

기술진보와 환경과의 관계

이은우
경제학과

<요약>

이 논문에서는 기술진보와 환경과의 관계를 분석한다. 먼저 기술진보에 따라 환경표적
이 어떻게 변하는가를 고찰하는데, 기술진보의 형태가 다르면 환경표적의 동태적 경로도
다르게 되고, 기간에 따라 환경표적의 수준도 달라진다. 다음으로 공해정책수단을 5가지
로 구분하여 각 수단이 공해방지기술개발에 미치는 영향을 분석하는데, 이 분석에 의하면
여러 정책수단 중 공해세와 오염권 판매의 경우가 기술개발을 유발하는 효과가 제일 크다.
마지막으로 선진국의 환경에 대한 연구개발 투자 현황을 고찰하였다.

The Relationship between Technological Progress and Environmental Quality

Lee, Eun Woo
Dept. of Economics

<Abstract>

This paper is to examine the relationship between technological progress and environmental quality. First, we analyse socially optimal responses of environmental targets to different types of technological progress. Second, firm incentives to promote technological change are examined under five regulatory regimes. On a relative basis, emission taxes and auctioned permits provide the highest firm incentives to promote technological changes. Finally, it deals with the government funding of environmental R & D in developed countries.

I. 서 론

경제성장으로 인한 소득증가때문에 여러 면에서 생활수준이 높아졌다. 유아사망률은 감소하고, 평균수명은 증가하고, 문맹률은 감소하고 있으며, 이와 함께 식량생산은 인구증가율 이상으로 증가하고 있다. 이런 면들은 '발전'이라고 할 수 있다. 그러나 이와 함께 경제성장으로 인하여 환경의 파괴가 급격히 이루어지고 있다. 환경의 파괴는 '발전의 실패'라고 할 수 있다.

한 예를 들면 많은 나라에서 '녹색혁명'이전에는 식량부족을 겪고 있었다. 그러나 녹색혁명이후에는 생산량이 급격히 증가하여 식량부족문제가 많이 해결되었다. 반면에 새로운 품종이 도입됨에 따라 비료와 농약을 보다 많이 사용하게 되고, 이에 따라 수자원과 토양이 오염이 되고 그 결과 생태계가 파괴되는 등 심각한 문제를 일으키고 있다. 이와 비슷한 예는 우리 주변에 무수히 많다.

경제성장은 환경을 파괴하는 방향으로만 작용하는 것은 아니다. 경제성장은 환경보존에 보다 많은 자원을 투하하는 것을 가능케함으로써 환경의 전을 보다 개선시킬 수 있다. 즉 경제성장문제와 환경문제는 상호 밀접히 관련되어 있어 이들을 서로 분리하여 생각하는 것은 매우 어렵다.

경제성장의 주요 원천은 기술진보이다. 기술진보는 주어진 생산요소로써 보다 많은 양의 산출량을 가능케 하기 때문에, 유한한 자원의 소비를 늦추게 하는 잠재력을 제공한다. 기술진보와 환경파의 관계는 경제성장과 환경파의 관계와 마찬가지로 양면적이다. 어떤 기술은 자연을 소모하고 환경에 새로운 폐기물을 배출하여 공해를 증가시키는 반면에, 어떤 종류의 기술은 공해를 감소시키는데 크게 기여한다.

선진국에 비해 특히 발전도상국의 경우 경제가 성장함에 따라 공해문제가 더욱 심각하다. 발전도상국의 경우 경제성장을 날성해야 할 필요성은 매우 급하나 공해를 억제할 능력은 보다 작기 때문에, 환경문제를 고려하지 않고 성장에만 집착하기 때문이다. 이런 면에서 기술진보와 환경파의 관계를 고찰해보는 것은 여러 측면에서 필요하다.

이 논문에서는 기술진보와 환경파의 관계를 몇가지 측면에서 고찰해 보고자 한다. 제 II장에서는 기술진보에 따른 환경표적의 동태적인 변화를 고찰하고, 제 III장에서는 공해방지정책수단과 공해방지기술개발과의 관계를 분석해보고자 한다. 제 IV장에서는 선진국을 대상으로 환경에 대한 연구개발 투자 현황을 알아보고 제 V장에서는 이제까지의 논의에 대해 결론을 내리고자 한다.

II. 기술진보와 환경표적의 동태적 변화

1. 모형의 설정

이 장에서는 기술진보에 따른 환경표적(environment targets)의 적정한 반응을 고찰하기로 한다. 기술진보의 형태가 변화하면 사회적으로 바람직한 환경표적도 변화하게 되는데 본 연구에서는 거시모형을 이용하여 이에 대해 동태분석을 하기로 한다. 여기서 환경표적은 정부가 여러 정책을 통해 도달할 수 있는 사회적으로 바람직한 공해물질 배출허용기준을 말한다.

인간의 효용은 소비되는 재화의 양 뿐만 아니라 환경의 질에 의해서도 영향을 받는다. 주어진 재화를 소비재 생산과 환경보전에 어떻게 배분하느냐 하는 문제가 생긴다. 양자간의 관계에서 환경표적을 유도할 수 있다.

먼저 공해물질은 수명이 짧고, 소비재는 수명이 짧다고 가정한다. 그리고 사회후생은 플로우(flow)변수인 소비재와 스톡(stock)변수인 공해물질에 의해 결정된다고 가정한다. 따라서 환경표적을 설정함으로써 사회후생을 극대화하고자 하는 정책결정자는 기간간문제(intertemporal problem)에 직면한다. 왜냐하면 환경표적은 직접적으로 공해물질에 영향을 미치고, 간접적으로는 소비재의 생산에도 영향을 미치기 때문이다. 소비재에 간접적으로 영향을 미치는 이유는 공해물질 처리에 자원 사용을 증가시키면 소비재 생산이 감소하기 때문이다. 즉 한 시기의 환경표적의 수준은 다른 시점의 표적의 수준에 의존하기 때문에 동태적이다.

환경표적의 적정수준의 변화에 영향을 미치는 중요한 요인 중의 하나로 기술을 들 수 있다. 기술진보의 형태가 변화하게 되면 환경표적에 대해 다른 수준을 요구하게 되고 그 결과 환경의 질과 경제활동에도 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 어떤 종류의 기술진보가 환경의 질을 개선시키고, 어떤 종류의 기술진보가 생산량은 증가시키나 환경의 질을 악화시키는지 고찰해 보기로 한다.

공해물질은 소비, 생산, 그리고 공해처리과정 등에서 배출된다. 여기에서는 환경과 관련된 기술진보를 논하고 있기 때문에, 기술진보는 다음의 세가지 형태를 띠고 있다고 가정한다. 즉 소비, 생산, 그리고 공해처리과정에서 배출되는 평균공해물질의 감소와 한계공해물질의 감소, 그리고 소비재와 공해처리능력을 제공하는 생산능력이 확대되는 것을 말한다.

생산요소는 노동(L) 한 가지이고 산출물은 소비재(G), 공해처리서비스(S), 그리고 공해물질(E)이 있다고 하자. 여기에서는 3가지 경제활동, 즉 생산활동, 공해처리과정, 그리고 소비활동 등이 고려된다. 공해물질은 소비재의 생산활동과 소비활동에 의해서도 배출되지만 공해처리과정에서도 배출된다. 공해처리서비스(S)는 소비재(G) 생산의 역함수이다. 왜냐하면 주어진 노동을 한 부문에 보다 많이 투하하면 다른 부문에 보다 적게 투해야 하기 때문이다. 그리고 공해물질은 자연에 의해서도 정화되는데 이것은 공해물질(E)의 스톡에 의존한다고 가정한다. 이상과 같이 가정할 경우 공해물질의 변화분(\dot{E})은 (1)식과 같이 소비재(G)와 공해물질(E)의 함수로 나타내어진다.

$$(1) \quad \dot{E} = f(G, E)^1$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } & f_G > 0 \quad f_{GG} > 0 \\ & f_E < 0 \quad f_{EE} > 0 \\ & f_{EQ} = 0 \end{aligned}$$

이와 함께 사회후생(U)은 소비재(G)와 공해물질(E)에 의해 결정된다고 가정하면 (2)식과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 소비재(G)는 플로우변수이고 공해물질(E)은 스톡변수이다.

1) (1)식과 이 식의 특성이 유도되는 과정은 Snower(1982), pp. 64-65 참조.

$$(2) \quad U = U(G, E)$$

$$\begin{array}{ll} \text{여기서} & U_G > 0 \quad U_{GG} < 0 \\ & U_E < 0 \quad U_{EE} < 0 \\ & U_{EG} = 0 \end{array}$$

이렇게 할 경우 (3)식과 같은 목적함수가 설정된다. 이 때의 제약함수는 (1)식과 같다.

$$(3) \quad \text{Max} \int_0^{\infty} e^{-rt} U(E, G) dt$$

$$\text{subject to } \dot{E} = f(G, E)$$

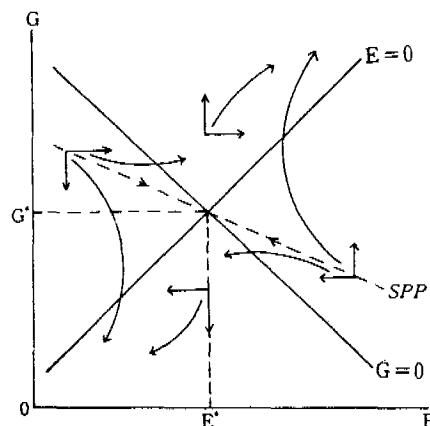
여기서 G 는 제어변수(control variable)이고, E 는 상황변수(state variable)이다. 이 경우 해밀تون함수(Hamiltonian)은 (4)식과 같고, (4)식의 1계조건에서 (5)식을 유도할 수 있다.²⁾

$$(4) \quad H = U(G, E) + u f(G, E)$$

$$(5) \quad \dot{G} = g(G, E)$$

<그림 1>은 G 와 E 의 시간경로를 나타낸다. $-(f_E/f_G) > 0$ 이기 때문에 $\dot{E} = 0$ 함수는 우상향하고, $-(g_E/g_G) < 0$ 이기 때문에 $\dot{G} = 0$ 함수는 우하향한다. 안정상태(stationary state), 즉 $\dot{E} = \dot{G} = 0$ 인 상태는 (E^*, G^*) 로 나타나 있다. 불안정상태(non-stationary state)는 화살표로 나타나 있다.

<그림 1>에서 사회적 적정성(social optimality)의 필요충분조건을 나타내는 E 와 G 의 시간경로는 SPP로 나타나는 안장점 경로(saddle-point path)이다. 이 경로는 우하향한다. 초기에 E 와 G 가 임의의 점 (E_0, G_0) 에 있다면 E 와 G 가 SPP에 있도록 환경표적이 설정되어어야 한다. 이런 동태적인 모형이 주어진다면 기술진보의 형태에 따라 환경표적이 어떻게 변화하는가를 알 수 있다.



<그림 1>

2) (5)식과 이 식의 특성이 유도되는 과정은 Snower(1982), pp. 66-67 참조.

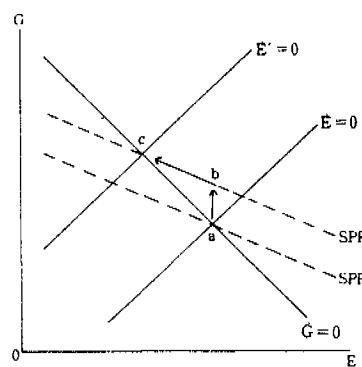
2. 기술변화에 대한 환경표적의 적정한 반응

일반적으로 기술진보가 발생하면 이제까지와는 다른 새로운 환경표적 경로가 필요하게 된다. 즉 새로운 안정상태(stationary state)로 적정경로를 유도하기 위해서는 환경표적이 어떻게 변화되어야 하는가 하는가를 파악할 필요가 있다.

환경표적의 변화를 동태적으로 파악하기 위해서는 기간을 구분할 필요가 있는데, 여기에서는 기간을 단기, 중기, 장기로 구분하기로 한다. 단기는 공해물질의 스톡은 불변이나 소비재와 공해처리활동수준은 변할 수 있는 기간이다. 중기는 공해물질의 스톡은 변할 수 있으나 새로운 안정상태는 구해지지 않는 기간이고, 장기는 이전의 안정상태로부터 새로운 안정상태로의 이전이 완전히 일어나는 기간이다.

기술진보의 형태가 다르면 환경표적의 동태적 경로도 다르게 된다. 새로운 경로는 생산과 공해처리 과정에서 새로운 변화를 발생시킨다. 기술진보의 형태도 여러 가지가 있으나 본 연구에서는 네 가지 형태의 기술진보로 나누어 분석하고자 한다. 본 연구에서는 환경표적, 생산수준, 공해처리수준, 그리고 폐기물 처리수준 등의 요인에서 변화가 일어날 때, 단기, 중기, 그리고 장기에서 어떤 적용과정이 발생하는가를 분석해 보고자 한다.

첫번째 경우는 소비재 생산과 공해처리과정에서 노동생산의 '중립적'인 증가에 의한 것이다. 즉 소비재 생산과 공해처리간의 생산가능곡선이 기울기는 변하지 않고 밖으로 이동하는 경우이다. 이 경우는 <그림 2>에 나타나 있다. 이런 기술진보는 주어진 노동력으로 더 많은 생산과 공해처리를 가능케 한다. 이 경우 종전과 같은 양의 소비재를 생산하면 노동력이 남게 되는데, 이 노동력으로 공해물질의 스톡은 불변인 채 새로운 생산이나 공해처리활동에 배분하는 것이 가능하다. 이 경우 공해물질의 순변화는 불변인 채 G 의 생산은 상승한다. 이 때 $E-G$ 평면에서 $\dot{E}=0$ 함수는 상방으로 이동한다. 노동생산성 증가는 소비재 생산과 공해처리간의 생산가능곡선의 기울기를 변화시키지 않기 때문에 (그 결과 f_G 를 변화시키지 않기 때문에) $\dot{G}=0$ 함수는 불변이다. <그림 2>에 나타나듯이 안정상태는 a 에서 b 로 이동한다. 그리고 안장점 경로(saddle point path)는 SPP 에서 SPP' 로 상방이동한다. 단기에는 균형점이 a 에서 b 로 이동함에 따라 환경표적수준이 조정되어야 한다. a 점에서는 순공해물질이 0이지만 b 점에서는 陰이다. 따라서 단기에서는 환경표적수준이 낮아져야 한다. 즉 순공해물질이 감소되어야 한다. 점 a 에서 점 b 로의 이동은 생산수준의 증가를 포함한다. 생산수준의 증가에도 불구하고 순공해물질이 감소하기 위해서는 공해물질 처리수준의 증가가 필요하다.



<그림 2>

중기에서는 균형점이 안장점경로 SPP' 를 따라 b 에서 c 로 이동하는데, 이것에 따라 환경표적도 조정되어야 한다. 이 과정에서는 생산수준은 점진적으로 증가한다. 이런 과정은 노동력이 공해물질 처리부문에서 생산부문으로 이전될 때 가능하다. 따라서 공해처리 수준은 감소한다. 생산량 (G)의 증가, 공해처리 (S)의 감소, 그리고 자연적인 공해처리의 감소(공해물질 스트의 감소로 인한), 이 모든 것들은 순공해물질의 증가를 포함한다. 이런 경향을 상쇄하기 위해 중기에서는 환경표적이 증가되어야 한다. 기술진보에 대한 환경표적의 반응은 시간이 경과함에 따라 단조적으로 변하지 않는다. 즉 환경표적은 단기에서는 하락하지만 중기에서는 상승하여 '기간간 표적 역전'(intertemporal target reversal) 현상을 나타내고 있다.

장기에서는 a 점(이전의 안정상태)에서 c 점(새로운 안정상태)으로의 완전한 이동이 일어난다. 새로운 안정상태에서는 보다 많은 양의 공해물질이 발생하고 보다 적은 양의 공해물질이 자연에 의해 정화된다. 따라서 새로운 안정상태에서는 인위적인 공해처리수준이 증가되어야 한다.

두번째 경우는 공해처리의 중립적인 기술진보, 즉 공해배출함수가 하방으로 이동하는 것에 의한 것이다. 첫번째 경우와 마찬가지로 기술진보가 일어난 경우 보다 작은 노동량 투입으로 종전과 같은 산출물과 공해처리서비스를 생산할 수 있기 때문에 남은 노동력으로 공해물질을 종전과 같은 수준으로 유지하면서 생산량을 증가시킬 수 있다. 이 경우 $E-G$ 평면에서 $\dot{E}=0$ 함수는 상방으로 이동하나 $\dot{G}=0$ 함수는 불변이다. 이전의 균형점에서 새로운 균형점으로 이동하는 과정은 첫번째 경우, 즉 <그림 2>의 경우와 같다.

먼저 단기의 경우를 보면 환경표적은 첫번째 경우와 마찬가지로 생산이 증가함에 따라 그 수준이 증가해야 한다. 그러나 첫번째 경우와는 달리 공해물질 처리서비스는 감소한다. 이것은 다음과 같은 이유에서이다. 중립적인 공해처리기술이 발전함에 따라 보다 적은 노동력으로 종전과 같은 수준의 공해처리서비스를 행할 수 있다. 남는 노동력의 일부는 <그림 2>의 경우와 마찬가지로 생산수준을 상승시키게 된다. 따라서 단기에서는 공해처리서비스 수준은 감소한다.

중기에서의 조정과정은 첫번째 경우와 거의 같다. 즉 노동력이 공해물질 처리부문에서 생산부문으로 이전함에 따라 생산수준은 증가하고 공해처리수준은 감소한다. 이 모든 과정들은 순공해물질의 증가를 포함한다. 이런 경향을 상쇄하기 위해 중기에서는 환경표적이 증가되어야 한다. 기술진보에 대한 환경표적의 반응은 단기에서는 하락하지만 중기에서는 상승하여 '기간간 표적 역전'(intertemporal target reversal) 현상을 나타내고 있다. 장기에서는 첫번째 경우와 반대로 공해처리수준은 감소한다.

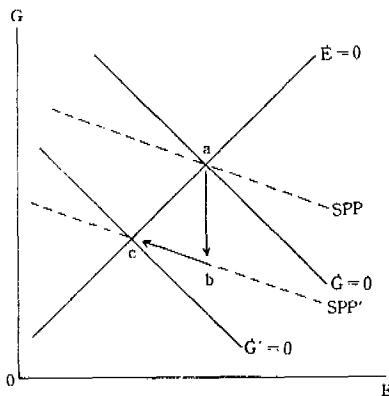
세번째 경우는 공해처리과정에서 한계폐기물이 감소하는 것이다. 즉 공해처리과정에서 다시 공해물질이 배출되는데, 이 과정에서 공해처리의 1단위 증가에 따른 폐기물 배출이 기술진보에 의하여 감소하는 것이다. 이 때의 변화는 <그림 3>에 나타나 있다. 이런 기술진보는 $E-G$ 평면에서 $\dot{G}=0$ 함수를 하방으로 이동시킨다.³⁾ 반면 $\dot{E}=0$ 함수의 위치는 변하지 않는다. 순폐기물이 a 점에서는 0이고 b 점에서는 陰이기 때문에 환경표적은 낮아져야 한다. 이런 과정은 노동력이 생산부문으로부터 공해처리부문으로 이전하는 것을 나타낸다. 그 결과 순폐기물의 양은 감소한다.

중기에서는 균형점이 b 점에서 c 점으로 이동한다. 이 과정은 생산수준의 증가를 포함한다. 즉 노동력은 공해처리부문에서 생산부문으로 다시 이동되는데 그 결과 공해처리

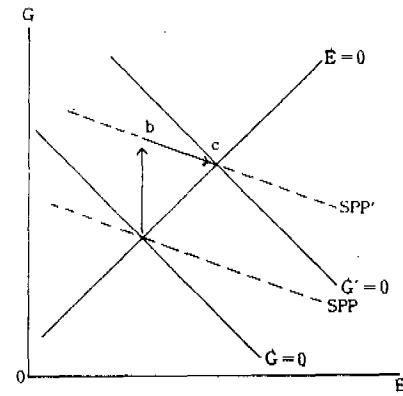
3) 이 특성이 유도되는 과정은 Snower(1982), pp. 72-72 참조.

수준은 감소한다. 따라서 공해처리부문으로 노동력이 새로이 유입되어야 하는데, 이를 위해서는 환경표적이 증가되어야 한다. '기간간 표적 역전'(intertemporal target reversal)이 기술진보에 대한 적정한 반응이라는 것을 알 수 있다.

네번째 경우는 기술진보가 일어나 소비 또는 생산으로부터 발생하는 공해물질의 한계치가 감소하는 것이다. 이런 기술진보는 $E-G$ 평면에서 $\dot{G}=0$ 함수를 상방으로 이동시킨다.⁴⁾ 이 경우 $\dot{E}=0$ 함수도 약하게 변하지만 여기에서는 무시하고 $\dot{E}=0$ 함수는 불변이라고 가정한다. 이것은 <그림 4>에 나타나 있다. 이 경우를 보면 단기에서는 환경표적이 상승한다. 그 결과 인위적인 공해처리수준은 감소하고 생산은 확대된다. 중기에서는 환경표적은 하락한다. 따라서 인위적인 공해처리수준은 공해처리수준은 확대되나 생산은 감소한다. 이 경우에도 '기간간 표적 역전'(intertemporal target reversal)이 일어난다.



<그림 3>



<그림 4>

III. 공해방지정책수단과 공해방지기술개발

1. 공해방지정책수단

이 장에서는 제반 공해억제 정책수단들이 공해방지를 위한 기술개발에 미치는 영향의 정도를 파악해 보기로 한다. 공해억제를 위한 기술변화의 과정은 크게 세가지 단계로 구분된다. 첫째, 기술혁신(innovation), 즉 여러 기업간에 널리 이용가능한 기술을 발견하는 것, 둘째, 확산(diffusion), 즉 기업들 사이에 새로운 기술을 채택하도록 촉진하는 것, 셋째, 정부기관의 적절한 반응(optimal agency response), 즉 규제자가 기술혁신의 결과로 공해를 통제하는 것이다.

일반적으로 이용되는 공해방지수단으로 다음의 다섯가지를 들 수 있다. 1) 직접통제(direct control), 2) 보조금(emission subsidies), 3) 공해세(pollution tax), 4) 오염권의 무료제공(free marketable permits), 5) 오염권의 판매(auctioned marketable permits) 등이다.

공해억제의 사회적 이득은 <그림 5>에 나타나 있다. 여기에서는 기간당 공해물질의 양

4) 이런 특성이 유도되는 과정은 Snowr(1982), p. 75 참조.

이 제어변수가 된다. (1)식과는 달리 공해물질의 양이 풀로우변수이다. MD는 한계피해곡선, 즉 폐기물을 한 단위 증가시킬 때 피해액이 증가하는 정도를 나타내는 것이고, MC는 한계제거비용곡선, 즉 폐기물을 한 단위 감소시키기 위해 추가로 지불해야 하는 비용을 말한다. 공해물질의 최고치는 E"이고 사회적으로 적정 수준은 E'이다.

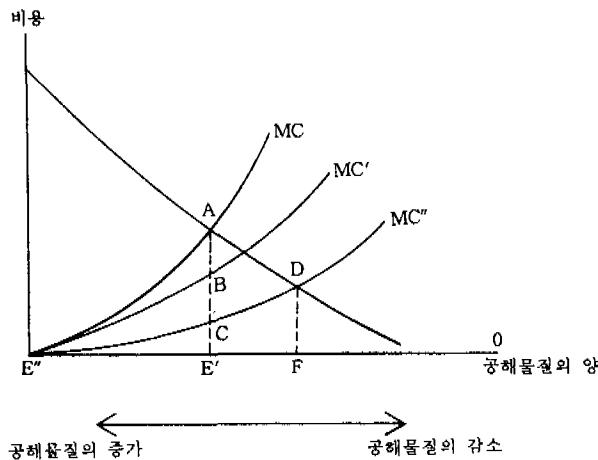
기술변화의 제 1단계(기술혁신)에서는 한계제거비용곡선이 MC에서 MC'로 이동한다. 이 경우 이전과 같은 통제수준에서 사회적 이득은 E"AB이다. 제 2단계(확산)에서는 MC"로 이동하는데, 이 경우 E"BC의 추가적인 사회적 이득이 생긴다. 제 3단계(정부기관의 적절한 반응)에서는 공해물질의 적정 배출량은 E'에서 F로 감소하고, 이 때의 추가적인 사회적 이득은 CAD이다.

이제 <그림 6>을 이용하여 각 정책수단의 내용을 설명하면 다음과 같다. 먼저 다수의 기업이 존재하는 임의의 한 산업을 상정한다. 각 기업은 동일한 공해물질을 배출하고 있다. 산업전체의 공해물질 배출량이 E'이면 개별기업의 배출량은 e'이다. 각 개별기업의 배출량을 e' 수준에서 규제하는 방법을 설명하면 다음과 같다.

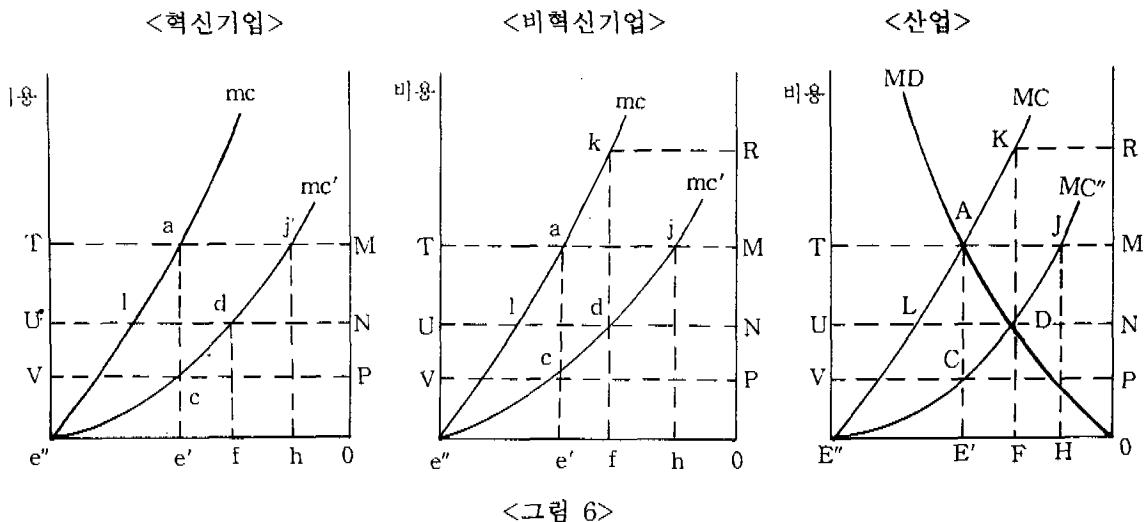
- 1) 각 기업마다 기간당 공해물질 배출량을 e' 수준에서 통제.
- 2) e' 이하로 공해물질을 줄이는 기업에게 단위당 T의 보조금을 지급.
- 3) 공해물질 배출기업에게 배출 단위당 T의 공해세를 부과.
- 4) 각 기업에게 e'만큼 공해물질 배출량을 허용.
- 5) 전체 E'의 공해물질 허용치를 단위당 T의 가격에 판매.

이제 한 기업이 기술혁신을 일으킨 경우를 보자. 한 기업이 기술혁신을 일으키면 그 기업의 한계비용곡선이 mc에서 mc'로 이동한다. 이 기술이 여러 기업에게 널리 확산되면 그 기업들의 한계비용곡선이 mc에서 mc"로 이동하는 효과를 가지기 때문에 개별기업의 한계비용곡선을 수평으로 더한 산업의 한계비용곡선은 MC에서 MC"로 이동한다.

이 경우 최적오염수준이 달라진다. 즉 1) f 수준에서 공해물질 배출량을 직접 통제하거나(전체적으로 F 수준), 2) F 수준의 공해물질 배출량을 자유로이 또는 경매에 부쳐 허용하거나, 3) 공해세나 보조금을 T 수준에서 U 수준으로 인하함으로써 최적오염수준에 도달할 수 있다.



<그림 5>



2. 기술변화를 촉진하는 상대적 순위

공해억제를 위한 기술변화는 기술혁신, 확산, 그리고 정부기관의 적절한 반응 등의 과정을 거치는데, 각 과정이 잘 진행되느냐의 여부는 각 과정 발생전후의 공해 제거비용의 차이에 달려 있다. 기업의 공해제거와 관련된 비용은 세가지 형태이다. 1) 공해제거의 직접비용, 즉 설비비용, 운전비용 등, 2) 관련이전비용, 즉 공해세와 같이 기업이 지불하는 비용, 3) 관련이전이득, 즉 보조금이나 특허권 등 기업이 수취하는 것(陰의 비용)이다.

이제 다섯 가지의 규제방법이 공해제거와 관련된 세가지 비용을 어느 정도 절감시키는지 그 순서를 알아보기로 한다.

<표 1>에서 기술혁신 이전이나 이후의 비용은 공해제거의 직접비용(direct costs)에 이전손실(transfer losses)을 더하고 이전이득(transfer gains)을 뺀 것이다. 이전손실은 오염권과 관련하여 규제자에게 지불하는 제반 비용을 나타내고, 이전이득은 기업이 받는 보조금 등을 나타낸다. 직접통제의 경우를 보면 기술혁신 이전에는 공해물질 배출량이 e' 수준에서 통제되어 있기 때문에 공해제거의 직접비용은 $e''ae'$ 이다. 기술혁신 이후에는 한계비용곡선이 mc 에서 mc' 로 이동하였기 때문에 공해제거의 직접비용은 $e''ce'$ 이고, 비용의 감소폭은 $e''ac$ 가 된다. 다른 네가지 규제방법의 경우 기본적인 원리는 직접통제의 경우와 비슷하나 이전손실 또는 이전이득을 포함하고 포함하고 있다는 점이 다르다. 보조금의 경우 비용이 陰인 것은 직접비용보다 이전이득이 많아 기업이 순이득을 얻기 때문이다. 다섯가지 규제수단 중 직접통제의 경우가 기술혁신으로 인한 비용의 감소폭이 제일 작아 기업에게 기술혁신을 촉진하는 정도가 제일 낮고, 나머지 네가지 경우는 그 정도가 같다.

<표 1> 기업에게 기술혁신(innovation)을 촉진시키는 순서

	직접통제	보조금	오염권의 무료제공	오염권의 판매	공해세
1. 기술혁신 이전의 비용	e"ae'	-e"Ta	e"ae'	e"AMO	e"AMO
2. 기술혁신 이후의 비용	e"ce'	-e"Tj	e"ce' -caj	e"jMO	e"jMO
3. 비용의 변화(2-1)	-e"ac	-e"aj	-e"aj	-e"aj	-e"aj
4. 순위	5	1	1	1	1

출처: Milliman and Prince(1989), p 252에서 재작성.

<표 2> 기술확산(diffusion)을 촉진하는 상대적 순위

	직접통제	보조금	오염권의 무료제공	오염권의 판매	공해세
기술혁신을 한 기업					
1. 기술확산 이전의 비용 <표1의 2행>	e"ce'	-e"Tj	e"ae' -caj	e"jMO	e"AMO
2. 기술확산 이후의 비용	e"ce'	-e"Tj	e"ce' caj	e"cPO -cjMP	e"jMO -
3. 비용의 변화(2-1)	-	-	5	1	2
4. 순위	2	2			
기술혁신을 하지 않은 기업					
5. 기술확산 이전의 비용 <표1의 1행>	e"ae'	-e"Ta	e"ae'	e"AMO	e"AMO
6. 비용의 변화(2-5)	-e"ac	-e"aj	-e"ac	-e"AMPC	-e"aj
7. 순위	4	2	4	1	2

출처: Milliman and Prince(1989), p 253.

<표 2>는 공해억제를 위한 기술변화의 두번째 단계인 기술확산을 촉진하는 상대적 순위를 규제수단별로 나타내고 있다. 공해억제를 위한 기술변화의 과정에서는 먼저 선도기업이 기술혁신을 하고, 다음으로 그 기술이 다른 기업에 확산이 되면 그 기업도 그 기술을 사용하게 된다. 따라서 기술확산의 단계에서는 기술혁신을 한 기업과 기술혁신을 하지 않은 기업과는 공해억제를 위한 비용의 차이가 있게 된다. 먼저 기술혁신을 한 기업의 경우를 보면 직접통제와 보조금, 그리고 오염권 판매의 경우 기술확산 이전과 이후간에 비용의 변화가 없다. 오염권 판매의 경우 기술확산 이전과 이후간에 비용이 감소하나 오염권의 무료제공의 경우 비용이 증가한다. 다음으로 기술혁신을 하지 않은 기업의 경우를 보면 기술확산 이전과 이후간에 모두 비용이 감소하나 그 감소폭이 오염권의 판매의 경우가 제일 크고, 다음으로 보조금과 공해세의 경우가 크고, 직접통제와 오염권의 무료제공의 경우가 제일 작다.

다섯가지 규제수단 중 정부기관의 적절한 반응을 촉진하는 순위는 <표 3>에 나타나 있다. 이 표는 공해 통제에 따른 생산량 조정 이전과 이후의 산업 전체의 비용 변화를 나타내고 있다. 공해세의 경우 생산량 조정 이전과 이후 사이에 비용의 감소가 일어나고 있다. 나머지 네 경우는 비용의 증가가 발생하고 있으나 그 정도의 순위는 정해지지 않는다. 공해세의 경우 비용감소율을 유발하기 때문에 공해통제에 따른 생산량 조정에 찬성하게 하나, 나머지 네 경우는 비용증가율을 유발하고 있기 때문에 공해통제에 따른 생산량 조정에 반대

하게 한다.

<표 3> 정부기관의 적절한 반응(optimal agency response)을 촉진하는 순위(전산업)

	직접통제	보조금	오염권의 무료제공	오염권의 판매	공해세
1. 통제에 따른 조정 이전의 비용	E''CE'	-E''TJ	E''CE'	E''CPO	E''JMO
2. 통제에 따른 조정 이후의 비용	E''DF	-E''UD	E''DF	E''DNO	E''JMO
3. 비용의 변화(2-1)	E'CDF	UTJD	E'CDF	CDNP	-DJMN
4. 순위	2-5	2-5	2-5	2-5	1
5. 통제에 따른 조정에 대한 입장	반대	반대	반대	찬성	찬성

출처: Milliman and Prince(1989), p 255에서 재작성

<표 4>는 기술변화의 전과정에 대한 기술혁신기업의 이득을 규제수단별로 나타내고 있다. 기술혁신 이전에 비해서 공해규제방법에 의하여 공해통제가 일어난 후, 즉 새로운 균형점에 도달한 이후의 공해처리비용의 변화를 나타내고 있다. <표 4>에 의하면 오염권 판매의 경우와 공해세의 경우가 비용의 변화가 險으로 나타나 비용이 감소함을 나타내고 있다. 나머지 세 경우는 비용의 변화가 陽인지 陰인지 분명히 결정되지 않는다.

<표 4> 기술변화의 전과정에 대한 기술혁신기업의 이득

	직접통제	보조금	오염권의 무료제공	오염권의 판매	공해세
1. 기술혁신 이전의 공해처리비용	e''ae'	-e''Ta	e''ae'	e''aMO	e''aMO
2. 통제에 따른 조정 이후의 공해처리비용	e''cf	-e''Ud	e''df	e''dNO	e''jMO
3. 공대처리비용의 변화 (2-1)	e'cdf-e''ac	-e''ld+UTal	e'cdf-e''ac	-e''aMNd	-e''aMNd
4. 공해처리비용의 감소여부	불확실	불확실	불확실	감소	감소

출처: Milliman and Prince(1989), p 255에서 재작성

Jaffe and Stavins(1991)은 기술확산(diffusion)에 중점을 두고 기술확산을 일으키기 위한 정책수단을 크게 직접규제(direct control)와 경제적 유인(economic incentives)으로 나누고 에너지 절약형기술의 채택에 미치는 효과를 분석하였다. 일반적으로 직접규제는 명령 및 통제(command and control), 즉 기술수준이나 성과수준을 정하는 것을 말하고, 경제적 유인은 시장기능에 기초를 둔 환경정책을 말한다. Jaffe and Stavins은 이 두 경우 중 어느 것이 환경보호를 위한 기술개발을 보다 촉진시키는지 파악하기 위한 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 이 모형에 의하면 어느 것이 보다 기술확산을 촉진하는지는 각 경우에 따라 다른 것으로 나타났다.

3. Marin의 비판

Milliman and Prince에 의하면 공해통제수단 중에서 공해세와 경매에 의한 오염권 판매의 경우가 기술변화를 유발하는 정도가 제일 크다고 하였다. 그러나 Marin은 경매에 의한 오염권의 판매방식의 효율성이 과대평가되었다고 주장한다. 무엇보다 경매에는 많은 관리비용이 소요되는데 이를 무시하였다는 것이다. 일반적인 경매는 한 대상물을 상대로 입찰을 하지만, 공해물질을 배출할 수 있는 권리에 대해 경매를 할 때는 배출량의 변화에 따라 오염권의 단위당 가격에 대해 입찰을 하기 때문에 매우 복잡해진다는 것이다.

이와 함께 생산물 시장과 함께 자본시장이 불완전하다면 소규모기업들은 오염권을 구입하는데 보다 높은 비용을 지불해야 하고 이것은 경매에 의한 오염권의 판매방식의 효과를 의문케하는 요인이다.

그리고 Milliman and Prince 모형은 규제자에 의해 적정수준에서 공해가 통제되고 있고, 그리고 새로운 기술이 도입되면 새로운 적정수준을 찾는다는 것이 전제되어 있다. 그러나 실제의 경우 공해물질 배출량의 목표치는 임의로 정해진다. 왜냐하면 공해 제거의 수익과 비용을 제대로 모르는 등 불확실성이 크기 때문이다.

IV. 선진국의 환경에 대한 연구개발투자 현황

대부분 선진국가들의 경우 국민들의 건강을 위하여 엄격한 기준을 세워 공해물질 배출을 통제하고 있다. 그것에 소요되는 비용이나 산업체에 부과되는 부담보다는 국민들의 삶의 질을 고려하여 기술수준에 대한 정도를 정하여 그것을 달성하도록 강제하고 있다. 예를 들면 자동차의 배기ガ스에 대한 기준을 설정하는 것이다.

기술진보를 날성하기 위한 주요한 원동력으로는 연구개발(R & D)을 들 수 있다. 여기에서는 선진국들의 환경에 대한 연구개발 투자 현황을 분석하고자 한다. 환경에 대한 연구개발 투자를 분석하는데는 몇가지 문제점이 따른다. 각 국가마다 행정관청이나 기업조직에서 연구관련업무를 처리하는 방식이 다르다. 그리고 연구개발의 정의가 명확하지 않아 어느 선까지 연구개발비에 포함시켜야 하는지 분명하지 않다.

이런 문제점은 있지만 선진국들의 환경관련 연구개발투자에 대해 고찰해보기로 한다. <표 5>는 선진국들의 환경관련 연구개발에 대한 정부지출액과 그 규액이 정부의 전체 연구개발비 중에서 차지하는 비율을 나타낸다. 여기의 금액은 1985년 불변가격을 나타낸다. 1980년과 1990년을 비교해 보면 벨기에를 제외하고는 나머지 국가에서는 정부의 환경관련 연구개발비가 증가하였다. 정부의 전체 연구개발비 중에서 환경관련 연구개발비가 차지하는 비율을 보면 양기간 사이에 감소한 국가가 일부 있으나 증가한 국가가 다수이다. 그러나 아직까지도 전체 정부 연구개발비 중에서 차지하는 비율을 대부분의 국가의 경우가 1-3 %정도로 극히 미미하다. 이것은 대부분의 국가에서 이전에는 환경정책이 명령 및 통제(command and control)이었는데, 점차 환경관련 기술을 점차 중시하여 연구개발 부문에 보다 많은 자원을 배분하고 있으나 그러나 아직은 그 수준이 극히 미약하다는 것을 나타낸다.

현재 선진국에서는 환경산업이 급속히 발전하고 있다. 환경산업을 정의하기는 어렵지만 대개 공해제거시설을 공급하고 환경보호와 관련된 제반 재화와 서비스를 공급하는 것을

포함하는 것으로 인식된다. 1990년 현재 OECD국가들의 환경산업 산출액은 1850억달러, 세계 전체의 경우 2,000억 달러 정도 되고, 2,000년에는 3,000 달러로 상승할 것으로 추산 된다.(OECD, 1992, pp. 196-197). OECD국가들의 환경산업 중에서 연구개발과 관련된 비용은 1990년 현재 연간 100억 달러 정도 되고, 이 비용의 약 80%는 기업에 의해 공급되는 것으로 추정된다. 환경산업과 관련된 연구개발 비용은 주로 미국, 일본, 그리고 독일에 의해 공급되는데 이를 국가가 전체 OECD국가들 연구개발비의 43%, 16%, 그리고 15%를 부담하고 있다.(OECD, 1992, p 197).

<표 5> 정부의 환경보호 연구개발비와 그것이 정부의 연구개발비 중에서 차지하는 비율
단위: 백만 달러(1985년 불변가격), %

	1980	1986	1990
호 주	31.1 (2.9)	16.3 (1.3)	36.0 (2.8)
벨 기 에	16.7 (2.8)	14.3 (2.3)	8.3 (1.2)
카 나 다	29.6 (1.6)	50.4 (2.0)	44.4 (1.80)
덴 마 크	5.6 (2.1)	4.1 (1.0)	15.0 (3.0)
프 랑 스	73.0 (1.1)	39.2 (0.4)	..
독 일	159.1 (2.0)	270.1 (3.2)	370.5 (4.2)
이 태 리	21.9 (1.0)	43.3 (0.9)	..
일 본	..	36.8 (0.5)	..
네델란드	..	49.7 (2.9)	67.5 (4.0)
노르웨이	11.6 (3.0)	10.3 (2.3)	17.4 (2.9)
스 웨 덴	19.5 (1.7)	21.1 (1.60)	45.6 (3.2)
영 국	51.8 (0.7)	83.2 (1.1)	97.7 (1.4)
미 국	306.3 (0.8)	262.4 (0.5)	333.9 (0.6)

주. 1) 호주, 카나다, 스위스, 미국의 경우는 연방중앙정부의 지출액만을 나타냄.

2) 미국의 경우는 자본재에 대한 지출이 제외되었음.

자료: OECD(1992), pp. 194-195.

V. 결 론

이제까지 기술정보와 환경과의 관계를 분석하기 위한 시도의 일환으로 이를 관계에 대해 몇가지 측면에서 고찰하였다. 먼저 기술정보에 따라 환경표적이 어떻게 변하는가를 기술정보의 형태를 네가지의 경우로 구분하여 고찰하였는데, 기술정보의 형태가 다르면, 환경표적의 동태적 경로도 다르게 되고, 기간에 따라 환경표적의 수준도 달라진다는 것을 보았다. 다음으로 공해방지정책수단들을 다섯가지 즉 직접통제, 보조금, 오염권의 무료제공, 오염권의 판매, 그리고 공해세의 경우로 구분하여 각 수단이 공해방지 기술개발에 미치는 영향을 분석해 보았는데, 이 분석에 의하면 여러 정책수단 중 공해세와 오염권 판매의 경우가 기술개발을 유발하는 효과가 큰 것으로 나타났다. 다음으로 선진국들의 환경관련 연구개발 투자현황을 고찰하였는데, 이에 의하면 전반적으로 환경관련 연구개발비는

증가하고 있으나 그러나 그 수준은 미약한 실정이다.

기술진보와 환경과의 관계는 일률적으로 정해지는 것이 아니라, 매우 복잡한 면을 나타내고 있다. 기술진보가 환경의 질을 개선시키기 방향으로 이루어지기 위해서는 적절한 정책들이 뒤따라야 한다. 이를 위해서는 이론적, 실증적인 면에서 보다 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 김명자, 동서양의 과학전통과 환경운동, 동아출판사, 1991.
- Ausubel J. H. and H. E. Sladovich(eds.), *Technology and Environment*, National Academy Press, 1989.
- Downing, P. B. and L. J. White, "Innovation in Pollution Control", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 13, No. 1, March 1986.
- Jaffe, A. B. and R. B. Stavins, *Evaluating the Relative Effectiveness of Economic Incentives and Direct Regulation for Environmental Protection: Impacts on the Diffusion of Technology*, Discussion Paper, Resources for the Future, 1991.
- Magat, W. A., "Pollution Control and Technological Advance: A Dynamic Model of the Firm", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 5, No. 5, March 1978.
- Marin A., "Firm Incentives to Promote Technological Change in Pollution Control: Comment", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 21, No. 3, November 1991.
- Millman, S. C., and R. Prince, "Firm Incentives to Promote Technological Change in Pollution Control", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 17, No. 3, November 1989.
- _____, "Firm Incentives to Promote Technological Change in Pollution Control: Reply", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 22, No. 3, May 1992.
- OECD, *Technology and the Economy(The Key Relationship)*, 1992.
- Shortle, J. S. and D. G. Abler, "Innovation and Environmental Quality: The Case of EC and US Agriculture", F. Dietz et al.(ed.), *Environmental Policy and the Economy*, Elsevier Science Publishers, 1991.
- Snower, D. J., "Dynamic Environmental Targets and Technological Progress", *International Economic Review*, Vol. 23, No. 1, February 1982.
- World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*, Oxford University Press, 1987.
- World Bank, *World Development Report(Development and the Environment)*, 1992.