴	항 공 레이다
제5주기	1980-90~?	정보통신발달	반도체(정밀 전자기술)	컴퓨터산소재 전자통신광섬유 로봇	다극화 지역주의 세계화 환경문제 WTO체제	일 본 미 국 독 일	정보통신 네트워

자료: Freeman and Perez(1988), pp.50~57, 김환석 외(1992), p.108, 김상권(1992), p.10 등으로부터 재구성하였음.

에 힘입어 과거보다는 환경친화적 방향으로 혁신을 유인할 수 있기 때문이다.

3. 새로운 기술-경제-환경 패러다임 정보 통신기술

지구환경문제의 해결책을 기술 자체에 대한 접근에서 찾는다면 이는 다름 아닌 새로운 에너지기술과 자원절약형 소재의 개발일 것이다. 그러나 세계경제를 '지속가능한 개발'의 방향으로 이끌 수 있는 기술은 어떤 변화의 패러다임을 지녀야 하는가라는 물음에 대한 해답은 보다 폭넓은 시각으로 찾아야 할 것이다. 이같은 물음의 출발은 Kuhn의 과학 패러다임과 기술변화 경로로부터 기술패러다임을 유추하여 체계화한 Dosi에서 비롯된다고 할 수 있다. 물론 어떤 경제체제가 특정 기술변화의 양태를 따른 것은 생산에 투입되는 비용감소와 규모의 경제, 외부효과 등과 관련이 있다. 철을 이용한 '3차 콘트라티에프 파동(1880~1930년대)' 포드식 대량생산체계에 기반을 둔 석유의 '4차 파동', 그리고 현재의 정밀전자기술 파동이 바로 그러한 사례에 속한다.

1973년 제1차 석유위기는 포드주의의 한계를 노정시켰고, 이에 따라 탈(脫)포드주의(post-fordism)라는 새로운 방법이 모색되었다. 탈포드주의의 특징은 수시로 변화하는 수요에 신속하고 유연하게 대처하는 생산체제, 즉 대량생산체제가 아닌 다품종 소량생산체제의 구축을 의미하는데 이러한 생산체제는 제5주기의 '핵심요소'로 기대되는 정밀전자공학에 바탕한 신기술에 기반을 두고 있다. 이 때 '핵심요소(key factor)'란 Perez 와 Freeman(1988)의 기술-경제 패러다임과 관련되는 개념으로 생산성 차원에서 기술혁명을 가져오는 특정 투입요소로서 광범위한 투자기회를 창출하며 주도산업을 이끄는 동인을 일컫는 개념이다.[4] 즉 설계부문에서 CAD/CAM, 제조부문에서 로

봇, CNC공작기계, 자동운반장치, 그리고 이들이 결합된 FMS, 사무자동화와 정보네트워크, 기획, 생산공정, 판매, 재고관리에 이르기까지 통합된 생산방식인 'CIM'의 시도 등 포드주의와는 다른 새로운 기술패러다임이 모색됨에 따라 정보화와 함께 환경친화적 기술혁신의 바탕을 이룬다.

한편 Perez는 핵심요소로부터 창출되는 새로운 패러다임의 변화를 모든 수준에서의 창조적 파괴과정으로 보았다. 실질적으로 정밀전자기술은 부가가치가 높은 고도의 정밀 기술과 지식집약화를 촉진하는 소프트웨어 위주로 전환되었고, 에너지와 자원의 제약을 극복하기 위하여 제품의 소형화, 경량화 효과를 증대시키면서 새로운 패러다임을 창출하는 것으로 파악되고 있다.[5] 결국 이러한 혁신이란 단지 기술에만 국한되는 것이 아니라 이와 상응하여 사회제도적 혁신이 반드시 결합되어야 하며, 그동안 고도성장을 주도해 온 에너지와 자원집약형 포드주의적 대량생산체제에서 벗어나 정밀전자기술이라는 핵심요소와 정보기술에 바탕한 유연적인 다품종소량생산체제를 구축할 때 저에너지사용 자원절약 등을 통해 환경친화적 기술혁신이 이루어질 수 있을 것이다. 물론 다품종 소량생산체제가 환경친화적 생산방식일 것인가에 대해서는 보다 깊이있는 연구가 이루어져야 하지만 폐기물 발생량이 적고 자동화·정보화에 바탕한다는 점은 바람직한 혁신 방향으로 판단된다.

한편 정보통신기술(ICT: Information and Communication Technology)은 이미 여러 형태로 재료와 에너지의 절약에 부응하면서 지속 가능한 개발의 확산에 기여하고 있다. 정보통신기술의 기여 정도를 몇 가지 측면에서 검토하면 다음과 같이 요약된다.

첫째, 산업의 정보화 과정으로서 정보통신기술은 에너지와 원료를 소비하는 여러 산업공정을 보다 더 정확히 감지하고 통제할 수 있다. 둘째, 정보통신기술은 새로운 경영철학의 수단으로서 생산과정의 제품통제와 관리, 운송 등 분류체계의 혁신을 가져온다. 셋째, 정보통신기술은 소형화 기술로서 모든 산업에서 부품의 수와 무게의 실질적 감소를 가져왔으며, 특히 엔지니어링 산업에서는 금속 소비량을 크게 감소시켰다.

그러나 정보통신기술과 같은 신기술에 잠재력을 실제로 적용하려면 우선 시장 메카니즘이 형성되어야 한다. 즉 새로운 패러다임의 실현은 기술구조 뿐만 아니라 해당 사회의 제도와 상호 밀접한 관련을 맺고 있음이 사실이다. Perez등에 따르면 정보통신기술 패러다임은 앞으로 10여년 동안 계속된 후, 나노기술(nanotechnology)과 생명과학에 기반을 둔 새로운 패러다임으로 바뀔 것이라는 전망이다. 요컨대 정보기술 패러다임의 잠재적 영향력은 환경친화적 기술혁신의 방향과 일치되고 있다.

Ⅲ. 환경친화적 기술혁신의 과제

제2차 세계대전 이후 대부분의 기간동안 기술혁신이 경제성장에 기여한다는 견해는 거의 확고하게 견지될 수 있었다. 기술은 경제발전과 기업 및 국가의 경쟁력 강화노력에 필수적인 조건으로 간주되었으며, 또한 사회적 목표를 달성하거나 삶의 질을 향상시키는 수단으로 간주되었다.

그러나 1960년대 후반에 들어서면서 기술변화와 경제성장의 가치에 대해 비판적 견해들이 나타나기 시작하였다. 환경 단체들은 점차 기술이란 공기를 오염시키고 지구를 황폐화시키는 원흉으로 생각하기 시작했다. 그들은 물질과 에너지 자원의 소모란 관점에서 경제성장이 유지될 수 있을 것인가에 대해서, 또한 환경문제가 인류의 생존 자체에 위험을 주지 않을 것인가에 대해 의문을 제기하게 되었다.

한편 "지속가능한 개발"이란 의제에 대한 대응책들을 판단할 수 있는 기준도 없을 뿐더러 효과적인 정책을 실행하기 위한 사회적 과정이 없다는 데에 문제가 있다. 이러한 접근과 관련하여 보다 세련된 기술관은 경제성장과 심각한 사회문제 및 환경문제의 원인 모두를 기술적 개념의 틀 속에서 동시에 인식하는 것이다. 기술은 그 자신의 내부에 자생적인 변화과정을 가지고 있지는 않지만 산업사회속에서 주요 이익집단들이 가진 사회적, 경제적 및 조직적 우선순위를 반영하고 있다. 이

러한 사실은 이윤동기가 정당하고 타당한 기술 평가가 이루어질 경우 기술은 환경문제를 비롯한 기술자체가 지닌 역기능 중의 일부를 해결하는 데 사용될 수 있을 것이다. 즉 기술발전은 장기적인 자원보존과 환경개선에 필수적인 것이며, 거의 모든 형태의 오염예방과 폐기물의 경제적 재순환은 기술진보에 좌우되고 있다는 주장이 지배적이다.[6] 따라서 지구적 도전에 대응하기 위하여 기술공정과 제품이 가난과 불평등으로 야기된 문제들의 해결에 이용될 때 그 수단들은 더 이상 새로운 환경문제를 일으키지 않는다는 확신을 줄 수 있어야 한다. 특히, 새롭고 깨끗하며 안전한 기술들이 가능한 한 빠른 속도로 저렴하게 확산될 수 있는 방법이 제시되어야 한다. 따라서 산업사회와 자연환경 사이의 상호관계를 지구촌 차원에서 보다 잘 점검하고 현재의 범위내에서 기술과 자원사용을 개선할 수 있는 기술혁신체제를 찾아내려는 시도가 요구되고 있다.

기술변화와 생산성 사이에는 밀접한 관계가 있으므로 환경규제와 기술변화 사이의 관계에 대한 문제 역시 생산성의 저하라는 맥락에서 많은 부분을 고려해야 할 것이다. 또한 기술변화는 생산성에 영향을 미치는 요인 중의 하나일 뿐이며, 환경규제 역시 기술변화에 영향을 미치는 원인이면서 동시에 산업에 영향을 미치는 많은 형태의 규제 중 하나일 따름이라는 시각에서 연관지을 필요가 있다.

지구 사회는 현실적으로 환경의 질 개선과 경제활동의 증대라고 하는 갈등 관계에 있는 두종류의 목표를 안고 있다. 1990년대나 그 이후에도 세계 각국의 정치 지도자들이 직면하게 될 주요 과제는 바로 이 두 가지 목표를 조화시키는 일이다. 이러한 배경하에서 경제적 목표와 환경적 목표를 조화시키려면 현재의 첨단기술이나, 재래기술, 소프트 기술이나 하드 기술을 경제성장이 용이하면서 동시에 자연환경에 대한 부담을 경감시킬 수 있는 기술로 모두 전환시켜야 한다. 물론 기술만 변화되어서는 안되며, 가치관의 변화, 생활양식의 변화, 정책의 변화가 수반되어야 함은 당연하다. 기업, 산업, 국가, 지구라고 하는 경제체계에 대한 환경 피해란 다름아닌 환경적으로 지속성이 없는 과정이나 유해물질의 재생산 과정을 통한 소비 행태의 결과로 볼 수 있다. 따라서 기술의 전환을 통해 처음에는 환경 피해를 현 수준으로 안정시키고 서서히 줄여 나가야 하는데, 이를 위한 구체적인 방법으로는 상품 단위생산당 오염의 양과 재료의 소비량을 감소시키는 일이다. 결국 기술변화과정에서 지속가능한 기술로의 전환을 사회구성원 전체가 염두에 두고 생산과 소비 그리고 연구활동이 이루어져야 한다.

환경오염의 방지는 사전예방적 수단과 사후처리적 조치로 크게 나뉜다. 환경문제는 환경자체가 일종의 공공재적 성격을 띠므로 오염이 될 경우 치유에는 비용이 들게 되며 이는 외부효과를 고려하게 되는 요인이 된다. 환경문제를 경제적 차원에서 생각하면 환경정책은 다시 직접규제와 경제적 정책수단으로 구분되며, 이는 모두 오염을 방지하고 환경보호를 지향하는 방향으로 경제 주체들을 유인할 수 있어야 한다. 기업의 경우 제품을 생산하는 기존기술을 비롯하여 R&D의 대상이 되는 신기술이 오염을 보다 덜 유발하도록 혁신을 꾀할 때 좁은 의미에서의 환경친화적 기술혁신은 이루어질 것이다. 이러한 경우의 기술혁신에 있어서도 기존 공정을 환경지향적으로 개선하는 점진적 과정이 있으며, 청정기술과 같이 전혀 새로운 제품이나 공정을 개발해 내는 급진적 과정이 있을 것이다. 그러나 보다 넓은 의미에서 환경친화적 기술혁신이란 기술체계의 조류에 일대 변혁이 일어남을 뜻한다. 에너지 체계의 경우 화석연료로부터 원자력과 태양에너지로의 이행, 또 전자기술의 경우 진공관에서 트랜지스터, 그리고 반도체로의 이행 등의 구체적인 기술변화 뿐만 아니라 자동화 정보화에 바탕한 산업구조와 생산방식의 변화 등이 바로 이러한 논의의 핵심에 속한다.

기업은 본질적으로 노동과 자본이라는 생산요소를 투입하고 기술을 효과적으로 활용하여 최대의 산출량을 얻어내려 한다. 이 과정에서 기업은 수요자의 욕구에 바탕한 시장 수요를 파악하게 된다. 이 때 환경보호에 대한 수요자의 관심은 시장의 동향을 변화시키는 요인이 될 수 있으며, 궁극적으로 기업의 기술획득전략에도 영향을 미치게 된다면 보다 환경친화적인 방향으로의 공정개선과 신제품 개발을 기대할 수 있을 것이다. 기술혁신의 유형에는 몇 가지가 있으나 그 중 생산부서와 마케팅부서가 연구개발활동에 어떤 형태로든지 연계될 수 있도록 경영 재구축이 이루어질 때

환경친화적 요소를 고려한 혁신이 제몫을 할 수 있다. 이 경우 기술예측과 기술평가는 합리적 의사결정의 준거가 되면 국가 또는 기업의 기술개발 전략수립에 환경적 측면을 고려하는 틀로 작용하게 된다. 이와 함께 그린 제품, 재활용 제품에 대한 소비자 선호 풍토의 조성을 보다 활기있게 전개하는 것도 기업의 기술혁신을 유인하는 방안이 될 수 있다.

특히 대부분 기업의 경우 신제품 개발 아이디어는 최고경영층과 마케팅부서로부터 비롯되며 공정개선 아이디어는 생산부서에서 나오는게 일반적이다. 그러나 기업내부의 의사결정과정에서 환경친화적 혁신을 기대하기란 기업의 속성상 결코 쉬운 일이 아니므로 기업 외부의 아이디어 원천이라 할 수 있는 경쟁업체, 부품납품업자 또는 1차 산품 거래자, 고객 등이 환경친화적 혁신을 유인하는 간접적 평가 기구로서 영향을 미칠 수 있다.

지금까지의 논의를 바탕으로 환경친화적 기술혁신 방향, 이를 지향하는 고리모형, 정보화와 자동화의 진전 및 기술예측과 기술평가가 환경문제의 해결에 어떻게 기여하는가 등을 중심으로 제언하고자 한다.

1. 환경친화적 기술혁신방향

앞서 밝혔듯이 기술혁신과정을 일방향적인 선형과정으로 설명하는 것은 지나친 단순화라는 비판이 일면서 결국 기술혁신 과정이란 각 단계간의 상호작용은 물론 과학과 기술, 시장과 수요 그리고 혁신 성과 등의 영향을 받는다는 비선형적 과정이 인정을 받고 있다. 따라서 기술혁신 과정에 대한 좀더 충분한 이해는 혁신단계 및 기술과 시장환경에서 의사결정과 선택을 지배하는 메카니즘을 포함한 거시적 기술혁신과 정의 형태가 파악되었을 때 비로소 가능하게 된다는 견해가 지배적이다.[7)]

이러한 배경에 따라 기술혁신 과정을 검토한 결과 Dosi(1982)는 급진적 혁신 기술경로의 기반을 구성한다는 Rosenberg의 주장을 발전시켜 기술경로와 기술패러다임이라는 개념을 제시하였다.[8)] 그는 기술변화의 연속적이고 진화적인 과정과 불연속적이며 혁명적인 과정에 대한 논의를 통합하는 모형을 제시하였다. 도시는 Kuhn의 구도를 사용하여 연속적인 기술변화의 과정을 기술패러다임으로 규정된 가능한 선택대안들 중에서 한정적인 경로를 따르는 진보로 본 반면, 기술변화의 불연속성은 한 패러다임에서 다른 패러다임으로 진행되는 변화와 결부된 새로운 기술 패러다임의 발생으로 보았다.

Gray(1989)는 산업경제가 환경파괴를 가져오는 반면 산업경제의 진보는 환경의 질을 개선시키는 주된 방법이었으며 앞으로도 그러한 역할을 할 것이라는 이른바 기술의 역설(the paradox of technology)을 피력한 바 있다.[9)]

한편 기술과 환경과의 관계를 분석함에 있어 그 핵심은 "지속가능한 개발"이다. 이는 경제체계와 환경체계가 밀접히 연관되어 있음을 시사해 준다. 막대한 산업성장요인인 기술은 환경적 손실의 책임 뿐만 아니라 경제개발에서 비롯된 환경문제의 해결방안의 한 수단임을 부정할 수가 없다. 따라서 환경적 위협에 직면한 과학과 기술은 과연 무엇을 할 수 있으며, 이를 기술진보와 산업발전에 어떻게 반영시키고 궁극적으로 어떤 정책 수단을 통해 지속 가능한 발전의 개념을 강화시킬 것인가가 현안문제로 파악될 수 있다.

최근 거론되고 있는 환경문제는 지구체계의 한계를 너무 위협하고 있음에 비해 우리의 기술체계가 과연 이를 감당해 낼 수 있을 것인가에 대한 의구심에서 환경친화적 기술혁신방향은 출발한다. 기술은 도입 · 성장 · 성숙 · 쇠퇴의 길을 차례로 밟는 수명주기를 갖는다. 기존 기술이 성숙기에 이르면 이를 대체할 수 있는 새로운 기술이 도입되면 이른바 "S자형 곡선"을 이룬다. 이러한 기술의 대체과정에서 과연 환경 영향평가가 올바로 이루어졌는지에 대한 검증이 바로 미래의 기술혁신 기조의 지침으로 될 것이다. 물론 대체기술의 혁신은 기술주도(Technology Push)로 이루어졌거나 사

회적 요청(Demand pull)에서 비롯되었을 것이다.

기술진보과정을 분석해 보면 어느 한 기술이 출현하여 어떻게 확산되고 환경에 어떤 영향을 미쳤는가를 알 수 있다. 오늘날의 현안은 환경문제가 기술진보와 확산에 어느 정도 내재화되어 있느냐 하는 것이다. 최근 대부분의 환경정책이 환경친화라는 목표하에서 기술을 창조한다는 방향으로 선회하고 있음은 매우 바람직한 사실이다. 지금은 본질적으로 비오염 공정과 비오염 제품을 개발할 수 있는 기술혁신이 요구되는 시기이다.

한편 1980년대 중반에 들어서면서 산업활동을 바라보는 대중들의 시각에 주요한 변화가 드러나기 시작하였다. 즉 제조업이 경제성장과 국제경쟁력 강화의 추진력이라는 사실을 인정하면서도 이와 반대로 산업 생산은 예민한 사회문제와 환경문제를 동시에 야기하게 되었다. 과학기술의 발전과 새로운 기술혁명에 대한 기대 그리고 이에 집중되는 희망과 두려움 등에 편승하면서 산업발전은 계속 진행되었다. 이와 함께 오염의 저감과 자원사용의 절감이 가능해지고 청정산업과 청정제품이 국제경쟁력에서 분명한 우위를 가져오리란 것도 경험상 명백해지고 있다.

이러한 산업발전은 두가지 결과를 가져왔는데, 하나는 환경보호와 산업성장이라는 두 목표를 가깝게 일치시키는 것이고, 다른 하나는 산업이 보다 안전하고 오염저감과 상품의 질을 향상시키는 일이다. 환경과 경제를 조화시키고 이 두가지 목표를 서서히 정책에 반영시키는 것은 이제 현실적인 기대감으로 되어 있다.

기술, 산업 그리고 환경 사이의 관계에 대한 중요한 변화는 오염물질의 제거라는 생각에서 벗어나 초기 단계에서 오염의 발생을 방지하는 생각으로의 발상의 전환이라 하겠다. 사실 실질적인 환경보호의 진전은 오염의 감시, 통제 및 제거 기법에서 비롯되었다. 그러나 이러한 사후 처리적 접근법은 점차 강력해져 가는 규제에 따라 처리 비용이 상승하므로 전혀 적합하지 못할뿐더러 환경 문제의 본질과 규모도 변하므로 효과적이지 못하다. 이 같은 전망은 기술정책과 산업현장의 두 경우에서도 중요한 변화를 내포하고 있다. 이는 원래 오염을 유발하지 않았던 기술진보에는 점증적 혁신이 아닌 급진적 혁신이 필요하다는 관점에서 일부 원인을 찾을 수 있다. 이와 아울러 생태학적으로 양립될 수 있는 제품과 공정을 창출하려면 산업 구조의 변화를 반영하는 산업 문화, 생산과 시장 구조의 변혁을 필요로 하기 때문이기도 한다.

2. 고리모형 기술혁신

기술혁신은 일반적으로 새롭게 발명되어 기술이 체화된 제품, 공정, 시스템 또는 서비스의 상업적 이용과 관련된 일련의 과정으로 정의된다. 그러나 기술혁신의 개념을 보다 폭넓게 생각하면 기업가 정신이 왕성한 기업가가 새로운 생산방식의 도입, 신제품 개발, 새로운 자원의 획득, 새로운 시장의 개척, 경영조직의 재구축 등을 생산과정에서 새롭게 결합하는 것을 뜻한다. 그러나 기술자체가 원래 복잡하고 다원적인 특성을 가지기 때문에 기술혁신에 대한 정의와 함께 그 과정이나 모형에 대한 논의 역시 시기별로 패러다임적 변천과정을 겪어 왔다.

기술혁신이론 중 그 과정의 연계에 주목할 경우에는 크게 선형모형과 非선형모형으로 구분된다. 비선형모형에는 다시 인적, 제도적 결합방식이나 정보의 흐름에 따라 몇가지 다양한 모형이 제시되고 있다. 기술경제학자들의 이 같은 논의와 쟁점의 배경을 시기별로 정리하면 다음과 같다. 1970년대 중반 이전까지는 혁신의 동인을 기술주도와 수요견인의 두 가지로 분리해서 보는 선형모형이 혁신 이론의 주류를 이루고 있었다. 하지만 기술혁신과정을 연구→개발→생산→마케팅이라는 순차적, 연속적 개념으로만 파악해 온 선형모형은 분석을 위한 틀로서는 편리하나 지나친 단순화라는 비판과 함께 산업현장에서는 외면당하기 쉬운 것이 현실이다. 미국의 경우 '기초연구는 자산'이라는 전통적 관념에 따라 선형모형에 혁신의 뿌리를 두고 있으나 유전공학, 신소재 그리고 군사기술과 같은 기술 주도적 분야를 제외하고는 혁신이 선형모형에 따라 진행된다는 논리는 이미

설득력을 잃은 지 오래다. 특히 미국의 산업경쟁력 우위가 일본에 의해 위협을 받으면서부터는 더욱 그러하다.

이에 비해 '70년대 중반부터 '80년대 초반까지는 이 두가지를 결합하는 모형으로서 연구개발활동과 생산현장 또는 마케팅 활동의 상호연계에 관심을 갖는 비선형모형의 출현이 예고되던 시기였다. 이 모형의 특징은 이론보다는 실제 일어나는 현상에 주목하면서 연구개발성과를 시장과 연계시키려는 이른바 상업화에 대한 논의가 본격적으로 이루어지는 기틀을 마련한 것이었다. 이러한 배경 아래 기술혁신이란 개별과정사이의 동태적 상호작용은 물론 기술환경과 시장메카니즘 속에서 발전하는 비선형 과정이라는 인식이 널리 확산되고 있다. 이 모형은 전자제품이나 기계분야 같이 시장에서의 수요가 혁신을 유인하는 과정을 보다 중요시하며, 일본의 경우 이러한 모형에 따라 성공적 기술개발이 이루어져 왔다는 평가가 지배적이다.

그 후 최근까지는 연구개발에서 시작하여 마케팅으로 이어진다는 기존의 선형모형적 시각에서 거의 벗어나 일련의 혁신과정이 서로 병행하여 순서없이 일어난다는 비선형모형이 보편화된 개념으로 알려져 있다. 또 기술혁신의 전 주기적 과정 속에 상업화의 개념이 보다 확산되면서 비선형모형은 기술전략이라는 표현과도 연계지어 사용되기 시작하였다.

이 시기에 Kline과 Rosenberg, Aoki 등은 일본기업의 기술혁신 성공요인을 분석하는 과정에서 R&D 조직의 특성을 토대로 형성된 혁신의 유형으로서 종래의 선형모형과는 전혀 다른 고리모형(Chain-Linked Model)을 찾아내었다. 여기서 Kline(1985)은 비행기, 자동차, 제지, 정유산업, 발전소 등에 대한 기술혁신과정을 연구해 온 경험에 바탕하여 고리모형을 제안하고 있다.[10] 즉 Price와 Bass(1982)가 '60년대 말 제안한 선형모형[11]이 체계적이긴 하나 현실에 대한 설명력이 부족하다는 비판적 시각에 따라 등장한 비선형 혁신유형의 대표적인 것이 바로 고리모형이다. 즉 고리모형은 기술혁신이 한 방향의 선형경로로 이루어지는 것이 아니라 정보의 흐름과 협동작업의 경로가 상호연계 구조 속에서 피드백되는 것을 뜻한다.

고리모형에서는 연구결과가 직접 혁신으로 이어지는 것이 아니라 '발명과 분석적 설계'를 기술혁신의 중심축으로 파악하고 있다. 그리고 난관에 부딪치면 일차적으로는 '축적된 지식'에 의존하지만 이것이 불가능해지면 '연구'와 직접 연계시켜 문제해결을 꾀한다. 이러한 과정에서 과학연구로부터 발명이 이루어지고 시장으로부터 연구개발이 영향을 받음으로써 기술주도와 수요견인의 두 가설이 제 몫을 다하게 된다. 따라서 '연구'에 앞서 '인간이 축적한 총체적 지식'의 흐름을 중요시해야 한다는 관점이 혁신의 바탕에 자리하며 그 둘 사이의 결합이 바로 기술혁신의 과정을 이룬다는 것이다.

혁신과정을 선형모형에만 집착할 경우 연계관계에 대한 무관심과 정책적 고려의 부족으로 인해 혁신이 저해될 것이므로 고리모형에서는 시장과 연계된 확산과정에서 정보의 피드백에 따른 설계의 역할이 중요함을 강조하고 있다.

이같은 맥락에서 정보기술혁명에 바탕한 자동화로 산업의 정보화가 진행된다면 고리모형은 환경친화적 기술혁신의 구체적 시행 체제로 부각될 수 있을 것이다.

3. 정보화와 자동화

정보화 사회 또는 탈공업화 사회의 출현은 지구촌의 변화를 보여주는 주요 특징 중의 하나이다. 우리는 이미 정밀전자기술의 발달에 대해서 뿐만 아니라 그 기술이 응용되어 우리의 일상생활과 산업현장의 구석구석까지 침투하고 있다는 사실에 관해 언급한 바 있다.

정보화 사회의 도래는 산업사회가 가지고 있는 대량생산, 대량소비 체제를 기반으로 형성된 기업 또는 사회구성원간의 수직적 분할 체계를 정보화를 통하여 보다 자원 절약적이며 수평적, 전문적

분할체계로 개편해 나가는 모습을 보여주고 있다. 다시 말해 정보화사회는 에너지를 적게 사용하면서 고부가가치를 창출할 수 있는 여건을 조성해 주고 있다. 따라서 정보화는 산업사회가 가지고 있는 물질자원과 에너지의 고갈, 자연파괴, 환경파괴의 문제를 구조적으로 극복하는 대안이 될 수 있다. 아울러 정보화된 사회는 다품종 소량체제로의 생산활동의 전환을 가져오며 보다 더 개성화되고 다양화된 소비자의 욕구를 만족시켜주는 효과를 통해 규모의 경제에서 정보화 경제로 전환시키는 효과를 가져옴을 곽일천(1993)은 밝힌 바 있다.

한편 생산현장의 공장 자동화에서 비롯된 메카트로닉스기술은 초기에는 기계기술과 전자기술의 복합 기술을 의미하였으나 최근에는 정보기술까지 포함한다. 이러한 메카트로닉스의 도입은 에너지가 제조원가에서 차지하는 비율을 최소화하면서 생산된 제품의 부가가치율을 증대시키는 효과를 가져온다. 자동화의 발전은 크게 수요견인과 기술주도 요인의 두가지 유형에 의해 추진되고 있다. 수요견인의 요소로는 첫째, 소비자의 수요패턴이 복잡화 다양화되면서 제품의 수명주기가 빠른 속도로 단축되고 있으며 둘째, 이에 따라 제품생산방식이 규모의 경제에 근거한 소품종대량생산체제에서 다품종소량생산체제로 전환됨으로써 범위의 경제가 중요시 되고 셋째, 생산의 유연성을 높이기 위해 물류(物流)의 합리화와 함께 정보의 흐름을 유기적으로 결합시키는 개발 전략이 요구된다는 점이다.

이와같은 자동화 전략의 실현이 가능한 것은 관련 기술의 발전인데 무엇보다도 새로운 패러다임인 반도체 기술의 획기적 발전과 함께 메카트로닉스, 컴퓨터 및 통신기술이 생산현장에 응용됨에 따라 자동화 기술이 발전되었다는 점이다. 또한 전자공학, 광학, 인공지능, 신소재, 신공정 및 시스템 분석기술의 지속적인 발전은 자동화 기술의 발전과 곧바로 연결되면서 기술 융합에 따른 환경친화적 혁신을 주도하고 있다.

4. 기술예측 및 기술평가

기술예측이란 기술현황을 지속적으로 분석하고 평가함으로써 과학기술의 발전을 조기에 인지하는데 목적을 두고, 일정기간 안에 개발될 특정기술의 발전속도 · 방향 · 범위 등에 대해 현실에 가까운 추정을 하는 수단이므로 환경문제의 해결을 위한 기술혁신 방향을 찾는 데 활용할 필요가 있다. 결국 기술예측은 기술변화를 체계적으로 파악하는 것이므로 혁신의 과정을 이해하고 기술변화의 환경적 요소를 검토함으로써 정부의 정책 개입을 통해 기술변화를 바람직한 방향으로 이끌어갈 수 있다. 따라서 기술예측의 결과는 연구기획에서 연구비 소요인력등 자원배분의 적정 규모를 비롯하여 연구의 방향과 프로젝트 선정의 판단 기준이 될 수 있다. 이 밖에도 기술진보에 따른 경제적 잠재력 · 사회적 영향 · 환경에의 영향을 등을 파악하는 도구가 된다. 또한 보다 넓은 범위에서 기술평가란 기술 또는 기술발전이 사회 · 경제 · 정치 · 제도 · 환경 등에 미치는 잠재적 영향을 체계적으로 파악하여 분석 평가하는 수단이다. 기술평가의 유형에는 여러 종류가 있으나 환경에 미치는 영향의 평가는 기술영향평가로 정의되고 있다.

최근에는 정책의 집행을 통해 환경친화적 기술을 어느 정도까지 목표로 삼아 발전시킬 수 있는가 하는 점에 관심이 집중됨에 따라 '기술평가' 개념이 각광을 받고 있으나, 새롭게 발생하는 환경문제는 명확하게 정의되기 어렵기 때문에 기술평가의 결과가 보수적인 기술문제의 해결에 치중하거나 기존의 공해기술을 선호하게 될 위험성이 있음을 피하기 어렵다는 지적도 있다. 그럼에도 불구하고 R&D계획이나 기술계획수립시에는 사전에 기술예측의 결과를 통해 기술발전의 방향을 가늠해보고 기술영향평가과정을 거쳐 환경친화적 기술혁신과정의 출발점으로 정착되도록 이들을 제도화할 필요가 있다.

이제까지 논의한 내용은 결국, 기술적 난관을 해결하려는 노력을 통해 경제성장과 환경정책의 조화를 이룬다는 기술, 성장주의적 입장이었다. 이 견해를 따르면 지구 온난화와 같은 난제의 해결에는 에너지, 바이오테크놀로지, 농업을 비롯한 기존의 분야에서 기술진보가 필수적이다. 그러나

기후변동문제에 대한 기술적 접근방법에 있어서는 어느 한 문제에 대해 기술이 편중될 경우 다른 측면으로는 더욱 어려운 점이 수반될지도 모르는 위험성을 충분히 고려해야 한다는 환경론적 시각을 완전히 배제할 수는 없다. 따라서 광범위하면서도 철저한 기술평가만이 이러한 오류를 줄일 수 있는 것이다.

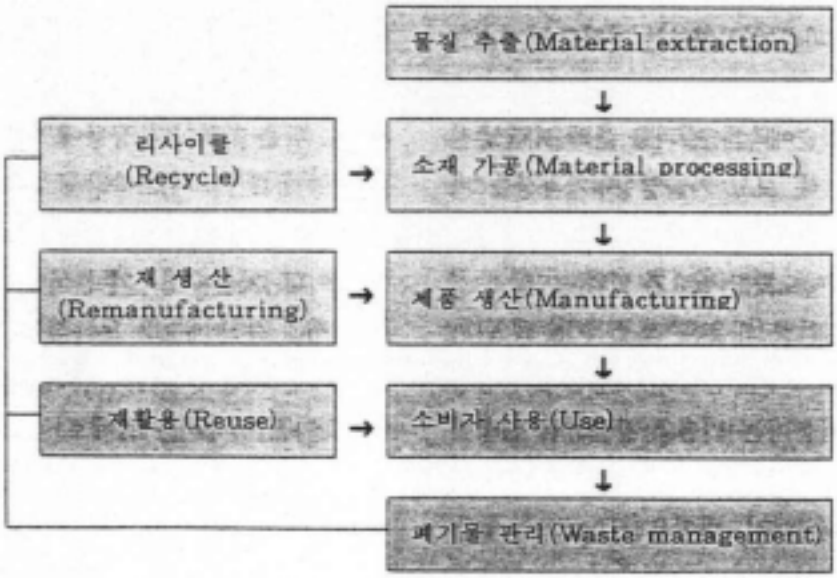
5. 제품 수명주기의 분석과 설계

환경문제를 해결하는 수단은 제품수명주기의 모든 단계에 개입되고 있다. 제품에 사용된 소재의 양과 유형변화, 보다 효율적인 제조공정의 개발, 사용 중 소모되는 에너지와 재료의 양절감, 폐기물 관리 과정에서 에너지와 물질 회수의 개선 등을 고려할 때 제품설계의 혁신은 환경영향을 저감시키는 실질적 대안이 되기에 충분하다(<그림 1> 참조).

그러나 가장 심각한 환경영향의 일부는 제품을 실제로 사용하는 과정에서 일어난다. 이는 CFC함유 용매나 냉각제, 화석연료, 살충제 등과 같이 사용중에 소모되거나 분해되는 제품의 경우에 특히 그러하다. 이러한 분해성 제품의 경우는 다른 제품이나 공정에 비해 환경에 미치는 영향이 매우 크다. 따라서 독성 물질을 대체하거나 제품개량을 통해 문제 해결을 모색해야 할 것이다. 제품수명주기 분석의 요체는 제조공정 전체에 걸친 재고품 목록작성, 물질수지파악등 완벽한 계량적 접근이 선행되어야 한다는 것이다. 이를 위해서는 실제로 각 산업에서 표준제품을 하나 선정하여 분석을 시작할 수 있으며, 미국은 전자산업의 환경친화성 부여와 경쟁력 강화를 목적으로 워크스테이션(Computer Workstation)에 대해 수명주기 분석을 행한 바 있다.[12] 이러한 문제의 이면에는 제품설계과정에서 결정되어야 하는 핵심요인들이 있다. 사용된 소재, 에너지 소모량, 리사이클 가능성, 내구성 등을 비롯하여 제품의 여러 환경 속성들이 제품설계 과정에서 결정된다. 어떤 제품이든 일단 설계팀의 손을 떠나 도면이 생산 공정으로 옮겨지면 환경속성은 대부분 고정되게 마련이므로 설계과정에서 환경 관련 사항을 철저히 반영시키지 않으면 안된다. 제품설계란 생산비용, 성능, 제조가능성, 안전도, 소비자 기호 등 제품이 갖추어야 할 제반 속성을 고려해야 하는 과정이다. 오늘날의 제품설계는 대부분 환경에 미치는 영향을 고려하지 않고 이루어지는 게 보통이다.

미국 OTA의 "환경친화적 설계(Green design)" 개념에 따르면 환경친화적 설계란 규정에 의한 강제라기 보다는 환경적 속성을 설계의 목표로 삼는 것이며, 그 핵심은 제품의 성능, 사용 기간, 기능 등의 저하를 최소화하는 범위내에서 환경 목표를 구현하는 것이다. 그러한 의미에서 환경친화적 설계는 폐기물 저감과 재료관리의 개선이라는 두가지 목표를 추구한다. 무엇보다도 폐기물의 발생을 최소화하면서 제품의 수명이 다하는 순간까지 재료의 관리를 철저히 하는 것이다(<그림 2> 참조). 동일한 기능을 수행하는 제품이더라도 재료의 양을 줄이는 이른바 경량화와 함께 내구성을 보다 강화시키는 소재를 사용하면 제품의 사용 기간을 연장할 수 있음은 당연하다. 이와 함께 제품에 사용된 부품이나 재료의 고부가가치 창출을 위해 재회수 또는 재활용이 가능하도록 재료사용의 관리 개선이 필요하다. 이를 테면 조립품의 경우 여러 부품들로 쉽게 분해되도록 한다든지 분리할 필요가 없이 그대로 리사이클되도록 제품을 설계하는 것을 뜻한다.

<그림 1> 제품수명주기와 단계별 환경목표



자료: D. Navin Chandra, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 1992. OTA(1992)에서 재인용.

따라서 이 두가지 목표를 달성하기 위해서는 적어도 전체 생산공정과 함께 제품 및 폐기물 발생 흐름도를 구비하고 이를 관리하지 않으면 안된다. 그러나 환경친화적 설계가 그리 간단한 것은 아니어서 어떤 견고한 규정도 없는 상태일 뿐만 아니라 이를 실행에 옮기기 위한 의사결정 구조의 정립이나 우선순위 선정은 또다른 차원의 문제이기 때문이다. 다만, 기술 전략 기획시 작성하게 되는 기술 계통도(Technology tree)상에 나타나는 제품이나 공정에 대하여 예상되는 폐기물을 나열해 보고, 제품의 재활용 비율을 예측해 보는 것도 환경친화적 기술혁신을 지향하는 출발점이라 할 수 있다.

Ⅳ. 맺는말

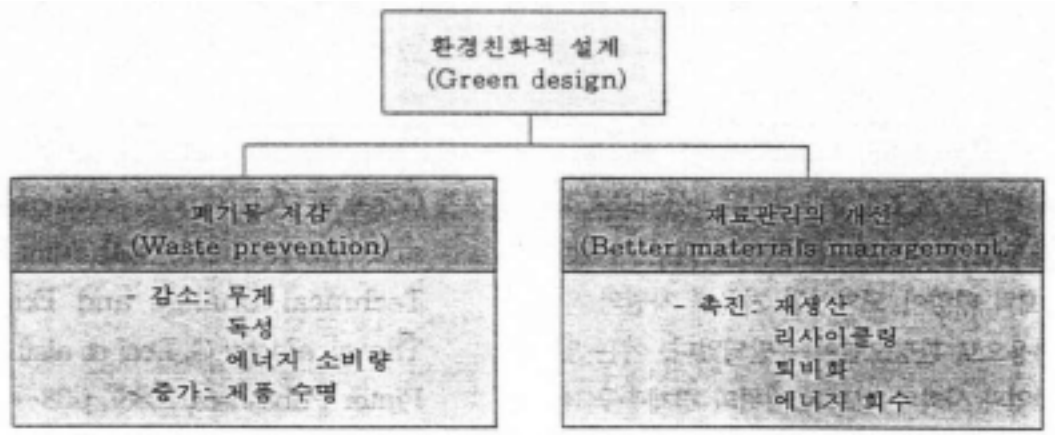
최근에 일어나고 있는 과학기술혁신의 특징적 양상으로는 과학과 기술의 상호작용증대, 혁신의 복합화와 기술융합의 가속화, 첨단기반기술의 전산업적 확산, 환경문제를 중심에 두는 혁신의 지향, 기술을 둘러싼 새로운 남북문제의 등장 등을 들 수 있다.

이 글에서는 환경문제를 기술-경제-생태계라는 연결고리 속에서 지속가능한 개발을 경제성장과 기술변화와 연관지어 고찰해야 한다는 시각과 함께 인류가 추구해야 할 바람직한 기술혁신의 방향을 다음과 같이 제시하였다.

(1) 점증적 기술혁신은 기존공정의 에너지효율 향상 부품의 무게감소 등과 같이 기존시장을 자극하는 정도이므로 환경에의 기여도가 크지 않지만, 급진적 기술혁신은 전혀 새로운 에너지 체계개발·부품의 수와 무게의 획기적 감소 등을 통해 새로운 시장창출과 함께 사회적·제도적 변화를 수반한다. 이 과정에서 기술수명주기와 제품수명주기를 병행 고려한 환경친화성 평가가 이루어져야 한다.

(2) 21세기의 산업구조는 정밀전자기술 혁명에 바탕을 두고 생물산업과 신소재의 융합화를 통한 생물정밀전자기술(Bio-Microelectronics)의 창출이 고부가가치·저에너지소비·정보화의 기반 구축에 필수적이며, 동시에 환경친화적 기술혁신의 토대가 된다.

<그림 2> 환경친화적 설계의 두가지 목표



자료: OTA, "Green Products by Design", p.8, 1992.

(3) 정보의 산업화, 산업의 정보화와 자동화 및 사회의 정보화를 구축함으로써 석유와 포드주의에 의존하던 대량생산 체제로부터 다품종 소량생산의 유연 생산체계로, 규모의 경제로부터 범위의 경제로 환경친화적 혁신을 꾀해야 한다.

(4) 기술혁신의 전주기적 과정 중 연구기획단계에서부터 기술예측과 평가수단을 거침으로써 환경친화도를 제고할 수 있는데, 공정혁신의 경우 에너지 절감도 · 폐기물 발생저감 등을, 제품혁신의 경우 재활용 체계도 리사이클 계획 등을 구체화하여 혁신의 지표로 삼는다.

(5) 어떤 제품이나 설계를 환경적으로 평가할 때는 리사이클 가능성과 같은 한가지 속성보다는 제품수명의 전주기에 걸쳐 시스템적으로 균형있게 접근해야 한다. 즉, 환경상의 이익을 얻으려면 환경제품 자체보다는 이를 생산하고 소비하는 시스템에 인센티브를 줄 수 있는 정책을 개발해야 한다.

이같은 기술변화의 방향은 우리에게 다음과 같은 시사점을 준다. 우리나라의 경제성장과정에서 공업화는 초기 1차 산품 수출→노동집약적 공산품 수출→대규모 중화학공업화→자본집약적 공산품 수출 등의 단계를 거치면서 수출주도적으로 일관되어 온 결과, 규모의 경제추구 · 대량생산방식 · 중점산업육성시책 · 산업보호정책 등과 맞물려 자발적 기술혁신에 의한 자율적 성장잠재력 배양이 도외시된 가운데 자원의 약탈적 사용으로 환경오염이 유발되었다. 이는 앞으로 산업과 사회의 정보화, 범위의 경제추구 자동화와 CIM에 바탕한 다품종 소량생산 반도체를 추동요인으로 한 정밀전자기술 산업구조로의 지향 등을 통해 환경친화적 기술혁신 방향을 추구해야 할 것이다. 그렇게 할 때 한편으로는 전략산업의 육성을 통한 국가경쟁력 제고를, 다른 한편으로는 환경보호라는 이중목표를 달성할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 무엇보다도 앞으로 정부의 모든 경제정책을 비롯한 기업의 기술개발 전략수립과정에서 환경친화적 의사결정구조(Environmentally Sound and Sustainable Decision making)가 확산될 때 진정한 의미의 지속가능한 개발(ESSD)시대가 개막될 것이다.

주석 1) 박용태, "국제기술환경의 변화와 신기술질서의 형성 움직임", 과학기술정책기획본부, 1992.

주석 2) 이에 대해서는 김환석, "기술혁신이 장기파동 주요인",(매일경제, '94, 1. 21)을 참고.

주석 3) 김환석 · 홍성범 · 이영희, 『세계경제의 장기파동과 신기술의 국제확산』(서울: 과학기술정책기획본부, 1992)에서는 장기파동이론과 기술혁신을 주도산업에 적용하여 그 핵심을 파악하고 이를 우리나라 입장에서 대응전략까지 모색한 바 있음.

주석 4) C. Freeman and C. Perez, "Structural Crises of Adjustment, Business Cycles and Investment Behaviour", in Technical Change and Economic Theory, eds. by G. Dosi et als (London: Pinter Publishers, 1988), p.38～66.

주석 5) 김환석 · 홍석범 · 이영희, 앞의 책.

주석 6) C. Freeman, The Economics of Industrial Innovation,(MIT Press, 1982).

주석 7) 이장재 · 양희승, "기술혁신과정과 이론 그리고 정책", 과학기술정책, 제4권 제2호, pp. 13 ～ 43.

주석 8) G. Dosi, "Technological Paradigms and Technological Trajectories", Research Policy, 11, 1982, pp. 147～162.

주석 9) P. E. Gray, "The Paradox of Technological Development", in Technology & Environment (Washington, D.C.: National Academy Press, 1989), pp.192～204.

주석 10) Stephen J.Kline, "Innovation is not a Linear Process", Research Management, pp. 36～45.

주석 11) William J. Price and Lawrence W: Bass, "Scientific Research and the Innovative Process", Science, 164, 16, pp. 802～6.

주석 12) 1992년부터 시작하여 1993년 초까지 이루어진 이 연구는 에너지부(DOE)의 후원과 전자컴퓨터기술협회(MCC: The Microelectronics and Computer Technology Corporation)의 주도하에 이루어졌음.