

온실가스 감축의 경제적 효과

조 경 엽
한국경제연구원

제1절 서론

「저탄소-녹색성장」이 새로운 화두로 떠오르고 있다. 온실가스 감축이 피할 수 없는 당면과제라면 이를 지속 가능한 성장의 기회로 활용하자는 것이 「저탄소-녹색성장」의 기본이념이라 할 수 있다. 정부는 녹색성장을 통해 기후변화 대응뿐만 아니라 성장, 고용 및 분배개선 등의 정책 목표도 함께 달성하겠다고 선언하였다. 그러나 현 정부의 의지와 달리 「저탄소-녹색성장」을 달성한다는 것은 결코 쉬운 문제가 아니다. 온실가스 감축 자체가 막대한 경제적 비용을 유발하고, 신기술 및 대체에너지 또한 아무 비용 없이 개발할 수 있는 것들이 아니기 때문이다.

온실가스의 대부분이 화석연료로부터 발생한다. 온실가스를 감축하기 위해서는 생산자체를 줄이거나, 에너지효율향상 또는 새로운 에너지로의 전환을 요구하게 된다. 이는 생산자 비용을 증가시켜 최종재화의 가격 상승을 불러와 수출을 둔화시키고 소비를 위축시키는 결과를 초래하게 된다. 지속적 성장을 달성하기 위해서는 신기술개발과 대체에너지 개발을 통해 누릴 수 있는 편익이 온실가스 저감비용을 상쇄하고도 남아야 가능한 것이다. 그러나 신기술이나 대체에너지가 개발되고 시장에 보급되기 위해

서는 막대한 비용과 시간이 필요하게 된다.

온실가스 감축이 현실화 된다면 신기술이나 대체에너지가 어느 정도 경제성을 확보할 수 있고 시장에서 개발 보급될 인센티브를 제공할 수 있겠지만, 현재는 경제성이 없어 투자도 더디게 이루어지고 있고 시장보급률도 매우 저조한 상태이다. 정부가 R&D 투자 지원 등을 통해 경제성 확보에 도움을 줄 수 있지만, 이러한 재원이 결국 국민들의 세금으로부터 나온다는 점을 고려한다면 정부지원의 효율성이 크다고만 할 수는 없다.

경제여건이 변하여 새로운 기술과 대체에너지가 경제성을 확보하더라도 시장에 바로 보급되기에는 여러 장애요인이 존재하고 있다. 우선 투자의 비가역성(irreversible) 문제가 신기술 개발이 지연되는 이유이다. 기술 및 대체에너지 개발은 막대한 투자를 요구하는 산업에 속한다. 그러나 기술 및 대체에너지의 성공여부가 불확실한 상황에서 한번 투자하면 되돌릴 수 없다면 이윤을 추구하는 기업으로써는 투자에 신중할 수밖에 없다. 불확실성이 존재하지 않는 경우에도 유출효과로 인해 독점적 이윤이 보장되지 않는다면 투자가 발생하지 않는다.¹⁾ 더욱이 학습효과로 인해 현재 사용하고 있는 기술의 효율이 새로운 기술의 효율보다 오히려 높은 상태가 유지되는 경우 신기술 투자가 지연되게 된다. 이러한 이유로 신기술이나 대체에너지의 보급은 중장기적으로 시간을 갖고 천천히 보급되게 된다.

따라서 우리가 국제협약을 통해 온실가스 감축을 이행하는 시점에서 신기술이나 대체에너지를 얼마큼 효율적으로 활용할 수 있는지가 지속성장의 관건이 될 것이다. 신기술이나 대체에너지가 더디게 이루어지고 온실가스 감축은 빠른 시일 내에 이행해야한다면 온실가스 감축은 성장을 둔화시킬 것이 분명하다.²⁾ 또한 신기술이나 대체에너지 개발은 막대한 투자를 요구하게 되고, 이는 경제적 비용으로 작용한다는 점을 고려한다면 성장둔화 효과는 우리가 기대하는 것보다 클 가능성이 높다. 따라서 『저탄소-녹색성장』은 신기술과 대체에너지 개발을 비용 효과적으로 개발하고 이를

1) 선후발 주자의 투자전략에 대한 다양한 이론이 존재하지만, 선발주자가 개발한 기술을 후발주자가 쉽게 모방하여 사용할 수 있다면, 투자는 사회적 적정수준보다 낮게 이루어진다.

2) Grubb et al.(1995)는 온실가스 저감의 최적 시점은 기술이 충분히 내재화된 시점이라고 주장하고 있다.

시장에 효율적으로 보급할 때 가능하게 된다.

신기술이나 대체에너지뿐만 아니라 온실가스 감축으로 인한 경제적 효과는 의무감축량, 감축시기, 기술수준, 감축수단 등 다양한 요소에 의해 영향을 받는다. 본 연구의 목적은 감축수단, 신기술 및 대체에너지 개발의 경제적 파급효과를 분석한 기존연구들을 살펴보고, 향후 연구과제를 발굴하는데 있다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 다음 장에서는 환경정책수단별 장단점을 이론적·실증적 연구를 살펴보기로 한다. 제3절에서는 환경정책으로 유인되는 기술진보와 관련된 기존의 실증분석 연구들을 중심으로 살펴본다. 마지막으로 결론과 향후 연구과제는 제4절에 수록한다.

제2절 환경정책별 경제적 효과

1. 개 요

환경목표를 달성하는 정책은 크게 직접규제와 시장 메커니즘을 이용한 인센티브 제도로 나누어 볼 수 있다. 직접규제로는 배출총량규제와 기술규제를 꼽을 수 있으며, 인센티브 제도로는 배출권거래제 및 환경세 등을 들 수 있다. 그리고 배출권거래제는 초기배출권을 할당하는 방법에 따라, 경매를 통한 배출권거래제와 무상분배를 통한 배출권거래제로 구분된다.³⁾ 무상분배의 경우 어떤 기준으로 배분하느냐에 따라 배출권거래제의 종류는 매우 다양하게 구분할 수 있다.

또한 현재의 경제여건에 따라 환경정책이 가져오는 경제적 파급효과는 매우 상이할 수 있다. 환경정책의 고전으로 일컫는 피구비언세가 최적이 되기 위해서는 기존의 조세왜곡(예, 근로세, 법인세, 부가가치세 등)이 존

3) 무상분배의 기준으로 과거의 배출실적 대비 일정 비율로 배분하는 그랜드 파더링(grandfathering) 방식, 투입연료 사용량에 근거하여 분배하는 IBA (Input-Based Allocation), 향후 생산 실적에 근거한 PSC (Performance Standard Allocation) 방식 등을 들 수 있다.

재하지 않는다는 전제조건이 필요하다. 그러나 이와는 달리 현실경제는 이미 많은 세금들이 부과되고 있다. 최근 들어 기존의 세금이 존재하는 차선(second best)의 경제 하에서 최적의 환경세 또는 환경정책별 차이를 분석하려는 많은 연구가 진행되어 왔다. 대표적인 연구로서 Bovenverg and de Mooij(1994), Parry(1998), Goulder(1995), Goulder et al.(1999) 등을 꼽을 수 있다.

이들 연구가 주는 시사점은 차선의 세계에서 피구비언세는 최적의 환경정책이 아닐 가능성이 높으며, 경제여건과 저감량 수준에 따라 정책별 차이점이 크게 나타날 수 있다는 점이다. 이들 연구는 차선의 세계에서 최적의 환경세는 피구비언세보다 일반적으로 낮다고 주장하고 있다. 또한 시장 메커니즘을 이용한 정책이 때로는 직접규제 보다 효율적인 측면에서 우수하지 않을 수 있다고 주장한다. Goulder et al.(1999)은 기존의 조세왜곡이 존재한다면 무상분배를 통한 배출권거래제가 낮은 저감량 수준에서는 직접규제 보다 더 높은 환경비용을 발생시킨다는 것을 실증적으로 보여주고 있다.⁴⁾

이와 같이 환경정책 마다 가지고 있는 특성이 다르고, 경제여건에 따라 환경비용의 차이가 매우 크게 나타난다. 따라서 본 장에서는 기존의 조세왜곡이 존재하는 상황에서 환경정책별 차이점에 대한 이론적·실증적 연구들을 살펴보기로 한다.

2. 조세왜곡 하의 감축수단별 파급효과의 차이점

가. 환경세⁵⁾

4) Goulder et al.(1999)은 저감량이 높아질수록 규제의 비용이 증가하여 직접규제가 점점 비효율적인 정책이라는 점도 강조하고 있다.

5) 본 연구에서는 환경세와 경매를 통한 배출권거래제를 동일 한 것으로 간주한다. 행정비용, 감시비용, 경제주체의 정보수준 등 두 제도가 차이를 가져올 요인들이 존재한다. 그러나 이러한 제반비용을 모형에 감안할 경우 나타날 복잡성을 피하기 위해 차별화 하지 않았다. 이후 기술되는 환경세는 경매를 통한 배출권거래제와 동일한 정책을 의미한다.

기존의 세금이 존재하지 않는 상황에서 환경세가 부과되면, 신기술(backstop technology)을 도입하여 오염물질 배출 자체를 줄여 환경세 부담을 줄이려는 저감효과(abatement effect)와, 생산을 줄여 환경세 부담을 줄이려는 생산대체효과(output-substitution effect), 중간재화를 보다 청정한 재화로 전환하여 환경세부담을 줄이려는 투입대체효과(input-substitution effect)가 발생한다. 따라서 한계저감비용, 한계투입재화비용, 한계생산비용의 합이 환경세와 일치하는 점에서 균형이 형성된다. 이러한 비용을 일차 환경비용(primary cost)으로 부르고 있다.

기존의 조세왜곡이 존재하면 이러한 세 가지 효과와 더불어 세제간 연관효과(tax interaction effect)와 세수환원효과(revenue recycling effect)라는 추가적인 효과가 발생한다. 세제간 연관효과는 환경세가 기존의 조세왜곡을 더욱 악화시키는 효과를 의미한다. 근로소득세가 부과되고 있는 경제에 환경세가 도입되었다고 가정하면, 환경세는 다음과 같은 세 가지 경로를 거쳐 기존의 조세왜곡을 더욱 악화시킨다.

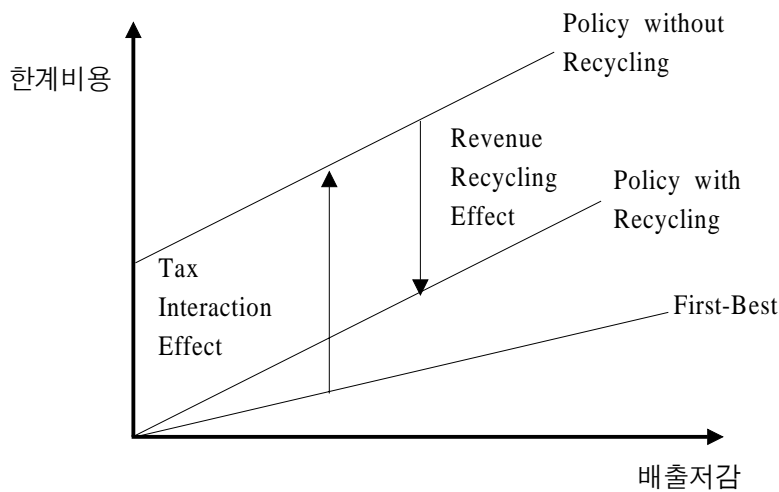
첫째, 환경세 부과는 오염물질을 유발하는 재화 나아가 이를 중간재화로 사용하는 기타 최종재화의 가격을 상승시킨다. 이로 인한 물가상승은 실질임금을 하락시키는 원인으로 작용하기 때문에 추가적으로 노동공급을 더욱 왜곡시키는 결과를 가져온다. 둘째, 추가적인 노동공급 감소는 정부 수입 감소로 이어져 추가적인 세금인상이 불가피하게 된다. 마지막으로 물가 상승은 실질정부지출의 감소를 의미하기 때문에 기존의 정부지출 수준을 유지하기 위해서는 추가적으로 세금을 더 징수해야하는 요인이 발생한다. 이러한 이유로 환경세는 기존의 조세왜곡을 더욱 악화시키는 방향으로 작용하게 된다.

반면 환경세는 정부의 세수입을 증가시키기 때문에 이를 기존의 조세왜곡을 완화하는 방향으로 사용할 수 있다. 이를 세수환원효과(recycling effect)라고 한다. 결국 차선의 세계에서 최적의 환경세는 세제간 연관효과와 세수환원효과의 크기에 따라 경제의 효율성과 후생 수준이 결정된다.

기존의 대부분의 연구에서 세제간 연관효과가 세수환원효과보다 커서

차선의 세계에서 환경세는 후생을 감소시킨다는 것을 보여주고 있다. 따라서 [그림 1]에서 보듯이 동일한 저감수준에서 환경세는 피구세 보다 높게 나타난다.

[그림 1] 환경세 도입 효과



자료: Goulder et al(1999)

나. 배출권거래제(Cap and Trade)

앞서 살펴보았듯이 환경세의 장점은 기존의 조세왜곡을 완화시킬 수 있는 세수환원효과를 가질 수 있다는 것이다. 본 절에서 살펴볼 배출권거래제는 경매를 통해 배출권을 정부가 기업에 판매하는 제도를 의미하지 않는다. 단지 정부가 기준균형 대비 일정량의 배출을 허용하고, 저감비용의 차이에 따라 “배출권거래 시장”에서 기업간 판매와 구매가 가능하도록 하는 정책을 의미한다. 거래는 기업마다 저감비용이 다르기 때문에 일어난다. 저감비용이 상대적으로 저렴한 기업은 허용량보다 더 적게 배출하고 추가 감축량을 판매하고, 반대로 저감비용이 상대적으로 비싼 기업은 다른 기업으로부터 배출권을 구매하게 된다. 배출권거래제에서는 거래로 인해

개별기업의 실제 배출량은 허용된 배출량보다 많거나 적을 수 있지만, 사회 전체적으로 배출한 총량은 총 배출허용량과 일치해야 한다.

환경세와 마찬가지로 배출권 거래제에서도 신기술(backstop technology)을 도입하여 오염물질 배출 자체를 줄여 배출권을 더 많이 판매하거나 적게 구매하려는 저감효과와, 생산을 줄여 배출권 판매를 늘리거나 구매를 줄이려는 생산대체효과, 중간재화를 보다 청정한 재화로 전환하여 배출권 판매를 늘리거나 구매를 줄이려는 투입대체효과(input-substitution effect)가 발생한다.

환경세와 다른 점은 단지 무상분배를 통한 배출권거래제에서는 기존의 조세왜곡을 완화할 수 있는 정부의 추가적인 세수입이 발생하지 않는다는 점이다. 그러나 배출권거래제는 세수환원효과는 없지만 세제간 연관효과는 환경세와 매우 유사한 경로를 통해 경제에 영향을 미친다. 배출권거래는 생산비용을 상승시켜 재화의 판매가격을 상승시키고 실질임금을 하락시키게 된다. 실질임금 하락하면 노동공급이 감소하고, 노동공급이 감소하면 정부의 세수입이 감소하게 된다. 따라서 세수중립조건 하에서 정부는 기존의 근로소득세를 인상해야하는 유인이 발생한다. 또한 물가상승은 실질정부지출의 감소를 의미하기 때문에 기존의 지출 수준을 유지하기 위해서는 근로소득세를 인상시켜야 한다. 이상의 세 가지 경로를 통해서 기존의 근로소득세를 더욱 악화시키는 효과가 발생하게 된다.

다. 강제적 규제 (Command and Control)

정부가 환경 오염물질 배출을 직접 규제하는 방법으로는 특정 기술을 의무적으로 사용하게 하거나, 투입연료 대비 환경오염물질 배출량 비율을 정하여 이를 지키도록 강제하는 방법을 들 수 있다.⁶⁾ 이 두 가지 규제가 경제에 미치는 효과는 매우 상이한 것이 사실이다. 투입연료 대비 오염물질 배출량규제가 시행되면 기업은 신기술을 도입하여 배출량을 억제하려

6) 기술규제는 발전소의 탈황시설 설치와 자동차에 촉매기 부착 등을 그 예로 들 수 있다.

는 유인이 발생하여 기술규제와 같은 저감효과가 발생할 수 있다. 그러나 기술규제는 일단 대안기술이 설치되면 투입연료를 줄이거나 다른 연료로 대체하려는 유인 효과는 투입 대비 배출량규제보다 저조하게 된다. 중간투입재화를 고려하지 않는다면 두 효과가 이론적으로 동일하기 때문에 기술규제를 중심으로 살펴보기로 한다.⁷⁾

기술규제의 경우 생산대체효과는 매우 미미할 것으로 분석되고 있다. 기술규제를 충족하는 기업은 생산을 줄여서 환경 오염물질 배출을 스스로 억제할 유인이 발생하지 않기 때문이다. 단지 신기술도입은 재화의 가격이 상승하는 요인으로 작용하기 때문에 수요가 감소하는 효과만 발생하게 된다. 따라서 기술규제는 앞의 두 정책보다 생산대체효과를 통한 환경비용 저감유인이 적다.

기술규제 하에서는 최종재화 가격의 상승효과가 상대적으로 작게 나타난다. 이는 규제조건을 충족하는 기술을 도입한 기업은 생산 증가와 함께 증가하는 오염물질 배출에 대해 추가적인 비용을 지불하지 않아도 되기 때문이다. 이에 반해 환경세 하에서는 생산증가로 오염물질이 증가하면 추가적으로 대안기술을 더 도입하던가 아니면 환경세를 더 부담해야하기 때문에 가격 상승효과가 기술규제보다 높게 된다. 따라서 기술규제는 생산대체효과 상대적으로 작기 때문에 환경비용이 높아지게 된다.

기술규제 하에서 가격상승이 상대적으로 작기 때문에 세제간 연관효과는 환경세나 배출권거래제 보다 낮을 것으로 분석된다. 그러나 세수환원효과가 없기 때문에 환경비용은 환경세 보다 높아질 가능성이 높다.

라. 연료세

연료세는 환경오염 물질 대신 비 청정재화(연료)의 소비 또는 생산 단계에 세금을 부과하는 정책이다. 연료세의 가장 큰 단점으로 지적되는 것

7) 현재 이용 가능한 기술 중 어떤 기술을 의무화 하느냐에 따라 기술규제는 세분화 될 수 있다. 현재의 대안기술 중 가장 저렴한 기술을 도입하도록 규제하거나 아니면 보다 비싼 기술을 도입하도록 규제할 수도 있다.

은 기업이 자발적으로 신기술을 도입하려는 유인을 주지 못한다는 점이다. 기업은 일단 연료세를 납부하면 오염물질 배출에 상관없이 생산 활동을 하게 된다. 따라서 연료세는 최적의 오염물질 배출 수준을 달성하지 못할 가능성이 높기 때문에 목표량을 달성하기 위해서는 세율을 초기 수준보다 더 높여야하는 단점을 가지고 있다. 환경세와 마찬가지로 연료세도 비 청정재화의 가격이 상승하기 때문에 세수환원효과와 세제간 연관효과가 발생한다.

마. 환경정책별 환경비용 비교

1) 환경정책별 1차 환경비용 비교

이상에서 살펴본 환경정책별 일차 환경 비용에 대한 비교는 <표 1>에서 찾을 수 있다. 일차 환경비용은 세 가지 효과가 클수록 적어진다. 앞서 살펴본 것처럼 저감효과는 환경세, 무상분배를 통한 배출권거래제, 기술규제에서는 크게 발생하지만, 연료세의 경우에는 전혀 발생하지 않는다. 그러나 다른 환경정책과 같이 연료세도 비 청정연료로 중간재화를 대체함으로써 연료세의 부담을 줄이려는 투입대체효과가 발생하게 된다. 환경세와 배출권거래제의 경우에도 투입재화를 청정재화로 대체하면 환경세나 배출권에 대한 지출이 줄어들어 이윤이 증가할 수 있다. 그러나 기술규제의 경우에는 중간재화의 가격 상승으로 인한 대체효과가 발생할 수 있으나, 자발적으로 오염물질을 줄이기 위해 중간투입연료를 대체하는 효과는 발생하지 않는다. 따라서 기술규제 하에서는 중간투입재화 대체효과가 다른 환경정책에 비해 상대적으로 적게 발생하게 된다.

생산을 줄임으로써 얻는 환경비용 감소분이 생산의 한계이윤보다 큰 경우 생산대체효과가 발생하게 된다. 중간투입재화 대체효과는 기술규제 하에서 부분적으로 발생지만 그 외의 환경정책에서는 활발할 것으로 분석된다.

〈표 1〉 환경정책별 1차 비용

	저감효과	투입대체효과	생산대체효과
환경세	Full	Full	Full
무상분배 & 배출권거래	Full	Full	Full
기술규제	Full	Partial	Partial
연료세	None	Full	Full

자료: Goulder et al.(1999)

2) 환경정책별 2차 환경비용 비교

환경정책이 도입되기 이전에 이미 근로소득세가 존재하고 있으면 일차적 환경 비용에 추가적인 비용이 발생하게 된다. 이와 같은 이차적인 환경 비용은 <표 2>에서 찾아 볼 수 있다.

세제간 연관효과의 크기는 가격 상승에 비례하여 결정된다. 가격상승 효과가 적을수록 실질임금 감소, 노동공급 감소, 실질정부지출 감소 효과가 작아지기 때문이다. 따라서 기존의 정부의 지출수준을 유지하기 위해 추가적으로 더 부과해야 하는 근로소득세율이 작기 때문에 가격상승효과가 적을수록 세제간 연관효과는 작아진다.

환경정책이 부과되기 이전의 재화의 가격을 1이라고 가정하면 환경정책으로 인한 최종재화의 가격변화는 다음과 같이 정의 할 수 있다.

환경세 부과후의 최종재화 가격(P)은 다음과 같다.

$$P = \{1 + \theta(b) + t_e(e_0 - b)\} \quad (1)$$

여기서 b 는 신기술을 도입함으로써 저감되는 생산 단위당 오염물질의 의미하며, $\theta(b)$ 는 오염물질 b 만큼 줄이기 위한 단위당 신기술 도입비용함수를 의미한다. t_e 는 환경세율을 의미하며, e_0 는 환경정책이 도입되지 않았을 때 발생하는 생산 단위당 배출량을 의미하며, $(e_0 - b)$ 는 신기술 도입 이후의 생산단위당 배출량을 의미한다. 따라서 환경세 부과 이후의 가격은 세전 가격에 생산 단위당 신기술 도입 비용과 신기술 도입이후에 배출된

오염물질에 부과된 생산 단위당 세금에 의해 결정된다.

배출권거래제가 도입된 이후의 가격은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$P = \{1 + \theta(b) + p_e(e_o - b)\} \quad (2)$$

여기서 p_e 배출권 가격을 의미한다. 식 (1)과 비교하면 단지 환경세 t_e 가 배출권 가격 p_e 로 바뀐다는 점이 다르다. 따라서 저감목표를 달성하기 위해 정부가 부과하는 환경세와 배출권거래시장에서 결정되는 배출권가격이 동일하다면, 최종재화의 가격은 동일한 크기로 상승하게 된다.

기술규제의 경우 현재 이용 가능한 신기술 중 가장 저렴한 기술을 도입하도록 규제하거나 아니면 보다 비싼 기술을 도입하도록 규제할 수 있다. 신기술의 비용 계수 k 가 1이면 현재의 신기술 중 가장 저렴한 기술이고, 1보다 클수록 도입비용이 증가한다고 가정하면, 최종 재화의 가격변화는 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$P = \{1 + k\theta(b)\} \quad (3)$$

$k=1$ 일 경우, 최종재화의 가격은 환경세나 배출권거래제에서 형성되는 가격보다 낮다. 이는 규제조건을 충족하는 기술을 도입한 기업은 생산 증가와 함께 증가하는 오염물질 배출에 대해 추가적인 비용을 지불하지 않아도 되기 때문이다. 그러나 비싼 기술을 사용하도록 규제할 경우 k 가 1보다 커지기 때문에 기술규제 하에서 결정되는 가격은 환경세나 배출권거래제에서 형성되는 가격보다 높아질 가능성이 있다.

마지막으로 연료세 (t_d)의 경우, 최종재화 가격변화를 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$P = \{1 + \theta(b) + t_d\} \quad (3)$$

세수환원효과는 정부의 세수입을 증가시키는 환경세와 연료세 등의 정책에서만 나타난다. [그림 1]에서 보았듯이 세수환원효과가 세제간 연관효과를 상쇄하는 정도에 따라 최종 환경비용의 크기가 결정된다. 따라서 환

경세와 연료세의 경우 가격효과와 세제간 연관효과가 매우 크지만 세수환원효과에 의해 상쇄되어 일차적 환경 비용에 추가되는 비용은 상대적으로 적을 것으로 분석 된다. 그러나 무상분배를 통한 배출권거래제는 세수환원효과가 없기 때문에 일차적 비용에 추가되는 비용이 매우 높다. 기술규제는 가격효과와 세제간 연관효과가 상대적으로 적어 추가적 비용은 그리 크지 않다. 그러나 기술규제와 연료세는 배출권거래제 보다 이차 환경비용이 상대적으로 작다고 할 수 있다. 결국 환경정책별 환경비용의 크기는 1차 환경비용과 2차 환경비용의 크기에 의해 결정된다.

〈표 2〉 환경정책별 2차적 비용

	가격효과	세제간 연관효과	세수환원효과	1차비용에 추가효과
환경세	Large	Large	Large	Moderate
배출권거래	Large	Large	0	Potentially Huge
기술규제	Moderate	Moderate	0	Moderate
연료세	Large	Large	Large	Moderate

자료: Goulder et al. (1999).

바. 실증분석 사례

1) 환경정책별 환경비용 추정: Goulder et al. (1999)

Goulder et al. (1999)은 NO_x 를 대상으로 환경세, 배출권거래제, 연료세, 기술규제, 의무할당제(performance standard)의 효율성을 CGE 모형을 이용하여 평가하였다.⁸⁾ 분석의 단순화를 위해 산업은 청정재화와 비청정재화(에너지)를 생산하는 두 개의 부문으로 구성되어 있으며, 생산은 노동과 중간재화(청정재화와 비청정재화)만을 사용하여 생산한다고 가정하고 있다.

8) 의무할당제도는 투입연료 대비 환경오염물질 배출량 비율을 정하고 이를 지키도록 강제하는 제도를 의미한다.

가계는 환경오염을 배출하는 재화(D)와 오염물질을 배출하지 않는 재화(C), 그리고 여가를 소비함으로써 효용을 얻는다고 가정한다. 그러나 생산과정에서 발생한 총 환경오염 (E)에 의해 효용이 감소한다고 가정하고 가계의 효용함수를 $U = u(D, C, H - L) - \psi(E)$ 로 가정하고 있다.⁹⁾ 두 함수가 분리 가능한(separable) 함수로 표현된 것은 D 와 C , 그리고 노동공급의 변화는 환경오염물질 E 의 변화에 영향을 받지 않는다는 것을 의미한다.

Goulder et al. (1999)의 분석결과를 간략히 요약하면 <표 3>과 같다. 환경세와 배출권거래제의 비용이 동일하나, 배출권거래제의 경우 세수환원 효과가 없어 이차 환경비용이 크기 때문에 <표 3>에서 보듯이 총 환경비용은 환경세보다 모든 감축수준에서 높게 나타나고 있다. 의무할당제와 기술규제의 경우, 일단 규제수준을 충족하는 기업은 투입연료를 줄이거나 생산을 줄이려는 효과가 약하기 때문에 일차 환경비용은 환경세와 배출권거래제 보다 높게 나타나고 있다. 의무할당제가 기술규제보다 환경비용이 큰 이유는 기술규제는 의무할당제보다 투입연료 대체효과가 작기 때문이다. 의무할당제와 기술규제는 가격상승효과와 세제간 연관효과가 배출권거래제 보다 작기 때문에 총 환경비용은 배출권거래제보다 낮게 추정되고 있다. 연료세는 일단 세금을 납부하면 스스로 감축할 유인이 사라지기 때문에 감축목표량을 달성하기 위해서는 연료세를 인상해야 한다. 따라서 감축량이 증가할수록 환경비용은 급격히 증가하여 75%를 감축할 경우 환경세의 5.8배에 달하는 것으로 추정되고 있다.

<표 3> 온실가스 감축정책별 총 환경비용: Goulder et al(1999) 실증분석 결과
(환경세 비용= 1)

	배출권거래제	의무할당제	기술규제 ¹⁾	연료세
20% 감축	1.992	1.035	1.238	3.677
50% 감축	1.345	1.025	1.112	4.348
75% 감축	1.123	1.014	1.036	5.804

주: 가장 저렴한 신기술을 사용하도록 강제하는 기술규제를 평가하고 있음.

9) 여기서 H 는 가계에 부여된 총 시간이고, L 은 노동공급을 의미한다. 따라서 $H - L$ 은 여가를 뜻한다. $u(\cdot)$ 는 청정재화와 비청정재화가 CES 함수로 복합되고 소비복합재화와 여가도 CES 함수로 복합된다고 가정하고 있다.

2) 환경정책별 환경비용 추정: 유승직·조경엽(2004)

유승직·조경엽(2004)은 Goulder et al(1999)와 같이 NO_x 감축을 위한 환경정책별 환경비용을 추정하였다. Goulder et al(1999)와 달리 유승직·조경엽(2004)은 한국경제를 대상으로 하고 있으며, 모형경제를 보다 일반화하고 있다는 점에서 차이가 난다. 유승직·조경엽(2004)은 산업을 21개로 세분화하고 에너지 산업도 석탄, 원유, 가스, 석유제품(6개), 전력 등으로 세분화하여 모형에 반영하고 있다. 소비재화도 음식료, 광연료, 교통 및 통신, 기타 소비재화로 나누고 있으며, 기존의 세금도 근로소득세, 법인세, 부가가치세, 개별소비세, 관세 등으로 세분화하고 있어, 근로소득세만을 고려한 Goulder et al(1999) 모형보다 기존의 조세왜곡을 광범위하게 다루고 있다.

또한 유승직·조경엽(2004)은 가계를 소득수준에 따라 5계 계층으로 나누고 있어 환경정책별 소득재분배 효과도 함께 분석할 수 있는 장점이 있다. 연산방법에 있어서도 Goulder et al(1999)는 일기에 국한한 정태모형인데 비해 유승직·조경엽(2004)은 2000~2030년을 대상으로 한 완전동태모형이라는 점에서 차이가 나고 있다. 그러나 환경정책은 Goulder et al(1999)의 동일한 방법으로 모형에 반영하고 있다.

모형구조 차이로 인해 유승직·조경엽(2004)은 중간투입연료대체효과를 중간투입연료의 가격변화를 통해 살펴보고 있으며, 최종생산연료대체효과는 최종생산연료의 가격변화를 통해 분석하고 있다. 그리고 세계간 상호작용효과는 기준균형 대비 물가상승과 노동공급의 변화를 통해 분석하고 있으며, 세수환원효과는 노동공급의 변화와 정부 수입의 변화를 통해 분석하고 있다. 그리고 환경정책의 일차적 효과와 이차적 효과는 혼합되어 나타나기 때문에 최종적으로 GDP 변화와 톤당 한계저감비용을 토대로 환경정책의 효율성을 평가하고 있다. 이러한 환경정책에 대한 효율성 순위는 <표 4>에 정리되어 있다.

<표 4> 환경정책의 효율성 평가 순위

	환경세	총량규제	총량규제 & 배출권	연료세	기술규제
저감비용	1	3	2	5	4
기술유인	3	2	4	-	1
중간투입연료	5	1	2	4	3
최종생산연료	5	1	2	4	3
물가	5	1	2	4	3
노동공급	2	3	4	1	5
환경세수입	2	-	-	1	-
GDP	1	3	2	4	5

<표 4>에 보듯이 톤당 한계저감비용은 환경세에서 가장 낮으며, 다음으로 배출권거래제가 허용되는 총량규제, 배출권거래제가 허용되지 않는 총량규제, 기술규제, 연료세 순으로 나타나고 있다. 환경정책 도입으로 인한 기준균형 대비 GDP 손실 측면에서도 동일한 순서를 보여주고 있다. 이와 같은 결과는 앞서 설명한 일차적 환경비용효과와 이차적인 환경비용 효과의 크기에 의해 결정된다.

법적으로 특정 기술을 사용하도록 강제하는 기술규제를 제외하면 총량규제 하에서 기술유인효과가 가장 크고 다음으로 환경세, 배출권거래를 허용한 총량규제 순으로 크게 나타난다. 환경세와 배출권거래를 허용한 총량규제와는 달리 배출권이 허용되지 않는 총량규제 하에서는 세수환원효과, 배출권거래, 환경세 부담 등 저감목표를 달성할 수 있는 수단이 적기 때문에 대안기술도입이 강력한 저감수단이 된다.

중간투입연료가격, 최종생산연료가격, 물가 실질임금 등은 기존의 조세왜곡을 완화할 수 있는 정부의 세수입 유무에 크게 의존한다. 정부의 세수입을 기존의 조세왜곡을 완화하기 위해 사용한다면 연료가격, 물가, 실질임금의 상승폭이 대폭 완화되어 중간투입연료대체효과, 최종생산연료대체효과, 세제간 연관효과는 작아지게 된다. 이러한 효과는 환경세와 연료세에서 상대적으로 작은 것으로 평가되고 있다.

3) 시점간 배출권거래제 평가: 조경엽·김영덕·김효선(2004)

조경엽·김영덕·김효선(2004)은 배출권거래제를 중심으로 초기의 할당방식과 배출권거래가 산업간 거래뿐만 아니라 시점간(intertemporal)거래의 차이점을 완전 동태적 CGE 모형을 이용하여 분석하고 있다. 환경정책은 앞서 설명한 저감효과, 투입대체, 생산대체, 세제간 연관효과, 세수환원효과 뿐만 아니라 시점간 대체효과도 발생한다는 점에서 이들 연구의 의의를 찾을 수 있다. 예를 들어, 배출권의 저축(banking)과 대부(borrowing)가 허용되는 예대 가능한 배출권거래제가 적용되면 배출의 저감시점을 달리함으로써 이윤극대화를 추구하게 된다. 배출 저감 시기의 변화는 생산, 투자, 나아가 소비의 시점간 패턴에 영향을 미치게 된다.

조경엽·김영덕·김효선(2004)은 한국의 주요 8대산업을 대상으로 CO_2 감축을 위한 배출권거래제를 평가하고 있다.¹⁰⁾ 2013년 이후의 CO_2 규제에 대한 저감목표를 2000년 대비 5% 감축으로 설정하고 있다. 따라서 경제가 성장하고 에너지소비가 증가하는 미래에는 감축해야하는 양이 점점 증가하게 된다.¹¹⁾

초기의 할당방식을 동일한 비율로 할당하는 일률할당과, 2000년도 에너지소비량, 부가가치, 생산량 기준 등 4개의 방식을 비교 분석하고 있다. 그리고 배출권거래 방식은 저축과 대부가 가능하지 않아서 1년 마다 배출권거래가 정산되는 단위기간(annual)정산 배출권거래제(A_TRADE)와 저축(banking)과 대부(borrowing)가 허락되고 정산기간(budget period)에 대해서 배출권이 정산되는 예대가능한(bankable) 다기간정산 배출권거래제(P_TRADE)로 구분하고 있다.

<표 5>에서 보듯이 P_TRADE 하에서도 부가가치를 기준으로 배출권을 할당할 경우 톤당 배출권 거래가격이 가장 낮다. 부가가치를 기준으로 초

10) 8대 산업은 철강, 석유화학, 시멘트, 제지, 자동차, 반도체, 발전, 정유 등 에너지 다소비산업을 중심으로 구성하였다. 이 밖에도 조경엽·김영덕·김효선(2006) 모형은 에너지 산업 등 총 17개 산업을 분석대상으로 하지만, 8대 산업을 제외한 산업은 저감의무가 없는 것으로 가정하고 있다.

11) 기준균형 배출량(BaU)에 비해 2013년은 약 43%, 2018년은 약 53%, 2030년은 약 70%를 감축해야하는 수준이다. 따라서 연도가 지날수록 감축량이 증가하기 때문에 기업과 가계의 부담이 가중되는 결과가 예상된다.

기 배출권을 배분할 경우 회계연도 2013년~2017년의 거래가격은 약 3만 1,370원, 2018년~2022년의 거래가격은 3만 8,250원, 2023년~2030년의 배출권 거래가격은 약 4만 9,910원에 달할 전망이다. 일률적으로 할당할 때가 가장 높은 거래가격을 보여 회계연도 2013년~2017년에 3만 3,260원, 회계연도 2023년~2030년에 5만 5,470원에 달할 전망이다.

P_TRADE 하에서 배출권 거래가격은 시점간 비용 차이에 의해 영향을 받는다. A_TRADE에서는 회계연도의 후반기로 갈수록 저감량이 증가하기 때문에 배출권가격도 함께 증가하게 된다. 그러나 P_TRADE 하에서는 회계연도에 동일한 가격이 형성되기 때문에 [그림 2]에서 보듯이 회계연도의 전반기에는 P_TRADE 하의 배출권가격이 A_TRADE 하의 배출권가격보다 높고 반대로 후반기에는 낮게 형성된다. 이러한 가격격차로 인해 시점간 거래가 발생하게 된다. 다시 말해서 [그림 3]에서 보듯이 A_TRADE보다 가격이 높게 형성되는 전반기에는 판매를 하고, A_TRADE보다 가격이 낮은 후반기에는 구매를 하는 형태로 거래가 발생하게 된다. 이와 같은 결과는 후반기에 갈수록 감축량이 증가하기 때문이다. 만약 기술진보가 빠르게 진행되거나 시점간 대체탄력성과 할인율이 매우 클 경우 다른 결과를 초래할 수 있다.¹²⁾

12) Cronshaw and Kruse (1996)는 예대가능한 배출권 경쟁시장에서 기업은 저감비용의 현재가치를 최소화하도록 총배출량을 시점간 배분한다고 설명하고 있으며, Rubin (1996)은 이를 확장하고 일반화하여 기업이 배출권을 저축하고 대부하는 것이 가능한 경우에 배출권과 배출권가격의 시간에 대한 움직임을 도출하고 있다. 이들은 모두 예대가능한 배출권거래제가 저감비용의 현재가치를 최소화하는 자원배분을 이루고 있다는 점을 강조하고 있다. 반면에, Kling and Rubin (1997)은 예대가능한 배출권거래제 하에서 개별 기업의 시점간 배출권 배분이 반드시 사회적인 후생을 최적화하는 것은 아닐 수 있음을 제시한다. 한계저감비용이 상승하는 경우, 기업은 초기에 과도하게 배출을 줄이고 비용이 높아지는 미래 시점에 배출을 상대적으로 많이 할 수 있도록 배출권을 저축하려는 유인을 가질 수 있음을 논의하고 있다. Williams (2003)에서는 시점간 배출이 완전대체에 가까울수록 예대가능한 배출권거래제가 일률배출할당 보다 효율적이며, 예대가능한 배출권거래제와 환경세는 시점간 한계저감 편익과 한계저감비용의 기울기에 따라 효율성이 달라질 수 있으나 통시적 한계저감비용의 기울기가 한 시점의 한계저감비용의 기울기보다 낮을 수 있다는 점에서 예대가능한 배출권거래제가 효과적인 가능성을 열어두고 있다.

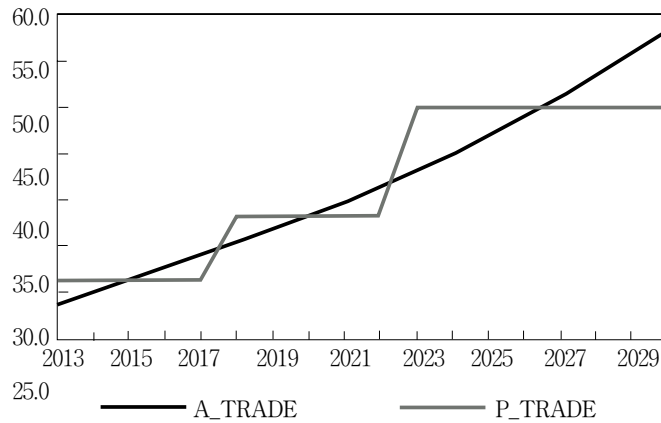
〈표 5〉 다기간정산 배출권거래제(P_TRADE) 하에서의 배출권 거래가격

(단위: 천원/TC)

연 도	일률 할당 (Uniform)	에너지사용 기준 (Energy)	부가가치 기준 (Value Added)	생산량 기준 (Output)
2013~2017	33.26	34.46	31.37	32.06
2018~2022	41.17	41.98	38.25	39.30
2023~2030	55.47	55.51	49.91	51.88

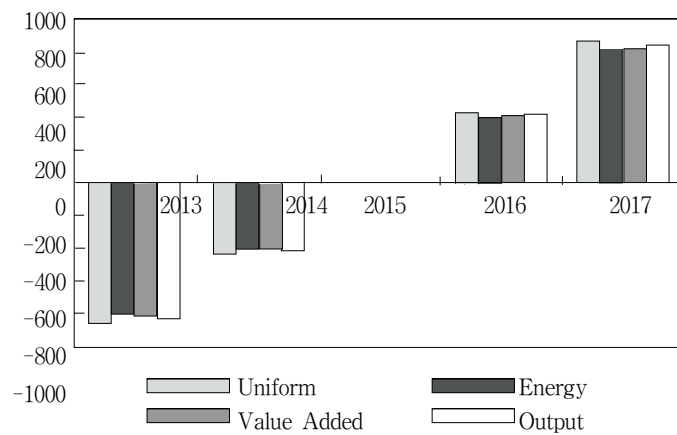
[그림 2] A_TRADE와 P_TRADE의 저감비용 비교

(단위: 부가가치 기준, 천원/TC)



[그림 3] 정산기간 2013년~2017년의 시점간 거래량

(단위: 천TC)



4) 세수환원방법 평가

앞서 살펴보았듯이 환경세의 가장 큰 장점은 정부세수입을 기존의 조세 왜곡을 완화하기 위해 사용할 수 있다는 데 있다. 이와 같이 환경세부과를 통해 확보된 세수입을 기존의 조세왜곡을 완화하는 데 사용할 경우 경제의 효율성이 증가한다는 것이 이중배당 가설로 알려져 있다. 세수환원 효과가 기존의 조세왜곡효과를 완전히 상쇄하는 경우를 강한 이중배당가설이라 하며, 세수환원효과가 기존의 조세왜곡효과를 초과하지는 못하지만 기존의 왜곡을 완화 하는 방향으로 작용한다는 것을 약한 이중배당가설이라 한다. 기존의 대부분의 연구는 강한 이중배당 가설은 기각하는 반면 약한 이중배당가설은 성립한다는 것을 보여주고 있다.

<표 6>은 Goulder(1994)의 문헌 조사에 나타난 연구결과들을 보여주고 있다. 모든 모형에서 환경세를 부과하고 세수입을 환원하더라도 GDP가 환경세가 부과되기 이전보다 감소하는 것을 보여주고 있다. 다만 Jogenson-Wilcoxon의 모형에서 세수 환원으로 후생과 GNP가 증가하여 강한 이중배당 가설을 지지하는 것으로 나타나고 있다. 이러한 결과는 모형의 구조와 모수 값의 차이에서 발생하는 것으로 보인다. Goulder 모형과 Jogenson-Wilcoxon 모형을 비교하면, Jogenson-Wilcoxon은 저축에 대한 이자 탄력성을 Goulder에 비해 높게 설정하고 있다. 또한 Jogenson-Wilcoxon은 산업간 자본의 이동이 매우 자유롭다고 가정한 반면 Goulder는 산업간 이동에 적응비용(adjustment cost)이 발생한다고 가정하고 있다. 따라서 Jogenson-Wilcoxon 모형에서 자본 소득세의 한계 효율비용이 상대적으로 Goulder 모형 보다 크게 나타난다. 한계 효율비용이 큰 세금을 인하는 방향으로 환경세수입을 환원하면 경제의 효율성이 더욱 증가하게 된다. 이러한 차이 때문에 Jogenson-Wilcoxon 모형에서 강한 이중배당 가설이 성립하는 것으로 보인다.

〈표 6〉 세수환원 효과에 대한 모형별 분석결과 비교

모형	분석대상 국가	환경세 유형	세수환원	분석결과		
				후생변화	Percent Change in Real GNP	
					Period 1	Period 21
DRI	U.S.	Phased-in Carbon Tax ^{a)}	Personal Tax Cut	-0.39 ^{b)}	-0.00	-0.76
Goulder	U.S.	\$25/ton carbon tax	Personal Tax Cut	-0.33 ^{c)}	-0.15	-0.22
Goulder	U.S.	Fossil Fuel Tax	Personal Tax Cut	-0.28 ^{c)}	-0.09	-0.18
Jogenson-Wil coxen	U.S.	Phased-in Carbon Tax ^{a)}	Labor Tax Cut	1.01 ^{d)}	0.03	-0.41
Jogenson-Wil coxen	U.S.	Phased-in Carbon Tax ^{a)}	Capital Tax Cut	0.19 ^{d)}	0.20	0.95
LINK	U.S.	Phased-in Carbon Tax ^{a)}	Personal Tax Cut	-0.51 ^{b)}	0.00	-0.35
Shah- Larsen	U.S.	\$10/ton	Personal Tax Cut	-1049 ^{e)}	-0.02 ^{f)}	
Shah- Larsen	India	\$10/ton	Personal Tax Cut	-129	-0.06	
Shah- Larsen	Indonesia	\$10/ton	Personal Tax Cut	-4	-0.005	
Shah- Larsen	Japen	\$10/ton	Personal Tax Cut	-269	-0.008	
Shah- Larsen	Pakistan	\$10/ton	Personal Tax Cut	-23	-0.07	

자료: Goulder(1995)

주: a) Period 1에 톤당 15\$로 시작하고 매년 5%씩 증가하여 Period 21에 톤당 39.8\$로 증가, b) 소비의 변화로 측정, c) Equivalent Variation으로 측정된 세금 단위당 후생비용, d) Equivalent Variation % 변화, e) Comensation variation in levels(million of U.S. dollars, f) Percent of GDP.

제3절 온실가스감축과 기술진보

1. 개요

환경정책(예, 탄소세)이 도입되면, 단기적으로 석탄과 같이 탄소함유량이 높은 에너지 순으로 가격이 상승하게 된다. 전력, 철강, 수송 등 화석연료를 많이 사용하는 재화의 가격도 상승하기 때문에 소비자는 에너지 소비를 줄임으로써, 그리고 생산자는 청정연료로 대체하거나 생산을 줄임으

로써 이에 대응하게 된다. 생산과 소비를 줄이지 않기 위해서 기업과 가계는 에너지를 보다 효율적으로 사용하려는 노력을 하게 된다. 중기적으로 가계와 기업은 사용기기를 바꿈으로써 연료비용을 절약하려고 할 것이다. 예를 들어, 연탄보일러에서 가스보일러로, 휘발유 자동차에서 LPG 자동차로, 기존의 전동기에서 고효율 전동기로 대체가 발생하게 된다. 마지막으로 장기적으로 R&D 투자를 통해 온실가스를 적게 배출하거나 전혀 배출하지 않는 기기나 대체에너지를 개발하게 된다.

따라서 분석의 목적이 어떤 시점의 과급효과를 분석하느냐에 따라 모형의 구축방향도 달라져야 한다. 예를 들어, 연료 대체나 자본대체(capital stock turnover)를 강조하는 putty-clay 모형들은 온실가스 감축의 단기적인 효과를 분석하는데 유용하지만, 중장기적 과급효과를 분석할 때는 큰 의의를 찾을 수 없다. 중장기적인 관점에서 볼 때 자본대체(capital turnover)의 용이성은 중요한 문제가 아니기 때문이다.

중장기적으로는 기술진보가 온실가스 감축의 경제적 효과를 결정하는 가장 중요한 변수라고 할 수 있다. 연산모형 수립의 어려움으로 인해 많은 연구가 기술진보를 외생변수로 간주하고 모형에 반영하고 있다. 이는 시간이 지남에 따라 에너지효율이 자동적으로 향상(AEEI: Autonomous Energy Efficiency Improvement)된다고 가정하는 방법이다. 에너지효율향상을 외생적으로 간주함으로써 모형이 단순화되고 연산이 쉬워지지만 미래의 AEEI의 추세를 정확히 예측하고 모형에 반영하기가 어렵다는 단점이 있다.

AEEI를 가정한 모형은 에너지가격 상승으로 유인되는 기술진보를 무시하는 단점이 있다. 실제 온실가스 감축이 시행되면 에너지가격이 상승하고, 에너지 가격이 상승하면 에너지비용을 줄이기 위해 R&D 투자를 통해 새로운 기술이나 대체에너지를 개발하게 된다. 이러한 기술진보나 대체에너지 개발은 온실가스 감축 비용을 줄이는 결정적인 요소가 될 것으로 판단된다.

2. 외생적 에너지효율향상(AEEI: Autonomous Energy Efficiency Improvement)

가. EMF21 모형

스탠포드 대학의 21회 에너지 모델링 포럼(Energy Modeling Forum: EMF21)에 참여한 18개의 모형의 온실가스 감축의 경제적 파급효과에 대한 분석결과는 <표 7>에 정리되어 있다. EMF21은 2150년까지 온난화(radiative forcing)를 $4.5Wm^{-2}$ (watts per square meter)로 안정화하는 것을 분석 시나리오로 설정하였다.¹³⁾ 동일한 시나리오를 가지고 분석을 하더라도 모형마다 온실가스의 기준선 전망이 다르기 때문에 <표 7>에서 보듯이 이산화탄소 감축량은 각각 상이하게 나타난다.

13) EPPA와 MinniCAM 등 단기분석 모형은 100년간의 안정화 시나리오를 채택하여 분석하고 있다.

〈표 7〉 EMF21 모형별 경제적 효과 비교

Model	Type	Scenario & Economic Impact	2025	2050
AIM	MSGE	% Reduction in CO2 Only Scenario	-20.9%	-39.1%
		Permit Price(2000\$US/tCe)	112.0	485.9
		GDP	-0.2%	-1.4%
AMIGA	MSGE	% Reduction in CO2 Only Scenario	-9.4%	-32.2%
		Permit Price(2000\$US/tCe)	72.5	114.0
		GDP	0.0%	0.0%
EDGE	MSGE	% Reduction in CO2 Only Scenario	-3.5%	NA
		Permit Price(2000\$US/tCe)	5.5	NA
		GDP	-0.1%	NA
EPPAa	MSGE	% Reduction in CO2 Only Scenario	-22.0%	-57.3%
		Permit Price(2000\$US/tCe)	110.7	522.3
		GDP	-0.8%	-3.3%
GEMINI-E3	MSGE	% Reduction in CO2 Only Scenario	-27.7%	-48.4%
		Permit Price(2000\$US/tCe)	88.9	301.7
		GDP	-0.2%	-0.6%
GTEM	MSGE	% Reduction in CO2 Only Scenario	-37.3%	-69.8%
		Permit Price(2000\$US/tCe)	219.7	1,806.8
		GDP	-1.2%	-7.1%
IPAC	MSGE	% Reduction in CO2 Only Scenario	-23.9%	-39.7%
		Permit Price(2000\$US/tCe)	87.5	180.0
		GDP	-0.8%	-1.2%
SGM	MSGE	% Reduction in CO2 Only Scenario	-31.4%	-46.2%
		Permit Price(2000\$US/tCe)	231.0	483.7
		GDP	-0.6%	-0.9%
COMBAT	AGE	% Reduction in CO2 Only Scenario	-13.1%	-21.8%
		Permit Price(2000\$US/tCe)	79.2	129.5
		GDP	-1.9%	-3.3%
FUND	AGE	% Reduction in CO2 Only Scenario	-57.2%	-85.7%
		Permit Price(2000\$US/tCe)	482.2	210.5
		GDP	-3.5%	-7.3%
GRAPE	AGE	% Reduction in CO2 Only Scenario	-2.7%	-16.6%
		Permit Price(2000\$US/tCe)	12.4	67.2
		GDP	-0.1%	-0.9%
MERGE	AGE	% Reduction in CO2 Only Scenario	-5.3%	-39.4%
		Permit Price(2000\$US/tCe)	22.8	81.4
		GDP	-0.1%	-0.5%
WIAGEM	ME	% Reduction in CO2 Only Scenario	-21.6%	-38.9%
		Permit Price(2000\$US/tCe)	41.5	86.5
		GDP	-0.2%	-0.3%
중위 값		% Reduction in CO2 Only Scenario	-21.2%	-44.6
		Permit Price(2000\$US/tCe)	120.5	372.5
		GDP	-0.8%	-2.2%

주: MSGE: Multi-Sectoral General Equilibrium

AG: Aggregate General Equilibrium

ME: Market Equilibrium

자료: Weyant et al.(2006)

온실가스의 기준선 전망은 경제성장률, 인구증가율, 미래의 에너지가격, 기술진보 등을 감안하여 추정하는데, 각 모형마다 이에 대한 가정이 다르기 때문에 모형마다 기준선 전망의 차이가 매우 크게 나타나고 있다.

안정화 시나리오를 충족하기 위해서 2025년에 기준선 대비 이산화탄소 감축량은 최저 2.7% ~ 최고 57.2%에 달하고 중위 값은 21.2%에 달한다. 모형마다 차이가 있지만, 2050년에는 감축량이 대폭 증가하여 기준선 대비 감축량이 약 44.6%에 달한다.

분석결과의 차이는 모형구조, 기준선 전망과 이산화탄소 감축량 수준, 기술에 대한 전제조건 등의 차이에서 발생한다. 배출권거래 가격은 2025년 5.5\$/tCe ~ 482.2\$/tCe의 범위로 추정되고 있으며, 중위 값은 120.5\$/tCe로 추정되고 있다. 감축량이 기준선 대비 44.6%로 증가하면 배출권 거래가격의 중위 값은 372.5\$/tCe로 증가하는 것으로 추정되고 있다. GDP는 2025년에 기준시나리오 대비 0.8% 감소하고, 2050년에는 2.2% 감소할 것으로 추정되고 있다.

나. 외생적 기술진보를 고려한 국내 연구

1) 조경엽(2000) 모형

조경엽(2000)은 OECD에서 개발한 GREEN (GeneRal Equilibrium Environmental Model)의 데이터베이스에 한국을 포함하여 모형을 구축하였다. 조경엽(2000)모형은 한국을 포함한 13개 지역, 8개의 생산부문, 2개의 신기술(backstop technology)부문, 4개의 소비부문으로 구성되어 있다. MIT에서 개발한 EPPA (Emissions Prediction Policy Analysis)모형과 같이 신기술을 명시적으로 모형에 반영하고 있다.¹⁴⁾

전력과 석유만이 대체기술에 의해서 생산될 수 있다고 가정하였다. 전력에서 이용 가능한 신기술은 태양광 발전과 신원자력 발전을 들 수 있으

14) 신기술의 정의는 현재에는 경제성이 없어 도입되지 않으나 미래에는 도입될 수 있는 기술로 정의할 수 있다.

며, 석유에서는 타르 모래(tar sands)와 오일혈암(oil shale)에서 채굴된 중질 석유를 들 수 있다.¹⁵⁾ 현재는 경제성이 없지만 온실가스 감축이 이행되면 도입될 수 있는 신기술 재화는 자본과 노동의 선형조합으로 생산되어 기존의 재화와 완전대체가 가능하다고 가정하고 있다.¹⁶⁾ 조경엽(2000)은 신기술 도입을 포함해서 분석기간 동안 에너지효율향상은 매년 1%씩 외생적으로 증가한다고 가정하고 있다.

분석결과를 살펴보면, 한국이 참여하지 않는 경우 배출권 거래가격은 2015년에 119.8\$/TC, 2020년에 151.6\$/TC로 추정하고 있다. 한국이 참여하면 국제 배출권 가격은 약간 하락하여 2015년에 115.9\$/TC, 2020년에 151.6\$/TC에 달한다. 한국이 참여하면 한국은 배출권 판매국가로 분류되고 이에 따라 배출권 공급이 증가하기 때문에 배출권거래가격이 하락한다.

한국이 참여하지 않으면 한국의 GDP는 증가하지만, 참여할 경우 GDP가 감소하는 것으로 추정하고 있다. 이는 국제시장에서의 에너지가격과 관련이 있다. Annex I 국가만 온실가스를 감축할 경우 에너지에 대한 수요가 감소하여 에너지의 국제가격은 하락하게 된다. 따라서 온실가스를 감축하지 않는 한국은 낮은 가격으로 에너지를 구매할 수 있기 때문에 생산비용이 하락하게 된다. 생산비용이 하락하면 가격이 하락하여 국내의 소비뿐만 아니라 수출이 증가하게 된다.

15) 전력에 사용된 신기술은 이산화탄소를 배출하지 않는 신기술이며 석유의 경우는 기존의 석유와 같이 이산화탄소를 배출하게 된다.

16) 신기술은 다음과 같이 모형에 반영된다.

$$\begin{aligned} X_{b,i} &= \alpha_{b,i} L_{b,i} + \beta_{b,i} K_{b,i} \\ \alpha_{b,i} + \beta_{b,i} &= c_{b,i} > 1 \\ X_i &= X_{c,i} + X_{b,i} \end{aligned}$$

여기서 $\alpha_{b,i}$ 와 $\beta_{b,i}$ 는 레온티에프(Leontief)계수이며 $c_{b,i}$ 는 신기술 비용계수로 정의할 수 있다. 신기술과 기존의 생산을 구분하기 위해 사용된 하첨자 c 는 기존의 생산을 나타낸다. 신기술 정의에 의해 현재는 경제성이 없어 도입되지 않기 때문에 레온티에프 계수의 합이 1 보다 크다고 가정하였다. 이는 만약 신기술과 기존의 생산기술 모두 생산단위 당 동일한 노동을 사용하고 있다고 가정하면, 신기술은 기존기술에 비해 더 많은 자본을 사용하여 한 단위의 동일한 재화를 얻을 수 있다는 의미이다. 그러나 재화가격(P_i)에 비해 상대적으로 임금(w)과 자본가격이 충분히 낮아진다면 미래에 도입이 될 수 있음을 나타낸다. 따라서 본 모형에서는 신기술의 도입 조건을 다음과 같이 정의하였다. 신기술 비용계수 값은 선진국일수록 작고 개도국일수록 크다고 가정하고 있다.

2) 김수이·조경엽·유승직(2008) 모형

김수이·조경엽·유승직(2008) 모형과 조경엽(2008) 모형과의 가장 큰 차이점은 입력데이터, 에너지원간 대체탄력성, AEEI 가정, 기술진보에 대한 가정이다. 김수이·조경엽·유승직(2008) 모형은 GTAP 데이터를 입력데이터로 하여 9개 지역, 15개 산업을 분석 대상으로 하고 있다. 그리고 조경엽(2000)과 달리 완전 예측을 가정하고 전기간을 동시에 연산하는 완전 동태모형이라는 점에서 차이가 있다. 따라서 자본의 축적과정이 모형 내에서 결정되게 된다.

조경엽(2000)은 에너지원간 대체탄력성을 모든 분석기간에서 동일하다고 가정한 반면 김수이·조경엽·유승직(2008) 모형은 시간이 지날수록 증가한다고 가정하였다. 따라서 투입대체효과가 보다 크게 나타나기 때문에 동일한 량의 온실가스를 감축하더라도 저감비용이 낮게 추정된다.

김수이·조경엽·유승직(2008)은 연료별·지역별로 AEEI를 다르게 반영하고 있으며, 또한 시간이 지날수록 AEEI가 증가하는 것으로 가정하고 있다. 따라서 분석결과에서 보듯이 조경엽(2000)보다 더 많은 온실가스를 감축하더라도 저감비용은 2015년에 40\$/TC로 낮게 추정하고 있다. 온실가스를 기준선에 비해 40%를 줄이는 2020년에도 저감비용을 41.1\$/TC로 2015년에 비해 크게 증가하지 않는 것으로 추정하고 있다.

한국이 온실가스 감축에 참여하지 않아도 GDP는 조경엽(2000)과 달리 감소하는 것으로 추정하고 있다. 조경엽(2000) 모형에 비해 저감비용이 상대적으로 낮게 추정되기 때문에 국제 에너지가격 하락효과도 작을 수밖에 없다. 따라서 세계경제의 침체로 인한 한국의 수출 둔화효과를 상쇄할 수 있는 국제 에너지가격 하락효과가 작기 때문에 김수이·조경엽·유승직(2008)에서는 GDP가 감소하는 것으로 분석된다.

〈표 8〉 외생적 에너지효율향상 모형 비교

	조경엽(2000)		김수이·조경엽·유승직(2008) KEEI-Global Dynamic CGE				김수이·조경엽·유승직(2008) KEEI-Global Dynamic CGE			
	13개 지역 10개 산업으로 구성된 Global CGE		9개 지역 15개 산업으로 구성된 Global CGE				9개 지역 15개 산업으로 구성된 Global CGE			
연산방법	Myopic Expectation 가정 하의 Recursive Dynamic		Perfect Expectation 가정 하의 Fully Dynamic				Perfect Expectation 가정 하의 Fully Dynamic			
기술진보 및 대체에너지	AEEI & Carbon Free Backstop & 석유대체유 Technology 허용		AEEI				AEEI & 기술의 확산효과 반영			
실증분석결과	2015	2020	2015	2020		2015	2020			
Annex I 저감량	1990년 대비 -5.2%	1990년 대비 -5.2%	1990년 대비 -5.2%	1990년 대비 -5.2%		1990년 대비 -5.2%	1990년 대비 -5.2%			
한국 저감량 (백만 TC)	0	33.1	0	38.3	0	40.2	0	38.3	0	40.2
배출권가격 (달러/TC) ¹⁾	119.8	115.9	39.5	40.0	41.1	41.0	39.5	38.9	41.1	39.4
한국 GDP 변화(%)	0.85	-1.21	-0.1	-0.9	-0.1	-1.0	-0.1	-0.8	-0.1	-0.7
			0	7	4	7	0	8	4	6

주: 1) 조경엽(2000)은 1985년 US\$ 기준이고, 나머지는 2000년 US\$ 기준임.

3. 유인된 기술진보(ITC: Induced Technology Change)

가. 이론적 배경

온실가스 저감정책은 에너지의 생산자와 수요자 모두에게 R&D 투자 유인을 제공하게 된다. 저감정책은 생산자에게는 신기술과 대체에너지 개발을 위한 투자를 촉진시키는 계기가 될 수 있다. 에너지 수요자에게는 에너지소비를 줄일 수 있는 기기의 구매를 통해 온실가스 저감정책에 따른 부담을 완화할 유인이 발생하게 된다.

이와 같이 유인된 기술진보가 존재할 경우 이산화탄소 감축에 따른 사

회적 비용을 간략히 살펴보면 다음과 같다. 설명의 편의를 위해 기업의 비용 최소화문제를 2기에 국한하여 저감비용과 R&D투자의 관계를 살펴보기로 한다.¹⁷⁾ [그림 4]에서 MC는 첫 기에 R&D 투자가 없는 경우 두 번째 기의 한계저감비용을 나타내며, MC'은 첫 기에 R&D투자가 있는 경우 두 번째기의 한계저감비용을 나타낸다. 기업은 R&D투자편익(저감비용감소)이 투자비용을 충분히 상쇄할 수 있는 경우에 R&D 투자를 한다. 따라서 그림에서와 같이 동일한 저감량에 대해 MC'이 MC보다 낮게 유지된다.

이산화탄소감축 목표량이 A_I 으로 주어졌다면 ITC가 있는 경우의 톤당 저감비용은 ef 로, ITC가 없는 경우의 한계저감비용은 eb 가 된다. 그리고 ITC가 있는 경우의 총비용은 삼각형 ofe 로 ITC가 없는 경우의 총비용(삼각형 obe)에 비해 작아지는 것을 알 수 있다.

이산화탄소 저감목표량 대신 정부가 탄소세를 D 로 고정시켰다면, ITC가 존재하면 기업은 이산화탄소를 A_{II} 만큼 저감하고, 이로 인한 총 비용도 ocd 로 대폭 증가하게 된다. 그러나 ITC가 없다면 주어진 탄소세하에서 기업은 A_I 만큼의 이산화탄소를 감축하며, 이로 인한 총비용은 ITC가 없는 경우에 비해 커지게 된다.

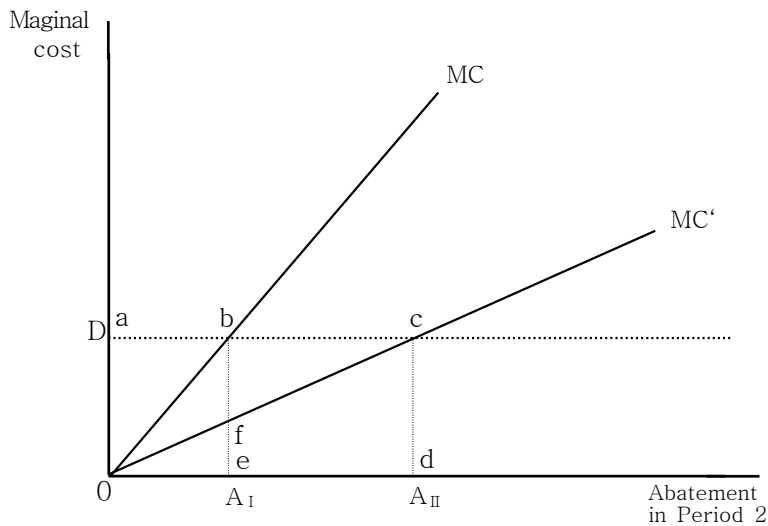
따라서 정부가 탄소세를 부가하였다면, ITC의 존재는 사회적 비용을 증가시키는 결과를 가져올 수 있다. 그러나 감축목표량이 고정되어 있다면 ITC의 존재는 사회적 비용을 하락시키며, 톤당 저감비용도 하락시키는 결과를 가져온다. 기업의 입장에서는 이산화탄소 감축목표량이 주어진다면 R&D투자를 증가시킴으로써 저감비용을 완화할 수 있고, 이로 인해 정부가 부과하는 탄소세율이 하락하는 결과를 가져올 수 있다. 이와 같이 R&D 투자, 지적자본 스톡, 저감정책(탄소세) 변화는 서로 영향을 주고받는 순환 관계에 놓여 있다고 볼 수 있다.

또한 이러한 결과가 주는 정책적 함의는 이산화탄소를 감축하면 R&D 투자가 증가하고 기술이 진보하는 경제하에서는 탄소세 보다 감축 의무량

17) 수식을 통한 자세한 내용은 Goulder and et al. (1999)에 수록되어 있다.

을 설정하고 배출권거래제를 허용하는 것이 보다 효율적일 수 있다는 점이다. 정부가 완전한 정보를 가지고 있지 않다면 정부가 기술진보를 관찰하고 탄소세를 조정하는 행정적 비용이 발생하기 때문이다. 또한 탄소세를 통해 저감목표량을 정확히 달성하데 실패할 가능성도 존재하기 때문이다.

[그림 4] ITC와 이산화탄소 저감비용



자료: Goulder et al.(1999).

나. 실증분석 연구

1) 해외 연구

최근 들어 이러한 온실가스 저감정책으로 유인된 기술진보를 전통적인 내생적 성장모형과 연계한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기술진보의 원천은 다양하게 존재한다. 기술진보는 공공부문의 투자, 산업간 확산효과, 국제간 확산효과, 학습효과 등 다양한 원천을 가지고 있다. 그러나 대부분의 실증분석의 경우 민간부문의 R&D 투자, 단순화된 확산효과만을 기술진보

의 원천으로 고려하고 있다. 이는 다양한 기술진보의 원천을 객관적으로 관찰하고 계량화하기 힘들기 때문이다. 이러한 단순화가 ITC의 존재가 저감비용에 큰 영향을 미치지 못하다는 결과를 도출할 가능성을 높이고 있다.

Goulder and Schneider(1999)의 연구에서는 내생적 성장모형에서와 같이 비경합적인 기술진보 뿐만 아니라 경합적인 기술진보를 혼합한 모형을 제시하고 있다. 이들 모형에서 경합적인 기술진보는 R&D 투자에 의해 축적이 되고, 나아가 생산에 필요한 에너지 사용량을 줄여 단위당 온실가스 감축비용을 낮추는 역할을 한다. 그러나 ITC에 대한 R&D 투자는 기존의 R&D 투자를 구축(crowding out)하기 때문에 결국 온실가스 저감으로 인한 GDP는 여전히 감소하는 것으로 분석하고 있다.

ITC의 효과를 분석한 Buonanno, Carraro and Galeotti(2003)은 Goulder and Schneider(1999)의 일국가 CGE모형을 Global CGE 모형으로 확대하고, 기술진보가 생산성에도 영향을 미치지만 생산량대비 배출비율에도 직접적으로 영향을 미치도록 모형을 설계했다. 따라서 Goulder and Schneider(1999)모형에서는 온실가스 감축목표가 에너지절약을 통해서만 달성되지만, 이들 모형에선 에너지절약뿐만 아니라 에너지 단위당 탄소배출비율이 개선되어 달성될 수도 있다. 따라서 이들 모형에서 기술진보로 인한 톤당 저감비용의 감소효과는 매우 큰 것으로 나타나고 있다. 그러나 R&D 비용과 저감비용은 서로 역의관계(trade-off)가 있기 때문에 R&D 비용을 포함한 GDP 손실은 ITC를 반영할 때 오히려 더 커진다는 결과를 도출하고 있다.

반면 Gerlagh and Zwaani(2003)는 ITC가 도입되면 장기적으로 GDP의 순이익이 달성된다는 결과를 도출하고 있다. 이들 모형의 주요한 특징은 에너지를 화석연료(탄소배출)와 비화석연료(비탄소배출)로 구분하고, 학습효과(learning-by-doing)는 화석연료 사용을 줄이는 방향으로 또는 비화석연료 생산을 증가시키는 방향으로 발전한다는 점이다. 따라서 배출량저감은 초기에는 에너지절약으로 주로 달성되지만 장기에서는 탄소 저배출 기술에

의해 달성되기 때문에 저감시기를 가능한 늦추는 것이 바람직하다는 결과를 도출하고 있다. 또한 장기에 있어서는 에너지사용을 줄이지 않아도 저감목표량을 달성할 수 있기 때문에 온실가스감축과 경제적 순이익을 동시에 달성할 수 있다는 결과를 도출하고 있다.¹⁸⁾

앞서 살펴본바와 같이 기술진보의 파급경로를 어떻게 구성하느냐에 따라 모형마다 매우 상이한 결과를 도출하고 있다. Goulder and Schneider(1999) 모형에서는 기술이 이전효과(spillover effect)를 통해 산업생산량을 증가시키고, Buonanno, Carraro and Galeotti(2003) 모형에서는 기술이 생산량뿐만 아니라 탄소 저배출 기술에도 영향을 미치고 있으며, Gerlagh and Zwaani(2003) 모형에서는 환경정책으로 인한 기술은 화석연료를 절약하는 방향 또는 비화석연료 생산을 증가시키는 방향으로 발전한다. 따라서 모형 구조에 따라 기술진보의 효과는 매우 상이하게 나타난다.

2) 국내 연구

가) 완전경쟁시장하의 ITC: 조경엽·나인강(2003)

조경엽·나인강(2003) 모형은 Goulder and Schneider(1999), Buonanno, Carraro and Galeotti(2003)와 같이 기술을 경합적인 기술진보와 비경합적인 기술진보로 나누고 비경합적인 기술진보는 공공재로 가정하고 분석하고 있다. 자본은 물적자본(physical capital)과 지적자본(knowledge capital) 두 가지로 구성된다. 그리고 이들은 대체관계에 있기 때문에 지적자본의 증가는 물적자본을 구축하는 효과가 발생한다. 물적자본과 지적자본에 대한 소유권은 모두 가계가 가지고 있으며 가계는 이를 산업에 대여함으로써 수익을 얻는다고 가정하고 있다. 지적자본은 R&D투자를 통해서 축적되며 R&D투자는 다른 재화와 마찬가지로 노동, 자본 및 중간재화를 사용하여 형성된다. 따라서 지적자본 축적은 무상으로 이루어지는 것이 아니라 교

18) 그러나 이들 모형에서 연도별 GDP 변화를 현재가치로 환산한 총 GDP는 온실가스 감축의무가 시행 되면 감소하는 것으로 나타나고 있다.

육, 훈련, 기타 제반비용을 수반하게 되며, 이를 사용한 기업은 이에 대한 대가를 지불하게 된다.

그러나 R&D는 완전경쟁시장 하에서 생산된다고 가정함으로써 R&D 생산기업의 독점적 이윤을 배제하고 있다. 조경엽·나인강(2003)은 기술의 외부성 또는 확산효과(spillover effect)를 감안하기 위해 아무런 보상 없이 누구나 사용할 수 있는 사회 전체의 기술을 모형에 감안하였다. 이러한 기술진보는 총 지적자본의 수준에 의해 결정된다.

조경엽·나인강(2003)은 ITC가 온실가스저감비용과 GDP 손실을 큰 폭으로 줄이는 것으로 평가하고 있다. ITC를 감안한 모형은 ITC를 감안하지 않은 모형에 비해 단기적으로 톤당 저감비용을 42%, GDP 손실은 1%p 줄이며 장기적으로는 톤당 저감비용이 73%, GDP 손실이 1.8%p 줄어드는 효과를 가져 온다. 그러나 R&D 투자비용과 저감비용간의 대체효과(trade off)와 R&D투자와 물적자본 투자 간의 구축효과(crowding out effect)로 인해, 저감비용과 GDP손실은 여전히 발생하는 것으로 분석하고 있다.

나) 독점적 경쟁 하의 ITC: 문영석·조경엽(2005)

Goulder and Schneider(1999)와 조경엽·나인강(2003)의 모형은 완전경쟁시장을 가정하고 환경규제 자체가 독점적 이윤이 없어도 R&D에 대한 투자가 촉진되고 기술이 발전하는 구조를 가지고 있다.¹⁹⁾ 그러나 Mulder et al(2003)에서 지적하였듯이 완전경쟁시장 하에서 신기술에 대한 투자가 지연되거나 발생하지 않는 이유가 상존하고 있다. 예를 들어, 투자에는 비가역성(irreversible)이 존재하고 있기 때문에 신기술과 같은 불확실성이 높은 투자는 지연되는 경향을 보이게 된다. 불확실성이 존재하지 않는 경우에도 유출효과로 인한 독점적 이윤이 보장되지 않는다면 투자가 발생하지 않는다. 더욱이 학습효과로 인해 현재 사용하고 있는 기술의 효율이 새로운 기술의 효율보다 오히려 높은 상태가 유지되는 경우 신기술 투자가 지연되

19) 완전경쟁시장 하에서 R&D 투자는 기업의 이윤극대화 행위로 결정된다. 즉 R&D의 한계투자비용과 온실가스의 한계저감비용이 같아지는 점에서 R&D 투자 수준이 결정되고, 이에 따라 물적자본이 축적되고 기술진보가 발생한다.

게 된다.

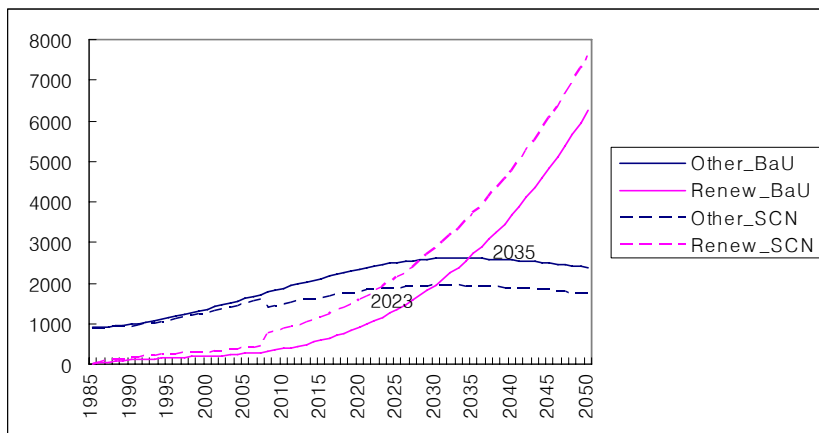
문영석·조경엽(2005)은 Goulder and Schneider(1999)와 조경엽·나인강(2003)과 달리 신기술투자를 유인하는 것은 기술 개발의 성공을 보장하는 독점이윤 때문인 것으로 가정한다. 따라서 이들 연구에서는 독점적 경쟁형태의 에너지 시장구조가 가정되고, 독점이윤 취득을 목적으로 기업의 기술 투자가 이루어진다. 따라서 문영석·조경엽(2005) 모형은 내생적 성장모형의 기본 골격을 가진 모형에 불완전 경쟁시장에 기반을 둔 기술 투자가 경제 성장을 견인하고, 그 과정에서 에너지는 생산요소로서 다양한 종류가 수요되는 구조를 가지고 있다.

에너지부문에서의 균형은 크게 에너지 공급기간과 각 시점의 에너지원별 믹스를 결정하는 문제로 귀결된다. 문영석·조경엽(2005)의 연구에서 에너지의 공급기간은 기업의 진퇴입에 의해 결정된다. 예를 들어, 석유생산 시장에서 환경이 변하여 고정비용이 독점적 이윤을 초과하면 생산활동을 하는 기업의 수가 줄어들고, 석유의 공급 기간이 감소하게 된다. 반대로 독점이윤이 고정비용을 초과하면 새로이 생산 활동에 참여하는 진입기업이 발생함에 따라 석유의 공급기간이 증가하게 된다. Mulder et al (2001)에서와 같이 특정 시점에서 에너지원별 믹스는 Dixit and Stiglitz(1977) 생산함수 형식에 따라 발생한다. 즉 에너지 간 수평적 보완관계 때문에 다양한 에너지가 동시에 사용될 경우 생산성이 높아진다. 더욱이 학습효과(LBU)로 인해 사용되어 왔던 기간이 길수록 에너지에 대한 생산성은 증가한다고 가정하였다. 따라서 기존의 에너지도 대체에너지와 같은 새로운 에너지와 병존하여 사용이 된다. 예를 들어, 온실가스 감축을 위해 환경규제가 도입되면 석탄과 같이 탄소 다(多) 배출 에너지원에 대한 독점이윤이 감소하여 사용기간과 시점별 소비비중이 감소하게 된다. 반대로 대체에너지와 같은 청정연료의 보급이 확대되고 사용기간이 오래될수록 학습효과에 의해 대체에너지의 생산성이 향상되는 구조를 가지고 있다.

조경엽·나인강(2003)은 한국경제를 대상으로 한 다부문 동태적 CGE 모형인데 반해 문영석·조경엽(2005) 모형은 세계경제를 하나의 경제로 한

일부분 동태적 CGE 모형이다. 기준균형 대비 온실가스를 30%씩 감축할 경우 화석연료의 독점적 이윤이 감소하고 대체에너지의 독점적 이윤이 증가하여 대체에너지의 공급기간이 증가하게 된다. 공급기간이 증가할수록 LBU의 효과는 기준균형에 비해 대체에너지의 생산성을 증가시키고 화석연료의 생산성을 감소시키는 방향으로 작용한다. 이는 온실가스 감축이 시행되는 2008년부터 화석연료에서 대체에너지로의 소비 대체가 빠르게 진행되는 원인으로 작용한다. 이로 인해 대체에너지가 화석연료의 소비를 초과하는 시점은 2035년에서 2023년으로 기준균형에 비해 약 12년 앞당겨질 전망이다.

[그림 5] 대체에너지와 화석연료의 수요 변화(1985 billion US\$)



주: Renew 는 대체에너지를 Other는 화석연료의 총합을 의미

제4절 결론 및 향후 연구과제

『저탄소-녹색성장』의 성공은 신기술과 대체에너지 개발의 성공여부에 달려 있다. 그러나 신기술과 대체에너지를 개발하는 데는 막대한 투자비용이 들고, 시장에 보급되어 사용되기까지는 장시간이 요구된다. 따라서 우리가 온실가스를 감축하는 시점에서 신기술이나 대체에너지를 얼마큼 효

울적으로 활용할 수 있느냐가 지속성장의 관건이 된다.

신기술이나 대체에너지가 더디게 이루어지고 온실가스 감축은 빠른 시일 내에 이행되어야 한다면 온실가스 감축은 성장을 둔화시킬 것이 분명하다. 신기술이나 대체에너지 개발은 막대한 투자를 요구하기 때문에 가용할 재원이 한정되어 있는 상황에서는 기존의 투자를 구축하는 효과가 발생하기 때문이다. 기존의 연구들이 보여주었듯이 신기술이 개발되어도 R&D 투자비용과 저감비용간의 상쇄효과(trade off)와 R&D 투자와 물적자본 투자 간의 구축효과로 인해 온실가스 감축은 여전히 경제성장을 저해할 가능성이 높다. 따라서 「저탄소-녹색성장」의 성공전략을 수립하는 것은 신기술 및 대체에너지 개발뿐만 아니라 온실가스 저감비용에 영향을 미치는 다양한 요인들을 파악하고 이에 대한 철저한 분석을 하는 것부터 시작해야 한다.

온실가스 저감비용에 영향을 미치는 요소들은 감축 의무량, 저감시점, 감축수단, 신기술 및 대체에너지 개발 가능성 및 투자비용 등을 꼽을 수 있다. 우선은 기후변화협약에서 협상력을 최대한 발휘하여 감축 의무량을 낮은 수준으로 할당 받고 이행시기도 가능한 늦추는 전략이 필요하다. 그리고 우리 경제여건에 맞는 감축수단을 모색하고, 기술개발 및 대체에너지를 비용 효과적으로 개발할 수 있는 전략을 모색해야 한다.

감축정책의 경제적 파급효과를 분석한 연구에 따르면, 저감정책의 환경비용은 저감효과, 투입대체효과, 생산대체효과, 세제간 연관효과, 세수입환원효과의 크기에 의해 결정된다. 한국경제를 대상으로 환경정책별 환경비용을 추정한 유승직·조경엽(2004)에서도 환경세, 총량규제 & 배출권, 연료세, 기술규제 순으로 환경비용이 적은 것으로 평가하고 있다.

같은 정책이라도 운용방법에 따라 정책의 효율성에 차이가 발생한다. 조경엽·김영덕·김효선(2004) 연구에 따르면 시점간 배출권 거래를 허용하면 저감비용과 GDP손실을 감소시킬 수 있다. 또한 초기의 할당을 부가가치 기준으로 할당할 경우 일률할당, 에너지소비 기준, 생산량 기준 보다 동일한 감축목표를 보다 낮은 비용으로 달성할 수 있을 것으로 보인다. 세

수입 환원의 경우, 기존의 세금 중 한계 효율비용이 높은 세금을 인하하는 방향으로 환경세수입을 환원 할 경우 오히려 GDP가 증가할 가능성이 있다.

기술진보를 고려한 기존의 연구들은 연산모형 수립의 어려움으로 인해 많은 연구가 기술진보를 외생변수로 간주하는 경향을 보이고 있다. 최근 들어 이러한 온실가스 저감정책으로 유인된 기술진보를 전통적인 내생적 성장모형과 연계한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기술진보는 공공부문의 투자, 산업간 확산효과, 국제간 확산효과, 학습효과 등 다양한 원천을 가지고 있다. 그러나 대부분의 실증분석의 경우 민간부문의 R&D 투자, 단순화된 확산효과만을 기술진보의 원천으로 고려하고 있다. 이는 다양한 기술진보의 원천을 객관적으로 관찰하고 계량화하기 힘들기 때문이다. 이러한 ITC를 단순화할 경우 ITC의 존재가 저감비용에 큰 영향을 미치지 못하다는 결과를 도출할 가능성이 높다.

조경엽·나이강(2003)은 ITC가 온실가스저감비용과 GDP 손실을 큰 폭으로 줄이는 것으로 평가하고 있다. 기술의 원천을 단순화한 기존의 연구에서 벗어나 독점적 경쟁시장에서 독점적 이윤으로 인한 기술개발과 학습효과를 고려한 문영석·조경엽(2005)에 따르면 온실가스 감축은 대체에너지가 화석연료의 소비를 초과하는 시점에 앞 당겨질 전망이다. ITC를 감안할 경우 톤당 저감비용과 GDP손실을 큰 폭으로 줄이기는 하지만, R&D 투자비용과 기존의 투자를 구축하는 효과로 인해, 저감비용과 GDP손실은 여전히 발생하는 것으로 전망된다.

온실가스감축과 관련된 향후 연구방향은 다음과 같이 요약할 수 있다. 온실가스 감축과 기술진보는 매우 역동적인 파급효과를 내포하고 있다. 따라서 모형구축은 자본축적과 기술진보가 모형 내에서 결정되는 완전 동태적 모형으로 구축되고 분석되어야 한다. 또한 기술진보의 원천은 매우 다양하기 때문에 공공부문의 R&D 투자, 국제간 기술이전, 학습효과 등 기술진보의 원천을 보다 현실적으로 고려한 모형 구축이 요구된다. 또한 신기술도 이산화탄소 저배출 기술, 이산화탄소 저감기술 등 보다 다양한 기술

을 모형에 반영할 필요성이 높다. 기술의 원천을 보다 합리화하고 기술의 종류도 보다 다양하게 모형에 반영할 때 장기적으로 온실가스 감축이 경제성장을 견인하는 결과를 보여 줄 수 있을 것이다. ITC에 대한 객관적인 자료가 없기 때문에 ITC와 관련된 모수를 추정하는 연구도 병행해서 추진되어야 한다.

감축수단도 기술진보가 고려된 모형에서 평가되어야 보다 합리적인 결과를 도출할 수 있다. ITC가 존재하는 경제에서는 탄소세를 부과하면 목표량보다 더 많은 양을 감축하기 때문에 환경비용이 증가하는 경향이 있다. 따라서 감축 의무량을 설정하고 배출권거래제를 허용하는 것이 탄소세 정책보다 효율적일 가능성이 존재한다.

참 고 문 헌

- 김수이 · 조경엽 · 유승직, 『저탄소 경제시스템 구축 전략 연구: 경제 · 에너지 · 환경 통합정책』, 에너지경제연구원, 2008.
- 문영석 · 조경엽, “독점적 경쟁시장 하에서 온실가스 배출규제가 장기 에너지 전환에 미치는 효과”, 경제학연구, 제 53집 제 1호, 2005.
- 유승직 · 조경엽, 『조세왜곡하의 에너지 · 환경정책의 효율성 평가』, 에너지경제연구원, 2004.
- 조경엽, “온실가스 저감정책과 과급효과: Global CGE 모형에 의한 분석,” 『경제학연구』 제48집, 제4호, 2000, pp. 323-368.
- 조경엽 · 나인강, “온실가스 저감정책과 기술진보,” 경제학연구, 제51집, 제3호, 2003.
- 조경엽 · 김영덕 · 김효선, “초기할당방식과 예대(預貸)가능여부에 따른 CO2 배출권거래제의 경제적 효과,” 자원 · 환경경제연구, 제15권 제4호, 2006.
- Bovenberg, A. and L., de Mooij, R. A., "Environmental Levies and Distortionary Taxation," American Economic Review, Vol. 84, 1994.
- Buonanno, P., Carraro C., Galeotti M. "Endogenous Induced Technical Change and the Costs of Kyoto," Resource and Energy Economics 25, 11-34, 2003.
- Cronshaw, M.B. and J.B. Kruse, "Regulated Firms in Pollution Markets with Banking," Journal of Regulatory Economics, 9, 1996.
- Dixit A. and J.E. Stiglitz, "Monopolistic Competition and Optimum Product Diversity," American Economic Review Vol. 67, 1997.
- Gerlagh, R., van der Zwaan, BCC, 2002. "Gross World Product and Consumption in a Global Warming: Model with Endogenous Technological Change," Resource and Energy Economics 25, 35-57, 2003.
- Goulder, L., "Effets of Carbon Taxes in an Economy with Prior Tax Distortions: An Intertemporal General Equilibrium Analysis", Working Paper, Stanford University, 1994.
- _____, "Environmental Taxation and the Double Dividend: A Reader's Guide", International Tax and Public Finance, 2, 1995.
- _____, "Environmental Policy Making in a Second Best Setting," Journal of Applied Economics, 1(2), 1998.

- Goulder, L., Parry, W. H., Williams III, R. and C., Burtraw, D., "The Cost-Effectiveness of Alternative Instruments for Environmental Protection in a Second-Best Setting," *Journal of Public Economics* Vol. 72, 1999.
- Goulder L.W. and S.H. Schneider , "Induced Technological Change and the Attractiveness of CO2 Abatement Policies," *Resource and Energy Economics* 21, 1999.
- Jogenson D. W. and P. J. Wilcoxon, "Environmental Regulation and U.S. Economic Growth", *Rand Journal of Economics* 21, 1990.
- Kling, C. and J. Rubin, "Bankable Permits for the Control of Environmental Pollution," *Journal of Public Economics*, 64, 1997.
- Mulder, P, de Groot, H. L. F., and M. W. Hofkes, "Explaining Slow Diffusion of Energy-Saving Technologies; a Vintage Model with Returns to Diversity and Learning-By-Using," *Resource and Energy Economics*, Vol. 25, 2003, 105-126.
- Parry, W. H., "A Second Best Analysis of Environmental Subsidies," *International Tax and Public Finance*, 5, 1998.
- Rubin, J.D., "A Model of Intertemporal Emission Trading, Banking, and Borrowing," *Journal of Environmental Economics and Management*, 31, 1996.
- Weyant, J. P., Francisco C., and de la Chesnaye, and G. Blanford, "Overview of EMF-21: Multigation and Climate Policy", *The Energy Journal*, 2006
- Williams, R.C., "Prices vs. Quantities vs. Tradable Quantities," Working paper, University of Texas, Austin. 2003.

온실가스 감축의 경제적 효과

2008년 11월 13일

한국경제연구원
조경엽
(glcho@keri.org)

목 차

- ◆ 연구목적 및 배경
- ◆ 환경정책별 경제적 효과
- ◆ 온실가스 감축과 기술진보
- ◆ 결론 및 향후 연구과제

연구목적 및 배경

◆ 저탄소-녹색성장의 국가전략

- 온실가스 감축 ⇒ R&D 투자 ⇒ 신재생에너지 및 기술진보
⇒ 신성장동력 ⇒ 지속성장

◆ 신기술 개발은 막대한 비용과 시간을 요구

- 온실가스 감축이 신기술 개발을 유인 하지만,
- 경제성 부족으로 민간 R&D 투자 저조
- 정부의 지원 ⇒ 국민의 세금부담 상승
- 보급확대의 장애요인: 투자의 비가역성, 유출효과, 학습효과 등

환경정책별 경제적 효과

- ◆ 온실가스 감축의 경제 성장의 장애요인
 - R&D 투자비용과 저감비용간의 trade off
 - 기존 투자의 구축효과
 - 기존의 연구: 온실가스 감축은 경제성장을 저해
- ◆ 온실가스 감축의 경제적 효과 분석에 대한 문헌조사
 - 온실가스 저감비용에 영향을 미치는 요인
 - 감축 의무량, 저감시점, 감축수단, 신기술 및 대체에너지 개발
 - 기술진보의 원천 반영 정도에 따라 분석결과에 차이가 발생
 - 민간·공공 R&D투자, 산업간·국제간 이전, 학습효과 등
- ◆ 국가전략 수입에 필요한 향후 연구방향을 모색

환경정책별 경제적 효과

Goulder et al (1999)

◆ 환경정책

- 인센티브 제도: 환경세(탄소세), 배출권거래제
- 직접규제: 배출총량규제, 기술규제

◆ 최선(First Best) 경제 하의 경제적 효과

- 저감효과 (abatement effect)
- 투입대체효과 (input-substitution effect)
- 생산대체효과 (output-substitution effect)

환경정책별 경제적 효과

Goulder et al (1999)

◆ 차선(Second Best) 경제 하의 경제적 효과

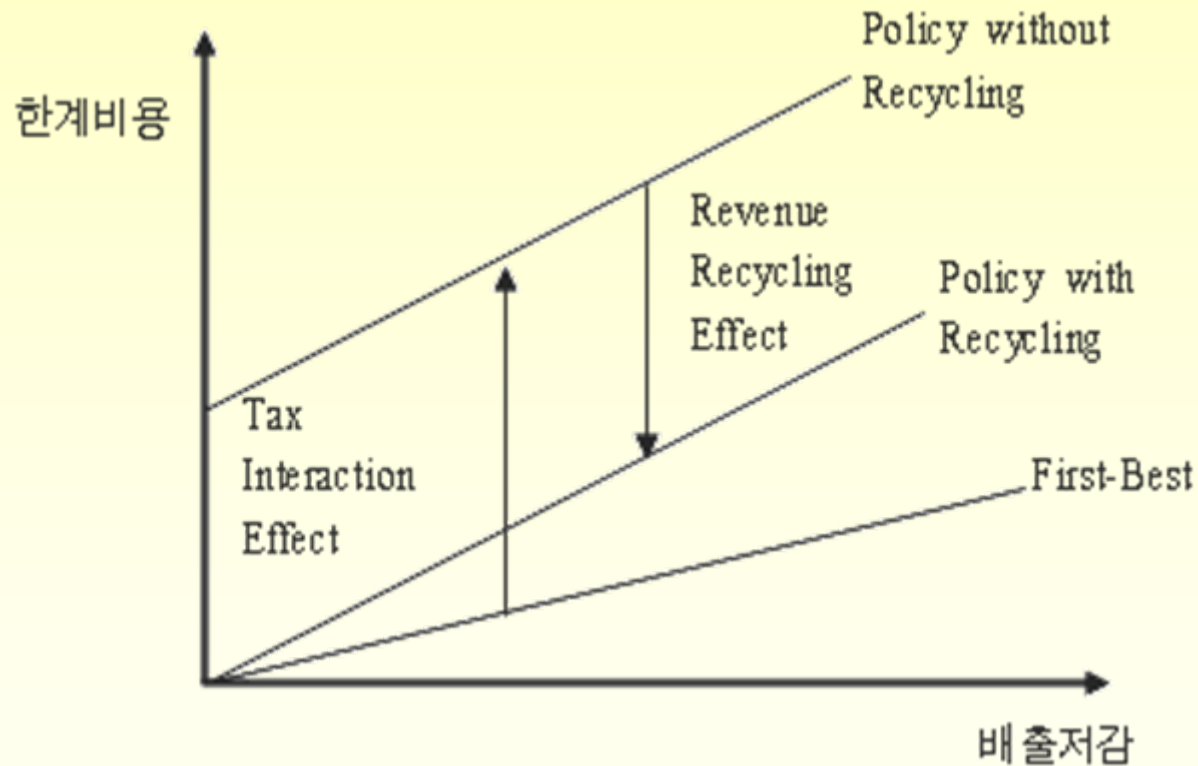
- 세제간 연관효과 (tax interaction effect)
- 세수환원효과 (revenue recycling effect)

◆ 세제간 연관효과

- 탄소세 부과 ⇒ 물가상승 ⇒ 실질임금 하락 ⇒ 노동공급감소
- 노동공급 감소 ⇒ 정부세수입 감소 ⇒ 세금인상
- 물가상승 ⇒ 실질 정부수입 감소 ⇒ 세금인상

환경정책별 경제적 효과

Goulder et al (1999)



환경정책별 경제적 효과

Goulder et al (1999)

일차 환경비용

	저감효과	투입대체효과	생산대체효과
환경세	Full	Full	Full
할당 & 배출 권거래	Full	Full	Full
기술규제	Full	Partial	Partial
연료세	None	Full	Full

자료: Goulder et al.(1999)

환경정책별 경제적 효과

Goulder et al (1999)

이차 환경비용

	가격효과	세제간 연관효과	세수환원효과	일차 비용에 추가효과
환경세	Large	Large	Large	Moderate
할당 & 배출권거래	Large	Large	0	Potentially Huge
기술규제	Moderate	Moderate	0	Moderate
연료세	Large	Large	Large	Moderate

자료: Goulder et al. (1999).

환경정책별 경제적 효과

◆ Goulder et al (1999)의 실증분석

- 미국경제를 대상으로 NOx 저감의 환경비용 비교
- 편익을 고려한 CGE 모형(NOx in Utility Function)
- 2 부문, 1 distortion tax(근로소득세)
- 환경세의 환경비용 = 1

	배출권거래제 (Cap & Trade)	의무할당제	기술규제 (Least Cost Technology)	연료세
20% 감축	1.992	1.035	1.238	3.677
50% 감축	1.345	1.025	1.112	4.348
75% 감축	1.123	1.014	1.036	5.804

환경정책별 경제적 효과

◆ 유승직 · 조경엽(2004)

- 한국경제를 대상으로 NOx 저감의 환경비용 비교
- 21개 산업, 에너지 세분화, 완전 동태적 CGE
- 2 부문, 5 distortion tax

	환경세	총량규제	총량규제 & 배 출권	연료세	기술규제
저감비용	1	3	2	5	4
기술유인	3	2	4	-	1
중간투입대체	5	1	2	4	3
최종생산대체	5	1	2	4	3
물가	5	1	2	4	3
노동공급	2	3	4	1	5
환경세수입	2	-	-	1	-
GDP	1	3	2	4	5

환경정책별 경제적 효과

◆ 조경업, 김영덕, 김효선 (2004)의 실증분석

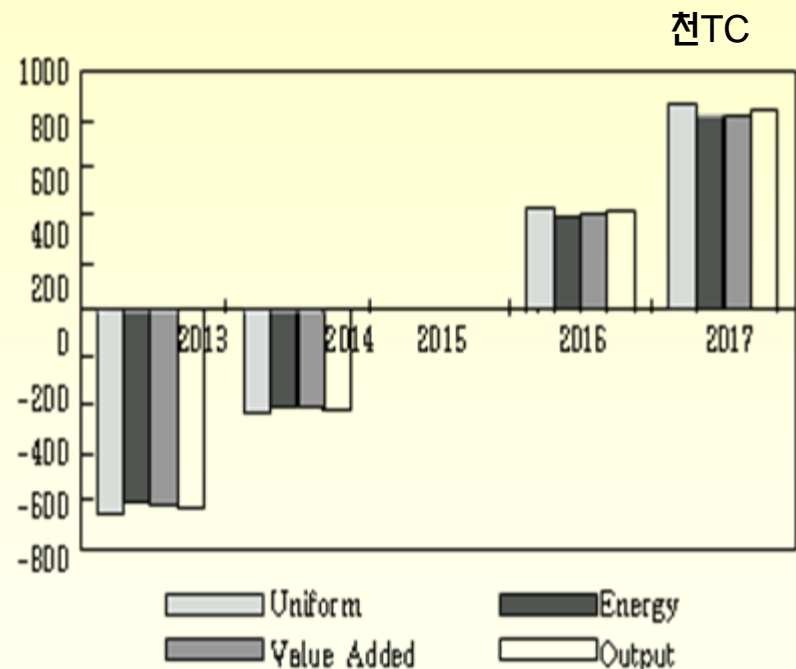
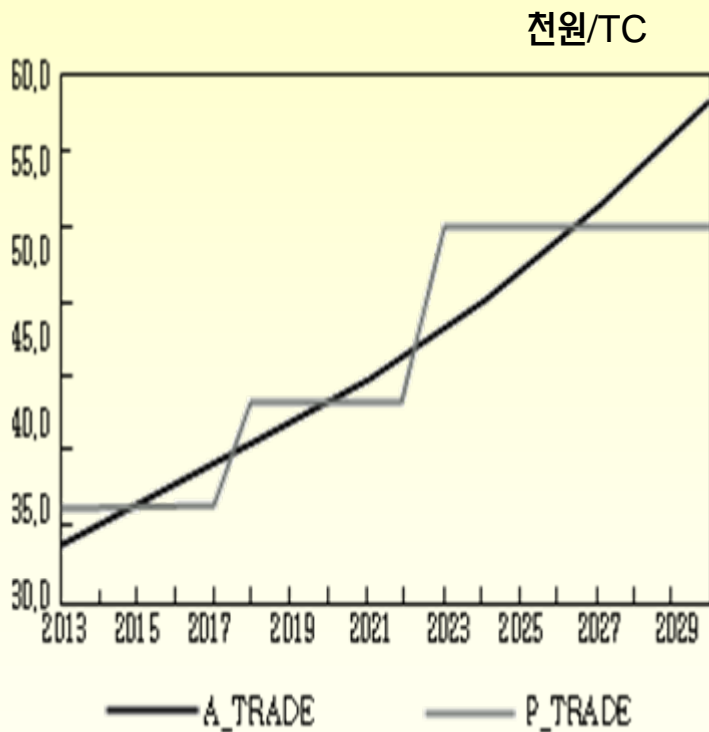
- 한국의 8대 주요 산업을 대상으로 이산화탄소의 초기 할당 방식과 시점간 거래의 효과 분석
- 완전동태적 CGE 모형
- 2000년 배출량 대비 95% 수준으로 동결

천원/TC

연 도	일률 할당 (Uniform)	에너지사용 기 준 (Energy)	부가가치 기준 (Value Added)	생산량 기준 (Output)
2013 ~ 2017	33.26	34.46	31.37	32.06
2018 ~ 2022	41.17	41.98	38.25	39.30
2023 ~ 2030	55.47	55.51	49.91	51.88

환경정책별 경제적 효과

◆ 조경업, 김영덕, 김효선 (2004)의 실증분석



환경정책별 경제적 효과

◆ 세수환원효과 평가: Goulder(1995)

모형	분석대상 국가	환경세 유형	세수환원	분석결과		
				후생변화	Percent Change in Real GNP	
					Period 1	Period 21
DRI	U.S.	Phased-in Carbon Tax ^{a)}	Personal Tax Cut	-0.39 ^{b)}	-0.00	-0.76
Goulder	U.S.	\$25/ton carbon tax	Personal Tax Cut	-0.33 ^{c)}	-0.15	-0.22
Goulder	U.S.	Fossil Fuel Tax	Personal Tax Cut	-0.28 ^{c)}	-0.09	-0.18
Jogenson-Wilcoxon	U.S.	Phased-in Carbon Tax ^{a)}	Labor Tax Cut	1.01 ^{d)}	0.03	-0.41
Jogenson-Wilcoxon	U.S.	Phased-in Carbon Tax ^{a)}	Capital Tax Cut	0.19 ^{d)}	0.20	0.95
LINK	U.S.	Phased-in Carbon Tax ^{a)}	Personal Tax Cut	-0.51 ^{b)}	0.00	-0.35
Shah-Larsen	U.S.	\$10/ton	Personal Tax Cut	-1049 ^{e)}	-0.02 ^{f)}	

온실가스감축과 기술진보

◆ 온실가스 감축 시행

- 단기: 에너지 절약, 에너지 대체 및 자본대체
- 장기: R&D 투자 \Rightarrow 기술진보 (에너지 효율 향상, 신재생에너지, 탄소감축)

◆ 에너지 대체 및 자본대체 모형

- Time Varying 원간 대체탄력성
- putty-clay 모형

◆ 기술진보 모형

- 외생적 AEEI(Autonomous Energy Efficiency Improvement)
- 내생적 기술진보 모형

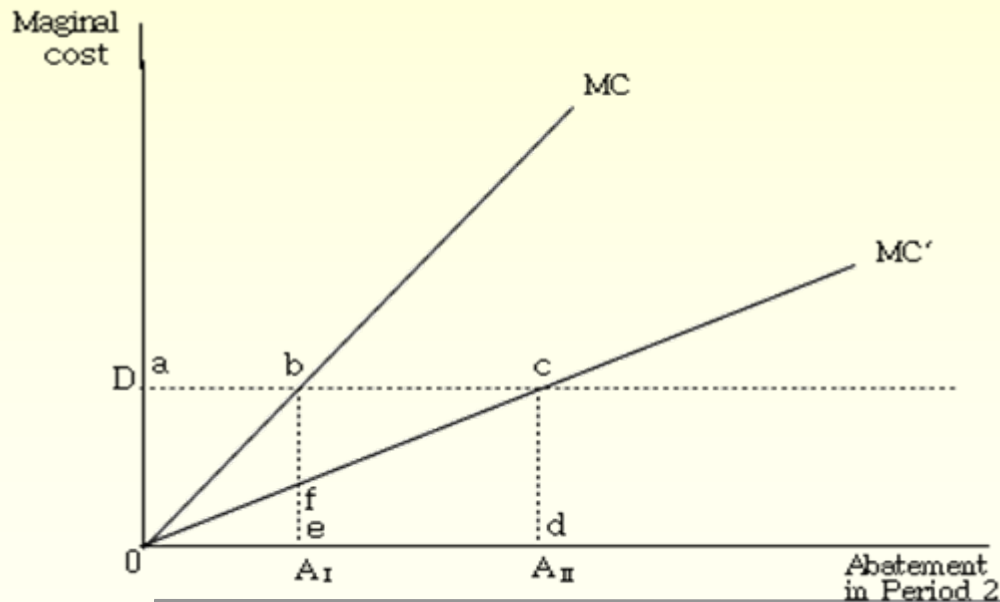
외생적 기술진보 모형

	조경엽(2000)				김수이.조경엽.유승직(2008) KEEI-Global Dynamic CGE				김수이.조경엽.유승직(2008) KEEI-Global Dynamic CGE			
모형구조	13개 지역 10개 산업으로 구성된 Global CGE				9개 지역 15개 산업으로 구성된 Global CGE				9개 지역 15개 산업으로 구성된 Global CGE			
연산방법	Myopic Expectation 가정 하의 Recursive Dynamic				Perfect Expectation 가정 하의 Fully Dynamic				Perfect Expectation 가정 하의 Fully Dynamic			
기술진보 및 대체에너지	AEEI & Carbon Free Backstop & 석유 대체유 Technology 허용				AEEI				AEEI & 기술의 확산효과 반영			
실증분석결과	2015		2020		2015		2020		2015		2020	
Annex I 저감량	1990년 대비 -5.2%		1990년 대비 -5.2%		1990년 대비 -5.2%		1990년 대비 -5.2%		1990년 대비 -5.2%		1990년 대비 -5.2%	
한국 저감량 (백만 TC)	0	20.0	0	20.0	0	38.3	0	40.2	0	38.3	0	40.2
배출권가액 (달러/TC)¹⁾	119.8	115.9	156.4	115.9	39.5	40.0	41.1	41.0	39.5	38.9	41.1	39.4
한국 GDP 변화(%)	0.85	-1.21	0.94	-1.33	-0.10	-0.97	-0.14	-1.07	-0.1	-0.88	-0.14	-0.76

내생적 기술진보(ITC)

◆ ITC: Induced Technology Change

- 온실가스 저감정책 \Rightarrow R&D 투자 유인 \Rightarrow 기술진보(에너지 효율 향상, 대체에너지, 이산화탄소 저감 기술 등)
- 환경정책 별 환경비용에 영향



내생적 기술진보(ITC)

◆ 기술진보의 원천

- 민간의 R&D 투자
- 정부의 R&D 투자
- 산업간 확산효과(spillover effect)
- 국제간 확산효과
- 학습효과
- 독점적 이윤

◆ ITC 모형의 유형

- 내생적 성장모형에 기술진보의 원천 반영 방법에 따라 분류

내생적 기술진보(ITC)

◆ Goulder and Schneider(1999)

- 기술진보: 경합적인 기술 진보와 비경합적인 기술진보
- 경합적 기술진보
 - 산업별 R&D 투자를 통해 축적(비용 발생)
 - 에너지 사용량 감축 ⇒ 온실가스 저감비용 감소
- 비경합적 기술진보
 - R&D 투자로 축적된 총 경합적 기술(지적자본)의 함수
 - 확산효과(공공재적 특성)
- 분석결과
 - 기존의 투자를 구축함에 따라 GDP 손실은 여전히 발생
 - 400억 TC 감축 시, ITC로 GDP 손실이 25% 감소

내생적 기술진보(ITC)

◆ Buonanno et al(2003)

- Goluder and Schneider 모형을 Global CGE 모형으로 확장
- 기술진보
 - 에너지효율향상
 - 에너지 단위당 탄소배출 비율 개선
- 분석결과
 - 톤당 저감비용 감소효과는 매우 큼
 - R&D비용과 저감비용의 trade off 효과로 인해 R&D 비용을 포함할 경우 GDP손실은 오히려 커짐

내생적 기술진보(ITC)

◆ Gerlagh and Zwaani(2003)

- 학습효과
 - ITC 화석연료 사용을 줄이고 비화석연료 생산을 증가시킴
- 온실가스 감축은 단기에 에너지절약으로 달성되고 장기에는 탄소 저배출 기술로 달성
- 단기에는 GDP 손실이 발생하지만 장기에는 GDP가 증가

내생적 기술진보(ITC)

◆ 조경엽 · 나인강(2003)

- Goulder and Schneider(1999)를 한국 경제에 적용
 - 경합적 기술진보와 비경합적 기술진보
 - 물적자본과 지적자본으로 구성되고 서로 대체관계
 - 지적자본은 R&D 투자에 의해 축적
 - 비경합적 기술은 확산효과 유발
- 분석결과
 - 단기: 톤당 저감비용 42%, GDP 손실 1%p 감소
 - 장기: 톤당 저감비용 73%, GDP 손실 1,8%p 감소
 - R&D투자 비용과 저감비용간의 Trade off와 물적자본 구축효과로 온실가스 감축은 경제성장을 저해

내생적 기술진보(ITC)

◆ 문영석 · 조경엽 (2005)

- 기술진보의 원천: 독점적 이윤
- 내생적 성장모형 & 독점적 경쟁 형태의 에너지시장
- 온실가스감축이 장기에너지전환 (석탄→석유 → 천연가스 → 신재생 에너지)에 미치는 효과 분석
- 에너지원별 공급기간
 - 고정비용과 독점적 이윤에 따라 기업의 진입·퇴출에 의해 결정
- 에너지 믹스 결정
 - Stiglitz(1977)의 기술간 상보성:
 - 다양한 에너지가 폭넓게 사용될 경우 생산성이 높음
 - 오랜 기간 사용되어온 기존에너지는 **학습효과**로 인해 신재생에너지보다 생산성이 높은 기간이 존재

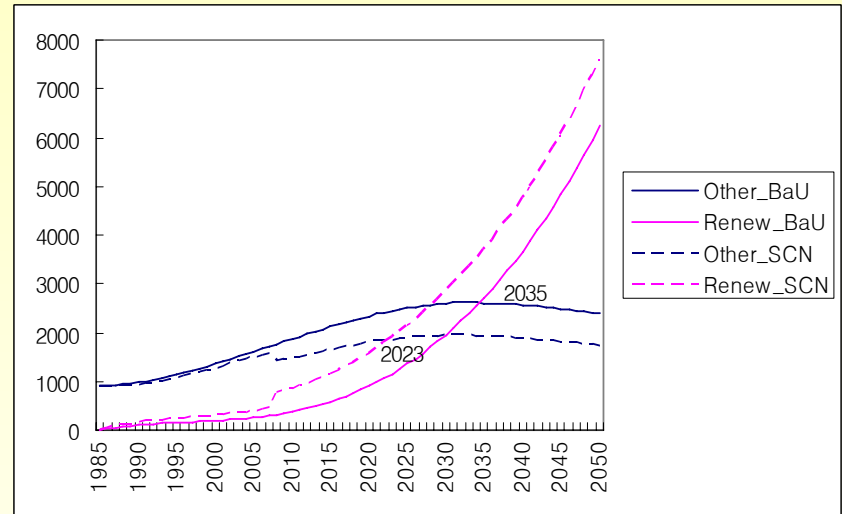
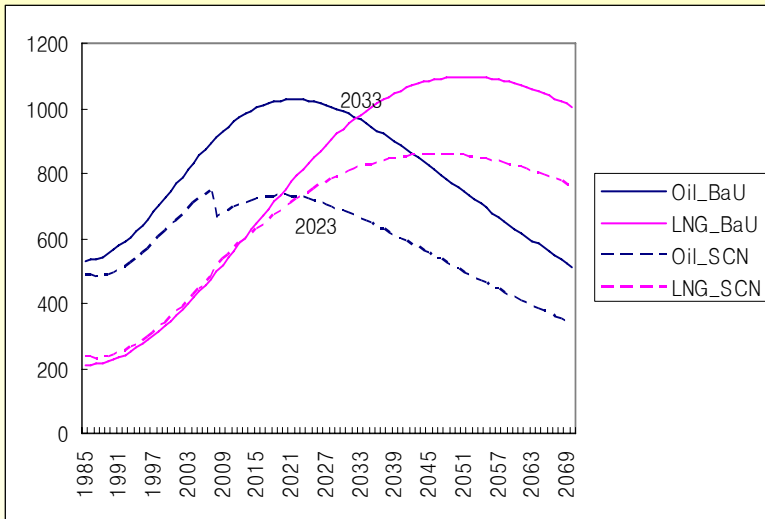
내생적 기술진보(ITC)

- 온실가스 저감정책의 파급 경로

- 온실가스 저감 정책 도입 → 화석연료의 독점이윤 감소 → 고정비용이 독점이윤을 초과하는 기업 발생 → 퇴출 증가 → 화석연료 공급기간이 감소
- 온실가스 저감 정책 도입 → 화석연료의 공급기간 감소 → LBU 효과 감소 → 대체에너지로 전환

	독점이윤 가격 (기준균형 = 1)	영의 이윤가격 (기준균형 = 1)	단위당 고정요 소 수입율	기준균형 대비 독점이윤 (1985 백만 US\$)	공급기간 (기준균형 = 1)
석탄	1.27	1.30	-0.02	-772	0.88
석유	1.27	1.41	-0.09	-5,302	0.92
천연가스	1.283	1.281	0.002	95	1.01
대체에너지	1.31	1.06	0.24	106,509	1.20

내생적 기술진보(ITC)



	기준균형 대비 후생변화 (%)	후생손실액 (1985 백만 US\$)
독점적 경쟁시장 모형	-0.71	-2118
완전경쟁시장모형	-1.15	-3454

결론 및 향후 연구과제

◆ 저탄소-녹색성장의 성공 여건

- 온실가스 감축량과 감축시기에 대한 합리적 결정
- 효율적인 감축수단 선택
- 비용효과적인 신기술 및 신재생에너지 개발·보급
 - 저감비용과 R&D 투자비용의 trade off 효과 최소화
 - 물적자본에 대한 투자 구축효과 최소화

결론 및 향후 연구과제

◆ 향후 연구과제

- 다양한 기술진보의 원천과 기술종류 반영
- 완전 동태적 모형 구축
 - 기술축적의 동태적 효과 감안
- 일 국가, 권역별 다지역, Global 모형 구축
 - 기술의 산업간, 권역간, 국가간 이전 효과 분석
- 현실적인 경제여건을 고려한 감축수단 평가
 - ITC 존재 하의 저감수단 평가
 - 세수환원 방법 평가
 - ✓ 기존의 조세왜곡 완화 (세목별 평가)
 - ✓ 신기술 및 신재생에너지 개발 지원