

규제연구 제14권 제1호 2005년 6월

# 대기오염물질 배출규제의 경제적 파급효과: 경유자동차의 $NO_x$

## 배출규제를 중심으로

김영덕\*\* · 조정엽\*\*\*

(접수일: 6/16, 게재확정일: 4/6)

본 연구는 특정 자동차에 특정 연료가 사용되고 대체 가능한 수송서비스 옵션이 다양하게 존재하는 부문을 대상으로 시장메커니즘을 통한 환경정책과 연료품질규제 등 강제적 규제를 통한 환경정책의 차이점을 분석하였다. 본 연구에서 소비자가 직면한 수송서비스에 대한 선택은 ① 신형자동차 & 기존 연료 ② 신형자동차 & 저유황연료 ③ 기존 자동차 & 기존 연료 ④ 기존 자동차 & 저유황연료를 사용할 것인가로 구분된다. 이는 다시 차종·차량별(승용차, 승합차, 화물차), 연료별(휘발유, 경유, LPG), 자동차 크기(소형, 대형), 신·구형 자동차로 세분되기 때문에 총 수송서비스 옵션은 72가지에 달한다. 이와 같이 자동차와 사용연료를 세분함으로써 환경규제로 인한 기존 자동차간 대체효과뿐만 아니라 기존의 자동차에서 신형자동차로의 대체효과를 포괄하여 분석할 수 있는 연산가능일반균형모형을 구축하였다. 본 연구결과는 GDP 손실을 최소화하면서 환경목표를 달성하기 위해서는 강제적 규제(Command and Control; CAC)보다는 배출권거래제와 같은 시장메커니즘을 활용하는 것이 바람직함을 보여준다. 시장메커니즘에서도 기존의 조세왜곡이 존재한다면 이를 완화하기 위해 정부의 추가 수입을 환원하는 것이 보다 바람직한 정책으로 평가된다. 게다가 배출권거래제하에서도 고품질 연료가 시장을 통해 도입될 수 있음을 보여주고 있다. 따라서 정부의 목적이 고품질 연료도입이 아니라 배출규제를 통한 환경목표를 달성하는 데 있다면, 경제적 비용을 최소화하는 방향인 시장메커니즘 활용정책의 추진이 바람직할 수 있다.

\* 본 논문의 완성에 도움이 된 귀중한 의견을 주신 두 분의 심사자에게 깊은 감사를 드린다. 본 논문에 대한 저자의 기여도가 동일하여 가나다순으로 이름을 표기하였다.

\*\* 부산대학교 상과대학 경제학과 교수(공동저자), 부산광역시 금정구 장전동 산30(ydkim@pusan.ac.kr)

\*\*\* 국회예산정책처 세입세제분석팀장(공동저자), 서울시 영등포구 여의도동 27-1, 한국투자증권빌딩 17-19층(glcho@nabo.go.kr)

핵심용어: 대기오염배출, 시장메커니즘, 강제적 규제, 수송부문

K C I

## I. 서론

현재 정부는 배출오염물질의 총량규제, 저공해 자동차의 의무적 도입, 자동차 연료의 기준 강화, 경유차 연료에 대한 세금인상 등을 골자로 하는 『수도권대기환경개선에 관한 법률안』을 제정·공포하여 수도권 대기질 개선을 위한 특별대책에 들어갔다. 문제는 동 법률안의 대부분이 사회적 손실이 높은 것으로 평가되는 강제적 규제(Command and Control: CAC)의 형태를 띠고 있어 체계적인 평가와 검증을 통해 정책이 수립되기보다는 행정적 적용의 편의성이 우선된 것으로 평가된다. 합리적인 환경정책을 수립하는 출발점은 환경정책마다 가지고 있는 특성을 파악하고 경제여건에 따라 순작용과 반작용을 통해 어떤 결과를 낳는지를 정확히 평가하는 것이라 할 수 있다. 이러한 시각에 따라서 본 연구는 수송부문을 대상으로 대기오염물질 배출을 규제하기 위한 정책으로 자주 거론되는 CAC와 시장메커니즘을 활용한 정책의 효율성을 실증적으로 평가하고 비교·분석하고 있다.

기존의 연구인 Goulder, Parry and Burtraw(GPB, 1997), Goulder, Parry, Williams and Burtraw(GPWB, 1999) 및 Parry, Williams, and Goulder(PWG, 1999)에 따르면 모든 환경정책은 기존의 조세왜곡(예: 근로세, 법인세, 부가가치세 등)의 존재 여부에 상관없이 정도의 차이를 가지고 저감유인효과Abatement Effect, 최종재화 대체효과Output Substitution Effect 및 중간재화 대체효과Substitution Effect를 유발한다.<sup>1)</sup> 특히 소비자와 생산자가 선택

---

1) 환경세가 부과되면 환경세를 부담하는 대신 신기술을 도입하여 자발적으로 배출을 억제하려는 유인이 발생하는데 이를 저감유인효과라 한다. 중간재화 대체효과는 오염물질을 배출하는 재화를 중간재화로 사용하는 대신 청정 재화를 중간재화로 사용함으로써 환경세 부담을 완화하는 효과를 의미한다. 그리고 최종재화 대체효과는 환경세 부담을 완화하기 위해 생산을 줄이는 경제적 행위를 의미한다.

할 수 있는 옵션이 다양할수록 이들 효과가 효율성에 미치는 영향은 더욱 커지게 된다. 또한 GPB, GPWB, PWG의 연구는 기존의 조세왜곡이 존재하는 차선의 세계에서 세간상관효과Tax Interaction Effect와 세수재생효과Revenue Recycling Effect라는 추가적인 효과가 발생하여 서로 상쇄작용을 한다는 것을 보여주고 있다. 예를 들어 근로소득세가 존재하는 경제에 환경세 부과는 물가를 상승시켜 기존의 조세왜곡을 더욱 악화시키게 된다.<sup>2)</sup> 반면에 조세중립하에서 환경세 세수입은 기존의 조세왜곡을 완화시키는 방향으로 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다.<sup>3)</sup> 결국 차선의 세계에서 최적의 환경세는 세간상관효과와 세수재생효과의 크기에 따라 경제의 효율성과 후생 수준이 결정된다.<sup>4)</sup>

대표적인 실증분석 연구로 Bovenberg and Goulder(1996), GPB, GPWB, PWG, Bernstein et al.(1999), Goulder and Schneider(1999), Bovenberg and Goulder(2001), 조경엽(2004) 등을 꼽을 수 있는데, 이론적 연구와 같이 이들 연구도 환경정책의 효율성은 저감기술 유인정도, 중간재화 대체정도, 최종재화 대체정도, 그리고 정부의 추가 세수입 발생 여부에 크게 좌우된다는 것을 보여주고 있다. 이들 연구는  $NO_x$ ,  $SO_x$ 와 같은 국지적 환경오염물질Local Pollutant 또는  $CO_2$ 와 같은 전 지구적 환경오염물질Global Pollutant을 대상으로 연산가능일반균형모형을 통해 저감비용을 추정하고 있다. 그러나 매우 제한적인 범위에서 투입연료간 대체, 최종생산재화간 대체, 신기술도입 효과들을 분석하고 있다. 이들 연구에서 에너지는 크게 석탄, 석유, 천연가스로 분류되고 있으나 이에

- 
- 2) 이와 같이 기존의 조세왜곡을 더욱 악화시키는 세간상관효과는 다음의 세 가지 이유 때문이다. 첫째, 환경세 부과는 오염물질을 유발하는 재화, 나아가 이를 중간재화로 사용하는 기타 최종재화의 가격을 상승시킨다. 이로 인한 물가상승은 실질임금을 하락시키는 원인으로 작용하기 때문에 추가적인 노동공급 감소를 가져온다. 둘째, 실질임금 하락에 따른 노동공급 감소는 정부수입 감소로 이어져 추가적인 세금 인상이 불가피하게 된다. 마지막으로 물가상승은 실질 정부지출의 감소를 의미하기 때문에 기존의 정부 지출 수준을 유지하기 위해서는 추가적인 세금인상이 불가피하게 된다.
  - 3) 환경세를 통한 세수입을 기존의 근로소득세를 인하시키는 방향으로 사용한다면 기존의 조세왜곡은 완화된다.
  - 4) Bovenberg and Mooij(1994), Fullerton(1996), GPB, GPWB, PWG, Parry(1998) 연구의 주 관심은 차선의 세계에서 최적의 환경세(Second-best Environmental Tax)가 피구세(First-best Environmental Tax)보다 높으나 아니면 낮으나를 규명하는 데 집중되고 있다. 이들 연구의 이론적·실증적 결과에 따르면 세간상관효과가 세수재생효과보다 크기 때문에 차선의 세계에서 환경세를 부과하는 것은 피구세보다 후생을 더 감소시킨다. 따라서 차선의 세계에서 최적의 환경세는 피구세보다 낮아야 한다는 것을 보여주고 있다.

상응하여 사용되는 자본과 신기술은 세분화되지 않고 있다. 따라서 수송부문과 같이 특정 자동차에 특정 연료만이 사용되고 대체 가능한 옵션이 다양하게 존재하는 부문에 적용되는 환경정책을 평가하는 데는 한계를 지니게 된다. 더욱이  $NO_x$ 와 같은 국지적 환경오염물질은 동일한 수송서비스를 제공하더라도 사용연료, 자동차 크기 및 종류, 사용기간에 따라 배출량이 다르다. 따라서 기존연구와 달리 본 연구는 자동차 종류와 연료가 세분화된 일반균형모형을 구축하고 이를 통해 환경정책을 평가하였다. 석유제품산업은 수송연료별로 휘발유, 경유, 수송용 LPG로 분류되고 자동차는 사용목적에 따라 승용차, 승합차, 화물차로 구분되고, 사용연료에 따라 휘발유, 경유, LPG자동차로 세분되고 이는 다시 자동차 크기에 따라 중·소형과 대형으로 분류된다.

본 연구에서 규제대상 오염물질은 수송부문에서 발생하는  $NO_x$ 이며, 배출허용기준은 EURO4 & ULEV 배출계수를 적용하여 추정된 2007년도의 배출수준을 매년 동결하는 것으로 가정한다.<sup>5)</sup> 이를 달성하는 정책수단으로 배출권거래제와 강제적 규제를 선정하였다. 연료품질에 대한 강제적 규제는 경유의 품질을 현행 430ppm에서 50ppm 또는 15ppm으로 개선하는 것으로 정의된다.<sup>6)</sup> 환경목표를 달성하는 정책은 크게 강제적 규제와 시장메커니즘을 이용한 인센티브제도로 나누어 볼 수 있다. 정부의 추가 세수입을 가져오는 환경정책으로 환경세와 경매를 통한 배출권거래제를 들 수 있는데 본 연구에서는 이 둘을 동일한 것으로 가정하고 분석하였다. 이와 같은 가정이 타당성을 확보하기 위해서는 환경세율을 설정하는 데 필요한 정보, 배출권 구매시 나타날 수 있는 전략적 행위, 기타 부대비용 등에 대한 강한 가정이 필요하다.<sup>7)</sup> 그러나 본 연구의 목적이 시

5) EURO4 & ULEV로 추정된  $NO_x$ 의 배출수준은 제2장에 수록된다.

6) 규제대상으로  $NO_x$ 를 선정한 이유는 환경부가 선정한 수송부문의 4대 오염물질이  $HC$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $PM$ 이기 때문이다. 특히 경유차의 경우에는  $NO_x$ 와  $PM$ 의 배출저감을 목표로 하고 있다. 그리고 이를 달성하는 수단으로 경유의 황함유량을 규제하는 것이다. 황함유량 규제는  $SO_2$  배출을 직접적으로 저감하는 동시에 자동차에 체화된 오염저감기술과 결합하여 다른 오염원의 배출을 억제하는 수단으로 사용된다. 4가지 오염물질의 배출이 황함유량 규제에 의하여 동시에 저감되기 때문에 4가지 모두를 살피는 것과 한 가지만 집중하여 분석하는 것에 차이는 나타나지 않는다. 따라서 본고에서는 이러한 4가지 배출오염물질 중 단지  $NO_x$ 만을 따로 분리하여 분석하기로 한다.

7) 예를 들어 정부가 기업의 한계저감비용에 대한 완전한 정보를 가지고 있지 않다면 환경세와 배출권거래 가격이 상이할 수 있다. 또한 경매에 참여자가 전략적 담합을 한다면 환경세와 다른 배출권 가격이 도출될 수 있다. 이 밖에도 행정비용, 감시비용, 이행비용 등이 상이하다면 두 제도간 차이가 발생할 수 있다.

장메커니즘과 강제규제의 경제적 파급효과의 차이점을 분석하는 데 초점을 맞추고 있기 때문에 환경세와 배출권거래제가 상이한 결과를 가져올 수 있는 기타 조건은 분석에서 제외하였다. 이러한 의미에서 본고에서는 배출권거래제를 시장을 활용한 환경정책수단을 대표하는 것으로 설정하였다.<sup>8)</sup>

본 연구에서 소비자가 직면한 수송서비스에 대한 선택은 ① 신형자동차 & 기존 연료 ② 신형자동차 & 저유황연료 ③ 기존 자동차 & 기존 연료 ④ 기존 자동차 & 저유황연료를 사용할 것인가로 구분된다. 차종·차량별이 수송수단(승용차, 승합차, 화물차)과 연료(휘발유, 경유, LPG), 그리고 자동차 크기(소형, 대형)로 세분화되어 있어 총 수송서비스 옵션은 18가지( $3 \times 3 \times 2$ )에 달한다. 그리고 자동차기술과 연료 종류에 따라 4가지의 신·구형 자동차 및 연료의 선택이 추가되기 때문에 소비자가 직면한 총 수송서비스 옵션은 72가지( $3 \times 3 \times 2 \times 4$ )에 달한다. 이와 더불어 자동차의 운행거리에 대한 선택과 배출권의 구매 또는 판매 여부의 결정을 고려한다면 소비자의 선택이 매우 폭넓게 반영되어 있다. 그러나 CAC의 경우 기존의 연료는 법적으로 더 이상 시장에서 유통될 수 없다고 가정하면 ①과 ③은 선택의 대상이 되지 않으므로 CAC에서의 소비자 선택은 36가지로 감소한다. 이와 같이 자동차와 사용연료를 세분함으로써 환경규제로 인한 기존 자동차간 대체효과뿐만 아니라 기존의 자동차에서 신형자동차로의 대체효과를 포괄하여 분석할 수 있는 일반균형모형을 통해 연료와 자동차품질에 대한 강제적 규제와 배출권거래제의 효율성을 평가한다.

본 연구결과는 GDP 손실을 최소화하면서 환경목표를 달성하기 위해서는 CAC보다는 배출권거래제와 같은 시장메커니즘을 활용하는 것이 바람직함을 보여준다. 시장메커니즘에서도 기존의 조세왜곡이 존재한다면 이를 완화하기 위해 정부의 추가 수입을 환

8) 현시점에서 수송부문의 배출권거래제는 불가능하다. 그러나 현재 개발중인 오염물질 계측기가 모든 자동차에 부착된다면 수송부문에서도 배출권거래제 또는 환경세는 매우 효율적인 정책수단으로 평가된다. 계측기의 개발비용이 높아 현재는 비효율적일 수 있으나, 연료세 또는 직접규제 등의 비효율성이 높아 시장메커니즘을 활용하는 정책도입이 필요하다는 연구결과들은 계측기 개발에 대한 투자를 촉진시키는 데 기여할 수 있다. 따라서 계측기 부착이 배출권거래제나 환경세가 불가능하도록 하는 문제가 아니라 시장유인정책 시행에서 해결할 수 있는 과정으로 여겨져야 할 것이다. 본고에서 논의하고 있는 행정비용 측면에서도 계측기 검사를 현재의 정기적인 차량검사와 연계한다면 배출권거래제 또는 환경세를 도입하는 것이 경제성을 확보할 수 있을 것이다. 이와 같은 시장유인정책을 어떻게 시행하는가에 대한 방법론적 연구는 본고에서는 논의로 하고 있지만 추후 지속되어야 할 과제이다.

원하는 것이 보다 바람직한 정책으로 평가된다. 더욱이 본 논문은 배출권거래제하에서도 고품질 연료가 시장을 통해 도입이 된다는 것을 보여주고 있다. 따라서 정부의 목적이 고품질 연료도입이 아니라 배출규제를 통한 환경목표를 달성하는 데 있다면 경제적 비용을 최소화하는 방향으로 정책이 결정되어야 한다.

본 연구는 다음과 같은 구성을 가지고 있다. II장에서는 모형을 설정하기 위한 자료와 구체적인 모형의 구조 및 특성을 설명하고, III장에서는 설정한 모형으로부터 환경목표를 달성하기 위한 정책수단들의 사회적 손실과 경제적 효과를 정책 수단별로 추정하여 비교하였으며, IV장에서는 이러한 비교를 통하여 연구의 결론을 맺는 것으로 하였다.

## II. 분석모형

수송부문의 배출오염은 연료와 자동차 종류에 따라 상이하게 발생하기 때문에 <표 1>에 나타난 바와 같이 수송연료와 자동차산업을 세분화하여 수송서비스에 대한 소비자 선택의 다양성을 반영할 수 있는 모형을 구축하였다. 소비자는 환경규제를 충족하는 신형자동차를 구매할 것이냐 아니면 기존의 자동차를 유지하면서 배출에 대한 추가적 비용(환경세 또는 배출권구매)을 부담할 것이냐 하는 경제적 의사결정에 직면하게 된다. 신형자동차 구매를 위해 지불해야 하는 비용보다 환경비용부담이 크다면 환경규제는 신형자동차의 보급을 확대시키는 원인으로 작용할 것이다. 또한 신형자동차의 보급이 확대되면 이에 맞는 연료의 품질이 개선되는 계기가 될 것이다. 그러나 신형자동차와 고급연료를 공급하기 위해서는 연구개발 및 물적투자 등 추가적인 생산비용이 발생하고 생산비용상승은 자동차 및 연료의 가격상승을 유발하게 된다. 따라서 자동차와 연료를 중간재화로 사용하는 모든 산업의 최종재화의 가격을 상승시켜 산업경쟁력을 약화시키는 부정적인 효과가 발생한다. 본 장에서는 이와 같은 파급효과를 분석하기 위해 구축된 일반균형 모형에 대해 설명하기로 한다. 수송부분에 국한하여 배출권거래제와 강제적 규제와의 차이점을 수식을 통해 자세히 설명하고 산업, 가계, 정부, 대외거래, 그리고 연산방법에 대한 설명은 부록에 수록하기로 한다.

〈표 1〉 분석대상산업

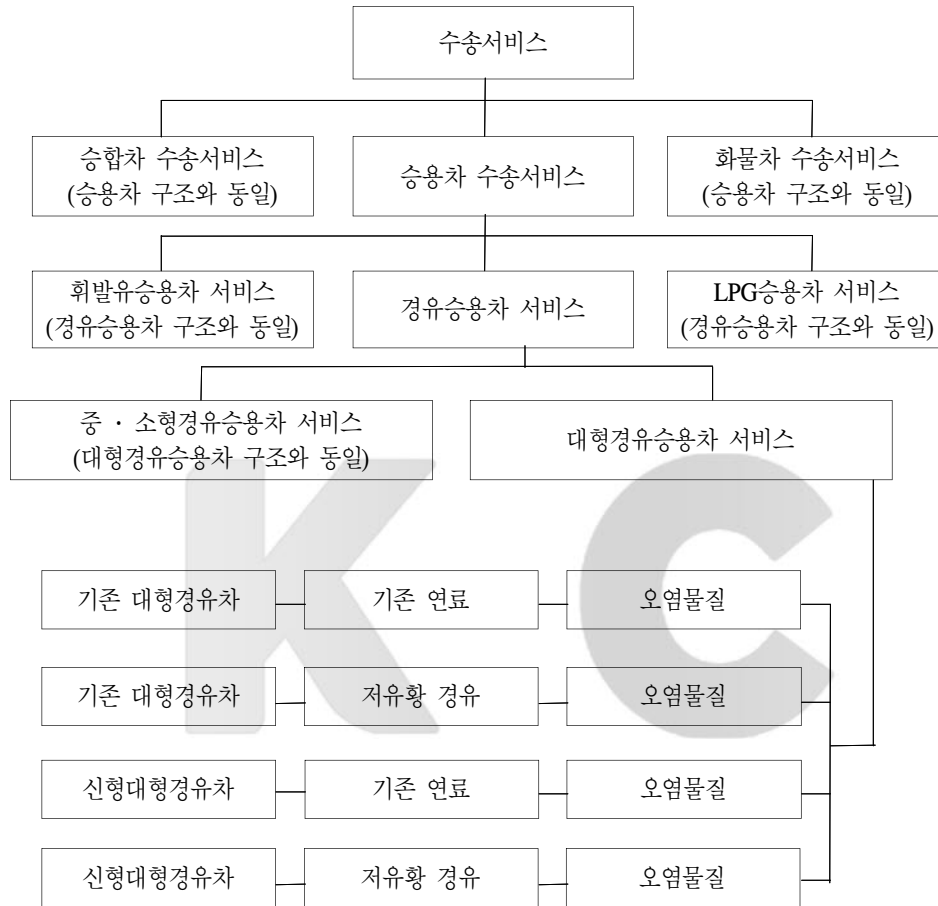
분류	세분류			
석유산업	휘발유			
	경유			
	수송용 LPG			
	기타 석유제품			
	대체연료	황함량 430ppm 경유(기존 연료)		
		황함량 80ppm 경유		
		황함량 50ppm 경유		
		황함량 15ppm 경유		
수송서비스산업	승용차	휘발유	중·소형	2000cc 이하
			대형	2001cc 이상
		경유	중·소형	2000cc 이하
			대형	2001cc 이상
		LPG	중·소형	2000cc 이하
			대형	2001cc 이상
	승합차	휘발유	중·소형	7~10인승 이하
			대형	시내, 시외 및 고속버스
		경유	중·소형	7~10인승 이하
			대형	시내, 시외 및 고속버스
		LPG	중·소형	7~10인승 이하
			대형	시내, 시외 및 고속버스
	화물차	휘발유	중·소형	5톤 이하
			대형	6톤 이상
		경유	중·소형	5톤 이하
			대형	6톤 이상
		LPG	중·소형	5톤 이하
			대형	6톤 이상
자동차산업	수송서비스산업과 동일			
기타 재화 및 서비스산업				



# 1. 모형구조

## (1) 수송서비스 생산구조

<그림 1> 수송서비스 생산구조



<그림 1>은 다층의 단계를 거쳐 형성되는 수송서비스의 생산구조를 승용차 서비스를 중심으로 보여주고 있다. 그림에는 생략되었지만 승합차와 화물 수송서비스도 동일한 단계를 거쳐 생산되고 승용차 수송서비스와 대체관계를 통해 최종 수송서비스를 형성한다. 수송서비스의 복합단계를 보다 명확히 이해하기 위해 그림의 하단부분에 나타난

대형경유승용차 서비스 형성단계부터 설명하기로 한다.<sup>9)</sup>

배출권거래제하에서 오염물질배출은 소비자 입장에서 보면 자동차 운행에 따른 하나의 비용으로 간주된다. 그러나 다음 절에 수록된 <표 8>에서 보듯이 차종과 연료에 따라 배출계수가 고정되어 있고, <표 12> ~ <표 15>에서 나타나 있듯이 저유황 경유를 사용하면 동일한 차종이라도 배출량이 감소하게 된다. 따라서 <그림 1>과 같이 기존 대형경유승용차를 가진 소비자는 두 가지 선택이 가능하다고 가정한다. 하나는 보다 저렴한 기존 경유를 사용하면서 높은 환경비용을 부담하는 것과, 다른 하나는 비싼 저유황 경유를 사용하면서 낮은 환경비용을 부담하는 것이다.<sup>10)</sup> 그리고 신형대형경유승용차의 경우에도 동일한 논리가 적용된다. 따라서 대형경유승용차 서비스에 관련된 소비자의 선택은 다음 4가지 묶음으로 요약할 수 있다. <그림 1>에 나타나 있듯이 “기존 대형경유승용차 & 기존 경유 & 오염물질”, “기존 대형경유승용차 & 저유황 경유 & 오염물질”, “신형대형경유승용차 & 기존 경유 & 오염물질”, “신형대형경유승용차 & 저유황 경유 & 오염물질”과 같이 4가지가 서로 대체관계를 통해 대형경유승용차 서비스라는 복합재화가 구성된다. 이상의 4가지 옵션은 각각 상이한 차량비용, 연료비용, 환경비용을 수반한다. 따라서 대형경유승용차 서비스에 대한 균형은 4가지 옵션의 한계비용이 동일해지는 점에서 형성된다.

중·소형경유승용차 서비스에 대한 균형도 이와 동일한 과정을 거쳐 형성이 된다. 이와 같이 형성된 중·소형경유승용차 서비스와 대형경유승용차 서비스는 대체관계를 통해 경유승용차 서비스가 구성된다. <그림 1>에 자세히 표시되어 있지 않지만, 휘발유승용차 서비스와 LPG승용차 서비스도 경유승용차 서비스 형성과 동일한 과정을 거쳐 제공된다. 결국 그림에서 보듯이 휘발유승용차 서비스, 경유승용차 서비스, LPG승용차 서비스의 대체관계를 통해 승용차 수송서비스가 생산된다. 그리고 승합차 수송서비스와 화물차 수송서비스도 승용차 수송서비스와 동일한 과정을 통해 형성된다. 그리고 3가지 수송서비스의 대체관계를 통해 최종 수송서비스가 생산된다.

이상의 복합단계를 요약하면 최종 수송서비스는 총 72가지의 선택으로 구성된다. 차

9) 모형에서 각 단계의 균형은 동시에 형성된다. 그러나 설명의 편의를 위해 단계별로 설명하기로 한다.

10) 이와 같이 가정하게 된 가장 큰 이유는 현재 이용 가능한 배출계수가 차량별·연료별 배출계수로 한정되어 있기 때문이다(<표 8>, <표12>~<표15> 참조).

종·차량별 수송수단(승용차, 승합차, 화물차)과 연료(휘발유, 경유, LPG), 그리고 자동차 크기(소형, 대형)로 세분화되어 있으므로 총 수송서비스 옵션은 18가지(3×3×2)에 달하며, 자동차기술과 연료 종류에 따라 4가지의 신·구형 자동차 및 연료의 선택이 추가되기 때문에 소비자가 직면한 총 수송서비스 옵션은 72가지(3×3×2×4)에 달한다. 이를 수식을 통해 설명하면 다음과 같다.

우선 <그림 1>의 맨 윗 단계에 나타난 최종 수송서비스( $TRN_t$ )는 승용차 수송서비스( $PRI_t$ ), 승합차 수송서비스( $PUB_t$ ), 화물차 수송서비스( $FRE_t$ )의 CES 함수로 구성된다고 가정한다.

$$TRN_t = [a_{pri} PRI_t^\rho + a_{pub} PUB_t^\rho + a_{fre} FRE_t^\rho]^\frac{1}{\rho} \quad (1)$$

여기서  $a$ 는 수송서비스 가중치 모수로서 합은 1이 된다.<sup>11)</sup>  $\rho$ 는 수송서비스간 대체탄력성을 의미한다.<sup>12)</sup> 운송수단별 수송서비스는 다음과 같이 사용연료에 따라 휘발유 자동차 서비스( $GSLS$ ), 경유자동차 서비스( $DSLS$ ), LPG자동차 서비스( $LPGS$ )의 CES 함수로 구성된다.

$$PRI_t = [a_1 GSLS_{pri,t}^\rho + a_2 DSLS_{pri,t}^\rho + a_3 LPGS_{pri,t}^\rho]^\frac{1}{\rho} \quad (2)$$

$$PUB_t = [a_1 GSLS_{pub,t}^\rho + a_2 DSLS_{pub,t}^\rho + a_3 LPGS_{pub,t}^\rho]^\frac{1}{\rho} \quad (3)$$

$$FRE_t = [a_1 GSLS_{fre,t}^\rho + a_2 DSLS_{fre,t}^\rho + a_3 LPGS_{fre,t}^\rho]^\frac{1}{\rho} \quad (4)$$

식(2)는 승용차 수송서비스는 휘발유승용차 서비스( $GSLS_{pri}$ ), 경유승용차 서비스( $DSLS_{pri}$ ), LPG승용차 서비스( $LPGS_{pri}$ )의 대체관계를 통해서 형성된다는 것을 보여주고 있다. 식(3)도 승합차수송 서비스는 휘발유승합차 서비스( $GSLS_{pub}$ ), 경유승합

11) 이하 가중치 모수는 구성요소의 비중에 따라 다르게 표기해야 하지만 서술의 편의를 위해 모두  $a_1$ ,  $a_2$  또는  $a_3$ 로 표기하기로 한다.

12) 이하 대체탄력성에 대한 설명은 생략하기로 하겠으며, 구성요소간 대체탄력성이 복합단계마다 다르지만 대체탄력성 모수는 편의상 모두  $\rho$ 로 표기하기로 하였다.

차 서비스( $DSLS_{pub}$ ), LPG승합차 서비스( $LPGS_{pub}$ )의 대체관계를 통해서 형성된다는 것을 의미한다. 그리고 식(4)는 연료별 화물차 서비스의 대체관계를 통해 형성되는 화물차 수송서비스를 보여주고 있다.

운송 수단별 수송서비스의 복합단계는 모두 동일하다고 가정하였기 때문에 설명의 편의를 위해 경유승용차 서비스( $DSLS_{pri}$ )에 국한하여 서술하기로 한다. 다음 식에서 하첨자  $dsl$ 를  $gsl$  또는  $lpg$ 로 바꾸고  $pri$ 를  $pub$  또는  $zfre$ 로 바꾸면 연료별 승용차, 승합차, 화물차의 수송서비스 복합재화에 대한 구성 식을 도출할 수 있다. <그림 1>에서 보듯이 경유승용차 서비스는 중·소형경유승용차 서비스( $SMALL_{pri, dsl, t}$ )와 대형경유승용차 서비스( $BIG_{pri, dsl, t}$ )의 CES 함수로 구성된다고 가정한다.

$$DSLS_{pri, t} = [ a_1 BIG_{pri, dsl, t}^p + a_2 SMALL_{pri, dsl, t}^p ]^{\frac{1}{p}} \quad (5)$$

<그림 1>에 나타난 대형경유승용차 서비스( $BIG_{pri, dsl, t}$ )는 기존 대형경유승용차 서비스( $BIG_{pri, dsl, t}^{con}$ )와 신형·대형경유승용차 서비스( $BIG_{pri, dsl, t}^{new}$ )의 대체관계를 통해 형성된다. 그리고 중·소형경유승용차 서비스( $SMALL_{pri, dsl, t}$ )는 기존 중소형경유승용차 서비스( $SMALL_{pri, dsl, t}^{con}$ )와 신형·중소형경유승용차 서비스( $SMALL_{pri, dsl, t}^{new}$ )의 대체관계를 통해 형성된다. 위첨자  $con$ 은 기존의 차량 또는 연료를 의미하며,  $new$ 는 EURO4 수준을 충족하는 차량 또는 저유황 경유를 의미한다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$BIG_{pri, dsl, t} = [ a_1 (BIG_{pri, dsl, t}^{con})^p + a_2 (BIG_{pri, dsl, t}^{new})^p ]^{\frac{1}{p}} \quad (6)$$

$$SMALL_{pri, dsl, t} = [ a_1 (SMALL_{pri, dsl, t}^{con})^p + a_2 (SMALL_{pri, dsl, t}^{new})^p ]^{\frac{1}{p}} \quad (7)$$

지금까지의 수식은 <그림 1>에서 대형경유승용차 서비스와 중·소형경유승용차 서비스까지의 복합단계를 보여주고 있다. <그림 1>의 하단부분에 나타난 기존 대형경유승용차와 신형·대형경유승용차 서비스의 복합단계는 앞서 설명한 차량·연료에 배출계수가 고정되어 있다는 현실적인 제약조건들을 반영되어 있다. 이에 대한 복합단계가

배출권거래제도와 강제적 규제에서 서로 상이하기 때문에 다음 항에서 이를 분리하여 설명하기로 한다.

<그림 1>과 같은 복합단계를 거쳐 생산된 최종 수송서비스는 가계와 산업의 수요로 다음과 같이 분배된다.

$$TRN_t = TRN_{c,t} + \sum TRN_{i,t} \quad (8)$$

## (2) 배출권거래제하의 수송서비스 옵션

배출권거래제하에서는 자동차와 연료 모두 시장에서 생산이 가능하다. 따라서 기존 경유와 저유황 경유 그리고 신형자동차와 기존 자동차가 동시에 존재한다. 따라서 <그림 1>의 하단부분에 나타난 것과 같이 “기존 대형경유승용차 & 기존 경유 & 오염물질”, “기존 대형경유승용차 & 저유황 경유 & 오염물질”, “신형대형경유승용차 & 기존 경유 & 오염물질”, “신형대형경유승용차 & 저유황 경유 & 오염물질” 4가지 옵션이 시장에서 제공된다. 앞서 언급하였듯이 4가지 옵션 각각은 고정연비와 배출계수가 정해져 있어 옵션 내의 자동차 & 연료 & 오염물질간 대체는 불가능하다. 이와 같은 특성을 가진 재화는 일반적으로 레온티에프 Leontief 함수로 생산된다.<sup>13)</sup> 이를 식(6)에 나타난 대형경유승용차( $BIG_{pri, dsl, t}$ )를 중심으로 설명하면 다음과 같다.

$$BIG_{pri, dsl, t}^{con, con} = a_1 AS_{big, pri, dsl, t}^{con} + a_2 DSL_{big, pri, t}^{con, con} + A_t D_{big, pri, dsl, t}^{con, con} \quad (9)$$

$$BIG_{pri, dsl, t}^{con, new} = a_1 AS_{big, pri, dsl, t}^{con} + a_2 DSL_{big, pri, t}^{con, new} + A_t D_{big, pri, dsl, t}^{con, new} \quad (10)$$

$$BIG_{pri, dsl, t}^{new, con} = a_1 AS_{big, pri, dsl, t}^{new} + a_2 DSL_{big, pri, t}^{new, con} + A_t D_{big, pri, dsl, t}^{new, con} \quad (11)$$

$$BIG_{pri, dsl, t}^{new, new} = a_1 AS_{big, pri, dsl, t}^{new} + a_2 DSL_{big, pri, t}^{new, new} + A_t D_{big, pri, dsl, t}^{new, new} \quad (12)$$

여기서  $AS_{big, pri, dsl, t}^{con}$ 는 기존 대형경유승용차 스톡을 의미하며,  $AS_{big, pri, dsl, t}^{new}$ 는 신형·대형경유승용차 스톡을 의미한다.  $A_t$ 는 저감유인효과를 나타내는 변수로 다음 항에서 다시 설명하기로 한다.  $DSL$ 는 경유를 의미하며,  $D$ 는  $NO_x$  배출량을 의미한다.

13) 연산가능일반균형 모형에서 레온티에프 함수는 선형함수와 동일한 결과를 가져온다.

자동차마다 연비와 배출계수가 달라 위첨자 *con*과 *new*를 사용하여 이를 구분하였다. 이를 구체적으로 설명하면, 식(9)은 기존의 대형경유승용차( $AS_{big, pri, dsl, t}^{con}$ )가 기존 경유(430ppm)를 사용한다면 자동차 서비스 단위당 경유는  $DSL_{big, pri, t}^{con, con}$ 만큼 사용되고  $NO_x$ 는  $D_{pri, dsl, t}^{con, con}$ 만큼 배출된다는 것을 의미한다. 식(10)은 기존의 대형경유승용차( $AS_{big, pri, dsl, t}^{con}$ )가 저유황 경유를 사용할 경우 서비스 단위당 경유소비량은  $DSL_{big, pri, t}^{con, new}$ 이고  $NO_x$  배출량은  $D_{pri, dsl, t}^{con, new}$ 라는 것을 나타낸다. 마찬가지로 식(11)은 신형대형경유승용차( $AS_{big, pri, dsl, t}^{new}$ )가 기존 경유(430ppm)를 사용한다면 자동차 서비스 단위당 기존 경유는  $DSL_{big, pri, t}^{new, con}$ 만큼 필요하고  $NO_x$ 는  $D_{pri, dsl, t}^{new, con}$ 만큼 배출된다는 것을 의미한다. 마지막으로 식(10)은 신형대형경유승용차( $AS_{big, pri, dsl, t}^{new}$ )가 저유황 경유를 사용할 경우 단위당 저유황 경유소비량은  $DSL_{big, pri, t}^{new, new}$ 이고  $NO_x$  배출량은  $D_{pri, dsl, t}^{new, new}$ 라는 것을 나타낸다.

이와 같은 4가지 조합은 중소형경유승용차뿐만 아니라 휘발유, LPG 승용차 및 화물차 등 모든 자동차에 적용된다. 배출계수를 고려할 때 한 단위의 대형경유승용차 서비스를 제공할 때 배출되는 오염물질의 양은  $D_{pri, dsl, t}^{con, con} > D_{pri, dsl, t}^{con, new} \geq D_{pri, dsl, t}^{new, con} > D_{pri, dsl, t}^{new, new}$ 의 순으로 나타난다. 따라서 환경규제로 인한 환경저감비용도 기존 자동차에 기존 연료를 사용할 때 가장 높고, 다음으로 기존 자동차에 저유황 경유를 사용하거나 신형자동차에 기존 연료를 사용할 때 높다. 그리고 신형자동차에 저유황 경유를 사용할 때 환경비용이 가장 낮다. 그러나 EURO4 수준을 충족하는 자동차와 저유황 경유를 공급하기 위해서는 추가적인 투자가 필요하고 이와 같은 추가적 생산비용이 가격에 반영된다고 가정할 경우, 자동차 구매와 연료소비에 대한 비용은 반대로 나타나게 된다. 따라서 소비자는 이러한 환경비용과 자동차 및 연료소비 비용을 고려하여 선택을 하게 되는데 균형에서는 서로의 한계비용이 동일하게 된다.

기존 자동차와 EURO4 수준을 충족하는 신형자동차스톡의 축적과정은 다음과 같다.

$$AS_{ta, fe, s, t+1}^{new} = (1 - \delta_a) AS_{ta, fe, s, t}^{new} + IA_{ta, fe, s, t} \quad (13)$$

$$AS_{ta, fe, s, t+1}^{con} = (1 - \delta_a)^t AS_{ta, fe, s, t}^{con} \quad (14)$$

여기서  $\delta_a$ 는 자동차의 감가상각률을 나타내며,  $IA$ 는 자동차에 대한 투자를 의미한다. 하첨자  $ta$ 는 자가용(*pri*), 승합차(*pub*), 그리고 화물차(*fre*)를 대표하며,  $fe$ 는 사용연료 경유(*dsd*), 휘발유(*gas*), LPG(*lpg*)를 의미하며,  $s$ 는 차량의 크기인 대형(*large*)과 소형(*small*)을 대표한다. 식(13)은 자본스톡의 형성과정과 동일한 법칙에 의해서 축적된다고 가정하였다. 그러나 새로운 투자 없이 기존의 자동차스톡은 시간이 지남에 따라 점차 줄어들다가 시장에서 퇴출되는 것으로 가정하였다.

### (3) 배출권거래제하의 저감기술

강제적 규제(Command and Control: CAC)와 달리 배출권거래제가 갖는 또 다른 특징은 경제주체들에게 저감유인Abatement Incentive을 제공한다는 점이다. 배출권거래제하에서는 기술도입 등 저감노력을 한다면, 보다 적은 배출권을 구매하거나 잉여 배출권을 판매할 수 있다. 이러한 저감기술도입효과는 식(9)~식(12)에 나타난  $A_t$ 를 통해 반영된다.<sup>14)</sup>

$A_t$ 는 오염물질에 대한 감소함수Decreasing Function로 정의할 수 있다. 환경목표가 설정되면 배출권에 대한 총 공급량( $D^s_t$ )은 외생적으로 주어진다. 배출권거래에 대한 총수요를  $D^d_t$ 라고 가정하면 배출권시장에서의 균형은 다음과 같이 형성된다.

$$D^s_t = A_t D^d_t \quad (15)$$

이를 다음과 같은 과정을 거쳐 연산가능 일반균형모형에 반영하였다.

$$\overline{AD^s_t} = A^{-1} D^s_t = D^d_t \quad (16)$$

$$\overline{A_t} = (D^s_t)^\beta, \quad 0 < \beta < 1 \quad (17)$$

14) 환경정책도입에 따른 기술진보를 정책유인기술진보라 한다. 이에 대한 연구는 Goulder and Schneider(1999)와 조경엽·나인강(2003) 등이 있다.

$$\overline{D}_t^s = (D_t^s)^\beta D_t^s = (D_t^s)^{1/(1-\beta)} \quad (18)$$

식(18)은 전형적인 규모에 대한 수확체증의 함수 형태를 보이고 있다. 따라서 배출권 공급자의 판매수입이 배출권수요자의 지불액을 초과하는 문제가 발생한다. 따라서 일반 균형의 해를 도출하기 위해서는 추가적인 제약조건이 필요하다. 배출권에 대한 수요자의 가격을  $q_{d,t}$  라고 하고 공급자의 가격을  $p_{d,t}$  라고 가정하면 균형에 도달하기 위해서는  $q_{d,t}(1-s_t) = p_{d,t}$  가 되어야 한다. 여기서  $s_t$  를 배출권공급자에게 지불하는 단위당 보조금이라고 정의할 수 있다. 식(18)을 이용하면 다음과 같이  $s_t$  가 모형 내에서 결정된다.

$$q_{d,t}(D_t^s)^{1/(1-\beta)} = p_{d,t} D_t^s \quad (19)$$

$$(1-s_t) = (D_t^s)^{\beta/(1-\beta)} \quad (20)$$

$$s_t = (D_t^s)^{\beta/(1-\beta)} - 1 \quad (21)$$

#### (4) 강제적 규제(Command and Control; CAC)

본 연구에서 정부의 CAC는 기존의 경유(황함유량 430ppm) 대신 저유황(15ppm 또는 50ppm) 경유를 의무적으로 공급하는 것으로 정의된다. 따라서 신형자동차를 구매하고 기존 연료를 사용하거나 기존 자동차를 유지하면서 기존 연료를 사용하는 옵션이 제외되고 소비자는 신형자동차를 구매하여 저유황 연료를 사용하거나, 기존 자동차를 유지하면서 저유황 연료를 사용하는 두 가지 선택만이 가능하다. 따라서 CAC하에서는 수송 서비스에 대한 소비자의 선택은 36가지로 감소한다.

배출권거래제의 경우와 같이 대형경유승용차( $BIG_{pri, dsl, t}$ )에 국한하여 설명하면 소비자는 다음 두 가지의 선택이 가능하다.

$$BIG_{pri, dsl, t}^{con, new} = a_1 AS_{big, pri, dsl, t}^{con} + a_2 DSL_{big, pri, t}^{con, new} + D_{big, pri, dsl, t}^{con, new} \quad (22)$$

$$BIG_{pri, dsl, t}^{new, new} = a_1 AS_{big, pri, dsl, t}^{new, new} + a_2 DSL_{big, pri, t}^{new} + D_{big, pri, dsl, t}^{new, new} \quad (23)$$

식(22)는 기존의 대형경유승용차( $AS_{big, pri, dsl, t}^{con}$ )가 저유황 경유를 사용할 때 자동차



서비스 단위당 경유는  $DSL_{big, pri, t}^{con, new}$  만큼 필요하고 이때  $NO_x$ 는  $D_{pri, dsl, t}^{con, new}$  만큼 배출된다는 것을 의미한다. 식(23)은 신형대형경유승용차( $AS_{big, pri, dsl, t}^{new}$ )가 저유황 경유를 사용할 경우 단위당 저유황 경유소비량은  $DSL_{big, pri, t}^{new, new}$ 이고  $NO_x$  배출량은  $D_{pri, dsl, t}^{new, new}$ 라는 것을 나타낸다. 그리고 배출권거래제와 달리 CAC하에서는 저감기술도입효과는 없는 것으로 가정하여 식(22)와 식(23)에  $A_t$ 를 표시하지 않았다.

여기서 현실적으로 고려해야 할 점은 연료규제 자체가 환경목표를 달성하기에 충분조건이 되지 못한다는 점이다. EURO4 수준을 충족하는 자동차와 저유황 경유를 사용하는 자동차만 존재한다면 2007년도의 환경목표는 충족이 된다. 그러나 기존의 자동차가 유지되는 한 환경목표를 달성하는 것은 불가능하게 된다. 더욱이 2007년 이후 경제가 성장한다면 신형자동차만 운행된다 하여도 차량대수가 증가하여 환경목표(2007년도의 EURO4 기준의 배출량)를 초과하게 된다. 따라서 정부의 강제적 연료규제가 도입되어도 환경목표를 충족하기 위해서는 앞서 설명한 배출권거래제나 환경세 또는 벌금과 같은 제도가 도입되어야 한다. 본 연구에서는 환경목표를 초과하는 추가적인 배출량은 배출권거래제를 통해서 달성된다고 가정하였다.

## 2. 입력 데이터<sup>15)</sup>

### (1) 자동차관련 데이터

본 연구에서 사용한 자동차 및 대기오염물질 배출 관련 자료는 앞서 설명한 실증분석 모형에 맞게 재분류하여 추정하였다. 모형에서는 자동차의 크기에 따라 크게 중·소형과 대형으로 분류되기 때문에 이에 맞게 기존자료에 나타난 연비 및 주행거리를 조정하였다.

다음 <표 2>는 2001년도 자동차 등록현황을 나타낸다. 2001년도에 신규로 등록된 중 소형자동차 수는 115만 대이며, 대형자동차는 26만 대에 달하고 있으며, 총 신규 자동차 등록대수 중 88%는 승용차가 차지하고 있다. 2001년도에 신규로 등록된 자동차는 약

15) 입력 데이터에 대한 보다 자세한 내용은 김영덕·조경엽(2003)에 수록되어 있다.

140만 대로 총 자동차 등록대수의 11%에 달한다. 자동차 연료별로 살펴보면, 총 등록차량 중 휘발유자동차가 60%를 차지하고 있으며 경유자동차는 32%, LPG자동차는 8%를 차지하고 있다. 등록대수가 미미한 휘발유 및 경유 중 소형 승합차와 화물자동차는 분석의 편의를 위해 승용차로 분류하였다.

<표 3>은 차종별 대당 일일 운행거리를 보여주고 있다. 차종별 일일 주행거리는 국립환경연구원의 발표 자료에 기초하여 다음과 같이 가정한다. 휘발유 승용차는 국립환경연구원 자료와 동일하게 중소형과 대형에 상관없이 44.4km/일을 운행한다고 가정하였으며, 경유승용차는 국립환경연구원 자료에 나타난 소형버스의 운행거리와 유사한 65.8km/일로 가정하였다. LPG 승용차는 택시의 운행거리를 감안하여 136km/일로 가정하였다. 승합차와 대중교통수단의 경우 국립환경연구원의 자료에 기초하고 있으나 동차종에서 배출하는 실제 NOx의 배출량과 유사한 배출량이 추정되도록 운행거리를 조정하였다. 화물차의 경우 국립환경연구원의 자료와 동일한 자료를 사용하였다.

<표 2> 차종별 자동차 등록대수(2001)

		신차		중고자동차		계
		중소형	대형	중소형	대형	
승용차	휘발유	490,773	85,047	6,820,624	206,200	7,602,644
	경유	72,967	148,588	2,976	455,960	680,491
	LPG	225,224	16,141	748,950	130,580	1,120,895
승합차	휘발유	-	-	-	-	-
	경유	51,816	6,770	765,366	65,972	889,924
	LPG	-	-	-	-	-
화물차	휘발유	-	-	-	-	-
	경유	305,432	4,153	2,148,631	55,406	2,513,622
	LPG	-	-	-	-	-
계		1,146,212	260,699	10,486,547	914,118	12,807,576

자료: 자동차 등록대수 2001, 한국자동차공업협회

<표 3> 차종별 일일 운행거리(단위 km/대·일)

		중소형	대형
승용차	휘발유	44.0	44.0
	경유	65.8	65.8
	LPG	136.0	136.0
승합차	휘발유	64.9	250.0
	경유	89.2	300.0
	LPG	89.2	250.0
화물차	휘발유	65.8	149.8
	경유	89.2	149.8
	LPG	89.2	149.8

자료: 국립환경연구원, 2000.



<표 4>는 한국자동차공업협회에서 발표하는 자료에 기초하여 추정한 차종별 연비를 보여주고 있다. 휘발유 신형 승용차의 연비는 중소형 12.3 km/ℓ, 대형 8.6 km/ℓ를 기록하고 있으며 중고차의 경우에는 중소형 11.8 km/ℓ, 대형 8.25 km/ℓ의 연비를 보이고 있다. 반면에 경유승용차는 중소형 신형차가 16.4 km/ℓ, 대형 신형차가 9.2 km/ℓ를 나타내고 있고 중고차의 연비는 중소형 15.73 km/ℓ, 대형 8.83 km/ℓ이다. 일반적으로 경유자동차가 휘발유자동차보다 연비 면에서 더 효율적인 것으로 나타나고 있다.

<표 4> 차종별 연비 (km / ℓ)

		신차		중고자동차	
		중소형	대형	중소형	대형
승용차	휘발유	12.3	8.6	11.8	8.25
	경유	16.4	9.2	15.73	8.83
	LPG	9.8	6.7	9.4	6.43
승합차	휘발유	14.5	6.3	13.91	6.04
	경유	15.7	6.3	15.06	6.04
	LPG	10.7	6.3	10.26	6.04
화물차	휘발유	10.5	6.3	10.07	6.04
	경유	8.0	6.3	8.0	6.04
	LPG	10.5	6.3	10.07	6.04

모형에서 사용되는 데이터의 일관성을 위해 수송용 연료소비량은 이상에서 설명한 자동차 등록대수, 주행거리, 연비를 감안하여 추정하였으며 그 결과는 <표 5>에 수록되어 있다. 따라서 모형에 반영된 2001년도 휘발유 소비량은 10,090리터, 경유는 15,153리터, LPG는 6,022리터로 추정되어 에너지통계월보에 수록된 실제 소비량과 차이가 발생한다. 2001년도 리터당 평균 연료가격은 휘발유 1280원, 경유 645원, LPG 440원을 적용하면 수송용 연료에 대한 소비 지출액은 휘발유에 12조 9천억원, 경유 9조원, LPG 2조 6천억원에 달한다.

〈표 5〉 수송용 연료소비 (2001)

	휘발유	경유	수송용 LPG
소비량(천 리터)	10,090 (9,457)	15,153 (15,102)	6,022 (5,786)
가격(원/리터)	1,280	645	440
소비지출액(10억원)	12,916	9,773	2,649

주: ( ) 안의 숫자는 에너지통계월보 2002. 6, 에너지경제연구원 통계자료

신차구입에 드는 비용은 다음 <표 6>에 나타난 차량별 가격과 등록대수를 이용하여 추정하였다.

〈표 6〉 차종별 판매가격 (천원/대)

		중소형	대형
승용차	휘발유	14,260	20,750
	경유	16,850	21,870
	LPG	11,472	20,750
승합차	휘발유	18,500	-
	경유	19,400	67,900
	LPG	19,000	-
화물차	휘발유	18,500	-
	경유	25,370	67,000
	LPG	19,000	-

자료: 자동차공업협회

## (2) 수송부문의 환경오염물질 배출

<표 7>에 나타난 차종별 대기오염물질 배출량은 환경부에서 발표한 “이동배출원 추정방법”을 적용하여 추정한 결과이다. EURO4 & ULEV 수준의 배출계수는 <표 8>에서 찾을 수 있다.

〈표 7〉 차종별 대기오염물질 배출(2001) (단위: 톤/년)

		CO	HC	NOx	PM	계	
승용차	중소형	휘발유	300,598	50,491	52,839	-	403,928
		경유	3,028	1,149	2,699	1,131	8,007
		LPG	307,557	37,236	40,621	-	385,413
	대형	휘발유	11,974	2,011	2,105	-	16,090
		경유	144,759	19,456	172,781	28,022	365,018
		LPG	46,321	5,608	6,118	-	58,047
승합차	중소형	휘발유	-	-	-	-	-
		경유	44,166	16,762	39,377	16,496	116,800
		LPG	-	-	-	-	-
	대형	휘발유	-	-	-	-	-
		경유	79,414	10,673	94,786	15,373	200,246
		LPG	-	-	-	-	-
화물차	중소형	휘발유	-	-	-	-	-
		경유	132,633	50,337	118,251	49,538	350,758
		LPG	-	-	-	-	-
	대형	휘발유	-	-	-	-	-
		경유	39,078	4,624	39,795	6,448	89,945
		LPG	-	-	-	-	-
계		1,109,527	198,347	569,372	117,007	1,994,254	

〈표 8〉 EURO4 & ULEV의 차종별 대기오염물질 배출계수 (단위: g/km)

		CO	HC	NOx	PM	
승용차	중소형	휘발유	1.060	0.005	0.031	0.000
		경유	0.500	0.300	0.250	0.025
		LPG	1.060	0.005	0.031	0.000
	대형	휘발유	1.060	0.005	0.031	0.000
		경유	0.740	0.460	0.390	0.060
		LPG	1.060	0.005	0.031	0.000
승합차	중소형	휘발유	1.060	0.005	0.031	0.000
		경유	0.740	0.460	0.390	0.060
		LPG	1.060	0.005	0.031	0.000
	대형	휘발유	1.060	0.005	0.031	0.000
		경유	1.500	0.460	3.500	0.020
		LPG	1.060	0.005	0.031	0.000
화물차	중소형	휘발유	1.060	0.005	0.031	0.000
		경유	0.740	0.460	0.390	0.060
		LPG	1.060	0.005	0.031	0.000
	대형	휘발유	1.060	0.005	0.031	0.000
		경유	1.500	0.460	3.500	0.020
		LPG	1.060	0.005	0.031	0.000

자료: 한국자동차공업협회(2002)

### Ⅲ. 분석결과

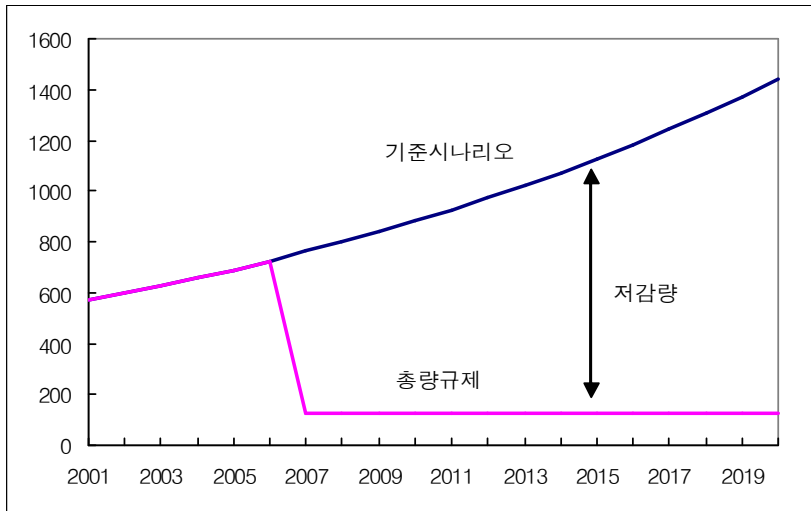
#### 1. 분석을 위한 시나리오

##### (1) $NO_x$ 에 대한 총량규제

본 연구에서는 오염물질 중에서  $NO_x$ 에 국한하여 분석하였다. EURO4 기준을 충족하는 신차도입과의 일관성을 유지하기 위해 총량규제를 EURO4 & ULEV 수준의 배출계수를 적용하여 추정되는 2007년도  $NO_x$  배출수준으로 매년 동결하는 것으로 가정하였다. <그림 2>는 기준시나리오(BaU)의  $NO_x$  배출수준과 EURO4 & ULEV 배출계수로 추정된 배출허용수준 및 저감량을 보여주고 있다.<sup>16)</sup> 그림에서 보듯이 총량규제가 도입되면 오염물질별 배출허용량은 2007년부터 매년  $NO_x$  124천 톤으로 고정된다. 따라서 BaU 대비 저감량은 2007년에  $NO_x$  639톤, 2008년에 677톤을 감축해야 한다. 시간이 지날수록 경제가 성장하고 자동차 보유대수가 증가할수록 감축해야 할 총량은 증가하게 된다. <표 9>는 2007년도에 국한하여 차종별 오염물질별 배출량과 저감량을 보여주고 있다.

<그림 2> 기준시나리오하의  $NO_x$ 의 배출량과 총량규제시 저감량 (천 톤)

16) 휘발유와 LPG자동차로부터의 배출은 미국 캘리포니아의 LEV-II의 ULEV 기준치를 적용하여 추정하였으며 경유자동차의 배출량은 유럽의 EURO4 기준치를 적용하여 추정하였다.



K C I



<표 8> 환경오염물질 배출량, 허용량 및 감축량 (2007년도) (단위: 천 톤)

	BaU				허용량				저감량					
	CO	HC	NOx	PM	CO	HC	NOx	PM	CO	HC	NOx	PM		
승용차	휘발유	중소	403	68	71	0.0	167	0.8	4.9	0.0	236	67	66	0.0
		대형	16	3	3	0.0	7	0.0	0.2	0.0	9	2.7	2.6	0.0
	경유	중소	4	2	4	1.5	1	0.7	0.6	0.1	2.8	0.8	3.0	1.5
		대형	194	26	232	38	14	9.0	7.6	1.2	180	17	224	36
	LPG	중소	412	50	54	0	69	0.3	2.0	0.0	343	49	52	0.0
		대형	62	8	8	0	10	0.0	0.3	0.0	52	7.5	8	0.0
승합차	경유	중소	59	23	53	22	26	16	14	2.1	33	6.1	39	20
		대형	106	14	127	21	16	4.9	37	0.2	90	9.4	90	20
화물차	경유	중소	178	66	158	66	79	49	42	6.4	99	18.2	117	60
		대형	52	6	53	9	7	2.0	15.3	0.1	46	4.2	38	8.6
계			1487	266	763	157	396	83	124	10	1090	182	639	147

(2) 연료규제

CAC하에서 연료규제는 경유에 대하여 황함유량에 따라 현행 430ppm에서 50ppm과 15ppm으로 2007년부터 일시에 전환하는 것으로 가정하였다.<sup>17)</sup> 황함량 개선에 따른 정유업계의 경유 생산비용 증가는 석유협회에서 발표한 자료를 참고로 다음 표와 같이 모형에 반영하였다. 배출권거래제하에서는 연료에 대한 강제적 규제는 부과되지 않지만 저유황 경유가 도입될 때 CAC와 동일하게 <표 10>에 나타난 바와 같이 추가적 투자비용이 요구되는 것으로 가정하였다.

<표 10> 황함량 개선을 위한 경유 생산비용 증가 (단위: 억원)

구분		A	B	C	D	E	계
경유	50ppm	3,780	1,500	1,648	672	641	8,241
	15ppm	12,930	9,000	7,930	1,641	8,148	39,649

자료: 석유협회

17) 휘발유와 LPG에 대한 연료품질규제는 부과하지 않았다. 이는 환경부의 품질규제 대상이 경유에 초점이 맞춰져 있을 뿐만 아니라 동 수송용 연료의 품질개선을 위한 추가적 투자비용에 대한 구체적 정보를 확보하기 어렵기 때문이다.

저유황 경유를 공급하기 위한 투자가 2007년도에 일시에 이루어지더라도 감가상각률(0.06)과 경제성장률(0.05)로 인한 추가적인 투자가 다음의 <표 11>과 같이 매년 요구된다.

<표 11> 저유황 경유공급을 위한 연도별 투자액 (억원)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
50ppm 경유	8,241	907	952	999	1,049	1,102
15ppm 경유	39,649	4,361	4,579	4,808	5,049	5,301

주: 2007년도에 일시에 투자한 자본(예: 8241억원)에 대한 균형투자는  $\text{균형투자} = (\text{감가상각률} + \text{성장률}) \times \text{자본}$ 이 되며 이는 매년 경제성장률만큼 증가.

현행 경유자동차에 황함량이 낮은 저유황 경유를 사용할 경우의 대기오염물질별 배출 저감률은 국립환경연구원의 자료를 활용하였다. <표 12>와 <표 13>은 현행 430ppm 경유 대신 품질이 개선된 50ppm과 15ppm 경유를 현행 소형자동차와 대형자동차에 사용할 경우 오염물질별 배출 저감률을 나타내고 있다.

<표 12> 현행 소형경유자동차의 경유 황함량별 배출가스 저감률

황함량	오염물질 저감률 (%)			
	CO	HC	NOx	PM
50	0.42	13.58	5.85	8.07
15	0.46	21.19	9.12	12.58

<표 13> 현행 대형경유자동차의 경유 황함량별 배출가스 저감률

황함량	오염물질 저감률 (%)			
	CO	HC	NOx	PM
50	4.67	7.53	1.49	3.79
15	5.10	8.22	1.62	4.14

신형자동차는 50ppm 경유를 사용하면 EURO4 배출수준과 동일한 수준으로 배출하나, 만약 50 ppm 대신 15ppm 경유를 사용한다면 다음 <표 14>와 <표 15>에 나타난 감소율만큼 추가적으로 배출수준이 낮아진다고 가정하였다.

〈표 14〉 15ppm 경유 사용시 소형 신경유자동차의 EURO4 수준대비 배출가스 저감률

항합량	오염물질 저감률 (%)			
	CO	HC	NOx	PM
15	0.04	7.61	3.27	4.51

〈표 15〉 15ppm 경유 사용시 대형 신경유자동차의 EURO4 수준대비 배출가스 저감률

항합량	오염물질 저감률 (%)			
	CO	HC	NOx	PM
15	0.43	0.69	0.13	0.35

### (3) 신형자동차 도입

본고에서는 차량에 대한 강제적 규제는 없다고 가정하였다. 단지 EURO4 수준을 충족하는 자동차가 공급되기 위해서는 추가적인 투자가 필요하다고 가정하였다. 다음 <표 16>에서 보듯이 EURO4 수준을 만족하는 차량을 개발하기 위해 소요되는 추가적인 비용은 9천 1백억원으로 가정하였다.<sup>18)</sup>

〈표 16〉 자동차사별 투자비 (억원)

구 분	A	B	C	D	E	계
계	2,500	2,500	2,500	1,600	2,500	9,100

주: 자동차공업협회 내부자료

## 2. 분석결과

### (1) 환경정책별 GDP 손실

NOx의 배출규제에 따른 비용을 GDP 손실 측면에서 살펴보기로 한다. <표 17>은 NOx에 대한 환경목표를 달성할 때 발생하는 BaU 대비 GDP 손실을 환경정책별로 보

18) EURO4 수준을 만족하는 경유자동차 개발에 필요한 추가적인 투자비용에 대해 공식적으로 발표된 자료는 없다. 이는 자동차공업협회의 도움으로 예측한 추정치이기 때문에 향후보다 정확한 투자액을 추정할 필요가 있다.

여주고 있다. 경유의 황함량의 개선정도에 따라 시나리오를 50ppm과 15ppm으로 분류하였고, 배출총량목표를 달성하는 방법에 따라 크게 배출권거래제와 CAC로 분류하였다. 저유황 경유를 공급할 때 추가적 비용은 CAC와 배출권거래제에서 모두 동일하다. 그러나 배출권거래제하에서는 기존의 경유와 저유황 경유를 동시에 공급할 수 있으며 공급량이 시장의 수요에 의해서 결정된다는 점이 CAC와 다르다. 그리고 배출권거래제는 두 가지로 분류된다. 하나는 정부가 배출권을 경매를 통해 판매하고 받는 수입을 단지 정부지출로 사용하는 경우와 다른 하나는 기존의 조세왜곡을 완화하기 위해 추가 수입을 환원하는 경우이다. 전자는 “No Recycling”으로 표기하였으며 후자는 “Recycling”으로 표시하였다. 본 연구에서는 Recycling의 경우 추가세수입을 기존의 소비세를 완화하는 방향으로 사용한다고 가정하였다.<sup>19)</sup>

경유의 황함량이 현행 430ppm에서 50ppm으로 개선되는 시나리오를 먼저 살펴보기로 한다. CAC하의 GDP는 2007년에 BaU 대비 약 9.4% 감소한다.<sup>20)</sup> 세수입환원이 없는 배출권거래제하에서는 2007년에 BaU 대비 약 9.1% 감소하여 CAC보다 감소율이 약 0.3%p 낮을 것으로 전망된다. 그러나 세수입을 환원할 경우 GDP는 2007년에 BaU에 비해 약 6.6% 감소하여 CAC보다 약 2.8%p 낮을 것으로 분석된다.

경유의 황함량이 15ppm로 낮아지면 GDP 감소율은 50ppm보다 더 클 뿐만 아니라 CAC와 배출권거래제와의 차이도 더 분명해진다. CAC하의 GDP는 2007년에 BaU 대비 약 12.2% 감소하고 세수입환원이 없는 배출권거래제하에서는 약 11% 감소하여 CAC보다 감소율이 약 1.2%p 낮을 것으로 전망된다. 세수입을 환원할 경우 GDP는 2007년에 BaU 대비 약 8.9% 감소하여 CAC보다 약 3.3%p 낮을 것으로 분석된다.<sup>21)</sup>

이상의 연구결과는 GDP 손실을 최소화하면서 환경목표를 달성하기 위해서는 CAC

19) 이 밖에도 근로세 또는 법인세를 완화하는 방향으로 추가세수입을 환원할 수 있다. 다양한 환원방법에 따른 분석은 추후과제로 남겨 놓기로 한다.

20) 구체적인 수치는 중요한 모수와 모의실험 조건 등에 따라 민감하게 반응한다. GDP 손실이 다소 크게 나타나고 있다. 이는 환경정책이 경제성장에 커다란 악영향을 미치는 것으로 해석하기보다는 환경정책에 따른 GDP 손실의 방향성에 초점을 맞춰 해석하는 것이 바람직하다.

21) 본 연구에서는 CAC하에서도 총량규제목표를 달성하기 위해 배출권거래제를 허용하고 있다. 따라서 총량목표를 해제하고 CAC하에서 추가적으로 더 배출되는  $NO_x$ 의 배출을 사회적 손실로 가정한다면 배출권거래제의 사회적 손실 차이는 더욱 커질 전망이다.

보다는 배출권거래제와 같은 시장메커니즘을 활용하는 것이 바람직하다는 것을 보여준다. 또한 시장메커니즘에서도 기존의 조세왜곡이 존재하는 하에서는 이를 완화하기 위해 정부의 추가 수입을 환원하는 것이 보다 바람직한 정책으로 평가된다. 이는 기존의 연구결과와도 일치한다.

<표 17> 환경정책별 BaU 대비 GDP 변화 (%)

	50ppm 시나리오			15ppm 시나리오		
	배출권거래제		CAC	배출권거래제		CAC
	No Recycling	Recycling		No Recycling	Recycling	
2007	-9.1	-6.6	-9.4	-11.0	-8.9	-12.2
2008	-8.1	-5.8	-8.4	-9.4	-7.4	-11.0
2009	-7.2	-5.1	-7.5	-8.2	-6.3	-10.2
2010	-6.5	-4.6	-6.7	-7.3	-5.5	-9.7
2011	-5.9	-4.3	-6.1	-6.6	-5.0	-9.5
2012	-5.7	-4.3	-5.8	-6.2	-4.8	-9.5

(2) 환경정책별 경유 수송서비스에 미치는 효과

분석모형구조에서 살펴보았듯이 수송서비스간 대체는 여러 단계에서 발생한다. 소비자는 차종(승용차, 승합차, 화물차)을 선택하고 각 차종별 연료형태를 결정하고 크기(대형, 소형)를 결정하게 된다. 이러한 선택에는 대체효과가 발생하는 것으로 가정하였다. 여기서는 경유자동차 서비스에 국한하여 앞서 설명한 소비자의 4가지 선택을 중심으로 살펴본다. 즉 배출허용량이 설정되고 배출권거래제가 허용되면 소비자의 선택은 ① 신형자동차 & 기존 연료, ② 신형자동차 & 저유황연료, ③ 기존 자동차 & 기존 연료, ④ 기존 자동차 & 저유황연료로 구분될 수 있다. 이러한 선택 중에서 소비자는 운송서비스 비용을 최소화하는 방향으로 의사결정을 하게 된다. 정도의 차이는 있지만 15ppm 시나리오와 50ppm의 시나리오의 결과가 유사하여 50ppm 시나리오에 국한하여 설명한다. <표 18>과 <표 19>는 정부수입재생효과를 고려한 배출권거래제하에서의 경유 수송서

비스의 변화를 보여주고 있다. 기준시나리오하에서는 기존의 경유만 사용된다고 가정하였기 때문에 430ppm 경유를 사용하는 기존의 자동차와 EURO4 수준을 충족하는 신형 자동차 서비스의 변화만을 BaU에 대비하여 보여주고 있다. NOx의 총량규제로 인해 새로이 도입될 수 있는 저유황 경유자동차의 변화는 총 경유 수송서비스 중에서 차지하는 비중으로 <표 19>에 정리하였다.

<표 18>에서 보듯이 환경규제로 인해 430ppm 경유를 사용하는 기존 경유자동차 서비스는 BaU에 비해 100% 감소할 것으로 추정된다. 이러한 결과는 신형자동차를 구매하여 운행하는 것이 배출권을 구매하고 기존의 자동차를 유지하는 것보다 경제적이기 때문인 것으로 해석할 수 있다.

430ppm 경유를 사용하는 신형 경유자동차 서비스의 변화는 용도별로 매우 현격한 차이를 보이고 있다. 경유 승합자동차 서비스는 BaU에 비해 100% 감소하고 화물수송서비스는 2007년에 약 64% 감소할 것으로 전망된다. 그러나 경유승용자동차 서비스는 BaU에 비해 오히려 약 39.5% 증가할 것으로 예측된다. 이는 430ppm을 사용하는 신형자동차의 용도간 대체효과에 의해 어느 정도 영향을 받지만 이보다는 <표 19>에서 보듯이 50ppm을 사용하는 신형자동차로의 대체가 급격히 발생하기 때문이다.

총 경유자동차에서 차지하는 비중을 용도별로 살펴보면 이러한 변화를 보다 명확히 알 수 있다. 배출권거래제가 도입되면 기존의 경유승용차는 신형자동차로 대체가 되지만 연료의 대체는 발생하지 않을 전망이다. 따라서 경유승용차로 분류되는 자동차는 모두 430ppm 경유를 사용하는 신형자동차로 구성될 전망이다. 총 경유자동차 서비스에서 신형자동차에 기존 경유를 사용하는 승용차의 비중은 2007년에 약 36.9%에 달할 전망이다. 승합차는 신형자동차에 50ppm 경유만을 사용하게 된다. 따라서 승합차의 경우는 배출권거래제로 인해 신형자동차로의 대체뿐만 아니라 저유황 경유로의 대체가 발생할 것으로 분석된다. 동 차종이 총 경유자동차 서비스에 차지하는 비중은 약 2007년에 약 29.2%에 달할 것으로 전망된다. 화물차는 신형자동차만이 사용되나 연료는 기존의 연료와 저유황 경유를 동시에 사용할 것으로 예측된다. 신형자동차에 430ppm 경유를 사용하는 화물차가 총 경유자동차에서 차지하는 비중은 2007년에 약 9.5%에 달하고 50ppm 경유를 사용하는 화물차는 약 24.3%에 달한다. 총 화물 경유자동차의 비중은 약

33.8%로 승합차의 비중보다는 높은 반면 승용차의 비중보다는 낮을 것으로 전망된다. 이와 같은 변화는 자동차비용, 연료비용, 배출권 구매비용에 의해 결정된다. 앞서 언급하였듯이 자동차 운행에 필요한 투입요소의 한계비용이 같아지는 점에서 균형이 형성된다. 승용차와 승합차의 경우 신형자동차에 기존 연료를 사용하면서 배출권을 구매하는 것이 저유황 경유를 사용하는 것보다 비용효과적인 수단이 된다. 그러나 화물차는 배출계수가 높고 연비가 낮은 경유자동차로 구성되어 있다. 따라서 대형화물차를 운행하는 데 드는 환경비용이 상대적으로 높기 때문에 신형자동차에 저유황 연료를 사용하면서 배출권에 대한 수요를 줄이는 것이 비용효과적인 방법이 된다. 따라서 화물차의 경우 기존 경유와 저유황 경유가 동시에 사용될 수 있다.

〈표 18〉 배출권거래제(Recycling)하의 BaU 대비 용도별 경유 수송서비스 변화 (%): 50ppm 시나리오

	Total	신형자동차 & 430ppm 경유			기존 자동차 & 430ppm or 50ppm		
		승용	승합	화물	승용	승합	화물
2007	-37.0	39.5	-100	-64.0	-100	-100	-100
2008	-41.8	29.6	-100	-55.1	-100	-100	-100
2009	-46.5	16.5	-100	-53.2	-100	-100	-100
2010	-49.9	7.5	-100	-51.7	-100	-100	-100
2011	-53.2	-0.8	-100	-50.8	-100	-100	-100
2012	-55.6	-6.3	-100	-50.3	-100	-100	-100

〈표 19〉 배출권거래제(Recycling)하의 용도별 경유 수송서비스의 비중 (%): 50ppm 시나리오

	Total	신형자동차 & 430ppm 경유			신형자동차 & 50ppm 경유			기존 자동차 & 430ppm or 50ppm		
		승용	승합	화물	승용	승합	화물	승용	승합	화물
2007	100	36.9	0.0	9.5	0.0	29.2	24.3	0.0	0.0	0.0
2008	100	37.1	0.0	12.9	0.0	29.5	20.5	0.0	0.0	0.0
2009	100	36.3	0.0	14.6	0.0	30.0	19.1	0.0	0.0	0.0
2010	100	35.7	0.0	16.1	0.0	30.2	18.0	0.0	0.0	0.0
2011	100	35.3	0.0	17.5	0.0	30.2	17.0	0.0	0.0	0.0
2012	100	35.2	0.0	18.6	0.0	30.2	16.0	0.0	0.0	0.0

K C I



<표 20>과 <표 21>은 CAC하에서의 경유 수송서비스의 변화를 보여주고 있다. 배출권거래제와 동일하게 <표 20>에서는 기준시나리오하에서 허용되는 430ppm 경유만을 사용하는 신형자동차와 기존의 자동차의 변화를 보여주고 있다. <표 20>에서 보듯이 CAC하에서는 430ppm 경유의 사용이 강제적으로 제한되기 때문에 430ppm 경유를 사용하는 신형자동차와 기존의 자동차 모두 BaU에 비해 100% 감소하게 된다.

<표 21>에서 보듯이 50ppm 경유를 사용하는 기존의 자동차도 BaU에 비해 100% 감소하여 경유 수송서비스에 차지하는 비중이 0%에 달할 전망이다. CAC하에서는 신형자동차에 50ppm 경유만을 사용하는 운송서비스만 존재하게 된다. 이중 경유승용차의 비중이 가장 높아 2007년 기준으로 약 36.6%에 달하고 다음으로 경유화물차 서비스가 34.1%에 달한다. 그리고 승합 화물자동차의 비중은 29.3%에 달할 전망이다.

<표 20> CAC하의 BaU 대비 용도별 경유 수송서비스 변화 (%): 50ppm 시나리오

	Total	신형자동차 & 430ppm 경유			기존 자동차 & 430ppm or 50ppm		
		승용	승합	화물	승용	승합	화물
2007	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100	-100	-100
2008	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100	-100	-100
2009	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100	-100	-100
2010	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100	-100	-100
2011	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100	-100	-100
2012	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100	-100	-100

<표 21> CAC하의 용도별 경유 수송서비스 비중(%): 50ppm 시나리오

	Total	신형자동차 & 430ppm 경유			신형자동차 & 50ppm 경유			기존 자동차 & 430ppm or 50ppm		
		승용	승합	화물	승용	승합	화물	승용	승합	화물
2007	100.0	0.0	0.0	0.0	36.6	29.3	34.1	0.0	0.0	0.0
2008	100.0	0.0	0.0	0.0	37.1	29.5	33.4	0.0	0.0	0.0
2009	100.0	0.0	0.0	0.0	36.2	30.0	33.8	0.0	0.0	0.0
2010	100.0	0.0	0.0	0.0	35.7	30.3	34.0	0.0	0.0	0.0
2011	100.0	0.0	0.0	0.0	35.4	30.4	34.3	0.0	0.0	0.0
2012	100.0	0.0	0.0	0.0	35.1	30.3	34.6	0.0	0.0	0.0

<표 22>와 <표 23>은 정부수입환원이 없는 배출권거래제하에서의 경유 수송서비스의 변화를 보여주고 있다. <표 22>에서 보듯이 정부수입환원이 있는 경우와 같이 430ppm 경유를 사용하는 기존의 경유자동차 서비스는 BaU에 비해 100% 감소할 것으로 추정된다. 430ppm 경유를 사용하는 신형 경유자동차 서비스의 변화도 정부수입환원이 있는 배출권거래제와 정도의 차이는 있으나 변화 패턴은 동일하게 나타나고 있다. 경유 승합자동차 서비스는 BaU에 비해 100% 감소하고 화물수송서비스는 2007년에 약 66.3% 감소하여 수입환원효과가 있는 배출권거래제보다 약 2%p 더 감소할 전망이다. 경유승용차 서비스는 BaU에 비해 약 36.7% 증가하여 정부수입환원이 있는 경우보다 약 3%p 덜 증가할 것으로 예측된다.

<표 23>의 용도별 경유자동차 서비스의 비중도 정부수입환원이 있는 배출권거래제의 결과와 유사한 패턴을 보여주고 있다. 경유승용차의 경우 EURO4 수준을 충족하는 신형자동차에 기존의 연료를 사용하는 서비스만 존재하게 되어 2007년에 약 36.7%의 비중을 차지할 전망이다. 승합차는 신형자동차에 50ppm 경유만을 사용하게 된다. 동 차종이 총 경유자동차 서비스에 차지하는 비중은 약 2007년에 약 29.4%에 달할 것으로 전망된다. 화물차는 기존의 연료 또는 저유황 경유를 사용하는 신형자동차만이 이용되고 있다. 신형자동차에 430ppm 경유를 사용하는 화물차가 총 경유자동차에서 차지하는 비중은 2007년에 약 9.2%에 달하고 50ppm 경유를 사용하는 화물차는 약 29.4%에 달한다. 총 화물 경유자동차의 비중은 약 33.9%로 승합차의 비중보다는 높은 반면 승용차의 비중보다는 낮을 것으로 전망된다.

<표 22> 배출권거래제(No Recycling)하의 BaU 대비 용도별 경유 수송서비스 변화(%): 50ppm 시나리오

	Total	신형자동차 & 430ppm 경유			기존 자동차 & 430ppm or 50ppm		
		승용	승합	화물	승용	승합	화물
2007	-38.8	34.9	-100.0	-66.3	-100	-100	-100
2008	-43.5	25.5	-100.0	-59.2	-100	-100	-100
2009	-47.9	13.8	-100.0	-56.9	-100	-100	-100
2010	-51.0	5.0	-100.0	-55.0	-100	-100	-100
2011	-53.8	-2.3	-100.0	-53.0	-100	-100	-100
2012	-56.2	-7.7	-100.0	-52.4	-100	-100	-100

<표 23> 배출권거래제(No Recycling)하의 용도별 경유 수송서비스 비중(%): 50ppm 시나리오

	Total	신형자동차 & 430ppm 경유			신형자동차 & 50ppm 경유			기존 자동차 & 430ppm or 50ppm		
		승용	승합	화물	승용	승합	화물	승용	승합	화물
2007	100.0	36.7	0.0	9.2	0.0	29.4	24.7	0.0	0.0	0.0
2008	100.0	37.0	0.0	12.0	0.0	29.5	21.4	0.0	0.0	0.0
2009	100.0	36.4	0.0	13.8	0.0	29.9	19.9	0.0	0.0	0.0
2010	100.0	35.7	0.0	15.3	0.0	30.3	18.7	0.0	0.0	0.0
2011	100.0	35.2	0.0	16.9	0.0	30.3	17.5	0.0	0.0	0.0
2012	100.0	35.1	0.0	18.1	0.0	30.3	16.5	0.0	0.0	0.0

(3) 환경정책별 용도별·연료별 수송서비스의 수요변화

<그림 2>에서 보듯이 최종 수송서비스는 승용차 서비스, 승합차 서비스, 화물차 서비스로 구성이 된다. 그리고 각 용도별 수송서비스는 경유, 휘발유, LPG자동차 서비스의 대체관계로 형성된다. 이와 같은 단계별 대체관계를 용도별 그리고 연료별 수송서비스의 수요변화를 통해 분석하기로 한다.

<표 24>는 환경정책도입에 따른 용도별 BaU 대비 수송서비스의 변화를 보여주고 있다. 오염물질 배출규제는 경기둔화효과를 수반하기 때문에 수송서비스에 대한 전반적인 수요 감소를 가져온다. 각 용도별 수송서비스의 수요는 차량가격, 연료비용, 환경비용에 의해 영향을 받는다. 그리고 운행에 필요한 비용들은 연비, 운행거리, 배출계수에 의해 영향을 받게 된다. 따라서 승용차와 같이 연료간 대체가 가능하고 연비가 높고 배출계수가 낮은 수송서비스의 수요 감소는 상대적으로 적은 반면, 승합차와 화물차와 같이 연비가 낮고 배출계수가 높은 수송서비스는 운행비용이 높아 수요 감소가 상대적으로 클 것으로 전망된다.

따라서 <표 24>에 나타난 바와 같이 BaU 대비 승용차의 수요 감소율이 10%대로 낮은 반면 승합차는 약 30%대, 화물차는 20%대의 높은 감소율을 보이고 있다.<sup>22)</sup> 승합차

22) 승합차의 연비와 배출계수가 낮음에도 불구하고 승합차의 수요가 화물차의 수요보다 더 감소하는 이유는 운행거리의 차이에서 오는 것으로 분석된다. <표 3>에서 보듯이 대형승합차의 일일 운행거리는 300km인 반면 대형화물차는 149km로 가정하였다. 따라서 이러한 운행거리의 차이가 연료와 환경비용

와 승용차는 모두 경유를 연료로 사용하는 자동차로 구성되어 있는 반면 승용차는 휘발유, 경유, LPG 등 다양한 연료를 선택하여 사용할 수 있다. 따라서 규제에 의해 상대적으로 연료 가격이 높게 상승하는 경유 대신 휘발유나 LPG로 대체가 가능하기 때문에 승용차의 감소율이 상대적으로 낮은 것으로 분석된다.

<표 25>는 연료별 자동차 서비스의 환경정책도입에 따른 BaU 대비 변화를 보여주고 있다. 배출계수가 높고 저유황 경유의 개발 및 신형자동차 개발에 따른 추가적 비용으로 인해 가격상승효과가 높은 경유자동차의 감소율이 가장 높게 나타났다. 휘발유자동차 서비스와 LPG자동차 서비스의 BaU 대비 감소율이 13~14%인 반면, 경유자동차 서비스는 BaU 대비 약 21% 감소할 전망이다.

<표 24> BaU 대비 용도별 수송서비스 변화 (%)

		50ppm 경유 시나리오			15ppm 경유 시나리오		
		Trade No Recycle	Trade Recycle	CAC	Trade No Recycle	Trade Recycle	CAC
승용차	2007	-14.4	-11.7	-14.9	-16.5	-14.5	-13.9
	2008	-13.2	-10.8	-13.8	-15.3	-13.1	-12.4
	2009	-13.6	-11.5	-14.2	-15.1	-13.0	-12.2
	2010	-14.2	-12.2	-14.8	-15.2	-13.2	-12.3
	2011	-14.8	-13.0	-15.4	-15.4	-13.6	-12.6
	2012	-15.4	-13.8	-16.0	-15.8	-14.1	-13.1
승합차	2007	-31.0	-29.0	-31.4	-39.0	-37.7	-37.4
	2008	-30.4	-28.5	-30.9	-35.5	-34.1	-34.0
	2009	-30.8	-29.1	-31.4	-34.0	-32.6	-32.6
	2010	-31.3	-29.8	-31.9	-33.4	-32.2	-32.3
	2011	-32.1	-31.0	-32.5	-33.6	-32.4	-32.5
	2012	-33.4	-32.5	-33.7	-34.1	-33.1	-33.3
화물차	2007	-19.7	-17.3	-20.4	-30.9	-29.3	-29.1
	2008	-21.2	-19.0	-22.0	-26.6	-24.8	-25.4
	2009	-22.0	-20.0	-22.8	-25.1	-23.4	-24.4
	2010	-22.5	-20.7	-23.4	-24.8	-23.1	-24.7
	2011	-23.0	-21.4	-23.9	-24.9	-23.5	-25.4
	2012	-23.7	-22.5	-24.5	-25.4	-24.1	-26.5

을 증가시켜 승합차의 수요 감소가 화물차보다 크게 나타나는 것으로 분석된다.

〈표 25〉 BaU 대비 연료별자동차 변화 (%)

		50ppm 경유 시나리오			15ppm 경유 시나리오		
		Trade No Recycle	Trade Recycle	CAC	Trade No Recycle	Trade Recycle	CAC
휘발유 자동차	2007	-14.5	-11.9	-14.9	-13.0	-10.9	-10.0
	2008	-13.1	-10.7	-13.6	-12.9	-10.6	-9.6
	2009	-13.2	-11.0	-13.7	-13.3	-11.0	-9.9
	2010	-13.5	-11.5	-14.0	-13.6	-11.5	-10.2
	2011	-13.9	-12.1	-14.5	-13.9	-12.0	-10.6
	2012	-14.3	-12.6	-14.9	-14.3	-12.5	-10.9
경유 자동차	2007	-21.3	-19.0	-22.0	-34.5	-33.0	-32.9
	2008	-21.3	-19.2	-22.2	-30.3	-28.7	-29.0
	2009	-22.9	-21.0	-23.8	-28.5	-26.9	-27.5
	2010	-24.2	-22.5	-25.0	-27.8	-26.4	-27.3
	2011	-25.3	-23.9	-26.0	-27.9	-26.5	-27.7
	2012	-26.7	-25.5	-27.2	-28.4	-27.2	-28.6
LPG 자동차	2007	-14.4	-11.4	-14.9	-14.5	-12.2	-11.3
	2008	-14.3	-11.9	-14.8	-14.2	-11.9	-10.9
	2009	-14.6	-12.4	-15.1	-14.6	-12.3	-11.3
	2010	-14.9	-12.9	-15.4	-14.9	-12.8	-11.6
	2011	-15.2	-13.4	-15.8	-15.2	-13.3	-11.9
	2012	-15.6	-13.9	-16.2	-15.6	-13.8	-12.3

(4) 저유황 경유에 대한 수요변화

〈표 26〉에서 보듯이 저유황 경유가 정부의 규제에 의해 강제적으로 도입되는 CAC하의 도입률은 100%에 달한다. 강제적 규제가 없는 배출권거래제하에서도 저유황 경유가 시장에서 자동적으로 도입되는 효과가 발생한다. 정부수입 재생효과가 없는 배출권거래제하에서 2007년도 총 경유소비에서 50ppm 저유황 경유가 차지하는 비중은 약 62%에 달하고, 15ppm 시나리오하에서도 저유황 경유는 68%의 비중을 차지할 것으로 전망된

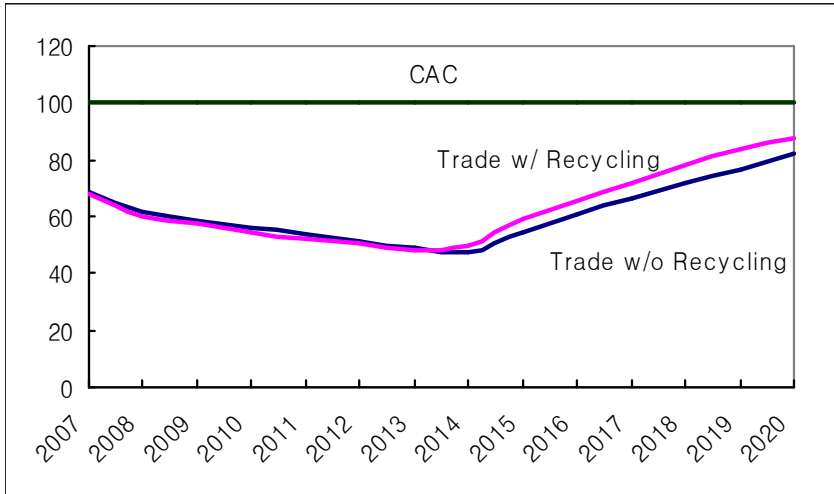
다. 이후 2012년까지 저유황 경유의 비중이 점차 하락하는 현상을 보이고 있는데, 이는 <표 11>에 나타난 저유황 경유공급에 필요한 투자의 특성을 반영한 결과이다. 저유황 경유를 공급하기 위해서는 2007년에 초기투자가 필요하고 2008년부터 감가상각률과 경제성장률을 커버하는 추가적인 투자가 지속적으로 요구된다. 이러한 투자의 특성이 반영되어 <표 26>과 <그림 3>에 나타나 있듯이 2012년까지 저유황 경유의 비중이 감소하는 것으로 분석된다. 그러나 이러한 투자로 인한 저유황 경유의 비중감소는 배출저감 목표에 따른 효과에 의해서 상쇄된다. <그림 2>에서 보듯이 경제가 성장하기 때문에 배출저감 목표량은 매년 증가하게 된다. 이는 시간이 지남에 따라 저유황 경유를 사용하면서 배출권 구매에 대한 비용을 줄이려는 인센티브가 커지게 된다는 것을 의미한다. 따라서 <그림 3>에서 보듯이 2014년을 기점으로 저유황 경유의 비중이 증가하여 2020년에는 약 90%의 비중을 차지할 것으로 전망된다.

이와 같이 정부의 강제적 규제가 없이도 시장메커니즘하에서도 저유황 경유가 도입된다. 저유황 경유의 도입은 CAC하에서는 일시적으로 이루어지는 반면, 배출권거래제 하에서는 그 도입속도가 완만한 것이 특징이다. 그러나 정부의 목적이 저유황 경유 도입이 아니라 배출규제를 통한 환경목표를 달성하는 데 있다면 경제적 비용을 최소화하는 방향으로 정책을 결정할 필요가 있다.

<표 26> 환경정책별 총 경유소비 대비 저유황 경유 소비비중(%)

	50ppm			15ppm		
	배출권거래제		CAC	배출권거래제		CAC
	No Recycling	Recycling		No Recycling	Recycling	
2007	62	60	100	68	66	100
2008	59	57	100	63	62	100
2009	56	55	100	60	59	100
2010	53	52	100	57	56	100
2011	51	50	100	55	54	100
2012	49	48	100	53	52	100

〈그림 3〉 환경정책별 총 경유 대비 저유황 경유 점유율 (%) (50ppm 시나리오)



#### IV. 결 론

환경정책의 효율성은 저감기술 유인정도, 중간재화 대체 정도, 최종재화 대체 정도, 그리고 정부의 추가 세수입 발생 여부에 크게 좌우된다. 더욱이  $NO_x$ 와 같이 국지적 환경오염물질은 동일한 연료를 사용하더라도 사용기기 및 기술수준에 영향을 받게 된다. 따라서 수송부문과 같이 특정 자동차에 특정 연료가 고정적으로 사용되고 대체 가능한 수송서비스 옵션이 다양하게 존재할 때 환경정책에 따른 저감기술유인효과, 중간재화 대체효과, 최종재화 대체효과, 세간상관효과, 세수입재생효과와 중요성이 더욱 커지게 된다. 더욱이 수송 및 환경오염 배출에 대한 정부정책 변화는 특정산업에 국한하여 영향을 미치기보다는 다양한 경로를 통해 경제전체에 걸친 광범위한 파급효과를 초래한다. 따라서  $NO_x$ 와 같은 국지적 환경오염물질 억제하기 위해 수송부문에 도입된 환경정책은 선택 가능한 수송서비스의 옵션을 세분화하여 반영한 일반균형모형을 통해 평가하는 것이 바람직하다.

본 연구에서 소비자가 직면한 수송서비스에 대한 선택은 ① 신형자동차 & 기존 연료

② 신형자동차 & 저유황연료 ③ 기존 자동차 & 기존 연료 ④ 기존 자동차 & 저유황연료를 사용할 것인가로 구분된다. 이는 차종·차량별이 수송수단(승용차, 승합차, 화물차), 연료(휘발유, 경유, LPG), 자동차 크기(소형, 대형), 신·구형 자동차로 세분되기 때문에 총 수송서비스 옵션은 72가지에 달한다. 이와 더불어 자동차의 운행거리에 대한 선택과 배출권의 구매 또는 판매 여부의 결정을 고려한다면 소비자의 선택이 매우 폭넓게 반영되어 있다. 본 연구는 이와 같이 자동차와 사용연료를 세분함으로써 환경규제로 인한 기존 자동차간 대체효과뿐만 아니라 기존의 자동차에서 신형자동차로의 대체효과를 포괄하여 분석할 수 있는 일반균형모형을 통해 연료와 자동차품질에 대한 강제적 규제와 배출권거래제의 효율성을 평가하였다.

본 연구에서 CAC는 정부가 법적으로 경유의 황함량을 430ppm에서 50ppm 또는 15ppm이 되도록 규제하는 것으로 정의하였다. 그리고 배출권거래제는 연료규제가 없는 상황을 의미한다. 다시 말해서 연료에 대한 품질을 규제하지 않고 연료의 황함유량이 430ppm, 50ppm, 15ppm 모두 생산이 가능하고 시장에서 거래가 된다. 또한 자동차도 신차와 기존 자동차 모두 시장에서 거래된다. 배출목표가 설정되면 소비자는 자동차 도입비용, 연료비용, 배출권가격 등을 고려하여 수송서비스를 선택하고 배출권에 대한 수요를 결정하게 된다. 이에 반하여, 강제적 규제(CAC)는 연료의 품질을 설정하고 그 품질에 적합한 연료만이 시장에서 거래되도록 허용하였다. 이러한 설정하에 배출권거래제와 CAC간의 사회적 손실을 GDP 손실, 수송서비스, 연료소비 면에서 비교하였다.

본 연구결과는 GDP 손실을 최소화하면서 환경목표를 달성하기 위해서는 CAC보다는 배출권거래제와 같은 시장메커니즘을 활용하는 것이 바람직함을 보여준다. 시장메커니즘에서도 기존의 조세왜곡이 존재하는 한에서는 이를 완화하기 위해 정부의 추가 수입을 환원하는 것이 보다 바람직한 정책으로 평가될 수 있을 것이다. 이는 기존의 연구결과와도 부합하는 것이다. 더욱이 시장메커니즘을 통한 배출권거래제에서도 완만하게나마 저유황 경유가 도입되어 소비비중이 최고 90%에 달할 것으로 전망된다. 정부의 강제적 규제 없이도 시장메커니즘하에서도 저유황 경유가 도입이 된다. 따라서 정부의 목적이 저유황 경유 도입이 아니라 배출규제를 통한 환경목표를 달성하는 데 있다면 경제적 비용을 최소화하는 방향으로 정책이 결정되어야 할 것이다.



## 참고문헌

- 김영덕·조경엽, 『수송부문의 대기오염물질 배출규제와 사회적 손실』, 에너지경제연구원, 기본보고서 03-12, 2003.
- 손양훈·신동천, 「환율변동이 에너지산업에 미치는 영향」, 『경제학연구』, 제45집 제1호, 1997, pp.123-139.
- 조경엽, 「온실가스 저감정책과 파급효과: Global CGE 모형에 의한 분석」, 『경제학연구』, 제48집 제4호, 2000, pp.323-368.
- \_\_\_\_\_, 「조세 왜곡하의 환경정책평가」, 『에너지경제연구』, 제3권, 제2호, 2004, pp.135-166.
- 조경엽·나인강, 「온실가스 저감정책과 기술진보」, 『경제학연구』, 제51집 제3호, 2003, pp.263-294.
- 대한석유협회, 『중·장기 지동차용 연료품질 기준 설정을 위한 연구』, 2000. 2.
- 에너지경제연구원, 『에너지통계연보』, 각 년도
- \_\_\_\_\_, 『환경규제와 에너지부문 환경변화에 따른 자동차산업의 대응방안』, 2000. 10.
- 한국자동차공업협회, 『2006년 이후 중장기 자동차 배출허용기준 설정을 위한 조사연구 사업』, 2002. 4.
- 환경부, “수도권 대기질개선 특별대책 시안”, 2002. 7. 24.
- \_\_\_\_\_, 『환경백서』, 2003.
- 환경부·국립환경연구원, 『대기오염물질배출량』, 2000.
- Bernstein, P. M., W. O. Montgomery, T. F. Rutherford and G. F. Yang, “Global Impacts of the Tokyo Agreements: Results from MS-MRT Model,” *Resource and Energy Economics*, 21, 1999, pp.375-413.
- Bovenberg, A. L. and L. H. Goulder, “Optimal Environmental Taxation in the Presence of Other Taxes: General Equilibrium Analysis,” *American Economic Review*, 87, 1996, pp.985-1000.
- \_\_\_\_\_, “Neutralizing the Adverse Industry Impacts of CO2 Abatement Policies: What

- Does It Cost?," in *Behavioral and Distributional Effects of Environmental Policy*, C. Carraro and G. Metcalf Eds., University of Chicago Press, 2001, pp.45-85.
- Bovenberg, A. L. and R. A. de Mooij, "Environmental Levies and Distortionary Taxation," *American Economic Review*, 84, 1994, pp.1085-1089.
- Goulder, L. H., I. W. H. Parry, and D. Burtraw, "Revenue-raising vs. Other Approaches to Environmental Protection: the Critical Significance of Pre-existing Tax Distortions," *RAND Journal of Economics*, 28, 1997, pp.708-731.
- Goulder, L. H., I. W. H. Parry, R. C. Williams III, and D. Burtraw, "The Cost-effectiveness of Alternative Instruments for Environmental Protection in a Second-best Setting," *Journal of Public Economics*, 72, 1999, pp.329-360.
- Goulder, L. H. and S. H. Schneider, "Induced Technological Change and the Attractiveness of CO2 Abatement Policies," *Resource and Energy Economics*, 21, 1999, pp.211-253.
- Fullerton D., "Environmental Levies and Distortionary Taxation: Comment," *American Economic Review*, 87, 1997, pp.245-251.
- Mathiesen, L., "Computation of Economic Equilibrium by a Sequence of Linear Complementary Problems." *Mathematical Programming Study*, 23, 1985, pp.144-162.
- Parry, W. H., "A second Best Analysis of Environmental Subsidies," *International Tax and Public Finance*, 5, 1998, pp.153-170.
- Parry, W. H., R. C. Williams III and L. H. Goulder, "When Carbon Abatement Policies Increase Welfare? The Fundamental Role of Distorted Factor Market," *Journal of Environmental Economics and Management*, 37, 1999, pp.52-84.
- Rasmussen, T. N. and T. F. Rutherford, "Modeling Overlapping Generations in a Complementarity Format," Department of Economics, University of Colorado, mimo, 2001.
- Rutherford, T. F., *The GAMS/MPSGE and GAMS/MILES User Notes*, Washington D. C.: GAMS Development Corporation, 1994.

[부록: 모형구조]

가. 가계부문

소비자는 소득예산제약하에 생애효용을 극대화하는 방향으로 수송서비스 수단 및 기타 재화를 선택하게 된다. 소비자로 구성된 가계는 주어진 가치분소득이라는 시점간 Intertemporal 예산제약조건하에서 시점간 효용 Intertemporal utility을 극대화한다고 가정하면 효용함수는 다음과 같이 시간에 대해 분리 가능한 Separable CES(Constant Elasticity of Substitution)함수로 정의할 수 있다.

$$\max_c U_t(C_t) = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \frac{C_t^{1-\theta}}{1-\theta} \tag{A-1}$$

$$C_t = [ \alpha_c TRN_{c,t}^{\rho_c} + (1-\alpha_c) Y_{c,t}^{\rho_c} ]^{1/\rho_c} \tag{A-2}$$

여기서  $\beta$ 는 시간에 대한 할인율을 의미하며,  $1/\theta$ 는 시점간 대체탄력성 Intertemporal Elasticity of Substitution을 나타낸다.  $C_t$ 는 가계부문에서 이용되는 수송서비스( $TRN_{c,t}$ )와 기타 재화( $Y_{c,t}$ )로 구성된 복합소비재화를 의미한다.  $1/(1-\rho_c)$ 는 수송서비스( $TRN_{c,t}$ )와 기타 재화( $Y_{c,t}$ )의 대체탄력성을 의미한다.

소비자에게 주어진 시점간 예산제약식은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \sum_t P_{ao,t} TRN_{c,t} + \sum_t P_{y,t} Y_t + \sum_t P_{k,t} IK_t + \sum_t P_{ta,fe,s,t} IA_{ta,fe,s,t} \\ = \sum_t W_t L_t + \sum_t P_{k,t} K_t + \sum_t Tr_t + \sum_t P_{ta,fe,s,t} AS_{ta,fe,s,t} \end{aligned} \tag{A-3}$$

위 제약식에 나타난 가격은 모두 세후가격을 나타내며, 시간에 대한 할인율을 반영한 가격을 의미한다. 현재가치로 환산된 가계의 총 소득은 현재가치로 환산된 노동임금수입( $W_t L_t$ ), 자본대여로부터의 수익( $P_{k,t} K_t$ )과 정부의 가계이전소득( $Tr_t$ ), 그리고 각종 자동차 대여수익( $\sum_t P_{ta,fe,s,t} AS_{ta,fe,s,t}$ )의 합과 동일하다. 가계의 총소득은 현재가치로 환산된 수송서비스( $TRN_{c,t}$ )와 기타 재화에 대한 지출과 자본에 대한 투자 지출( $IK_t$ )과 자동차에 대한 투자 지출( $IA_{ta,fe,s,t}$ )로 사용한다.

## 나. 생산부문

설명의 편의를 위해 석유제품, 신형자동차 및 기타 재화를 일반화하여  $Y_{i,t}$ 로 표기하기로 하자. 산업에서 생산되는  $t$ 기에  $i$ 부문의 최종재화  $Y_{i,t}$ 는 노동( $L_{i,t}$ )과 자본( $K_{i,t}$ )의 복합재화  $KL_{i,t}$ 가 기타 중간재화  $NKL_{i,t}$ 와 CES로 결합되어 생산된다.

$$Y_{i,t} = [ \alpha_1 KL_{i,t}^\rho + \alpha_2 NKL_{i,t}^\rho ]^{1/\rho} \quad (\text{A-4})$$

$$KL_{i,t} = K_{i,t}^\eta L_{i,t}^{1-\eta} \quad (\text{A-5})$$

여기서  $NKL_{i,t}$ 는 노동과 자본을 제외한 중간재화들의 복합재화로서 아밍톤 복합재화( $XA_{i,t}$ ), 수송용 연료를 제외한 기타 에너지( $E_t$ ), 수송서비스( $TRN_{i,t}$ )를 사용하여 생산된다.

$$NKL_{i,t} = [ \alpha_1 XA_{i,t}^\rho + \alpha_2 E_{i,t}^\rho + \alpha_3 TRN_{i,t}^\rho ]^{1/\rho} \quad (\text{A-6})$$

식(A-5)에서 생산된 부문  $i$ 의 최종생산재화  $Y_{i,t}$ 는 수출재화와 국내소비재화로 분배된다.  $Y_i$ 가 불변전환탄력성 Constant Elasticity of Transformation에 의해 수출재화( $XE_i$ )와 국내소비재화( $XD_i$ )로 전환된다고 가정하면 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$[ \alpha_1 XE_{i,t}^\rho + \alpha_2 XD_{i,t}^\rho ]^{1/\rho} = Y_{i,t} \quad (\text{A-7})$$

그리고 중간투입재화로 사용되는 아밍톤 복합재화( $XA_{i,t}$ )는 국내재화와 수입재화( $XM_{i,t}$ )간의 불완전대체관계로 다음과 같이 구성된다.

$$XA_{i,t} = [ \alpha_1 XM_{i,t}^\rho + \alpha_2 XD_{i,t}^\rho ]^{1/\rho} \quad (\text{A-8})$$

물적자본  $K_{i,t}$ 는 다음과 같은 법칙에 의해 축적되는 것으로 가정하였다.

$$K_{i,t+1} = (1 - \delta_k) K_{i,t} + IK_{i,t} \quad (\text{A-9})$$

$t+1$ 기에 부문  $i$ 의 자본스톡은 감가상각  $\delta_k K$ 를 제외한  $t$ 기의 자본량과 투자( $IK_{i,t}$ )에 의해 형성된다.

다. 정부부문

정부는 자본수익에 대한 소득세( $\tau_{k,t}$ ), 제품별 수입에 대한 관세( $\tau_{m,i,t}$ ), 근로소득에 대한 소득세( $\tau_{w,t}$ ), 소비에 대한 소비세( $\tau_{c,i,t}$ )를 부과함으로써 세수입을 얻고, 이를 정부소비지출( $G_t$ )과 가계이전( $Tr_t$ )을 통해 지출하며, 정부 지출과 수입과의 차이는 재정적자( $Def_t$ )로 정의된다.

$$\tau_{k,t}P_{k,t}K_t + \sum_i \tau_{m,i,t}XM_{i,t} + \sum_i \tau_{c,i,t}XA_{i,t} + \tau_{w,t}W_tH_t = G_t + Tr_t - Def_t \quad (A-10)$$

라. 국제수지와 투자

본 모형은 소규모개방경제를 산정하고 있기 때문에 수입재화의 가격은 외생적으로 주어진 것으로 간주하였다. 그러나 무역수지불균형으로 인해 발생하는 해외자본이동에 대한 제약은 환율의 변동에 의해 조정된다고 가정하였다.

$$\sum_i P_{x,i,t}XE_{i,t} - \sum_i P_{m,i,t}XM_{i,t} + PFX_t B_0 = 0 \quad (A-11)$$

여기서  $P_{x,i,t}$ 는  $i$ 재화의 세후수출가격을 나타내며,  $P_{m,i,t}$ 는  $i$ 재화의 세후수입가격을 나타낸다.  $PFX_t$ 는 환율로서 초기 연도의 무역수지적자( $B_0$ )가 유지되도록 내생적으로 변동된다.

마. 캘리브레이션

본 모형에서는 손양훈·신동천(1997), 조경엽(2000), Bernstein et al.(1999), Goulder and Schneider(1999) 등 기존의 국내외 문헌과 유사한 모수 값을 사용하도록 노력하였다. 본 연구에서 연산을 위해 사용한 MPSGE 프로그램은 기준연도의 실질 데이터와 주어진 대체탄력성을 가지고 프로그램 내에서 자동으로 가중치 모수 Share Parameter를 추정하기 때문에 이에 대한 값은 본 연구에서 제시하지 않았다.

수송서비스 생산부문에 사용한 차량별 대체탄력성은 모두 0.2로 가정하였다. 그리고 생산부문에서 노동과 자본의 대체탄력성은 1로 가정하였으며 아밍톤 중간재화, 비수송용 에너지, 수송서비스간 대체탄력성은 0.25로 가정하였다. 그리고 수출재화와 국내소비재화간의 불변전환탄력성과 수입재화와 국내재화간 아밍톤 복합재화의 대체탄력성은

2.0이라고 가정하였다. 이는 손양훈·신동천(1997)이 사용한 부문별 탄력성 2~4값 중 최소값을 선택한 것이다. 추가적으로 요구되는 투자로 인해 국내의 저유황 경유나 신형자동차의 가격이 상대적으로 높게 된다. 따라서 최소값을 선택한 이유는 국내 자동차 또는 저유황 연료의 가격상승으로 자동차 또는 연료의 수입이 비정상적으로 증가하거나 국내 경기위축으로 밀어내기 수출과 같이 비정상적인 수출 증가를 배제할 수 있기 때문이다.

가계부분의 시점간 대체탄력성( $1/\theta$ )은 Goulder and Schneider(1999), Bernstein et al.(1999)과 같이 0.5로 가정하였다. 소비재와 여가의 대체탄력성은 Rasmussen and Rutherford(2001)에 제시한 0.8을 사용하였다. 이 밖에 소비복합재화간의 대체탄력성은 생산부문과 동일하다고 가정하였다. 이 밖에 외생변수로 결정되는 균형이자율은 잠재성장률과 물가상승률을 감안하여 0.06으로 가정하였다. 따라서 균제상태Steady State에서 이자율은  $\frac{1}{\beta} - 1$ 과 동일하기 때문에  $\beta$  값은 0.943이 된다. 자본에 대한 연간 감가상각률은 0.07로 가정하였으나, 자동차의 감가상각률은 0.1로 설정하여 자동차의 수명을 10년으로 가정하였다.

#### 바. 연산방법

본 연구는 Rutherford(1994)가 개발한 MPSGE(Mathematical Programming System for General Equilibrium analysis)를 이용하여 연산하였다. MPSGE는 일반균형모형의 해를 구하기 위해 Mathiesen(1985)이 제기한 MCP(Mixed Complementarity Problems)를 일반화한 프로그램으로서 3가지 균형조건(시장청산, 영의 이윤조건, 소득균형)을 만족하는 해를 구하는 것으로 정리할 수 있다. MPSGE에서는 이윤극대화 와 효용극대화 문제로 도출되는 일차 조건들을 일일이 입력하지 않고 일정한 법칙에 따라 앞서 설명한 복합단계를 입력한다. 모형의 입력 데이터를 사회회계행렬과 동일하게 입력할 수 있기 때문에 캘리브레이션이 매우 용이하다는 장점을 가지고 있다. MPSGE 프로그램은 모형에 적합한 생산함수, 효용함수의 복합구조와 대체탄력성을 지정하면 모형 내에서 비용함수를 추정하여 연산에 필요한 식을 구성한다.<sup>23)</sup> 따라서 본 연구에서는 균형조건식 대신 경제구조식을 수록하였다.

23) 본 모형과 같이 규모가 크고 복잡할수록 MPSGE를 사용함으로써 얻는 혜택이 커지게 된다.

## Comparison of Economic Impacts Across Local Emission Regulations

Cho, Gyeong Lyeob, Kim, Youngduk

This paper investigates policy difference between a market-based environmental policy such as emission trading and a command and control policy such as fuel quality standard. For this, we construct a CGE model allowing various vehicles, fuels, and transportation service options. Especially, choices that consumers face in the model consist of ① new vehicle & existing fuel ② new vehicle & low sulphur fuel ③ existing vehicle & existing fuel ④ existing vehicle & low sulphur fuel. Also, we divide the vehicles into three types(passenger car, bus and truck), two sizes(small and big) and two vintages(new and existing), and classify the fuels into three types(gasoline, diesel and LPG). This classification allows us to analyze not only the substitution effect across the existing vehicles but also the substitution effect between the new and the existing vehicles. We use the CGE model to compare the economic impacts on GDP between command-and-control (CAC) and market-based policy. It shows that the market-based policy is superior to the CAC to minimize GDP loss in achieving a environmental target. Also, it shows that tax recycling mechanism is preferable to mitigate GDP loss in the presence of the existing tax distortion. Moreover, it is found that, under the market-based policy such as emission trading, the high quality standard fuel can be penetrated through markets without introducing any other regulation.

Key words: Emission Regulation, Market Mechanism, Command and Control,  
Transportation Sector

K C I