

기술선택을 고려한 운송부문 이산화탄소 배출량 저감방안의 평가

김승우* · 이동근** · 전성우***

〈目 次〉

- | | |
|---------|---------------|
| I. 서 론 | III. 시뮬레이션 결과 |
| II. 모 형 | IV. 결 론 |

要 約

운송부문에서의 이산화탄소 배출량저감을 위한 정책대안을 통합적인 시뮬레이션 모형을 통하여 평가하였다. 분석에 이용된 시뮬레이션 모형은 일본의 국립환경연구소에 의해 개발된 AIM을 일부 수정한 AIM/KOREA이다. 분석의 결과는 다음의 3가지로 정리할 수 있다.

첫째, 기존차량에 비해 가격이 다소 비싸거나 동등한 에너지절약형 차량은 탄소

* 한국환경기술개발원 선임연구원

** 한국환경기술개발원 선임연구원

*** 한국환경기술개발원 연구원

세의 부과없이도 2005년에 가면 신규차량 전부를 대체할 것으로 전망된다.

둘째, 운송부문에서의 에너지 사용량은 앞으로 급격히 증가하고 이에 따라 이산화탄소의 배출량도 크게 증가할 것으로 예측된다. 그러나 이산화탄소의 배출량 감소를 목표로 하는 탄소세부과는 이산화탄소 배출저감에 기여하지 못하는 것으로 전망되었다. 반면에 승용차 10부제의 시행은 이산화탄소배출량의 급격한 증가를 크게 둔화시킬 수 있는 하나의 대안으로 제시되었다.

셋째, 에너지절약형 차량, 특히 전기자동차의 구입자에게 탄소세에 의해 확보된 재원을 이용하여 보조금을 지급하는 것이 운송부문에서 이산화탄소배출량을 줄일 수 있는 하나의 대안으로 평가되었다.

I. 서 론

1992년도의 브라질 리우회담에서 채택된 “기후변화협약(Framework Convention on Climate Change)”이 조만간 발효되면 에너지집약도가 높은 산업의 경제성장과 수출에 대한 기여도가 큰 우리나라 경제는 또 한번의 시련을 겪게 될 것이다. 1980년부터 1990년까지의 지구온실효과에 반 이상의 책임이 있는 이산화탄소의 1992년도 우리나라 배출량은 77.7백만 탄소톤(tonnes of carbon)으로서 전세계 국가중 배출량에 있어서 18위를 차지하였다. 2010년도의 이산화탄소 배출량은 1992년의 2.0배수준인 158.0백만 탄소톤으로 전망됨에 따라 배출량에 있어서 세계 10위권내로 진입할 것으로 예상된다.¹⁾ 따라서 지구온난화에 대비한 사회·경제적, 과학적 대응방안 수립은 그 어느 때보다도 절실히 요구되고 있다.

한편 운송부문에서의 이산화탄소배출량은 1990년 11.5백만 탄소톤, 1993년 17.2백만 탄소톤으로서 우리나라 이산화탄소배출총량의 약 20.9%와 24.5%를 각각 차지하는 이산화탄소의 주요 배출원이다.²⁾ 그러므로 다른 부문과 마찬가지로 운송부문

1) 이회성(1994) 참조

에서의 이산화탄소배출량을 감소시킬 수 있는 정책수단들의 개발과 시행도 매우 시급한 과제이다. 이에 본고는 이같은 과제의 해결 차원에서 운송부문의 이산화탄소 배출량을 전망하고 이를 바탕으로 그 저감방안을 평가하는 것을 주요 내용으로 삼는다. 분석에 적용된 모형은 일본의 국립환경연구소에 의해 개발된 AIM (Asia-Pacific Intergated Model for Evaluating Policy Options to Reduce GHG Emmission and Global Warming Impacts)³⁾이다. 이 모형을 이용해 우선 운송부문의 이산화탄소 배출량을 전망하고, 에너지 최종소비 측면에서 각종 에너지절약기술이 최종소비자에 의해 채택되는 조건을 탄소세 세율의 변동과 보조금지급 등에 대한 여러 시나리오하에서 분석한다. 또한 이산화탄소 저배출기술(차량)의 도입에 의해 이뤄지는 이산화탄소의 배출저감량을 전망하고 두 요인간의 상관관계를 분석한다. 마지막으로 승용차 10부제 운행 실시의 이산화탄소 배출저감효과에 대해 분석한다.

II. 모 형

1. 기본구조

분석에 이용된 AIM은 시뮬레이션에 의해 각종 경제활동에 따른 온실효과가스 배출, 대기중의 온실효과가스농도 증가에 의한 기후변화, 기후변화에 의한 자연환경·사회환경에의 영향 등 모든 과정을 통합해 여러 온난화대책효과를 종합적으로 평가할 수 있는 “통합평가모형(Integrated Assessment Model)”이다.

이 모형은 크게 “온실효과가스 배출모형(Greenhouse Gas Emission Model)”, “기후모형(Climate Model)”, 그리고 “영향평가모형(Impact Model)”의 3부분으로 구성되

2) 이회성(1994) 참조

3) Morita, et al.(1994), Morita, et al.(1995) 등을 참조

어 있다. 이중 분석에 적용된 모형은 배출모형(Emission Model)으로서 기술선택, 에너지효율, 에너지서비스 수요, 관련 사회·경제적 변수, 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량의 변수관계를 시뮬레이션 할 수 있는 “최종에너지소비모형(Energy End-use Model)”이다. AIM 배출모형은 <그림 1>에 나타낸 것과 같이 3개의 모듈로 구성되어 있다. 첫번째 모듈은 에너지소비량을 각종 수요(에너지 서비스)별로 산정하는 “에너지서비스량 산출 모듈”이다. 이 모듈은 경제·사회의 제변수를 결정하는 외부모형 또는 소비행태의 변화, 경제활동실태, 생활방식, 그리고 기타의 주요경제 변수를 반영하는 특정 시나리오에 의해서 에너지서비스 수요량(예를 들면 운송량 톤·Km 또는 인·km)을 추정한다. 두번째는 에너지효율 개선정도를 산정하는 “에너지효율 산출모형”이다. 끝으로 여러 에너지절약기술중 가장 비용효과적인 기술선택을 결정하는 “기술선택 모듈”이다.

AIM 배출모형은 소위 말하는 “하방상향모형(Bottom-up Model)”로서 에너지가격 변화에 의한 기술대체와 이에 따른 에너지소비량 변화를 산정하여 이산화탄소배출량을 추정한다. 따라서 이산화탄소 배출저감을 위한 개별 정책의 유효성을 구체적으로 평가하는 것이 가능하다. 또 에너지수요모형에 에너지절약기술선택모형을 연결시켜 분석함으로써 개별 기술의 시장도입 정도와 에너지효율개선의 효과에 대한 예측을 가능하게 한다. 모형의 최종단계에서는 “상방하향모형(Top-down Model)”과 연결시킬 수 있고, 따라서 통합모형하에서 에너지 절약기술의 가격변화와 에너지소비행태의 구조를 내생적으로 결정할 수 있다.

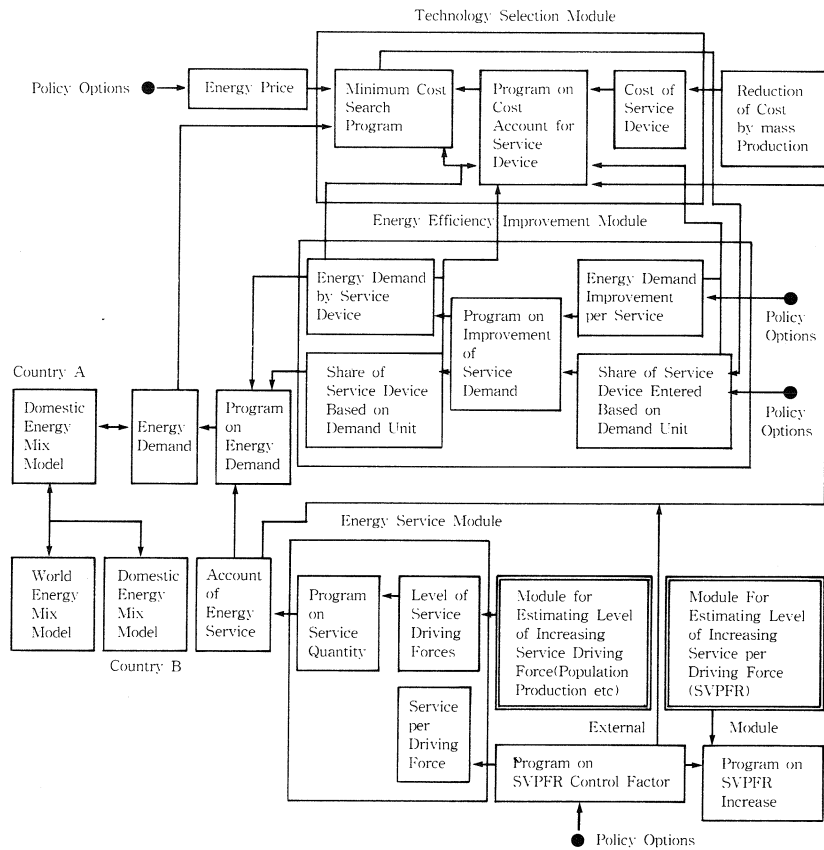
온실효과가스 배출모형중 특히 “하방상향모형”은 크게 두가지 방향으로 개발되어 왔다. 첫째로 에너지공급·전환의 측면에 초점을 맞추어 보다 효율이 높은 기술 등을 분석하기 위한 모형으로서 국제에너지기구가 중심이 되어 개발한 MARKAL (MARKet ALlocation)⁴⁾ 등이 대표적이다. 또 다른 하나는 에너지 수요·소비의 측면에 초점을 맞추어 부문별 인간활동의 변화가 에너지수요를 어떻게 변화시키는 지를 분석하는 모형으로 통상 「최종에너지소비모형」으로 불려진다. 이러한 모형으로

4) Fishbone, et al.(1983) 참조

기술선택을 고려한 운송부문 이산화탄소 배출량 저감방안의 평가

는 스웨덴의 스톡홀름환경연구소가 개발한 LEAP(LDC Energy Alternative Plannin g)⁵⁾ 등이 유명하다.

<그림 1> AIM 최종에너지소비모형의 구조



자료: Morita, T., Y. Matsuoka, M. Kainuma, K. Kai, H. Harasawa and D. K. Lee, 1994, *Asian-Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce Greenhouse Gas Emmissions and Global Warming Impacts*, p. 4.

5) Lazarus, et al.(1993) 참조

그러나 에너지 수요·소비 측면에 초점을 맞추면서 보다 효율이 높은 기술의 도입 등을 분석하는 「최중에너지기술모형」의 개발은 큰 진전이 없었다. 선진국은 물론이고 우리나라의 이산화탄소 배출량을 삭감하기 위해서는 최종소비 측면에서 어떤 에너지절약기술을 어디까지 도입해야 하는지가 중요한 정책시행 기준이 된다. AIM 배출모형은 이같은 필요성을 충족시키기 위해 개발되었으며 앞으로의 “하방상향모형”의 새로운 개발방향을 제시한다.

AIM 배출모형을 우리나라에 적용시키기 위해서는 무엇보다도 입력자료의 분류가 선결되어야 하고 이에따른 자료의 작성이 필요하다. 그리고 우리나라에 한정된 정책의 효과분석을 위해서는 해당 프로그램을 수정해야한다. 이러한 과정을 거치면 산업부문(철강업, 시멘트공업, 석유화학공업), 가정부문, 상업부문, 운송부문 등을 포함하는 우리나라에 적용시킬 수 있는 모형의 개발이 가능하며 이 모형을 여기에서는 AIM/KOREA라고 지칭한다. 본고의 분석대상은 운송부문에 한정되어 있으므로 여기서 이용되는 모형도 AIM/KOREA중 운송부문 모형에만 한정된다. 운송부문에서는 여객운송과 화물운송 별로 에너지서비스량이 먼저 추정되고, 이에 따라 기술선택이 결정되며, 마지막으로 에너지소비량과 이산화탄소배출량이 추정된다.

AIM/KOREA 운송부문 모형에서는 10부제에 의한 이산화탄소 배출량 삭감 가능성 등의 정책시나리오가 반영될수 있도록 원래의 AIM 배출모형의 에너지서비스산출모듈과 에너지효율향상모듈을 일부 수정하였다. 또한 보조금 효과 분석을 위해 에너지효율향상모듈과 함께 기술선택모듈도 수정하였다.

운송부문을 시뮬레이션하는데 있어서 필요한 자료는 <표 1>과 같이 요약된다.

<표 1>에서는 에너지를 소비하는 기기 및 장치를 에너지서비스기술로 정의하고 있으며 운송부문에서는 승용차, 버스, 기차, 비행기 등이 해당된다. 따라서 앞으로 언급되는 “에너지서비스기술”은 대부분이 승용차, 트럭 등의 차량을 가리키는 것으로 보면 무방하다. 에너지서비스기술에 관련된 자료로서는 초기비용(차량구입비용), 각 년도별 운행차량대수, 에너지사용량, 타차량의 에너지소비량과 비교했을 때의 에너지소비절약량, 차량의 이용년수(내구년수), 차량별 시장점유율, 각 차량모형의 시장도입 및 퇴거년도 등이 요구된다.

기술선택을 고려한 운송부문 이산화탄소 배출량 저감방안의 평가

<표 1> AIM/KOREA 운송부문의 필요입력자료

구 분	데이터 내역
에너지소비량	차종별 에너지 소비량
단위에너지서비스당 에너지소비량	에너지소비량/에너지서비스
에너지서비스기술	차종별 사용기간, 가격, 에너지효율, 에너지원
에너지서비스량	톤·km, 인·km
이산화탄소 배출계수	에너지원별 이산화탄소 배출계수

2. 모형의 시뮬레이션 절차

(1) 전체절차

AIM/KOREA의 전체적인 시뮬레이션은 다음의 절차에 따라 실행된다.

- ① 외부시나리오(국가전망치)에 의해 에너지서비스량(운송량)을 산출한다. 기준년도의 에너지서비스량은 실제의 에너지소비량에 의해 책정되고 미래의 에너지서비스량은 외부시나리오에 의해 결정된다.
- ② 에너지서비스를 충족시키기 위해 신규 또는 기존의 서비스기술이 선택된다. 이때 신규(이산화탄소 저배출차량) 또는 기존 서비스기술의 선택은 최소비용원칙에 의한다.
- ③ 선택된 서비스기술을 가동시키는데 필요한 에너지소비량을 계산한다.
- ④ 이상에서 구해진 연료종류별 에너지소비량을 기초로 해 이산화탄소 배출량을 추정한다. 동시에 에너지절약형 기술의 도입현황, 즉 연도별 기존기술과 새로운 에너지절약형 기술의 도입상태를 수치로 계산한다.

(2) 기술선택

다른 통합평가모형과 비교하였을 때 AIM/KOREA의 주요 특성중의 하나는 구성모

둘중 “기술선택모듈”의 존재이다. 기술선택의 기준은 그 시점에서 이용하고 있는 기술이 교체시기가 된 경우, 즉 내구년수가 종료된 경우와 교체시기가 아직 되지 않은 경우에 따라 상이하다. 이용되고 있는 기술의 내구년수가 종료되었을 때 소비자는 서비스수요를 충족시키기 위해 다시 기존기술을 도입할 것인지 아니면 가격은 비싸지만 에너지절약형(이산화탄소 저배출형) 기술을 도입할 것인지를 결정하게 된다. 각 경우의 기술선택조건은 <표 2>와 같이 요약될 수 있다. <표 2>에서 차체는 그대로 유지하되 엔진만을 새로운 연소방식의 엔진으로 바꾸는 것은 전체개량으로 볼 수 있고 동일한 엔진으로 교체하는 것은 부분개량의 예로 간주할 수 있다. 부분개량의 경우 기존기술의 잔존사용년수는 변함이 없다.

<표 2> AIM/KOREA의 기술선택조건

사 례 구 분		조 건	선 택 결 과
기술교체시기도래		$(F_A+E_A) \leq (F_B+E_B)$	기술A선택 반대의 경우 기술B선택
기술교체시기 미도래	전체개량	$E_A \leq (F_B+E_B)$	기술A선택 반대의 경우 기술B선택
	부분개량	$E_A \leq (\Delta F_B+E_B)$	기술A선택 반대의 경우 기술B선택

주 : F: 연간고정비용, E: 연간연료비용, A: 기존기술, B: 에너지절약형 기술,
 ΔF_B : 개량비용

AIM/KOREA에는 이와같은 기술선택과정이 포함되어 있기 때문에 탄소세부과나 보조금지급을 모형에 도입하면 기술선택이 변화하고 그 결과로서 에너지소비량과 이산화탄소배출량이 결정된다. 예를 들어 탄소세가 도입되면 에너지가격이 상승하고 에너지절약에 의한 연료절약비용이 증가하므로 비교적 가격이 높은 에너지절약 기술이 도입되게 된다. 그리고 보조금을 지급하면 에너지절약기술의 초기비용이 낮아지므로 초기비용이 다소 비싼 기술도 도입될 수 있다. 그러나 AIM/KOREA내의 기술선택은 단순한 최소비용의 원칙에 기초한 것으로서 기술선택에 관련된 정보의 불완전성, 미래의 에너지가격 변화의 불투명, 기술진보에 대한 기대 등이 기술선택

에 있어서 미래의 할인율을 증가시키고 따라서 상대적으로 현재가치의 손실폭이 적은 저에너지효율기술의 선택을 촉진시키는 측면을 반영치 못하는 제약점을 갖고 있다.⁶⁾

Ⅲ. 시뮬레이션 결과

1. 시뮬레이션 대상기간 및 입력자료

AIM시뮬레이션은 1992년을 기준년도로 하여 1년 단위로 2010년까지 시행하였다. 1992년도를 기준년도로 설정한 것은 자료의 이용가능성을 고려한 것이다. 우리나라에서는 3년에 한번씩 에너지센서스 조사가 실시되고 있고 가장 최근의 조사는 1992년을 대상으로 하였다. AIM에 적용시킬 수 있는 운송부문의 에너지소비량에 대한 자료로서는 에너지센서스 조사가 가장 자세한 정보를 제공하고 있다.

2010년까지의 기간설정은 관련 에너지절약기술의 발전정도와 사용기간 등을 고려하여 결정한 것이다. 현재 사용되고 있는 자동차의 사용년수가 대부분 약 7-9년이므로, 현 수준의 기술은 2000년을 전후하여 사용되지 않을 것이며, 다음수준의 기술이 사용된 자동차가 시장에 도입될 것이다. 또한 한단계 진보된 기술이 도입된 자동차 또한 사용년수가 약 10년을 전후할 것이므로, 이러한 관점에서 대상기간을 2010년으로 한정하였다. 물론, 대상기간을 더 확대한 시뮬레이션도 가능하나, 현재로서는 그때 당시 도입될 자동차에 대한 정보가 없으므로 시뮬레이션결과의 불확실성이 높아질 것이다.

시뮬레이션에 이용된 입력자료는 운송서비스의 분류에 기초하여 작성되었다. 운송부문의 에너지서비스는 크게 여객운송과 화물운송으로 분류할 수 있고 본 분석에서는 이 분류를 다시 차량엔진의 크기(즉 서비스의 크기), 용도, 에너지원단위 등

6) Morita, et al.(1994) 참조

을 감안하여 분류하였다. 또한 기술선택의 유무는 비교적 기술개발이 많이 진행되어 있는 자가용과 버스, 트럭의 신기술자료를 조사하여 기술선택이 이루어 질 수 있도록 하였다. 이를 정리하면, <표 3>과 같다. 시물레이션에 사용된 에너지원별 가격 및 이산화탄소 배출계수, 에너지서비스량 및 에너지소비량, 운송서비스 기술 등의 자료는 1992년을 기준으로 작성되었다(<표 4>).

<표 3> 운송부문의 에너지서비스 분류

에너지서비스 구분	기술선택 유무	에너지서비스 구분	기술선택 유무
1. 1500cc이하 승용차	○	12. 해상(국내여객)	×
2. 1500-2000cc 승용차	○	13. 항공(국내여객)	×
3. 2001cc이상 승용차	○	14. 1.0톤 이하 트럭	○
4. 1500cc이하 택시	○	15. 1.1-3.0톤 트럭	○
5. 1501cc이상 택시	○	16. 3.1-5.0톤 트럭	○
6. 지프	○	17. 5.1-8.0톤 트럭	○
7. 15인 이하 자가용 버스	○	18. 8.1-12.0톤 트럭	○
8. 16인 이상 자가용 버스	×	19. 12.1톤 이상 트럭	○
9. 16인 이상 영업용 버스	○	20. 철도(화물)	×
10. 철도(여객)	×	21. 해상(국내화물)	×
11. 지하철	×	22. 항공(국내화물)	×

2. BAU(business-as-usual) 시나리오

운송부문의 이산화탄소배출량을 전망하고 그 배출량 저감수단을 평가하기 위해서는 먼저 현재의 기술수준과 에너지소비증가율 등을 바탕으로 한 BAU(business-as-usual) 시나리오하의 운송서비스량 수요전망이 필요하다. 그러나 기준년도(1992년) 대비 승객운송량(인·km)과 화물운송량(톤·km)의 연평균증가율을 예측한 자료가 없는 관계로 에너지경제연구원("장기에너지수요 2030", 1994. 10)의 운송부문 장기에너지수요 전망중 BAU시나리오에 기초한 예측자료로 대체하였다(<표 5>).

기술선택을 고려한 운송부문 이산화탄소 배출량 저감방안의 평가

<표 4> 운송부문의 서비스기술

대분류 서비스기술	소분류 서비스기술	사용 년수	고정비용 (가격) (원/년)	단위에너지 소비량 (kcal/인·km , 톤·km)	연료종류	시장판매		'92 도입 현황 (%)
						진입	퇴거	
1. 소형자가용 (1500cc미만)	기존형	7	255.9	603.3	가솔린	1986	1992	100
	신형	7	250.9	593.2	가솔린	1992	2010	0
	전기자동차1	7	858.9	95.33	전기	2000	2010	0
	저공해1	7	276.0	543.0	가솔린:에탄올=4:1	2000	2010	0
	저공해2	7	369.5	573.2	메탄올	2000	2010	0
2. 중형자가용 (1500-2000cc미만)	기존형	7	539.4	789.5	가솔린	1986	1992	100
	신형	7	541.8	750.1	가솔린	1992	2010	0
3. 대형자가용 (2000cc이상)	기존형	8	966.7	1,039.0	가솔린	1986	1992	100
	신형	8	1,040.0	987.1	가솔린	1992	2010	0
4. 소형영업용	기존형	7	44.2	168.3	LPG	1986	1992	100
	신형	7	34.6	144.8	LPG	1992	2010	0
5. 중형영업용	기존형	7	89.4	200.9	LPG	1986	1992	100
	신형	7	77.5	190.9	LPG	1992	2010	0
6. 지프	기존형	8	635.6	1,125.0	경유	1986	1992	100
	신형	8	597.9	1,001.0	경유	1992	2010	0
7. 15인 이하버스	기존형	7	295.6	195.9	경유	1986	1992	100
	신형	7	330.2	186.1	경유	1992	2010	0
	저공해	7	414.4	203.1	메탄올	2000	2010	0
	전기자동차1	7	1,667.0	30.4	전기	2000	2010	0
9. 16인이상 버스(영업용)	기존형	10	191.0	69.0	경유	1986	1992	100
	신형	10	184.0	65.6	경유	1992	2010	0
14. 1.0톤이하 트럭	기존형	10	160.6	2,566.0	경유	1986	1992	100
	신형	10	206.4	2,489.0	경유	1992	2010	0
15. 1.0-3.0톤 트럭	기존형	10	245.6	1,328.0	경유	1986	1992	100
	신형	10	264.2	1,288.0	경유	1992	2010	0
16. 3.0-5.0톤 트럭	기존형	10	415.7	841.0	경유	1986	1992	100
	신형	10	439.9	815.8	경유	1992	2010	0
17. 5.0-8.0톤 트럭	기존형	10	539.9	374.4	경유	1986	1992	100
	신형	10	541.0	363.2	경유	1992	2005	0
18. 8.0-12.0톤 트럭	기존형	10	812.1	181.6	경유	1986	1992	100
	신형	10	803.3	176.2	경유	1992	2010	0
19. 12.0톤초과 트럭	기존형	10	908.9	204.6	경유	1986	1992	100
	신형	10	907.1	198.5	경유	1992	2010	0

* 고정비용 = 차량명목가격 / (인, 톤·km/년)

자료 : 기아경제연구소(1994), 「자동차경제」/ 에너지경제연구소(1994), 「에너지통계연보」 / 한국자동차공업협회(1993), 「한국의 자동차산업」/ 현대자동차(1993), 「자동차산업」

앞에서 지적한 바와 같이 본 시뮬레이션에서는 1992년의 기술(차량)가격과 이산화탄소배출계수는 미래에도 변하지 않는다고 가정하며, 이 가정은AIM/KOREA가 “상방하향모형”과 통합되는 단계에서 수정될 수 있다.

<표 5> 운송부문의 장기 운송량전망 시나리오

서비스기술 구분	1992년 에너지서비스량 (인·km, 톤·km)	1992년-2000년 연평균증가율(%)	2000년-2010년 연평균증가율(%)
1. 1500cc이하 자가용	4.428 E+10	9.5	6.5
2. 1501-2000cc 자가용	1.449 E+10	9.5	6.5
3. 2000cc이상 자가용	1.644 E+09	9.5	6.5
4. 1500cc이하 택시	1.637 E+10	3.4	1.4
5. 1501cc이상 택시	5.452 E+10	3.4	1.4
6. 지프	1.839 E+09	8.9	2.2
7. 15인 이하 자가용 버스	4.356 E+10	8.9	2.2
8. 16인 이상 자가용 버스	3.122 E+10	8.9	2.2
9. 16인 이상 영업용 버스	2.435 E+11	8.9	2.2
10. 철도(여객)	2.374 E+10	8.9	2.2
11. 지하철	2.522 E+10	9.9	5.5
12. 수상(여객)	5.250 E+08	3.7	2.9
13. 항공(국내여객)	5.233 E+09	8.2	4.7
14. 1.0톤 이하 트럭	1.169 E+10	8.9	2.2
15. 1.1-3.0톤 트럭	7.552 E+09	8.9	2.2
16. 3.1-5.0톤 트럭	7.723 E+09	8.9	2.2
17. 5.1-8.0톤 트럭	5.069 E+09	8.9	2.2
18. 8.1-12.0톤 트럭	1.537 E+10	8.9	2.2
19. 12.1톤 이상 트럭	1.889 E+09	8.9	2.2
20. 철도(화물)	1.425 E+10	8.9	2.2
21. 해상(화물)	3.597 E+10	3.7	2.9
22. 항공(국내화물)	9.400 E+07	8.2	4.7

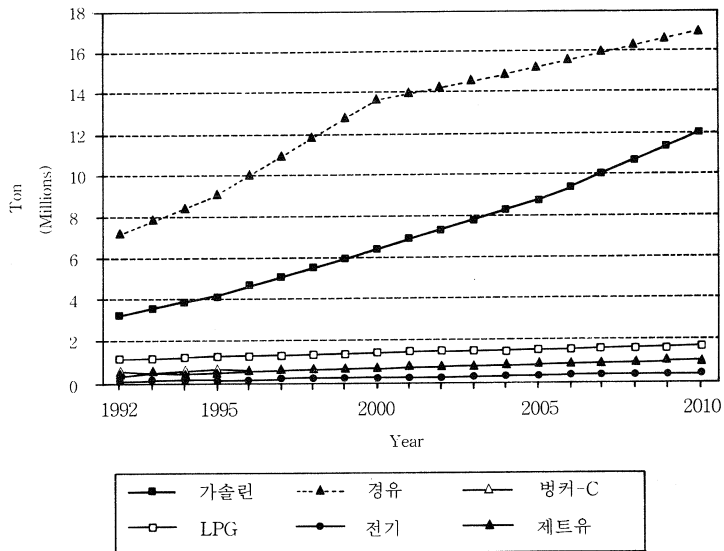
* 에너지서비스량 = 서비스기술별 에너지소비량 / 차량당 에너지소비량

3. 시뮬레이션 결과

(1) BAU하에서의 이산화탄소 배출량의 추이

1992년도 운송부문에서의 이산화탄소배출량은 12.5백만 탄소톤(TC)이었던 것이 2010년에는 32.8백만톤으로 약2.6배 증가할 것으로 전망된다. 특히, 가솔린자동차에 의한 이산화탄소의 배출증가가 현저할 것으로 전망된다. 가솔린자동차의 이산화탄소 배출량은 1992년 3.3백만 탄소톤에서 12.0백만톤으로 증가하여 약3.6배의 신장율을 보일 것으로 예측된다. 이러한 높은 증가는 에너지절약형 신형차 도입에 의한 이산화탄소의 배출량저감보다도 신규차량의 증가에 의한 배출량증가가 더 크기 때문이다. 또한 전력의 사용으로 인한 이산화탄소의 증가도 0.09백만톤에서 0.34백만톤으로 약 3.7배가 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 지하철의 증설에 따른 운송량의 증대에 기인하는 것으로 추정된다(〈그림 2〉 참조).

<그림 2> BAU시나리오하의 운송부문 이산화탄소배출량 전망



<표 6> BAU시나리오하에서의 차종별 점유율의 변화

		1992	1995	2000	2005	2010
1. 1500cc이하 자가용	기존형	100	43.6	0.0	0	0
	신형	0	56.4	100.0	100	100
	전기자동차	0	0.0	0.0	0	0
	에탄올	0	0.0	0.0	0	0
	메탄올	0	0.0	0.0	0	0
2. 1500-2000cc 자가용	기존형	100	43.6	0.0	0	0
	신형	0	56.4	100.0	100	100
3. 2001cc이상 자가용	기존형	100	47.6	0.0	0	0
	신형	0	52.4	100.0	100	100
4. 1500cc이하 택시	기존형	100	51.7	0.0	0	0
	신형	0	48.3	100.0	100	100
5. 1501cc이상 택시	기존형	100	51.7	0.0	0	0
	신형	0	48.3	100.0	100	100
6. 지프	기존형	100	48.3	0.0	0	0
	신형	0	51.7	100.0	100	100
7. 15인 이하 자가용버스	기존형	100	44.3	0.0	0	0
	신형	0	55.7	100.0	100	100
	메탄올	0	0.0	0.0	0	0
	전기자동차	0	0.0	0.0	0	0
9. 16인 이상 영업용버스	기존형	100	54.3	10.1	0	0
	신형	0	45.7	89.9	100	100
14. 1.0톤 이하 트럭	기존형	100	54.2	10.1	0	0
	신형	0	45.8	89.1	100	100
15. 1.1-3.0톤 트럭	기존형	100	54.2	10.1	0	0
	신형	0	45.8	89.9	100	100
16. 3.1-5.0톤 트럭	기존형	100	54.2	10.1	0	0
	신형	0	45.8	89.9	100	100
17. 5.1-8.0톤 트럭	기존형	100	54.2	10.1	0	0
	신형	0	45.8	89.9	100	100
18. 8.1-12.0톤 트럭	기존형	100	54.1	10.1	0	0
	신형	0	45.9	89.9	100	100
19. 12.1톤 이상 트럭	기존형	100	54.2	10.1	0	0
	신형	0	45.8	89.9	100	100

기술선택을 고려한 운송부문 이산화탄소 배출량 저감방안의 평가

전기자동차를 제외한 고효율의 소형승용차, 지프 및 소형버스는 탄소세가 부과되지 않더라도 에너지소비와 고정비용이 비교적 저렴하기 때문에 <표 6>에서 보여지는 것처럼 2000년에 100% 도입될 것으로 예측되었다. 2005년에는 전기자동차를 제외한 모든 차종의 신형차가 시장에 100% 도입될 것으로 전망된다. 전기자동차는 운행비용이 낮는데 반해 고정비용이 크므로 에너지효율이 높음에도 불구하고 시장에 도입되지 않을 것으로 예측된다. 15인승이하 버스, 1톤이하 트럭, 1.1-3.0톤 트럭, 3.1-5.0톤 트럭은 에너지소비량의 감소에 의한 비용절약액이 고정비용증가액보다 많으므로 BAU시나리오에서와 같은 형태의 선택구조를 가지고 있다.

(2) 탄소세 부과 및 보조금 지급의 효과

선진국과 비슷한 수준인 톤당 20,000원의 탄소세와 함께 톤당 50,000원 및 톤당 100,000원의 탄소세 부과시 이산화탄소배출량 저감효과를 추정하였다. 그러나 이같은 수준의 탄소세율하에서는 이산화탄소의 배출저감이 이뤄지지 않았다. 아울러 기술(자동차) 선택 구조에도 전혀 영향을 주지 못하였다. 이것은 톤당 100,000원의 탄소세도 차량의 구입비용과 연료비용에 비해 매우 낮은 수준이기 때문이다. 따라서 탄소세부과시의 시뮬레이션 결과는 여기에서 제시하지 않는다.

다음으로는 톤당 20,000원의 탄소세를 부과하고 이 세수입을 에너지 절약형 기술 도입을 촉진하기 위한 보조금으로 활용하는 방안을 설정해 시뮬레이션하였다. 즉 이산화탄소 배출량을 최소화할 수 있도록 탄소세수입 전액을 이산화탄소 저배출차량의, 특히 전기자동차의, 구입자에게 배분하는 것으로 가정하였다. 탄소세의 부과는 1996년부터 시작되고 보조금은 그 다음해인 1997년부터 지급되는 것으로 가정하였다.

탄소세는 2000년에는 4,295억원, 2010년에는 6,562억원이 징수될 것으로 예측되었다. 전기자동차가 2000년 이후에 도입가능하려면 1대당 약 1,360만원의 보조금이 필요하고, 2010년 톤당 2만원의 탄소세 수입으로는 <표 5>의 소형승용차 운송량 증가율과 사용연수 7년을 기준으로 하였을때 2010년에 필요로 하는 중소형승용차의 4.0%정도만이 도입가능하며, 그 결과 24만톤의 이산화탄소배출량이 저감될 수 있

다. 2000년도의 이산화탄소 배출저감량은 약 15만톤으로 추정되었으며 2000년에 필요로 하는 중소형승용차의 4.7%만이 전기자동차로 도입가능하다.

2010년에 도입되는 소형승용차 전체에 보조금을 부과해 전기자동차가 도입된다면 약 6.1백만톤의 이산화탄소배출량을 저감시킬 수 있고 이 수치는 2010년 총배출량의 약 18%에 해당된다(〈표 7〉). 그러나 이를 위해 필요한 보조금 규모는 약 17조 676억원이나 된다.

<표 7> 시나리오별 결과의 비교 (단위 : 백만 탄소톤)

시나리오	1992	2000	2010
1) Business-As-Usual	12.50	22.99	32.81
2) 20,000 원/TC 탄소세부과	12.50	22.99	32.81
3) 20,000 원/TC 탄소세부과시의 세수를 보조금으로 지급	12.50	22.84	32.57
4) 20,000 원/TC 탄소세부과 및 모든 소형전기승용차에 보조금 지급	12.50	19.77	26.76

(3) 승용차 10부제 시행의 효과

서울시는 1995년에 10부제 전후의 교통량, 주행속도 및 1일 연료소비량을 조사한 바 있는데, 이 조사에 따르면 10부제 실시에 의해서는 승용차의 1일 연료소비량은 22.79%가, 화물차·버스·지프는 7.24%가, 그리고 택시는 14.26%가 저감되는 것으로 추정되었다. 이 연료소비량의 감소는 차량운행대수의 감소와 주행속도의 증가에 의한 연비향상의 두가지 요인에 기인한다. 본 분석에서는 10부제 효과를 시뮬레이션하기 위하여 서울시의 조사자료를 기초로 하여 전국적으로 10부제를 실시하는 경우와 서울에서만 10부제를 실시하는 경우의 에너지소비량을 다음의 식에 의하여 산출하였다.

① 전국적으로 10부제 실시 :

$$\text{에너지소비량} = \text{각 서비스기술별 에너지소비량} \times (1 - \text{에너지별 에너지소비감소율})$$

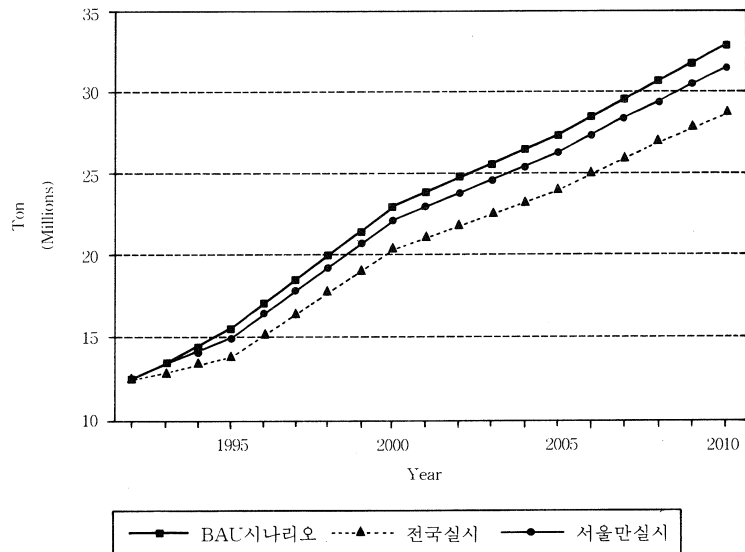
② 서울에서만 10부제 실시 :

기술선택을 고려한 운송부문 이산화탄소 배출량 저감방안의 평가

$$\text{에너지소비량} = \text{서울에서의 에너지소비량} \times (1 - \text{에너지별 에너지소비감소율}) \\ + \text{다른지역에서의 에너지소비량}$$

시뮬레이션 결과, 전국적으로 10부제를 실시하면, 10부제를 실시하지 않을 경우의 2010년도 이산화탄소 배출량 32.8백만 탄소톤의 약 12.6%인 4.1백만톤이 저감가능하며, 서울시만 실시하면 약 4.3%인 1.4백만톤의 저감이 가능한 것으로 예측되었다(〈그림 3〉 참조). 또한 에너지소비량이 증가함에 따라 10부제 시행으로 인한 이산화탄소 배출저감량도 증가하는 것으로 나타났다. 이중 BC유는 대부분이 해상운송에 사용되고, 켄트유는 항공운송에 사용되므로 승용차 10부제 시행에 의해서도 이 에너지원들에 의한 이산화탄소배출량은 변화가 없다. 그러나 경유차와 LPG택시의 이산화탄소 배출량저감은 주행속도의 증가에 의한 연비향상의 결과로 해석할 수 있다.

<그림 3> 승용차 10부제 운영의 효과



(4) 시뮬레이션 결과의 요약

이상의 시뮬레이션 결과는 제시된 이산화탄소배출량 저감방안별 배출저감량 측면에서 요약될 수 있다. <표 8>이 그 결과를 보여주고 있다. 분석된 방안 중에서는 탄소세를 부과하면서 모든 소형승용차 신규구입자에게 전기자동차를 구입할 수 있도록 보조금을 지급하는 방안이 이산화탄소 배출량을 가장 현저하게 줄 일 수 있다. 그러나 이 방안은 막대한 규모의 재원을 필요로 하고, 이러한 보조금 지급은 국제 무역의 차원에서도 권장되지 않는다. 따라서 분석된 방안중에서는 전국적인 승용차 10부제의 실시가 차선택으로 평가된다. 물론 보조금지급과 승용차 10부제의 전국적인 실시의 병행은 이산화탄소배출량 저감효과를 크게 증진시킬 수 있을 것이다.

<표 8> 시나리오별 이산화탄소 배출량 저감효과 (단위 : 백만 탄소톤)

시나리오	2000	2005	2010
1) 탄소톤당 20,000원의 탄소세 부과	0	0	0
2) 탄소톤당 20,000원의 탄소세부과와 탄소세수입에 의한 보조금 지급	0.15	0.18	0.24
3) 탄소톤당 20,000원의 탄소세 부과와 모든 소형승용차구입자에게 보조금 지급	3.22	4.19	6.05
4) 전국적인 승용차 10부제 실시	2.61	3.27	4.15
5) 서울에서의 승용차 10부제 실시	0.82	1.05	1.36

한편 탄소톤당 10만원 이하의 탄소세의 부과는 운송부분의 이산화탄소 배출량 저감에 기여하지 못하는 것으로 나타나고 있어 일반적으로 알려진 탄소세의 효과와는 괴리가 존재하고 있다. 그러나 이러한 괴리는 분석에 적용된 AIM/KOREA의 기술선택 특성에 기인하기도 한다. 즉 소형승용차 1대가 1년에 배출하는 이산화탄소량을 1 탄소톤 정도로 가정할 때, 탄소톤당 10만원의 탄소세는 차량의 구입과 연료비용에

비해 매우 낮은 수준이기 때문에 모형상의 기술선택구조변화에 큰 영향을 줄 수 없을 것이다. 결코 에너지원에 직접적으로 부과되는 탄소세의 효과가 없음을 의미하는 것이 아니라는 점을 주의해야 한다.

IV. 결 론

분석의 결과는 다음과 같이 크게 3가지로 요약할 수 있다.

첫째, 에너지절약형 신형차량이 탄소세의 부과없이도 2005년부터는 신규구입차량 전부를 대체할 것으로 전망된다. 이는 에너지절약형 차량 운행시 절약할 수 있는 연료비용이 에너지절약형 신형차량과 기존기술차량 간의 고정비용(차량가격) 차이 보다 더 크다는 것을 의미한다. 물론 이같은 결과는 소비자가 최소비용원칙에 준하여 차량을 선택한다는 가정아래서 성립된다.

둘째, 운송부문에서의 에너지 사용량이 급격히 증가하는 것으로 예측된 반면, 현재의 에너지절약기술수준하에서는 탄소톤당 10만원의 탄소세부과도 운송부문 에너지사용량과 이산화탄소배출량의 급격한 증가를 크게 둔화시키지 못할 것으로 판명되었다. 그러나 승용차10부제의 전국적인 시행은 운송부문의 이산화탄소배출량 저감에 어느정도 기여를 할 수 있는 것으로 분석되었다. 보다 획기적으로 이산화탄소 배출량을 줄이기 위해서는 차량증가의 억제, 전철 및 철도 등 대중교통수단의 운송량부담 확대, 소비자의 대형차 선호 동기를 감소시키고 소형이면서 에너지효율이 높은 차량을 선호하도록 유도하는 노력 등의 더 광범위한 접근이 이루어져야 한다.

셋째, 탄소톤당 10만원의 탄소세도 주어진 시나리오하에서는 이산화탄소 배출저감효과가 없지만, 탄소세부과에 의한 세수입을 에너지절약형 차량, 특히 전기자동차 구입자에게 보조금으로 지급하는 것이 운송부문에서 이산화탄소배출량을 줄일 수 있는 하나의 대안으로 평가되었다. 그러나 모든 신규차량구입자에게 보조금을 지급하기 위해서는 막대한 재원이 필요하며, 국제적으로 거론되고 있는 수준의 탄소세만으로는 보조금규모가 매우 부족하다. 더욱이 이같은 유형의 보조금지급은 오

염자부담원칙(polluter-pays-principle)에 위배된다. 따라서 보조금은 전기자동차나 이산화탄소 저배출차량 또는 이산화탄소배출저감 기기 및 장비의 연구개발에 지원토록 권장되어야 할 것이다.

한편, 제시된 분석결과가 앞으로 운송부문의 이산화탄소 배출저감을 위한 기초자료로 활용되기 위해서는 이 분석이 해결하지 못한 몇가지 제약점을 인지하는 것이 요구된다.

첫째, 시행된 시뮬레이션에서는 자료의 부족으로 인해 현재 개발중인 모든 종류의 에너지절약차종이나 이산화탄소 저배출차량을 대안으로 포함시키지 못하였다. 또한 일부 차종의 에너지효율성과 가격자료는 실제자료가 아니었다. 앞으로의 더 심층적인 분석에서는 이러한 자료의 제약을 보완하는 것이 필요하다.

둘째, 기술비용(차량가격)의 장기변화를 모형분석에 반영시키지 못하였다. 추후의 분석에서는 이 변화과정을 모형에 포함시켜야 할 것이다. 궁극적으로는 이용된 모형을 상방하향모형과 결합시킬 때 기술비용 뿐만 아니라 에너지비용까지 내생적으로 결정되도록 하는 것이 요구된다.

셋째, 비록 승용차 10부제가 분석에 포함되었으나 이 분석은 에너지감소량에 기초한 것이었다. 앞으로의 연구에서는 이에 대한 수정이 필요하다. 즉, 10부제 시행에 따른 차량주행속도의 증가와 대체운송수단의 이용증가 등의 여러 감소요인을 모형내에서 복합적으로 고려하는 과정이 필요하다. 또한 우리나라에서 시행되고 있는 버스전용차선제와 Car-pool제도에 대한 자료를 수집하여 모형분석을 시도하면 또 다른 정책대안의 평가가 이루어질 수 있을 것이다.

마지막으로 이번 분석에서는 이산화탄소 배출저감기술 또는 저공해차량 등의 연구개발에 대한 보조금 지급효과는 분석되지 않았다. 연구개발보조금 지급에 따른 기술선택의 변화는 매우 흥미있는 정책적 시사점을 제시할 수 있을 것이므로 앞으로 이에 대한 내용이 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 기아경제연구소, 「자동차 경제」, 1994.
2. 상공자원부, 「1993년도 에너지 총조사보고서」, 1993.
3. 서울시, 「승용차 10부제, 버스전용차선 시행 경제적 편익 분석결과」, 1995.
4. 에너지경제연구원, 「장기에너지수요 2030」, 1994.
5. 이회성 편저, 「기후변화협약과 한국경제」, 에너지 경제연구원, 1994.
6. 한국자동차공업협회, 「한국의 자동차 산업」, 1993.
7. 현대자동차, 「자동차산업」, 1993.
8. Fishbone, L. G., G. Giesen, G. Goldstein, H. A. Hymmen, K. J. Stocks, H. Vos, D. Wilde, R. Zolcher, C. Blazer and H. Abilock, *User's Guide for MARKAL(BNL/KJA Version 2.0) A Multiperiod, Linear Programming Model for Energy Systems Analysis*. BNL-51701, Brookhaven National Laboratory, USA and KFA, Germany, 1983.
9. Lazarus, M., et al., *Towards a Fossil Free Energy Future; The Next Energy Transition (A Technical Analysis for Greenpeace International)*, Stockholm Environment Institute - Boston Center, MA, 1993.
10. Morita, T., Y. Matsuoka, M. Kainuma, K. Kai, H. Harasawa and D. K. Lee, *Asian-Pacific Integrated Model for Evaluating Policy Options to Reduce Greenhouse Gas Emmissions and Global Warming Impacts*, National Institute for Environmental Studies of Japan, 1994.
11. Morita, T., Y. Matsuoka, M. Kainuma, D.K. Lee, K. Kai, K. Yamabe, M. Yoshida and G. Hibino, 1994, *An Energy-technology Model for Forecasting Carbon Dioxide Emission in Japan*, F-64-'94/NIES, National Institute for Environmental Studies of Japan, 1994.
12. Morita, T., Y. Matsuoka, M. Kainuma, K. Kai, H. Harasawa and D. K. Lee, "An Energy Technology Model for Forecasting Carbon Dioxide Emissions in Japan," National Institute for Environmental Studies of Japan, 1995.