排氣가스 排出抑制의 費用-收益分析

李 弘 求

人爲的인 排氣가스의 排出이 急增함에 따라 나타날 것으로 예상되는 地球溫暖化를 방지하기 위해서는 에너지 소비절약과 화석연료의 대체를 통해서 CO_2 배출량을 축소시키는 노력이 필요하다. 그런데 排氣가스의 排出을 억제하는 데에는 많은 費用이 들 것이므로 排出抑制手段으로는 費用效率的인 경제적 수단이 동원될 가능성이 높다. 本稿는 溫暖化 防止手段으로 경제적 수단이 동원될 경우를 상정하여 기후변화 방지의 비용-수익분석을 통하여 최적 배출억제규모를 시산하고 있다.

CO_2 농축도가 현재 수준보다 倍增하는 경우 평균기온이 약 3℃ 상승한다고 가정하고, 3℃ 상승이 유발하는 경제적 피해가 GNP의 0.25%, 1%, 2%에 이르는 세가지 시나리오를 상정하여 CO_2 배출량 감축의 수익을 시산하였다. 單純成長-氣候變化 模型에 기초하여 試算한 結果에 의하면 우리나라의 경우 1990년을 기준으로 할 때 최적 CO_2 배출량 감축규모는 파라미터값에 따라 현재수준의 2~15% 정도에 이르는 것으로 나타났다. 그리고 배출감축시점을 지연시키는 경우 減縮規模는 현재시점을 기준으로 했을 때보다 커질 수도 있고 작아질 수도 있으나, 향후 기후관련 기술진보나 화석연료 사용의 효율성이 높아지는 경우 최적 감축규모는 減縮時點이 연기됨에 따라 증가할 것으로 예상된다.

本稿에서는 또한 최적배출규모가 주어졌을 때 실제로 배출규모를 감축하는 방법으로 동원될 수 있는 炭素稅와 排出權 去來制의 경제적 특징과 장·단점도 논의하고 있다. 이 두가지 수단은 최적조건이 동일한 성질을 갖고 있으므로 비용효율면에서는 동일한 효과를 갖고 있으나 실제운용에 있어서는 서로 다른 장·단점을 지니고 있다.

Ⅰ. 序 論

大氣 중에 濃縮된 이산화탄소(CO_2)의 規模가 급격히 增加함에 따라 나타나는 地球溫暖化 현상에 대한 우려가 점증하고 있다. 지구온난화는 대규모 온실효과라고 할 수 있다. 地球表面에 있는 水蒸氣나 温室가스[1]는 短波(shortwave) 輻射線은 잘 통과시키나 長波(longwave) 輻射線은 잘 통과시키지 않는다. 그런데 복사선 波長의 長短은 輻射熱에 反比例한다. 따라서 지구로 전달되는 太陽熱은 温度가 높기 때문에 파장이 짧아 지구대기를 잘

筆者 : 本院 研究委員

* 草稿를 읽고 유익한 論評을 해주신 鄭鎭勝, 文亨杓 박사께 감사드리며, 試算作業을 도와준 李在榮 研究員과 原稿를 整理해 준 朴恩姬 研究助員께도 감사드린다.

1) GHGs라고도 하며 이산화탄소(CO_2), 염화불화탄

통과할 수 있지만 地表에서 放出되는 복사열은 파장이 길어 지구대기를 벗어나기가 어렵기 때문에 温室效果가 발생하는 것이다[2].

온실효과는 주로 수증기와 자연에서 생성되는 CO_2와 같은 自然發生的인 요인에 기인한다. 그러나 産業革命 이후에는 人爲的인 排氣가스도 온실효과에 기여하고 있다. 특히 자연발생적인 온실효과와 함께 인위적인 온실효과의 비중이 증가함에 따라 지구표면의 복사열 循環體系의 長期均衡이 깨어지면서 전반적인 기온상승이 유발되는 것이다[3].

온난화에 따르는 기온상승은 어떤 부문의 經濟活動에는 도움이 되기도 하지만 다른 부문에는 被害를 입히기도 한다. 温暖化가 경제활동에 미치는 被害를 極小化하기 위해서는 여러가지 방안을 講究할 수 있다. 첫째는 온난화의 원인이 되는 人爲的 온실효과를 防止하는 措置를 취하는 것이다. 둘째는 대기 중에 방출된 이산화탄소를 化學的으로 吸收하는 방법을 開發하는 氣候工學을 발전시키는 것이다. 셋째는 기온상승에 적응하여 産業構造를 調整하고 기후변화에 따르는 피해의 규모를 줄이는 것이다. 이 중에서는 에너지 소비절약과 화석연료의 대체를 통해서 CO_2 배출량을 줄이는 첫째 방안이 가장 實用性이 높을 것으로 예상된다.

그런데 다른 방안들과는 달리 첫째 방안이 효력을 발휘하려면 국제간의 협조와 성실한 협약 이행이 전제되어야만 한다. 최근 전개되고 있는 지구온난화 방지를 목표로 하는 국가간 협약 준비작업은 이러한 맥락에서 이해할 수 있다. 구체적으로 1992년 6월 브라질의 리오에서 열릴 유엔 環境會議(United Nations Environment Conference)에서는 지구온난화 방지를 위한 氣候協約이 체결될 예정이다. 그리고 이를 준비하기 위해서 정부간 협약기구인 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)가 설치되어 기후협약의 기초작업이 추진되고 있다[4]. 구체적인 기후협약의 내용은 아직 협상중에 있지만 세계 각국이 個別努力에 의하든 共同努力에 의하든 지구온난화 방지를 위해 적절한 조치를 취해야 될 것으로 예상된다. 그러나 전통적으로 국가주권이 존중된 전례를 감안할 때 개별국가가 온난화 방지를 위한 배출가스 축소목표를 설정하고 이를 수행하는 방향으로 협약이 체결될 가능성이 크다고 할 수 있다.

지구의 温暖化 效果에 대해 정확하게 예측하는 것도 어렵지만 温暖化를 防止하기 위해서 구체적으로 어떠한 조치를 취하는 것이 좋은가를 판단하기는 더욱 어렵다. 그러나 국가의 政策이든 국제협약의 條項이든 구체적 조치가 취해져야 한다면 經濟的 手段이 중요한 役割을 할 것이라는 것은 자명하다. 왜냐하면 온난화 방지에는 많은 費用이 소요될 것이므

소(CFCs), 메탄가스(CH_4), 아산화질소(N_2O), 오존(O_3) 등을 포함한다. 온실가스의 축적에 수반되는 온실효과에 대한 과학적인 배경설명은 Cline(1991) 참조.

2) 온실효과가 없으면 지표의 평균온도는 15℃가 아니라 -18℃에 머무른다고 한다. 지표의 평균온도 추산방법은 Cline(1991) 참조.

3) 배기가스 배출규모가 현재 수준에서 줄어들지 않으면 지구의 평균기온은 10년마다 0.2~0.5℃씩 상승하고 해수면의 높이도 10년마다 3~10cm씩 높아질 것으로 전망되고 있다(OECD, 1990). 또 다른 자료에 의하면 CO_2 배출량이 배가되는 경우 지표의 평균온도는 1~5℃ 상승할 것으로 전망되고 있다(Nordhaus, 1991a).

4) 국가간 지구온난화 방지협상 준비작업이 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)를 중심으로 91년말현재까지 4차에 걸쳐 추진되었다.

로 비용을 최소화하기 위한 경제적 수단을 강구할 필요가 있기 때문이다. 대표적인 경제적 수단으로는 '炭素稅'나 '排出權 去來制'와 같은 것이 있는데 命令과 規制에 의한 直接規制보다 費用效率面에서 우위에 있다[5]. 이러한 경제적 수단은 배출축소에 소요되는 비용을 가장 잘 아는 個人이나 企業이 排出規模를 결정하도록 誘導하는 것이 특징이다[6].

本稿는 기후협약이 체결될 경우—특히 국가별로 온난화 방지를 위한 조치를 취해야 할 경우—를 상정하여 기후변화 방지에 대한 費用-收益分析을 시도하고 정책수단으로 동원될 經濟的 手段을 평가하고자 한다. 본고에서는 CO_2[7] 배출규모를 縮小하기 위해 경제적 수단을 導入하는 경우 효율적인 축소규모가 어떤 수준인가를 추정한다. 이를 위해서 Nordhaus(1977, 1982, 1991a, 1991b)의 연구결과와 우리나라의 자료를 활용하여 배출규모와 농축도를 축소하는 비용과 배기가스축적이 유발하는 피해를 試算한다. 試算作業은 單純한 成長-氣候變化 模型에 기초하여 추진한다.

물론 本稿에서와 같은 分析을 國家單位에 적용할 때는 注意가 필요하다. 分析 自體가 엄밀한 추정치를 導出하는 것이 아니고 대략의 수치를 찾아내는 것이므로 분석단위가 작아질수록 결과가 不正確하게 될 可能性이 있음을 부정할 수 없기 때문이다. 그러나 대기중으로 방출되는 CO_2 중 森林이나 海水面으로 吸收되지 않는 상당한 양의 CO_2는 수백년 동안 대기 중에 머물러 있으며, 일반 公害物質과는 달리 지역적으로 균질적이고 균등하게 분포하기 때문에, 분석결과가 분석단위의 규모에 영향을 받지 않는 線型的 延長이 가능하다고 가정해도 큰 무리가 없으리라고 본다.

II. 氣候-成長模型[8]

지구온난화에 따르는 피해를 줄이기 위한 정책의 효과는 長時間이 경과한 후에 나타난다. 따라서 배기가스의 배출규모 축소가 기후변화에 미치는 영향과 기후변화가 경제에 미치는 영향을 파악하고, 온실효과에 따르는 피해를 줄이는 정책수단을 강구하기 위해서는 기후와 성장의 관계를 나타내는 모형을 설정할 필요가 있다.

氣候-成長模型은 ① 排氣가스의 排出과 氣候變化의 關係, ② 排氣가스의 排出規模 縮小와 사회의 生産-消費行態의 관계, ③ 排出-成

5) 경제적 수단은 ① 비용효율성, ② 동태적 효율성, ③ 수입원 확보 등이 큰 장점이나, 형평성의 유지와 수익-비용추정에 관련된 불확실성이 있기 때문에 경제적 수단의 동원에는 세심한 주의가 필요하다. 자세한 내용은 Barrett(1990) 참조.

6) 석탄을 사용하기 때문에 이산화탄소를 많이 배출하는 기업이 이산화탄소 배출규모를 축소하도록 하기 위해서는 정부가 기업에게 석탄사용량을 점차적으로 줄여나가도록 명령하거나 석탄을 석유나 천연가스로 대체하도록 하는 것이 직접규제의 방법이다.

그러나 정부가 배출규모 축소수준을 정해 놓고 이를 달성하는 경제적 수단(탄소세의 부과나 배출권의 할당)을 동원한다면 개인이나 기업은 배출축소 목표를 가장 최소의 비용으로 달성할 것이다. 즉 배출규모를 축소하는 데에 소요되는 비용이 배출규모를 축소하지 않는 경우에 지불해야 되는 비용과 일치하는 수준에서 축소규모를 결정하기 때문이다.

7) 본고에서는 온실가스를 이산화탄소 등가량으로 환산한 것으로 사용하고 있으므로 CO_2와 온실가스를 엄밀한 의미구분 없이 쓰고 있다.

8) 본고에서 사용하는 기후-성장모형은 Nordhaus (1991a)에 기초한 것이다.

長規模 選擇의 最適化 문제를 기후변화와 排氣가스 排出調節의 動學으로 想定한다.

1. 氣候模型

$$\dot{T}(t)=\alpha\{\mu Q(t)-T(t)\} \quad \cdots\cdots\cdots(1)$$

여기서 $T(t)$: 온실효과로 인한 地表의 평균 온도 상승

$Q(t)$: 지구온난화 가스(GHGs)를 CO_2 等價量으로 표시한 대기 중의 人爲的 CO_2 濃縮度

α : 배기가스의 배출 증가에 따르는 기온상승 遲延要因(지연기간은 6년에서 95년으로 추정된다. 지연기간이 50년인 경우 α는 0.02가 된다.)

μ : CO_2 농축도의 증가가 유발하는 평균기온 상승

을 나타낸다.

2. CO_2 許容規模

$$Q_0+\int_0^s \dot{Q}(t)\,dt \le \bar{Q} \quad \cdots\cdots\cdots(2)$$

여기서 Q_0 : 규모축소가 불가능한 최초 濃縮度

$\bar{Q}$: 最大 許容 농축도

를 나타낸다. 그리고 농축도는 다음과 같은 관계식에 따라 변화한다.

$$\dot{Q}(t)=\beta(\bar{E}(t)-R(t))-\delta Q(t) \quad \cdots\cdots(3)$$

여기서 β : CO_2 배출량 중 대기권에 放出되는 비율(β는 0.5로 추정된다.)

δ : 대기권으로부터 除去되는 CO_2의 비율(CO_2가 대기 중에 머무르는 기간은 200년 정도로 추정된다. 이 경우 δ는 0.005가 된다.)

$\bar{E}(t)$: 배출억제 조치가 취해지지 않았을 경우 正常狀態의 CO_2 배출규모

$R(t)$: CO_2 배출 縮小規模

를 나타낸다.

3. 生產-消費函數

$$C(t)=g(E(t))-f(Q(t)) \quad \cdots\cdots\cdots(4)$$

여기서 $g(E(t))$: 化石燃料 사용의 生産增加效果. 增加·오목함수(화석연료 사용으로 CO_2 배출이 증가하는 것을 생산활동의 증가를 대변하는 것으로 간주한다.)

$E(t)=\bar{E}(t)-R(t)$

$f(Q(t))$: 화석연료 사용의 氣候變化效果. 增加·볼록함수(화석연료 사용으로 대기 중에 CO_2 농축도가 증가하면 기후가 변화하고 생산활동이 감소하는 것으로 상정한다.)

를 의미한다.

4. 成長模型[9]

$$C^*(t)=e^{ht}\{\psi(E^*)-\Phi(T^*)\} \quad \cdots(5)^{10}$$

9) Nordhaus는 정상상태(steady-state)의 성장을 가정한다. 이 경우 실질 경제성장이 증가하더라도 자원의 흐름은 일정하다. 즉 배출과 농축도가 일정하고 기후변화도 안정적이나 경제의 재화와 용역의 생산증가율은 일정하다.

10) 정상상태에서는 $\dot{T}(t)=0$. 여기서 식 (1)을 활용

여기서 C^* : 正常狀態의 소비수준

h : 성장률

E^* : 正常狀態의 CO_2 배출량

T^* : 正常狀態의 기온변화

를 나타낸다.

5. 最適化問題

$$max\ V = \int_0^s U(C(t))\ e^{-\rho t} dt$$

$$\text{s.t. } \dot{T}(t) = \alpha\mu Q(t) - \alpha T(t)$$

$$Q(T) = Q_0 + \int_0^s \dot{Q}(t)\,dt \leq \bar{Q} \quad \cdots(6)$$

여기서 ρ는 未來消費割引率을 나타낸다.

III. 費用-收益分析

1. 最適解

식 (6)으로 표시되는 최적화 문제는 기후변화가 장래의 성장(소비)을 沮害하는 것을 늦추기 위해서 현재의 성장(소비)을 얼마나 줄여야 하는가의 문제와 동일하다. CO_2 배출규모의 축소는 화석연료 사용의 축소를 의미하고, 이것은 생산활동의 鈍化를 의미하기 때문이다.

다음에서는 최적 CO_2 배출량을 算定하기 위해서 식 (6)에 대응하는 Hamilton 함수를 상정하고 CO_2 배출억제의 비용-수익분석을 한다. 식 (6)은 積分制約條件을 갖고 있으나 이 제약조건은 微分方程式 형태의 制約條件으로 代替할 수 있다[11]. 따라서 식 (6)에 대응하는 Hamilton 함수는

$$H = e^{-\rho t}\ u(e^{ht}\{\psi(E^*) - \Phi(T^*)\}) + \lambda_1(\alpha\mu Q^* - \alpha T^*) + \lambda_2(\beta E^* - \delta Q^*) \quad \cdots\cdots(7)$$

로 표시되는데, 여기서 λ_1, λ_2는 乘數函數(또는 costate variable)를 의미한다.

$R(t)$를 操縱變數(control variable), $Q(t)$와 $T(t)$를 狀態變數(state variable)라 하고 Hamilton 함수의 최적조건을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial H}{\partial R} = 0 \quad \cdots\cdots(8\text{-A})$$

$$-\frac{\partial H}{\partial T} = \dot{\lambda}_1 \quad \cdots\cdots(8\text{-B})$$

$$-\frac{\partial H}{\partial Q} = \dot{\lambda}_2 \quad \cdots\cdots(8\text{-C})$$

식 (8-B), 식 (8-C)와 λ_1, λ_2에 대한 橫斷條件(transversality condition), 즉 $\lim_{s\to\infty}\lambda_1(S) = 0$, $\lim_{s\to\infty}\lambda_2(S) < 0$[12]을 활용하면 승수함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

하면 Q를 T의 함수로 유도할 수 있다. 이것을 식 (4)에 대입한 것이 식 (5)이다.

11) 적분형태의 제약식은 이것을 미분한 식 (3)형태의 미분방정식과 상태함수 초기조건, 부등호 형태의 상태함수 말기조건으로 구성된 제약식과 동일하다.

12) 승수함수에 대한 횡단조건을 적용할 때 성장률이 미래소비 할인율보다 작다고 가정한다. 투자수익률, 성장률과 미래소비 할인율의 관계는 S기간동안 향수하는 효용의 현재가치를 극대화하는 다음과 같은 문제로부터 유도할 수 있다. 여기서 목적함수와 예산제약식은 식 (A)와 같이 주어졌다고 가정하자.

$$\max_C\ V = \int_0^s U(C(t))\ e^{-\rho t}\,dt \quad \cdots\cdots(A)$$

$$\text{s.t. } rK(t) + w(t) = C(t) + \dot{K}(t)$$

$$K(0) = K_0 \quad K(s) = K$$

여기서 r : 자본수익률 w : 임금률

$C(t)$: 소비함수 $\dot{K}(t)$: 투자함수

$$\lambda_1 = \frac{e^{(h-\rho)t}}{(h-\rho-\alpha)} U'(c)\ \Phi'(T^*) \cdots\cdots (9)$$

$$\lambda_2 = \frac{e^{(h-\rho)t}}{(h-\rho-\alpha)(h-\rho-\delta)} (-\alpha\mu U'(c)\ \Phi'(T^*)) \cdots\cdots (10)$$

식 (9), (10)을 식 (8-A)에 대입하면 다음 식 (11)을 유도할 수 있으며, 이것으로부터 최적 배출억제규모를[13] 구할 수 있다.

$$\psi'(E^*) = \frac{\alpha\beta\mu\Phi'(T^*)}{(h-\alpha-\rho)(h-\delta-\rho)} = \beta\mu\Phi'(T^*)\Gamma \cdots\cdots (11)$$

여기서 $\Gamma = \frac{\alpha}{(h-\rho-\alpha)(h-\rho-\delta)}$로 정의한다.

식 (11)의 의미는 현재시점의 배출억제비용이 농축도 증가로 유발되는 被害의 現在價値와 같아지는 점에서 最適排出規模가 결정된다는 것이다. 즉 식 (11)의 左邊은 배출량 감소의 限界費用을 나타내고, 식 (11)의 右邊은 단위 배출량의 증가가 농축도의 증가를 통해서 氣溫上昇을 유발할 때 나타난 被害의 現在價値를 표시하는 것으로서 배출량 감소가 유발하는 한계수익을 의미한다.

2. 最適 CO_2 排出量 減縮規模

최적 CO_2 감축규모는 미래소비할인율과 지구온난화 피해의 크기에 따라 결정된다. 지구온난화의 피해가 크지 않고 할인율이 클 때에는 바람직한 CO_2 감축규모가 작을 것이고, 피해규모가 크고 할인율이 작을 때에는 바람직한 CO_2 감축규모가 클 것이다.

本稿에서는 배출량 감소가 유발하는 피해의 감소(수익의 증가)를 직접 추산하지는 않는다. 대신 농축도가 현재수준의 두 배가 되었을 때의 피해에 대해서는 여러가지 推定値가 제시되고 있어서 本稿에서는 Nordhaus(1991 a)가 제시한 수치를 사용한다. 그리고 배출량 감축이 유발하는 收益은 배출량이 증가했을 때의 被害와 동일하다는 가정하에 배출량이 증가되었을 때의 피해를 대신 사용한다.

CO_2 농축도가 현재 수준의 두 배가 되면 평균기온은 현재보다 1℃ 내지 5℃ 상승하는데, Nordhaus(1991a)는 평균기온이 3℃ 상승하는 경우의 피해가 GNP의 2%, 1%, 0.25%에 이르는 세가지 시나리오를 상정하고 있다[14]. 본고에서는 이와 같은 Nordhaus의 시나리오를 도입하여 우리나라에 해당하는 CO_2 배출량 감축의 수익을 시산한다.

CO_2 배출량 감소의 수익을 試算하기 위해서 CO_2 배출량이 현재의 농축도만큼 증가하는 경우를 상정한다. 이 경우 배출량 增加와 CO_2 농축도가 倍增하는 경우의 피해는 식

을 나타내는데, 제약조건에 나타난 미분방정식은 예산제약식이라고 할 수 있다. 이 문제의 Euler 조건을 구하면

$$\frac{d\ Fk}{dt} = F_k \cdots\cdots (B)$$

또는

$$\rho e^{-\rho t} U' - e^{-\rho t} U'' C' = e^{-\rho t} U' r \cdots\cdots (C)$$

와 같이 표시할 수 있다.

식 (C)를 정리하면 $\rho u' - u'' c' = u' r$이 된다. 또 $u' > 0, u'' < 0$를 가정하면 $r = \rho - \frac{u''}{u'} c'$이 되는데, 이것은 다시 $r = \rho + \sigma h$로 표시된다. 여기서 $\sigma = (-\frac{\partial u'}{\partial c} \frac{c}{u'}) = 1$이라고 가정하면 $\rho = r - h$(여기서 $h = \frac{c'}{c}$)가 되는데 본고에서는 이 관계식을 사용한다.

13) 왜냐하면 E는 배출조종을 하지 않았을 때의 배출량에서 배출억제를 뺀 값이므로 E^*는 정상상태에서 배출조종의 함수가 되기 때문이다.

14) Nordhaus(1991a)가 미국 경제를 표본으로 하여 추정한 것이다.

〈表 1〉 CO_2 排出量 減縮의 收益 試算(1990년)

가. CO_2 排出量 減縮의 總收益($\mu \cdot \beta \cdot \Gamma \cdot \Phi'(T^*)$)

(단위 : 10億원)

ρ	Γ \ P	0.02	0.01	0.0025
0.05	44.444	(1)764.1549	382.0774	95.51936
0.06	20.000	343.8731	(2)171.9366	42.98414
0.07	44.444	764.1549	382.0774	95.51936
0.08	20.000	343.8731	171.9366	(3)42.98414

註 : 1) $\beta=0.5$, $\mu=0.013188$
$\Phi'(T^*)=P\times GDP$
GDP=130兆 3,735億원(1990년 : 1985 불변가격)
$P=CO_2$ 증가가 GDP에 미치는 손실도
(CO_2 농축도가 배가될 경우의 손실을 GDP의 %로 표시)
Γ와 $\Phi'(T^*)$ 및 P는 각각 (4x1), (1x3), (1x3) 벡터
2) (1), (2), (3)의 세 경우만 분석한다.

나. CO_2 排出量 減縮의 톤당 收益($\mu \cdot \beta \cdot \Gamma \cdot \Phi'(T^*)/CO_2$)

(단위 : 10億원)

ρ	Γ \ P	0.02	0.01	0.0025
0.05	44.444	.1180673E-04	.5903363E-05	.1475841E-05
0.06	20.000	.5313080E-05	.2656540E-05	.6641350E-06
0.07	44.444	.1180673E-04	.5903363E-05	.1475841E-05
0.08	20.000	.5313080E-05	.2656540E-05	.6641350E-06

註 : 1) $\beta=0.5$, $\mu=0.013188$
$\Phi'(T^*)=P\times GDP$
CO_2=6,472萬 2千톤(1990년 : 이산화탄소 배출량)
GDP=130兆 3,735億원(1990년 : 1985 불변가격)
$P=CO_2$ 증가가 GDP에 미치는 손실도
(CO_2 농축도가 배가될 경우의 손실을 GDP의 %로 표시)
Γ와 $\Phi'(T^*)$ 및 P는 각각 (4x1), (1x3), (1x3) 벡터

(11)의 右邊의 $\Phi'(T^*)$로 나타낼 수 있다. 그리고 위의 세가지 시나리오로 구분하여 試算한 CO_2 배출량 감소의 수익 추정치는 〈表 1〉에서처럼 구할 수 있다[15].

〈表 1〉의 의미는 몇가지 예를 들면 쉽게 이해할 수 있다. (1)의 경우 미래소비 할인율이 0.05이고 농축도가 배증하여 평균기온이 3℃ 상승할 때의 피해가 GNP의 2%라고 하면, 배출수준이 현재 농축도만큼 증가할 때의 피해액이 7,642億원에 이른다는 것이다. (2)의 경우는 할인율이 (1)의 경우보다 높은 0.06이고 기온상승의 피해가 GNP의 1%에 이르는 경우로서 배출수준을 凍結하여 回避할 수 있

15) 시산에 사용된 성장률과 투자수익률로 네가지 경우를 상정하였다. 즉 $(h, r)=\{(4,9), (4,10), (6,13), (6,14)\}$. 성장률이 투자수익률보다 작다고 상정하면 횡단조건을 만족시키는 승수함수를 유도하는 것이 간단해진다. 시산에 사용된 CO_2 배출규모는 吳振圭(1991)가 추산한 수치이다.

〈表 2〉 CO_2 排出量 減縮에 따르는 收益의 變化
$(\mu \cdot \beta \cdot \Gamma \cdot \Phi'(T^*)) \cdot (0.01 \times RR)$

(단위 : 10億원)

CO_2 감축률 (%)	경우 (1)	(증분)	경우 (2)	(증분)	경우 (3)	(증분)
0.0	.000000	—	.000000	-	.000000	—
1.0	7.64155	7.64155	1.71937	1.71937	.429841	.429841
2.0	15.2831	7.64155	3.43873	1.71937	.859683	.429841
3.0	22.9246	7.64155	5.15810	1.71937	1.28952	.429841
4.0	30.5662	7.64155	6.87746	1.71937	1.71937	.429841
5.0	38.2077	7.64155	8.59683	1.71937	2.14921	.429841
10.0	76.4155	7.64155	17.1937	1.71937	4.29841	.429841
11.0	84.0570	7.64155	18.9130	1.71937	4.72826	.429841
15.0	114.623	7.64155	25.7905	1.71937	6.44762	.429841
20.0	152.831	7.64155	34.3873	1.71937	8.59683	.429841
25.0	191.039	7.64155	42.9841	1.71937	10.7460	.429841
30.0	229.246	7.64155	51.5810	1.71937	12.8952	.429841
40.0	305.662	7.64155	68.7746	1.71937	17.1937	.429841
50.0	382.077	7.64155	85.9683	1.71937	21.4921	.429841
60.0	458.493	7.64155	103.162	1.71937	25.7905	.429841
70.0	534.908	7.64155	120.356	1.71937	30.0889	.429841
75.0	573.116	7.64155	128.952	1.71937	32.2381	.429841
80.0	611.324	7.64155	137.549	1.71937	34.3873	.429841

註 : 1) $\beta = 0.5$, $\mu = 0.013188$
$\Phi'(T^*) = P \times GDP$
$RR = CO_2$ 감축률(%)
GDP=130兆 3,735億원(1990년 : 1985 불변가격)
$P = CO_2$ 증가가 GDP에 미치는 손실도
(CO_2 농축도가 배가될 경우의 손실을 GDP의 %로 표시)
Γ와 $\Phi'(T^*)$ 및 P는 각각 (4x1), (1x3), (1x3) 벡터
2) (1), (2), (3)의 세 경우만 분석한 것이다.
경우 (1) : $(\rho, P) = (0.05, 0.02)$
경우 (2) : $(\rho, P) = (0.06, 0.01)$
경우 (3) : $(\rho, P) = (0.08, 0.0025)$

는 피해액이 1,719億원에 이른다는 것을 의미한다.

최적 배출규모를 산정하기 위해서 필요한 배출규모 축소의 한계수익은 〈表 1〉로부터 유도할 수 있다. 〈表 1〉에 나타난 (1), (2), (3) 세 경우에 해당하는 배출규모 축소의 한계수익이 〈表 2〉에 수록되어 있다. 〈表 2〉에서 CO_2 감축률은 1990년의 배출수준을 기준으로 한 감축률을 의미하고, 각각의 경우 왼쪽 列은 總收益을, 오른쪽 列은 限界收益을 나타낸다.

최적 배출규모를 산정하기 위해서는 한계수익뿐만 아니라 限界費用에 관한 情報도 필요하다. 收益推定에서와 마찬가지로 本稿에서는 排出縮小費用 역시 직접 추산하지 않고 Nordhaus(1991b)가 제시한 비용 정보를 활

〈表 3〉 CO_2 排出量 減縮費用(1990년)

CO_2감축률 (%)	총비용[1] (10億US달러)	톤당비용[2] (US달러)	톤당비용[3] (원)	총비용[4] (10億원)	증 분[5] (10億원)
0.0	.000000	.000000	.000000	.000000	—
1.0	.400000E-01	.500000E-02	3.39800	.219925	.219925
2.0	.120000	.150000E-01	10.1940	.659776	.439851
3.0	.240000	.300000E-01	20.3880	1.31955	.659776
4.0	.400000	.500000E-01	33.9800	2.19925	.879701
5.0	.610000	.762500E-01	51.8195	3.35386	1.15461
10.0	2.20000	.275000	186.890	12.0959	1.74841
11.0	2.90000	.362500	246.355	15.9446	3.84869
15.0	6.80000	.850000	577.660	37.3873	5.36068
20.0	16.3000	2.03750	1384.69	89.6196	10.4465
25.0	30.7000	3.83750	2607.97	168.793	15.8346
30.0	49.5000	6.18750	4205.03	272.158	20.6730
40.0	108.000	13.5000	9174.60	593.798	32.1641
50.0	191.000	23.8750	16225.5	1050.14	45.6345
60.0	309.000	38.6250	26249.6	1698.92	64.8780
70.0	475.000	59.3750	40351.3	2611.61	91.2690
75.0	581.000	72.6250	49356.0	3194.42	116.560
80.0	709.000	88.6250	60229.6	3898.18	140.752

註 : 1) CO_2 배출량 감축에 따르는 총비용(Nordhaus, 1991).
2) 1)을 총배출량으로 나눈 것이다(세계전체의 CO_2 배출량은 80億톤).
3) 2)를 대미환율로 환산한 것이다.
(679.60원/US달러, 1989년 ; 한국은행, 『조사통계월보』, 1991. 5)
4) 3)에 한국의 CO_2 배출량을 곱한 것이다.
(한국의 CO_2 총배출량은 6,472萬 2千톤, 1990년)
5) 4)의 증분을 계산한 것이다.

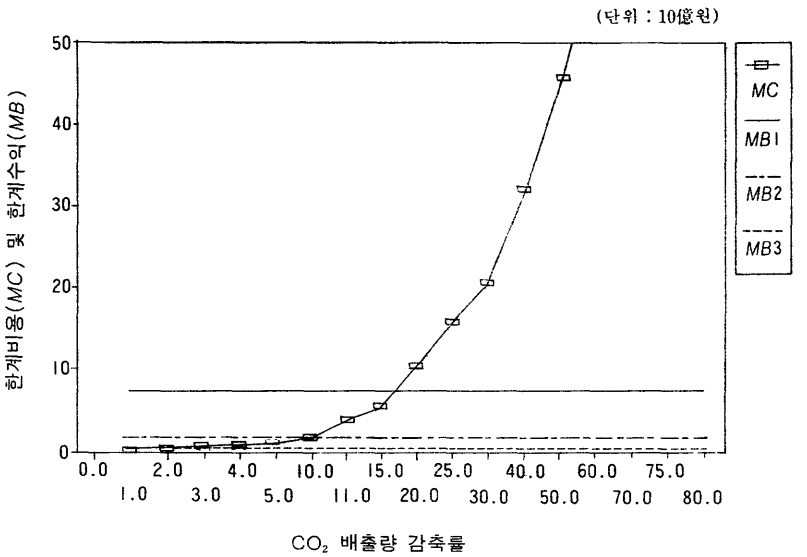
용한다. CO_2 배출량 축소비용은 〈表 3〉에 수록되어 있다.

수익과 비용에 관한 정보가 주어지면 최적 배출축소 규모는 〈表 2〉의 한계수익과 〈表 3〉의 한계비용이 一致되는 水準에서 決定된다. 1990년을 기준으로 할 때 효율적인 CO_2 배출량 감축규모는 피해규모가 크고 할인율이 작은 경우($P=0.02$, $\rho=0.05$)는 현재 수준의 15%가 된다. 피해규모가 중간이고 할인율도 중간일 경우($P=0.01$, $\rho=0.06$)는 현재수준에서 10%, 피해가 미미하고 할인율이 클 경우($P=0.0025$, $\rho=0.08$)는 현재수준에서 2%만 減縮하면 될 것이다.

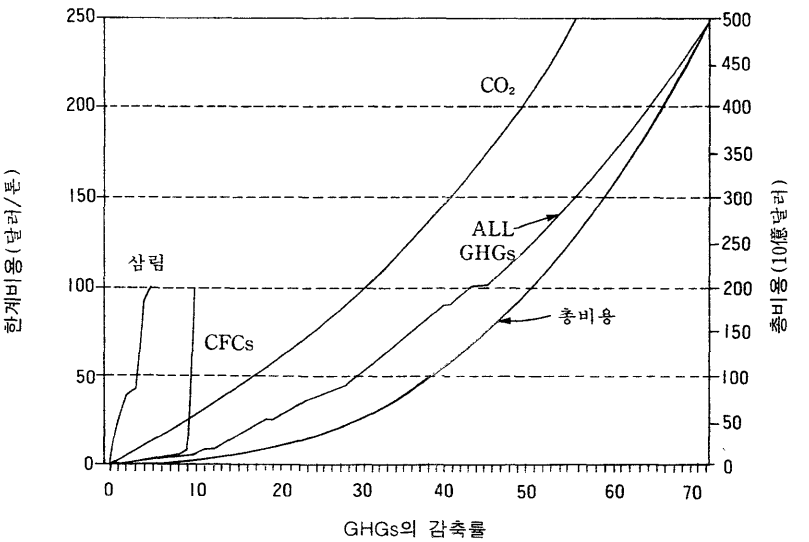
한계비용과 한계수익이 일치하는 최적 배출축소규모는 [圖 1]에서와 같이 例示할 수 있다. 여기서 한계수익곡선은 일정한 값을 갖는 水平線이며, 한계비용곡선은 右上向하는 형태를 갖춘다. 한계수익곡선과 한계비용곡선이 交叉하는 점이 최적 배출축소규모가 된다.

[圖 1]에 나타난 한계비용곡선은 온실가스를 CO_2 등가량으로 환산하여 유도한 것이다. 따라서 이것을 構成部分別로 分解하면 出處別

[圖 1] CO_2 排出量 減縮에 따르는 費用-收益 比較(1990년)



[圖 2] 溫室가스 排出減縮의 限界費用



資料 : Nordhaus(1991b).

最適 排出縮小規模를 推算할 수 있다.

Nordhaus(1991b)가 제시한 출처별 온실가스 감축의 한계비용을 그림으로 나타내면 [圖 2]와 같다. 이것을 관찰하면 최적 감축규모가 작은 경우에는 CO_2를 방출하는 원천을 감축하는 것보다는 다른 온실가스(CFCs)를 방출하는 원천을 감축하는 비중이 크고, 최적 감축규모가 큰 경우에는 CO_2를 방출하는 원천을 감축하는 것이 다른 온실가스를 감축하는 것보다 相對的으로 더 중요한 것을 알 수 있다.

3. 減縮遲延效果[16]

다음에서는 CO_2 배출규모를 減縮하는 時點이 갖는 의미를 考察한다. 이를 위해서 감축시점이 現在인 경우와 未來의 시점인 경우로 나누어 각각의 최적 감축규모를 추정하여 이것을 서로 비교한다. 기준연도가 바뀌어도 균형조건은 식 (11)과 마찬가지이다. 파라미터 값의 변화가 없다고 하면 CO_2 배출량 감축의 수익은 식 (11)의 右邊으로부터 구할 수 있다. 식 (11)의 우변에 의하면 경제가 마이너스 성장을 하지 않는 한 배출량 감축의 수익과 한계수익이 증가하는 것을 알 수 있다.

기준연도가 바뀌는 경우 〈表 3〉에 나타난 배출량 減縮費用도 變化한다. 배출조절을 하지 않는 경우 排出量은 계속 늘어날 것이므로 다른 條件이 변화하지 않는 한 總費用과 限界費用은 기준연도 배출량이 늘어남에 따라 增加할 것이다. 그런데 收益試算과는 달리 費用試算에 있어서는 배출억제와 관련된 技術進步의 가능성 때문에 다른 조건이 一定하다고 假定하기는 어렵다. 기후관련 공학뿐만 아니라 화석연료 사용의 效率性을 높이는 工程技術이 發展하는 경우 주어진 배출량을 축소하는 비용은 減少할 것이기 때문이다. 따라서 기술진보가 있는 경우 총비용과 한계비용의 증가는 그렇지 않은 경우보다 작을 것이다. 이 경우 最適 排出縮小規模는 減縮時點이 延期됨에 따라 增加할 것이다. 왜냐하면 배출감축의 한계수익증가가 배출감축의 한계비용보다 크기 때문이다[17].

IV. 炭素稅와 排出權 去來制

앞 章에서는 최적 배출축소규모를 시산하였다. 그런데 排出縮小規模가 주어져 있을 때 실제로 배출규모를 감축하는 방법으로는 여러 가지를 생각할 수 있다. 이 중에는 '명령과 통제'와 같은 직접적 수단도 있을 것이고, 탄소세나 배출권 거래제와 같이 價格機構를 이용하는 간접적인 수단도 있을 것이다. 이 밖에도 道德的 勸告에 의한 방법을 생각할 수 있을 것이다. 그러나 에너지절약 캠페인 같이 사회적 道義에 呼訴하는 방법은 큰 효과가 없을 것으로 예상된다. 도덕적 권고에 의한 배출억제는 오히려 앞의 두 방법의 推進을 遲延

16) 2000년을 기준으로 한 CO_2 배출량 감소의 수익시산 결과는 附錄 〈表 A1〉~〈表 A6〉에 나타나 있다. 〈表 A1〉~〈表 A6〉은 Park(1991)의 다부문 모형에서 추정된 결과에 의거하여 2000년의 세가지 성장 시나리오를 상정하여 시산한 것이다. 다부문모형 시나리오에 관해서는 Park(1991) 참조.

17) 附錄 〈表 A7〉에는 다른 조건은 동일하고 기술진보가 있는 경우의 CO_2 배출량감축 비용이 수록되어 있다. 아울러 [圖 A1]~[圖 A3]에는 최적 배출억제규모가 예시되어 있다.

시켜 事後的으로 직접규제와 가격기구에 의한 배출억제 노력의 强度가 높아지도록 하기 때문이다.

직접규제는 배기가스 배출원(자동차, 발전소, 가전제품, 건물 등)에 에너지 사용 효율기준이나 보존기준을 제시하여 이에 따르도록 한다거나 특정 에너지원의 사용을 禁止하거나 勸奬하는(석탄 사용을 줄이게 하거나 원자력 발전시설에 대한 투자를 늘리도록 하여) 것이다. 그러나 직접규제방식은 대부분의 경우 費用效率的이지 못해서 주어진 減縮目標를 最小의 費用으로 달성하기 어렵다는 단점이 있다.

이와 반대로 경제적 수단은 에너지 사용자로 하여금 효율적으로 배출규모를 감축하도록 하는 유인을 제공한다는 장점이 있다. 經濟的 手段이 無差別的으로 適用되면 에너지 사용자에게 적용되는 排出抑制 誘因도 동일하게 된다. 이 경우 모든 경제주체는 排出減縮費用이 경제적 負擔(탄소세나 배출권의 가치)과 일치하는 수준에서 배출감축수준을 결정할 것이기 때문에 주어진 감축수준을 가장 낮은 비용으로 달성할 수 있게 된다.

대표적인 경제적 수단인 탄소세와 배출권 거래제는 배출규모 축소에 있어서 理論的으로는 同等한 效果를 가져오나 실제에 있어서는 去來費用이 존재하기 때문에 동일한 수단이라고 보기는 어렵다. 다음에서는 탄소세와 배출권 거래제의 경제적 의미를 살펴보고, 탄소세와 배출권 거래제의 장·단점을 고찰한다.

1. 炭素稅 試算

최적 배출축소규모는 식 (7)의 최적조건인 식 (11)에서 도출된다. 그런데 배출축소를 유도하는 수단으로 炭素稅가 부과되는 경우 주어진 최적 배출축소를 유발하는 탄소세율은 최적화 문제의 필요조건(여기서는 충분조건이기도 하지만)으로부터 유도할 수 있다. 최적화 문제의 필요조건에서 승수함수 λ_2는 CO_2 농축도의 최대 허용치가 한 單位 增加할 경우 節約할 수 있는 操縱費用을 의미한다. 따라서 승수함수는 CO_2 허용규모의 그림자가격(shadow price)이라고 할 수 있으며, 배출축소의 그림자가격은 $\beta\lambda_2$가 되는 것이다. 최적화 문제의 필요조건을 활용하여 〈表 1〉의 (1), (2), (3)의 경우에 해당하는 탄소세를 유도한 결과는 〈表 4〉에 수록되어 있다.

〈表 4〉의 의미는 피해규모가 중간이고($P=0.01$) 미래소비 할인율이 0.06일 때 1990년도 기준 배출량의 10%를 감축하는 것이 최적인

〈表 4〉 CO_2 排出量 減縮率과 炭素稅

	경우 (1) $\rho=0.05$ $\Phi'(T^*)=0.02\times$ GDP	경우 (2) $\rho=0.06$ $\Phi'(T^*)=0.01\times$ GDP	경우 (3) $\rho=0.08$ $\Phi'(T^*)=0.0025\times$ GDP
최적 CO_2 감축률 (1990년수준 기준)	15%	10%	2%
탄소세(원/톤당)	11,806	2,657	664
탄소세수입(10億원)	649	155	42

데, 이를 위해서는 CO_2 톤당 탄소세가 2,657원이 되어야 하며, 이때의 탄소세 수입은 1,550億원에 이른다는 것이다. 그리고 피해규모가 크고($P=0.02$) 할인율이 0.05일 때는 최적 배출량 감축률이 15%인데, 이를 위해서는 CO_2 톤당 탄소세가 1萬 1,806원이 되어야 하며, 이때의 탄소세 수입은 6,490億원에 이른다는 것이다. 그러나 피해규모가 작을 때는 탄소세는 664원, 탄소세 수입은 420億원 정도가 된다는 것이다.

2. 排出權 去來制[18]와 炭素稅 : 最適條件의 同一性

일반적으로 배출권은 一定한 기간동안 CO_2 배출원에 許容된 배출량을 의미한다. 배출권의 거래가 가능한 경우 허용된 배출량 이하를 방출하는 배출원은 허용 배출량과 실제 배출량의 차이만큼의 배출권을 販賣할 수 있고, 실제 배출량이 허용 배출량보다 많은 배출원은 그 차이만큼의 배출권을 購入해야 한다.

배출권 거래제가 CO_2 배출축소의 수단으로 도입되는 경우 배출권의 가격은 최적화 문제의 필요조건에서 유도할 수 있다. 이를 위해서 우선 허용 배출량과 실제 배출량의 차이, 즉 배출권 EP의 규모를 다음과 같이 상정한다. 즉

$$EP=\frac{Q-Q_0}{\beta} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(12)^{19}$$

식 (12)와 같이 배출권의 규모가 주어지면 CO_2 배출원은 배출규모를 축소하는 비용이 최소화되도록 배출권을 배분할 것이다. 분석의 편의를 위해서 N개의 배출원을 가정하고, 개별 배출원이 분배받은 부존 배출권의 규모는 q_i, 배출 축소규모는 r_i라고 가정한다. 이 경우 개별 배출원의 최적화 문제는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\min_{r_i} \int_0^T e^{-\rho t} C(r_i)\ dt$$

$$\text{s.t.} \sum_{i=1}^{N} \int_0^T (\bar{e}_i - r_i - q_i)\, dt = EP \cdots(13)^{20}$$

여기서 $\bar{e}_i$: i 배출원의 배출규모(배출억제가 없는 경우)

를 의미한다.

여기서 식 (13)에 해당하는 Lagrange 함수와 최적조건(필요조건)을 구하면 다음 식 (14), (15)와 같이 표시할 수 있다.

$$L=\int_0^T e^{-\rho t} C(r_i)\, dt - m\Big[\sum_{i=1}^{N} \int_0^T (\bar{e}_i - r_i - q_i)\, dt - EP\Big] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(14)$$

$$e^{-\rho t} C'(r_i) = m = p \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

여기서 m은 Lagrange 승수를 나타내고, p는 배출권의 가격을 나타낸다.

그러므로 식 (15)로부터 均衡 排出權 價格(Lagrange 승수와 동일)을 도출할 수 있는데, 이것은 식 (11)에서 유도한 탄소세율과 동일한 값을 갖는 것을 쉽게 알 수 있다. 배출권 가격과 (배출규모 억제를 위한) 탄소세율이 同一하다는 것을 보이기 위해서 식 (6)

18) 배출권 거래에 대한 포괄적인 논의는 Tietenberg (1985) 참조.

19) CO_2 허용 규모가 부등호 제약이 아니라 등호 제약이 된다.

20) 배출권 거래는 어떤 시점에서도 이루어질 수 있다. 그러나 행사가능한 배출권의 규모는 일정하다.

을 배출축소비용 극소화 문제로 變形시켜 Hamilton 함수(식 (17))와 최적조건(필요조건)(식 (18))을 구하면 다음과 같이 된다.

$$\min_{R} \int_0^T e^{-\rho t} C(R)\, dt$$

$$\text{s.t. } \dot{Q} = (\beta(\bar{E} - R) - \delta Q) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (16)$$

$$H = e^{-\rho t} C(R) + \lambda(\beta(\bar{E} - R) - \delta Q) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (17)$$

$$e^{-\rho t} C'(R) = \beta\lambda \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (18)$$

따라서 식 (15)와 (18)을 비교하면 배출권 거래제와 탄소세 부과가 배출권의 가격 p가 탄소세율 $\beta\lambda$와 일치하는 수준에서 결정되는 한 비용효율면에서 동일한 결과를 가져온다는 것을 알 수 있다.

3. 炭素稅와 排出權 去來制 : 長短點 比較[21]

위에서 보았듯이 이론적으로 탄소세와 배출권 거래제는 비용효율적이라는 점에서 차이를 보이지 않는다. 그러나 實際에 있어서는 탄소세가 배출권 거래제보다 더 效率的이라는 관측이 支配的이다. 특히 지구온난화 방지를 위한 국제간 협력을 염두에 둘 경우 탄소세의 도입이 배출권 거래제의 도입보다 더 수월하다는 것이다[22]. 다음에서는 경제적 수단의 실제적인 적용에 있어서의 장·단점을 비교해 본다.

〈炭素稅〉

炭素稅의 장점은 몇가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째는 다른 조세에 비해서 조세부과에 따르는 經濟的 歪曲效果가 작다는 것이다. 炭素稅는 화석연료의 탄소함유량(또는 잠재배출량)에 따라 稅率이 결정되는 물품세이다. 이것은 탄소함유량과 관계없이 稅率이 결정되는 일반적인 에너지 관련 종가세(부가가치세)와는 성질이 다른 조세이다. 따라서 배출을 유발한 배출원에 대해서 代價를 지불하게 함으로써 환경변화와 기온상승을 유발하는 탄소배출의 외부비경제 효과를 수정할 수 있다.

그리고 化石燃料의 사용이 광범위하기 때문에 租稅收入의 규모가 매우 클 것으로 예상된다. 따라서 炭素稅 수입을 활용하는 방법에 따라서는 다른 租稅에 의한 자원배분의 왜곡을 최소화할 수도 있을 것이다.

둘째는 費用效率性이다. 炭素稅는 직접규제와는 달리 산업이나 소비자가 배출억제비용을 최소화할 수 있는 여지를 제공한다. 한계감축비용이 무차별적으로 부과되는 炭素稅와 같아지는 수준에서 배출량이 결정될 것인데 限界費用이 큰 배출원은 炭素稅를 납부하고 限界費用이 작은 배출원은 배출규모를 감소시킬 것이기 때문이다. 이렇게 하면 배출규모 축소능력과 상관없이 주어진 축소목표를 달성해야

---

21) 탄소세의 장·단점과 배출권 거래제의 특징에 대해서는 Hahn(1989)과 Pearce(1991) 참조. 탄소세가 배출권 거래제보다도 바람직하다는 관측은 배출감축수익이 본고에서처럼 일정한 경우에는 후생손실이 탄소세의 경우가 배출권 거래보다 더 작기 때문에 타당하다고 할 수 있다. 그러나 실제로는 배출감축 수익이 일정하다고 볼 수 없고 배출감축 비용을 정확히 추정할 수도 없기 때문에 추가적인 정보가 없이는 두 경제적 수단의 도입에 따르는 후생손실을 정확하게 비교할 수 없다. 따라서 본고의 분석결과만으로는 탄소세가 배출권 거래제보다도 바람직하다고 주장할 수 없다(이 점을 지적한 鄭鎭勝 박사께 감사드린다). 그러나 다음에서 언급하는 두 수단의 장·단점 비교는 한계수익과 한계비용에 대한 정보의 불확실성에 의존하지 않기 때문에 유효하다고 생각한다.

22) 자세한 내용은 Barrett(1990) 참조.

하는 명령-규제방식에서보다는 환경 조정비용을 극소화할 수 있는 것이다.

셋째는 動態的 效率性이다. 직접규제에서는 배출기준이 기술수준에 따라 결정된다. 즉 규제시작 시점에서 규제자가 판단할 때에 활용가능한 최고수준의 기술에 기초하여 規制基準이 설정되는 것이다. 그러나 일단 설정된 규제기준이 계속 갱신되고 배출기준이 제고되지 않는 한 배출원이 기존기준을 만족시키는 수준 이상으로 배출을 억제할 유인이 생기지 않는다. 반면 炭素稅를 부과하는 경우 탄소를 배출하는 化石燃料가 계속 사용되는 한 계속 炭素稅가 상존할 것이므로 비용절감을 위한 노력, 즉 배출원이 자발적으로 연료사용의 효율성을 제고하기 위한 기술개발, 공정개선과 구조조정에 많은 노력을 기울일 것이다.

넷째는 伸縮性이다. 炭素稅를 도입하는 경우 필요에 따라서 稅率을 조정하는 것이 용이하다. 반면 직접규제수단으로는 온난화 관련 과학기술이 발전하고 새로운 정보가 축적됨에 따라 배출규제정책에 변화가 필요할 때 신축적으로 적응하기가 어렵다.

炭素稅 도입에 문제가 없는 것은 아니다. 첫째는 CO_2 배출규모를 축소하는 데 있어서 炭素稅 도입의 효과는 化石燃料에 대한 수요탄력성과 공급탄력성의 영향을 받는다는 것이다. 즉 조세를 부과하면 化石燃料의 가격이 상승하는데 가격상승이 化石燃料의 수요나 공급(궁극적으로는 CO_2 배출규모)에 미치는 효과는 이들 彈性値의 영향을 받기 때문이다. 이것은 本稿의 분석에서는 다루지 않은 문제이다. 그러나 自體 價格彈性値나 交叉 價格彈性値에 대한 정보는 최적 감축규모나 탄소세 산출에 필수적인 것은 아니고 감축의 내용(배출원, 연료별 감축규모의 구성)에 영향을 미칠 뿐이기 때문에 이 문제의 심각성이 크지 않다고 할 수 있다.

둘째는 租稅導入에 따르는 厚生損失(dead-weight loss)이다. 그런데 厚生損失은 세율과 과세방법에 따라서 큰 차이를 보인다[23]. 즉 炭素稅를 소비자에게 부과하는 경우에는 租稅收入이 탄소소비국에 귀속되나 생산자가 세금을 부담할 경우에는 租稅收入이 탄소수출국(산유국)에 귀속되기 때문에 담세자가 누구인가에 따라 厚生損失效果가 달라지게 된다.

셋째는 衡平의 문제이다. 저소득층이 고소득층보다 에너지에 대한 지출비율이 높은 에너지 소비구조 때문에 조세부과로 연료가격이 상승하면 저소득층의 부담이 고소득층에 비해 상대적으로 더 커진다[24]. 따라서 炭素稅의 역진세 효과를 상쇄하는 방안이 마련되지 않는 한 衡平의 문제가 심각해질 것이다.

23) 경제활동 분야별로 본 기후변화의 영향에 대해서는 附錄의 〈表 A8〉 참조. 미국의 경우를 추정한 후생손실을 예로 들면 다음 表와 같다.

厚生損失(예)

	세율($/ton)	후생손실	비 고
Poterba(1991)	$5/ton	$280(million) 미국 GNP의 0.01%	
Whally/ Wigle(1991)	$450/ton	미국 GNP의 1.2%	소비자 부담
		미국 GNP의 4.3%	생산자 부담
		미국 GNP의 9.8%	국제공동세

資料 : Pearce(1991).

24) Pearce(1991)는 영국의 경험에 바탕을 둔 연구결과들을 예시하고 있는데, 탄소세 도입시 저소득층의 세부담률이 고소득층에 비해 훨씬 높아져서 특별한 보상조치(compensation policy)가 마련되지 않는 한 형평성은 악화되는 것으로 나타났다.

넷째는 成長潛在力과 競爭力에 대한 우려이다. 炭素稅(사실은 어떤 규제조치도 마찬가지이지만)는 결과적으로 연료가격을 인상하는 효과를 갖는다. 따라서 생산성이 저하되고 성장이 둔화되지 않을까 하는 우려가 발생한다. 그러나 생산성 저하와 경쟁력 상실에 대한 우려는 炭素稅가 국제적으로 널리 적용되는 경우에는 상대적으로 덜 심각하게 된다. 게다가 炭素稅 도입으로 에너지 집약도가 낮은 산업으로의 구조조정이 촉진된다면 오히려 산업생산의 고부가가치화가 빨라질 것이고 成長潛在力과 生產性의 향상이 저하되지 않을 것이다.

〈排出權 去來制〉

排出權 去來制에서는 GHGs의 總排出許容量을 정한 후에 이것을 排出源泉別로 배분하고 아울러 排出權을 거래할 수 있는 市場을 개설하는 것이 필요하다. 效率的으로 排出規模를 축소할 수 있는 경우 初期에 配分된 排出許容量보다 작은 規模를 排出하게 되므로 剩餘排出權을 갖게 되고, 그렇지 않은 경우 排出許容量을 맞추기 위해서는 追加的인 排出權을 구입해야 한다. 잉여배출권과 배출권 수요가 존재하게 되어 排出權 去來의 誘因이 생기는 것이다.

排出權의 去來方式으로는 순배출량 방식, 상쇄방식, 총계방식, 비축방식 등이 있다[25]. 相殺方式은 大規模 排出施設의 排出量을 調節하는 데에는 效果的이나 小規模施設(자동차, 가정용품 등)의 排出量을 調節하는 데는 效果的이지 못하다. 小規模施設의 排出量 調節에는 炭素稅가 보다 적합한 방안으로 제시된다. 總計方式은 여러 排出物質의 배출규모를 空間的으로 集計하는 것을 許容하는 방법이고, 備蓄方式은 時間的 配分을 許容하는 방법이다.

이와 같은 排出權 去來制의 長點으로는 세 가지를 들 수 있다. 첫째는 일반적 總計方式에 의한 去來가 可能하다는 것이다. 여기서 일반적 總計方式은 個別 排出施設에 대한 개별적(case-by-case) 許容이 아니라 一般的 許容을 의미한다.

둘째는 CO_2 排出規模를 추적·감시하기가 용이하고, CO_2 擴散을 파악하기 위한 복잡한 모형을 필요로 하지 않기 때문에 政策目標를 分明하게 설정할 수 있다는 장점이 있다.

셋째는 去來市場이 效率的으로 운영된다면 炭素稅와 똑같은 效果를 가져온다는 것이다.

그러나 排出權 去來制는 다음과 같은 短點을 갖고 있다. 첫째, 원칙적으로 배출권 거래제는 탄소세와 동일한 費用效率性(주어진 목표를 最小의 비용으로 달성하는)을 갖고 있으

25) 거래방식의 특성을 정리하면 다음과 같다.

排出權 去來方式(美國의 經驗)

去來方式	內 容
純排出量 (netting)	老朽排出施設을 보다 效率的인 새로운 排出施設로 교체하는 것을 許容하여 純排出量 增加를 抑制하는 방법
相殺方式 (offsets)	環境基準을 만족시키지 못하는 지역에서 새로운 排出源을 설치하려고 할 때는 새로운 排出源에서 排出될 規模가 이미 가동중인 排出源으로부터의 排出規模보다 훨씬 더 작아서 전체적인 배출규모가 크게 감축되도록 하는 방법
總計方式 (bubbles)	排出施設別로 總排出規模를 想定하고 각 排出施設內의 여러 배출물질들의 개별적 排出規模는 總排出規模가 초과되지 않는 한 어떻게 분포되어도 상관없도록 하는 방법
備蓄方式 (banking)	排出規模가 許容値에 미달하는 排出施設에 대해서는 실제배출량과 허용치의 차이만큼을 장래에 추가적으로 排出할 수 있도록 허용하는 방법

資料 : Hahn(1989), Tietenberg(1985).

나, 실제적으로는 去來를 制限하는 요소들이 존재하기 때문에 效率性이 低下된다.

둘째, 散在해 있는 排出源間에 去來費用이 다르기 때문에 대부분의 去來가 內部的(地域的)으로 수행될 가능성이 높다. 아울러 排出權의 市場價格이 形成되지 않아 거래비용이 증가할 가능성도 있다.

결국 排出權 去來制의 효율성은 去來費用과 배출권 거래시장의 특성에 따라 좌우될 것이다. 그런데 문제는 去來費用의 크기를 분명하게 파악할 수 없다는 것이다. 왜냐하면 市場의 地域性으로 인해서 均衡價格이 形成되기 어렵기 때문이다. 排出權 去來市場의 性格이 完全競爭的인가 寡占的인가에 따라 거래규모가 달라지는 것이다. 美國의 經驗에 의하면 排出權 去來制는 '명령-감독'式 直接規制보다는 效率的이나(환경보전비용을 수십억달러 절약했음), 市場의 不完全性으로 인한 손실도 적지 않았다.

排出權 去來가 효율적으로 운영되기 위해서는 限時的 有效期間동안만 거래가 허용되어야 한다. 이렇게 하여 排出權이 활발하게 거래되도록 유도할 수 있기 때문이다. 결국 CO_2 排出의 실제적인 원천이 되는 企業間 去來로 去來가 추진될 것이기 때문에 기업에 대한 동기부여가 중요한 것이다.

V. 結　論

우리나라의 경우 氣候變化의 影響을 받는 經濟活動은 GDP對比 32.4%(1989), 32.7%(1990)로 추정된다. 산업의 구조변화를 고려하여 2000년의 경우[26]를 展望하면 27.9~28.3%가 기후변화의 영향을 받을 것이다. 이와 같은 상황에서 CO_2 배출증가에 따르는 總被害는 1990년의 경우 최고 7,642億원에 이를 것으로 추정되는데, 이것은 GDP의 0.6%에 이르고 기후변화의 영향을 받는 부문의 附加價値 생산액의 5%에 이르는 규모이다[27].

温暖化 防止를 위해서는 CO_2 배출량의 減縮, 氣候技術의 開發, 森林造成을 통한 CO_2 흡수능력의 擴充과 기후변화에 대한 適應 등을 複合的으로 추진하는 것이 중요하다. 그러나 本稿에서는 현재의 배출량 감소를 통한 온난화 방지의 경제적 효과를 費用-收益分析을 통해서 考察하였다.

온난화 방지를 위한 최적 CO_2 減縮規模는 氣温上昇에 따르는 經濟的 被害의 크기에 影響을 받는다. 배출량이 倍增하여 평균기온이 3℃ 上昇할 때의 被害가 GNP의 2%인 경우 최적 감축규모는 현재(1990) 수준의 15%가 되고, 피해가 GNP의 1%인 경우에는 최적 감축규모가 현재수준의 10%에 이르며, 피해가 微微하여 GNP의 0.25%인 경우에는 최적 감축규모가 현재수준의 2% 정도로 推算되었다. 이와 같은 최적 감축규모는 Nordhaus(1991a)가 세계 전체에 대해서 추산한 최적 감축규모[28]보다 대체로 작은 것이다.

---

26) 2000년 숫자는 Park(1991)의 다부문모형 추정치에 기초한 것이다.

27) 경제활동 분야별로 본 기후변화의 영향에 대해서는 附錄의 〈表 A8〉 참조.

28) Nordhaus(1991a)에 의하면 위의 세가지 경우의 최적 감축규모는 각각 33%, 11%, 3%로 추산되는 것으로 나타났다.

排出規模 減縮을 誘導하는 경제적 수단으로 탄소세와 배출권 거래제의 도입을 고려할 수 있다. 경제적 수단은 최적 감축목표를 비용효율적으로 달성할 수 있는 장점이 있다. 비용효율성에 있어서 두가지 수단은 이론적으로 동등한 효과를 가져온다는 것은 쉽게 이해할 수 있다. 배출규모 축소의 유도수단으로 炭素稅를 도입하는 경우 적합한 炭素稅는 CO_2 배출 톤당 각각 1萬 1,806원(15% 감축의 경우), 2,657원(10% 감축의 경우), 664원(2% 감축의 경우)으로 추산된다.

배출규모를 縮小하는 努力은 일찍 시작할수록 유리하다. 배출축소를 연기하는 경우 미래의 배출축소 限界費用과 限界收益이 모두 증가할 것이나, 기술진보나 생산효율의 향상으로 배출축소 한계비용의 증가하는 비율이 온난화 둔화에 따르는 한계수익 증가율보다 낮을 것으로 전망된다. 이 경우 최적 배출축소 규모는 현재보다 상승하게 되어서 배출축소의 어려움은 더 커질 것이다.

▷ 參 考 文 獻 ◁

吳振圭, 「에너지部門의 이산화탄소排出 長期展望의 시나리오資料」, 에너지 經濟硏究院 討論資料, 1991.

Barrett, S., "Economic Instruments for Climate Change Policy," ENV/EC(90) 33/ANN1, Environment Directorate, Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, 1990.

Cline, W. R., "Scientific Basis for the Greenhouse Effect," *Economic Journal,* Vol. 101, 1991, pp. 904~919.

Hahn, R. W., "Economic Prescriptions for Environmental Problems: How the Patient Followed the Doctor's Orders," *Journal of Economic Perspectives,* Vol. 3, 1989, pp. 95~114.

Nordhaus, W. D., "Economic Growth and Climate: The Carbon Dioxide Problem," *American Economic Review,* Papers and Proceedings, Vol. 67, 1977, pp. 341~346.

_____, "How Fast Should We Graze the Global Commons?", *American Economic Review,* Papers and Proceedings, Vol. 72, 1982, pp. 242~246.

_____, "To Slow or Not to Slow: The Economics of the Greenhouse Effect," *Economic Journal*, Vol. 101, 1991a, pp. 920~937.

_____, "The Cost of Slowing Climate: A Survey," *Energy Journal,* Vol. 12, 1991b, pp. 37~65.

Park, J. K., "The Evolution of the Korean Economy on the Road to the 21st Century," Presidential Commission on the 21st Century, Seoul, 1991.

Pearce, D. W., "The Role of Carbon Taxes in Adjusting to Global Warming," *Economic Journal*, Vol. 101, 1991, pp. 938~948.

Tietenberg, T. H., *Emissions Trading: An Exercise in Reforming Pollution Policy*, Washington, D.C.: Resources for the Future, 1985.

附錄 : CO_2 排出量 減縮의 費用-收益 分析(2000년 기준)

〈表 AI〉 CO_2 排出量 減縮의 收益 試算(2000년 : 高成長)

가. CO_2 排出量 減縮의 總收益 ($\mu \cdot \beta \cdot \Gamma \cdot \Phi'(T^*)$)

(단위 : 10億원)

ρ \ P	Γ	0.02	0.01	0.0025
0.05	44.444	(1)1653.307	826.6537	206.6634
0.06	20.000	743.996	(2)371.9979	92.9995
0.07	44.444	1653.307	826.6537	206.6634
0.08	20.000	743.996	371.9979	(3) 92.9995

註 : 1) $\beta=0.5$, $\mu=0.013188$
$\Phi'(T^*)=P\times GDP$
GDP=282兆 730億원(2000년 : 1985 불변가격)
$P=CO_2$ 증가가 GDP에 미치는 손실도
(CO_2 농축도가 배가될 경우의 손실을 GDP의 %로 표시)
Γ와 $\Phi'(T^*)$ 및 P는 각각 (4x1), (1x3), (1x3) 벡터
2) (1), (2), (3)의 세 경우만 분석한다.

나. CO_2 排出量 減縮의 톤당 收益($\mu \cdot \beta \cdot \Gamma \cdot \Phi'(T^*)/CO_2$)

(단위 : 10億원)

ρ \ P	Γ	0.02	0.01	0.0025
0.05	44.444	.1499000E-04	.7495001E-05	.1873750E-05
0.06	20.000	.6745569E-05	.3372784E-05	.8431961E-06
0.07	44.444	.1499000E-04	.7495001E-05	.1873750E-05
0.08	20.000	.6745569E-05	.3372784E-05	.8431961E-06

註 : 1) $\beta=0.5$, $\mu=0.013188$
$\Phi'(T^*)=P\times GDP$
CO_2=1億 1,029萬 4千톤(2000년 : 이산화탄소 배출량)
GDP=282兆 730億원(2000년 : 1985 불변가격)
$P=CO_2$ 증가가 GDP에 미치는 손실도
(CO_2 농축도가 배가될 경우의 손실을 GDP의 %로 표시)
Γ와 $\Phi'(T^*)$ 및 P는 각각 (4x1), (1x3), (1x3) 벡터

〈表 A2〉 CO_2 排出量 減縮의 收益 試算(2000년 : 中成長)

가. CO_2 排出量 減縮의 總收益($\mu \cdot \beta \cdot \Gamma \cdot \Phi'(T^*)$)

(단위 : 10億원)

ρ \ P / Γ		0.02	0.01	0.0025
0.05	44.444	(1)1550.580	775.2901	193.8225
0.06	20.000	697.768	(2)348.8841	87.2210
0.07	44.444	1550.580	775.2901	193.8225
0.08	20.000	697.768	348.8841	(3) 87.2210

註 : 1) $\beta=0.5$, $\mu=0.013188$
$\Phi'(T^*)=P\times GDP$
GDP=264兆 5,466億원(2000년 : 1985 불변가격)
$P=CO_2$ 증가가 GDP에 미치는 손실도
(CO_2 농축도가 배가될 경우의 손실을 GDP의 %로 표시)
Γ와 $\Phi'(T^*)$ 및 P는 각각 (4x1), (1x3), (1x3) 벡터
2) (1), (2), (3)의 세 경우만 분석한다.

나. CO_2 排出量 減縮의 톤당 收益($\mu \cdot \beta \cdot \Gamma \cdot \Phi(T^*)/CO_2$)

(단위 : 10億원)

ρ \ P / Γ		0.02	0.01	0.0025
0.05	44.444	.1405861E-04	.7029305E-05	.1757326E-05
0.06	20.000	.6326438E-05	.3163219E-05	.7908047E-06
0.07	44.444	.1405861E-04	.7029305E-05	.1757326E-05
0.08	20.000	.6326438E-05	.3163219E-05	.7908047E-06

註 : 1) $\beta=0.5$, $\mu=0.013188$
$\Phi'(T^*)=P\times GDP$
CO_2=1億 1,029萬 4千톤(2000년 : 이산화탄소 배출량)
GDP=264兆 5,466億원(2000년 : 1985 불변가격)
$P=CO_2$ 증가가 GDP에 미치는 손실도
(CO_2 농축도가 배가될 경우의 손실을 GDP의 %로 표시)
Γ와 $\Phi'(T^*)$ 및 P는 각각 (4x1), (1x3), (1x3) 벡터

〈表 A3〉 CO_2 排出量 減縮의 收益 試算(2000년 : 低成長)

가. CO_2 排出量 減縮의 總收益($\mu \cdot \beta \cdot \Gamma \cdot \Phi'(T^*)$)

(단위 : 10億원)

ρ \ P	Γ	0.02	0.01	0.0025
0.05	44.444	(1)1449.721	724.8603	181.2151
0.06	20.000	652.381	(2)326.1904	81.5476
0.07	44.444	1449.721	724.8603	181.2151
0.08	20.000	652.381	326.1904	(3)81.5476

註 : 1) $\beta = 0.5$, $\mu = 0.013188$
$\Phi'(T^*) = P \times GDP$
GDP=247兆 3,388億원(2000년 : 1985 불변가격)
$P = CO_2$ 증가가 GDP에 미치는 손실도
(CO_2 농축도가 배가될 경우의 손실을 GDP의 %로 표시)
Γ와 $\Phi'(T^*)$ 및 P는 각각 (4x1), (1x3), (1x3) 벡터
2) (1),(2),(3)의 세 경우만 분석한다.

나. CO_2 排出量 減縮의 톤당 收益($\mu \cdot \beta \cdot \Gamma \cdot \Phi'(T^*)/CO_2$)

(단위 : 10億원)

ρ \ P	Γ	0.02	0.01	0.0025
0.05	44.444	.1314415E-04	.6572074E-05	.1643018E-05
0.06	20.000	.5914926E-05	.2957463E-05	.7393657E-06
0.07	44.444	.1314415E-04	.6572074E-05	.1643018E-05
0.08	20.000	.5914926E-05	.2957463E-05	.7393657E-06

註 : 1) $\beta = 0.5$, $\mu = 0.013188$
$\Phi'(T^*) = P \times GDP$
CO_2=1億 1,029萬 4千톤(2000년 : 이산화탄소 배출량)
GDP=247兆 3,388億원(2000년 : 1985 불변가격)
$P = CO_2$ 증가가 GDP에 미치는 손실도
(CO_2 농축도가 배가될 경우의 손실을 GDP의 %로 표시)
Γ와 $\Phi'(T^*)$ 및 P는 각각 (4x1), (1x3), (1x3) 벡터

〈表 A4〉 CO_2 排出量 減縮에 따르는 收益의 變化(2000년 : 低成長)
$(\mu \cdot \beta \cdot \Gamma \cdot \Phi'(T^*)) \cdot (0.01 \times RR)$

(단위 : 10億원)

CO_2감축률 (%)	경우 (1)	(증분)	경우 (2)	(증분)	경우 (3)	(증분)
0.0	.000000	—	.000000	-	.000000	—
1.0	16.5331	16.5331	3.71998	3.71998	.929995	.929995
2.0	33.0661	16.5331	7.43996	3.71998	1.85999	.929995
3.0	49.5992	16.5331	11.1599	3.71998	2.78998	.929995
4.0	66.1323	16.5331	14.8799	3.71998	3.71998	.929995
5.0	82.6654	16.5331	18.5999	3.71998	4.64997	.929995
10.0	165.331	16.5331	37.1998	3.71998	9.29995	.929995
11.0	181.864	16.5331	40.9198	3.71998	10.2299	.929995
15.0	247.996	16.5331	55.7997	3.71998	13.9499	.929995
20.0	330.661	16.5331	74.3996	3.71998	18.5999	.929995
25.0	413.327	16.5331	92.9995	3.71998	23.2499	.929995
30.0	495.992	16.5331	111.599	3.71998	27.8998	.929995
40.0	661.323	16.5331	148.799	3.71998	37.1998	.929995
50.0	826.654	16.5331	185.999	3.71998	46.4997	.929995
60.0	991.984	16.5331	223.199	3.71998	55.7997	.929995
70.0	1157.32	16.5331	260.399	3.71998	65.0996	.929995
75.0	1239.98	16.5331	278.998	3.71998	69.7496	.929995
80.0	1322.65	16.5331	297.598	3.71998	74.3996	.929995

註 : 1) $\beta = 0.5$, $\mu = 0.013188$
$\Phi'(T^*) = P \times GDP$
$RR = CO_2$ 감축률(%)
GDP=282兆 730億원(2000년 : 1985 불변가격)
$P = CO_2$ 증가가 GDP에 미치는 손실도
(CO_2 농축도가 배가될 경우의 손실을 GDP의 %로 표시)
Γ와 $\Phi'(T^*)$ 및 P는 각각 (4x1), (1x3), (1x3) 백터
2) (1), (2), (3)의 세 경우만 분석한 것이다.
경우 (1) : $(\rho, P) = (0.05, 0.02)$
경우 (2) : $(\rho, P) = (0.06, 0.01)$
경우 (3) : $(\rho, P) = (0.08, 0.0025)$

〈表 A5〉 CO_2 排出量 減縮에 따르는 收益의 變化(2000년 : 中成長)

$(\mu \cdot \beta \cdot \Gamma \cdot \Phi'(T^*)) \cdot (0.01 \times RR)$

(단위 : 10億원)

CO_2감축률 (%)	경우 (1)	(증분)	경우 (2)	(증분)	경우 (3)	(증분)
0.0	.000000	—	.000000	-	.000000	—
1.0	15.5058	15.5058	3.48884	3.48884	.872210	.872210
2.0	31.0116	15.5058	6.97768	3.48884	1.74442	.872210
3.0	46.5174	15.5058	10.4665	3.48884	2.61663	.872210
4.0	62.0232	15.5058	13.9554	3.48884	3.48884	.872210
5.0	77.5290	15.5058	17.4442	3.48884	4.36105	.872210
10.0	155.058	15.5058	34.8884	3.48884	8.72210	.872210
11.0	170.564	15.5058	38.3772	3.48884	9.59431	.872210
15.0	232.587	15.5058	52.3326	3.48884	13.0832	.872210
20.0	310.116	15.5058	69.7768	3.48884	17.4442	.872210
25.0	387.645	15.5058	87.2210	3.48884	21.8053	.872210
30.0	465.174	15.5058	104.665	3.48884	26.1663	.872210
40.0	620.232	15.5058	139.554	3.48884	34.8884	.872210
50.0	775.290	15.5058	174.442	3.48884	43.6105	.872210
60.0	930.348	15.5058	209.330	3.48884	52.3326	.872210
70.0	1085.41	15.5058	244.219	3.48884	61.0547	.872210
75.0	1162.94	15.5058	261.663	3.48884	65.4158	.872210
80.0	1240.46	15.5058	279.107	3.48884	69.7768	.872210

註 : 1) $\beta = 0.5$, $\mu = 0.013188$

$\Phi'(T^*) = P \times GDP$

$RR = CO_2$ 감축률(%)

GDP=264兆 5,466億원(2000년 : 1985 불변가격)

$P = CO_2$ 증가가 GDP에 미치는 손실도

(CO_2 농축도가 배가될 경우의 손실을 GDP의 %로 표시)

Γ와 $\Phi'(T^*)$ 및 P는 각각 (4x1), (1x3), (1x3) 벡터

2) (1), (2), (3)의 세 경우만 분석한 것이다.

경우 (1) : $(\rho, P) = (0.05, 0.02)$

경우 (2) : $(\rho, P) = (0.06, 0.01)$

경우 (3) : $(\rho, P) = (0.08, 0.0025)$

〈表 A6〉 CO_2 排出量 減縮에 따르는 收益의 變化(2000년 : 高成長)

$(\mu \cdot \beta \cdot \Gamma \cdot \Phi'(T^*)) \cdot (0.01 \times RR)$

(단위 : 10億원)

CO_2감축률 (%)	경우 (1)	(증분)	경우 (2)	(증분)	경우 (3)	(증분)
0.0	.000000	—	.000000	-	.000000	—
1.0	14.4972	14.4972	3.26190	3.26190	.815476	.815476
2.0	28.9944	14.4972	6.52381	3.26190	1.63095	.815476
3.0	43.4916	14.4972	9.78571	3.26190	2.44643	.815476
4.0	57.9888	14.4972	13.0476	3.26190	3.26190	.815476
5.0	72.4860	14.4972	16.3095	3.26190	4.07738	.815476
10.0	144.972	14.4972	32.6190	3.26190	8.15476	.815476
11.0	159.469	14.4972	35.8809	3.26190	8.97024	.815476
15.0	217.458	14.4972	48.9286	3.26190	12.2321	.815476
20.0	289.944	14.4972	65.2381	3.26190	16.3095	.815476
25.0	362.430	14.4972	81.5476	3.26190	20.3869	.815476
30.0	434.916	14.4972	97.8571	3.26190	24.4643	.815476
40.0	579.888	14.4972	130.476	3.26190	32.6190	.815476
50.0	724.860	14.4972	163.095	3.26190	40.7738	.815476
60.0	869.832	14.4972	195.714	3.26190	48.9286	.815476
70.0	1014.80	14.4972	228.333	3.26190	57.0833	.815476
75.0	1087.29	14.4972	244.643	3.26190	61.1607	.815476
80.0	1159.78	14.4972	260.952	3.26190	65.2381	.815476

註 : 1) $\beta = 0.5$, $\mu = 0.013188$

$\Phi'(T^*) = P \times GDP$

$RR = CO_2$ 감축률(%)

GDP=247兆 3,388億원(2000년 : 1985 불변가격)

$P = CO_2$ 증가가 GDP에 미치는 손실도

(CO_2 농축도가 배가될 경우의 손실을 GDP의 %로 표시)

Γ와 $\Phi'(T^*)$ 및 P는 각각 (4x1), (1x3), (1x3) 벡터

2) (1), (2), (3)의 세 경우만 분석한 것이다.

경우 (1) : $(\rho, P) = (0.05, 0.02)$

경우 (2) : $(\rho, P) = (0.06, 0.01)$

경우 (3) : $(\rho, P) = (0.08, 0.0025)$

〈表 A7〉 CO_2 排出量 減縮費用(2000년)

CO_2감축률 (%)	총비용[1] (10億US달러)	톤당비용[2] (US달러)	톤당비용[3] (원)	총비용[4] (10億원)	증 분[5] (10億원)
0.0	.000000	.000000	.000000	.000000	-
1.0	.640000E-01	.400000E-02	2.71840	.299823	.299823
2.0	.192000	.120000E-01	8.15520	.899470	.599646
3.0	.384000	.240000E-01	16.3104	1.79894	.899470
4.0	.640000	.400000E-01	27.1840	2.99823	1.19929
5.0	.976000	.610000E-01	41.4556	4.57230	1.57407
10.0	3.52000	.220000	149.512	16.4903	2.38359
11.0	4.64000	.290000	197.084	21.7372	5.24691
15.0	10.8800	.680000	462.128	50.9699	7.30819
20.0	26.0800	1.63000	1107.75	122.178	14.2416
25.0	49.1200	3.07000	2086.37	230.114	21.5873
30.0	79.2000	4.95000	3364.02	371.031	28.1834
40.0	172.800	10.8000	7339.68	809.523	43.8491
50.0	305.600	19.1000	12980.4	1431.66	62.2133
60.0	494.400	30.9000	20999.6	2316.13	88.4478
70.0	760.000	47.5000	32281.0	3560.40	124.427
75.0	929.600	58.1000	39484.8	4354.93	158.906
80.0	1134.40	70.9000	48183.6	5314.37	191.887

註 : 1) CO_2 배출량 감축에 따르는 총비용.
(2000년의 총배출량이 1990년의 2배가 된다고 가정하고, 여기에 기술진보를 고려하여 0.8을 곱한 것이다.)

2) 1)을 총배출량으로 나눈 것이다.
(2000년의 세계전체배출량이 현재(80億톤)의 2배가 된다고 가정)

3) 2)를 대미환율로 환산한 것이다.
(679.60원/US달러, 1989년 ; 한국은행, 『조사통계월보』, 1991. 5)

4) 3)에 한국의 CO_2 배출량을 곱한 것이다.
(한국의 CO_2 총배출량은 1億 1,029萬 4千톤 ; 2000년 예측치)

5) 4)의 증분을 계산한 것이다.

〈表 A8〉 經濟活動分野別로 본 氣候變化의 影響

가. 산업별 국내총생산

(1985 불변가격, 단위 : 10億원)

	1989	1990	2000(예측)		
			고성장	중성장	저성장
1) 농림어업	10,779.9	10,354.1	8,594.5	8,790.0	9,416.2
2) 전기, 가스 및 수도사업	3,880.4	4,525.0	9,209.0	8,677.0	8,146.3
건 설 업	9,397.4	11,486.6	24,317.0	22,679.2	20,650.0
도소매 및 음식숙박업	15,063.2	16,475.9	36,563.8	34,344.1	32,007.1
3) 광 업	779.4	699.9	599.5	626.5	655.4
제 조 업	40,543.2	43,953.5	106,786.6	99,263.6	92,055.9
운수창고 및 통신업	9,465.4	10,467.6	21,910.1	20,644.3	19,381.8
금융보험부동산, 사업서비스	15,913.1	17,934.0	39,170.6	37,096.0	34,827.4
사회 및 개인서비스	4,883.2	5,348.6	25,651.6	23,510.1	22,072.3
정부서비스생산자	6,838.1	7,146.5	9,270.5	8,734.9	8,126.3
민간비영리 서비스생산자	2,844.4	3,035.2	-	-	-
기 타	89.5	-164.1	-0.2	180.9	0.1
국 내 총 생 산	120,477.2	131,262.8	282,073.0	264,546.6	247,338.8

註 : 1) 기후변화의 영향에 민감한 부문.
2) 기후변화에 어느 정도 영향을 받는 부문. 3) 기후변화의 영향을 거의 받지 않는 부문.

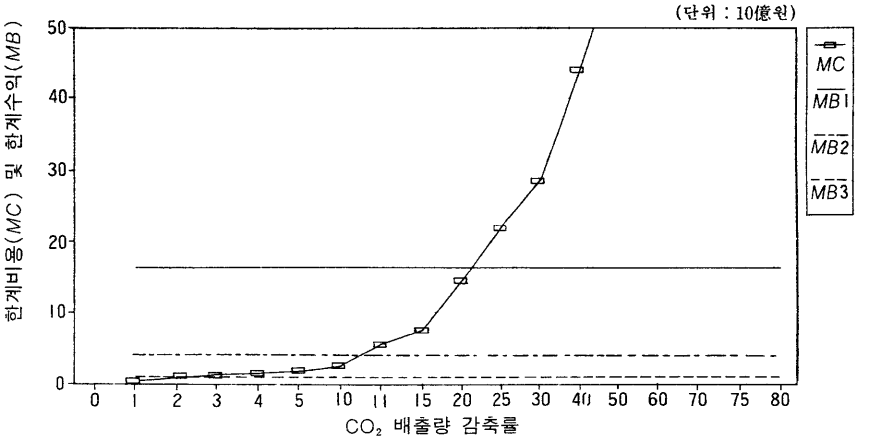
나. 산업별 국내총생산(구성비)

(단위 : %)

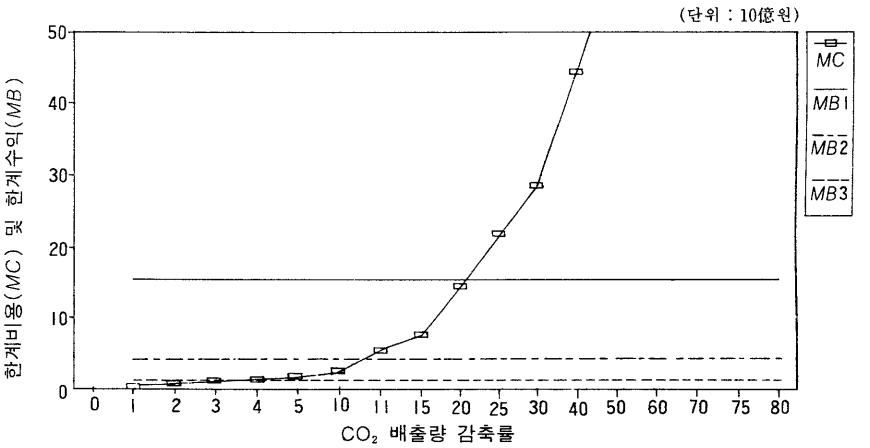
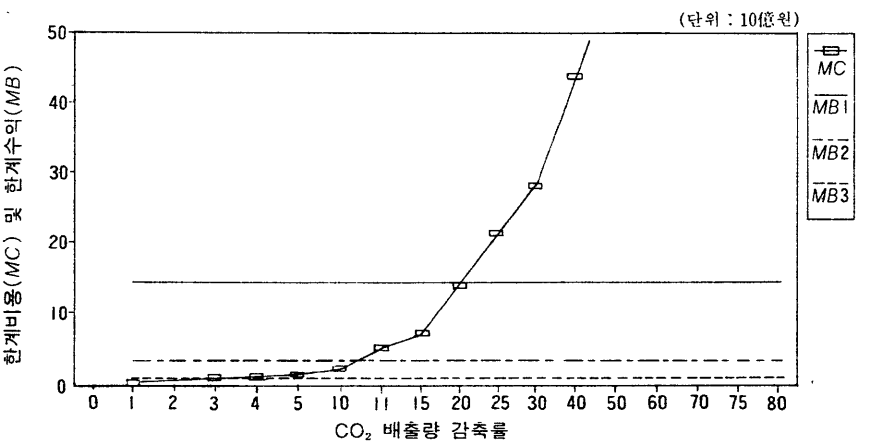
	1989	1990	2000(예측)		
			고성장	중성장	저성장
1) 농림어업	8.9	7.9	3.0	3.3	3.8
(소 계)	(8.9)	(7.9)	(3.0)	(3.3)	(3.8)
2) 전기, 가스 및 수도사업	3.2	3.4	3.3	3.3	3.3
건 설 업	7.8	8.8	8.6	8.6	8.3
도소매 및 음식숙박업	12.5	12.6	13.0	13.0	12.9
(소 계)	(23.5)	(24.8)	(24.9)	(24.9)	(24.5)
3) 광 업	0.6	0.5	0.2	0.2	0.3
제 조 업	33.7	33.5	37.9	37.5	37.2
운수창고 및 통신업	7.9	8.0	7.8	7.8	7.8
금융보험부동산, 사업서비스	13.2	13.7	13.9	14.0	14.1
사회 및 개인서비스	4.1	4.1	9.1	8.9	8.9
정부서비스생산자	5.7	5.4	3.3	3.3	3.3
민간비영리서비스생산자	2.4	2.3	-	-	-
기 타	0.1	-0.1	-0.0	0.1	0.0
(소 계)	(67.6)	(67.3)	(72.1)	(71.8)	(71.7)
국 내 총 생 산	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

註 : 1) 기후변화의 영향에 민감한 부문.
2) 기후변화에 어느 정도 영향을 받는 부문. 3) 기후변화의 영향을 거의 받지 않는 부문.

[圖 A1] CO_2 排出量 減縮에 따르는 費用-收益 比較(2000년 : 高成長)



[圖 A2] CO_2 排出量 減縮에 따르는 費用-收益 比較(2000년 : 中成長)



[圖 A3] CO_2 排出量 減縮에 따르는 費用-收益 比較(2000년 : 低成長)