

수송부문 국가 온실가스 배출량 산정의 정확도 제고 방안

Accuracy Improvement of National Inventory Report in Transport Sector



이현주

I. 서론

온실가스 배출량 산정은 IPCC 가이드라인 및 국가 고유방법론을 사용할 수 있으며, 현재 1996 GL과 GPG 2000을 사용하고 있다. 1996 GL과 GPG 2000 및 GPG 2003을 통합·보완하여 2006 GL이 발표되었으며, 향후 기후변화협약에 의해 2006 GL을 기준으로 국가온실가스통계가 작성될 전망이다.

본 연구에서는 에너지 소비량을 이용하여 온실가스 배출량 산정의 정확도를 제고하기 위하여 기존 통계자료의 개선방안을 제시하고자 한다.

II. 수송부문 적용 가능한 산정방법론

기존 배출통계는 배출계수 및 활동자료 가용가능성에 따라 상위방법론 적용이 가능하지만, 이동연소 전 부문을 Tier 3 방법론을 적용하기 위하여 배출계수를 개발하고, 통계체계를 구축하는 것은

바람직하지 않은 것으로 판단된다. 주요 배출원 분석, 경제적 비용, 자료 활용성 등의 측면에서 주요 배출원인 도로는 Tier 3, 활동자료 조사가 비교적 용이한 항공, 철도, 해운은 Tier 2 방법론을 적용할 것을 제안한다(〈표 1〉).

III. 배출계수 개선 방안

현재 이동연소 부문의 온실가스 통계는 1996 GL의 기본 배출계수를 적용하고 있으며, 상위방법론을 적용하기 위해서는 국가고유 배출계수가 필요하다. 우리나라에서 소비되는 연료의 특성을 반영한 CO₂ 배출계수가 개발 및 고시되어야 하며, non-CO₂는 연료뿐만 아니라 이동수단별 특성을 반영한 배출계수의 개발이 필요하다. 단, 항공은 국제민간항공기구(ICAO)에서 개발한 항공기종별 배출계수의 적용이 가능하다.

IPCC GL은 국가고유 배출계수가 없을 경우에 사용할 수 있는 기본 배출계수를 제공하고 있지만,

이현주 : 교통안전공단 안전연구처 책임연구원, leehj@ts2020.kr, 직장전화:031-362-3704, 직장팩스:031-481-0491

〈표 1〉 이동연소 부문 국내 적용 가능한 산정방법론

배출원		산정방법론	국내 현황
민간항공	국제항공	- Tier 1	- 현재 수준 유지
	국내항공	- Tier 2	- 배출계수: IPCC GL - 활동자료: 국내항공운송업체 자료
도로수송		- CO ₂ : Tier 2 - non-CO ₂ : Tier 3	- 배출계수 · CO ₂ : 국가고유 배출계수 · non-CO ₂ : 교통안전공단 개발 중 - 활동자료 · CO ₂ : 국가에너지 통계 · non-CO ₂ : 교통안전공단 주행거리 조사자료
철도		- Tier 2	- 배출계수: 국가고유 배출계수 - 활동자료: 국내철도운영기관 자료
해운		- CO ₂ : Tier 2 - non-CO ₂ : Tier 1	- 배출계수: 국가고유 배출계수 - 활동자료: 국가에너지 통계
비도로		- Tier 1	- 배출계수: 기본배출계수 - 활동자료: 국가에너지 통계

〈표 2〉 이동연소 부문 에너지통계 분류체계

대분류	중분류	소분류	설명
수송	철도	철도운수업	도시간 철도운송업
	도로	도로여객운수업	구역내 철도운송업, 시외버스운송업, 시내버스운송업 등
		기타여객육상운수업	택시운송업, 전세버스운송업, 기타 비노선여객육상운송업
		도로화물운수업	노선화물운송업, 컨테이너화물운송업, 용달운송업, 역화물운송업, 기타도로화물운송업
		파이프라인운송업	파이프라인운송업
	육상운수보조 서비스업	터미널시설 운영업, 유로도로운영업, 주차장운영업 등	
	해운	내국적연안·내륙항로 수송업	내륙수상 여객 및 화물운송업
		내국적외항수송업	국내항로 여객 및 화물운송업
		외국적수상수송업	외국항로 여객 및 화물운송업
		수상운수보조서비스업	해상터미널 시설운영업, 수로 안내업, 선박 청소업, 선박 구난업 등
	항공	내국적내항공운수업	국내 항공여객 및 화물운송업
		내국적외항공운수업	국제 항공여객 및 화물운송업
		외국적항공운수업	외국적 국내외항공여객 및 화물운수업
항공운수보조서비스업		항공터미널시설 운영업, 항공기 지상관리서비스업 등	
수출현황	국제병커링	외국적 항공기 또는 선박에 필요한 제품을 판매한 양	

주요 배출원에 대해서는 상위방법론(tier 2 혹은 tier 3)의 사용을 권고한다. 따라서 국가고유 배출계수 개발에 앞서, 주요 배출원 및 흡수원 분석에 따라 국가고유 배출계수의 개발이 필요한 부문과 그렇지 않은 부문을 구분하여 비용 및 활용가치를 비교하여 배출계수 범위를 규정하는 것이 필요하다.

2008년도 우리나라 온실가스 인벤토리 주요 배

출원 및 흡수원 분석(LUCF 포함)에 따르면, 이동연소 부문은 도로수송/경유, 도로수송/휘발유, 도로수송/LPG가 주요 배출원에 포함된다. 해당 배출원의 상위방법론을 적용하기 위해서는 연료별 CO₂ 배출계수와 연료별, 차종별, 배출제어기술별 non - CO₂ 배출계수가 필요하다.

국립환경과학원에서 차종별 CO₂, CH₄, N₂O

배출계수를 개발한 바 있으며, 이를 추가 및 보완하기 위하여 현재 교통안전공단에서 배출계수 개발시험을 진행하고 있다. 또한, 이동연소에 사용되는 연료를 중심으로 Tier 2 수준의 CO₂ 배출계수를 개발하고 있다.

Ⅳ. 활동자료 개선 방안

활동자료는 국가공식 에너지통계를 사용하는 것이 우수실행지침이지만, 온실가스와 에너지 통계의 구축목적이 상이함에 따라 분류상 의미 차이가 발생한다. 예를 들어, 에너지통계에서 도로 부문의 연료소비량은 도로여객운수업, 도로화물운수업 등 도로수송업으로 분류되는 업체가 소비한 연료량을 의미한다(〈표 2〉). 따라서 수송, 난방, 조명 등의 목적으로 해당업체에서 사용하는 모든 연료량을 포함하지만, 배출통계는 도로수송수단에서 소비하는 연료연소에 의한 배출량만을 포함해야 한다. 또한, 에너지통계와 배출통계에서 사용하는 국제병커링에 대한 정의도 상이하다. 에너지통계에서는 국제병커링이 외국적 항공기 또는 선박이 사용한

연료량을 의미하지만, IPCC GL은 국적에 관계없이 항공 및 해운의 국제 운항에 사용된 연료량을 국제병커링으로 정의한다. 따라서 온실가스 배출통계를 작성할 때, IPCC GL에 따라 에너지통계의 재분류가 필요하다(〈표 3〉).

〈표 3〉과 같이 이동연소 부문을 배출원에 따라 에너지통계를 재분류했지만, IPCC GL에 따라 이동연소에 의한 연료사용량만을 분류하는 것에는 한계가 있다. 이는 에너지통계가 산업분류 기준으로 분류되고, 공급자의 석유제품 판매보고를 기초로 작성되어 최종소비자의 용도에 따른 분류가 어렵기 때문이다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 기존 에너지소비통계가 연료의 용도에 따라 세부적으로 제공되어야 한다(〈표 4〉). 예를 들어, 기존의 산업분류체계의 대·중·소분류에서 고정 및 이동연소를 분류하는 세분류와 용도를 분류하는 세세분류 항목을 추가한다면 에너지부문에서 이동연소와 고정연소에 의한 연료소비량을 정확하게 분류할 수 있을 것으로 판단된다.

배출통계에서 활동자료는 인벤토리 전 기간에 대해 일관성있게 적용되어야 한다. 이러한 원칙에

〈표 3〉 이동연소 부문 배출원에 따른 에너지통계 재분류

배출통계	에너지통계(소분류)
민간항공(1.A.3.a)	-
국제항공(1.A.3.a.i)	내국적외항공운수업, 외국적항공운수업, 국제병커링
국내항공(1.A.3.a.ii)	내국적내항공운수업
도로(1.A.3.b)	도로여객운수업, 기타여객육상운수업, 도로화물운수업
철도(1.A.3.c)	철도운수업
해운(1.A.3.d)	-
국제해운(1.A.3.d.i)	내국적외항수송업, 외국적수상수송업, 국제병커링
국내해운(1.A.3.d.ii)	내국적연안·내륙항로 수송업, 수상운수보조서비스업
기타수송(1.A.3.e)	파이프라인운송업, 육상운수보조서비스업, 항공운수보조서비스업

〈표 4〉 이동연소 부문 에너지통계 분류체계 조사항목 추가

대분류	중분류	소분류	세분류	세세분류
산업대분류	산업중분류	산업소분류	고정연소	-
			이동연소	항공
				도로
				철도
				해운
기타				

따라서 국가 에너지통계를 기준년도(1990년)도부터 일관성있게 적용하되, 통계의 조사 및 처리 과정 등에서 발생할 수 있는 오류가 고려되어야 한다. 국가 에너지통계는 공급자 중심의 통계로서 판매자가 통계수치를 보고하고, 산업분류는 판매자가 보고한 거래처의 업종을 기준으로 한다.

따라서 판매자의 잘못된 판단 혹은 보고가 통계의 불확도를 높일 뿐만 아니라, 시계열 일관성을 저해한다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 통계를 보고하는 판매자를 대상으로 교육을 정기적으로 시행하고, 조사 및 보고 자료의 검증을 수행해야 한다.

국가 에너지통계를 이용한 배출통계는 Tier 1 접근법이며, 상위접근법을 적용하기 위해서는 이 동연소 부문별로 구체적인 활동자료가 필요하다.

1) 민간항공

민간항공 부문은 배출통계 작성시 국내 항공과 국제 항공이 별도로 작성되기 때문에, 국적에 관계없이 국내 및 국제 항공으로 활동자료를 구분해야 한다. 내국적 항공기의 배출량은 국내 항공업체 및 공항을 대상으로 항공기종별 운항자료(LTO 횟수, 연료소비량)를 조사하여 산정할 수 있지만, 외국적 항공기의 운항자료는 상위방법론의 적용이 쉽지 않을 것으로 판단된다. 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)에서 민간항공기에 관한 통계를 구축하고 있지만, 일부 기관에서는 이러한 자료수집에 동참하지 않는다.

2) 도로

Tier 2 접근법을 적용하기 위하여 이산화탄소는 Tier 1에 적용된 활동자료를 동일하게 적용할 수 있지만, 메탄과 아산화질소는 연료별, 차종별,

배출제어기술별 연료소비량 자료가 필요하다. 지식경제부에서 3년마다 시행하는 에너지총조사는 육상운수업과 자가용 차량의 연료소비량 자료를 제공하지만, 조사기간 외의 연도에 대해서는 통계적 추정이 필요하다.

해당 통계가 없을 경우, IPCC GL은 주행거리 자료를 이용하여 차종별 연료소비량을 추정하는 방법을 우수실행지침으로 제공한다(식(1)).

차종별 연료소비량 추정 (1)

$$Fuel = \sum_{i,j,t} [Vehicles_{i,j,t} \cdot Distance_{i,j,t} \cdot Consumption_{i,j,t}]$$

여기서,

- Fuel : 연료소비량 [ℓ]
- Vehicles : 차량 등록대수
- Distance : 주행거리 [km]
- Consumption : 단위 주행거리당 연료소비량(ℓ/km)
- i : 차량종류(승용, 소형트럭 등)
- j : 연료종류(휘발유, 경유, 천연가스, LPG 등)
- t : 도로종류(도시, 지방)

차량종류에 따라 연료소비량을 추정하는데, 차량의 분류 기준이 우리나라와 차이가 있다(〈표 5〉). IPCC GL은 각국의 자동차분류 기준이 상이한 점을 감안하여 각국의 여건에 따라 다르게 적용할 수 있도록 하고 있다.

차종별 연료소비량을 추정하기 위하여 국토해양부의 자동차등록현황, 교통안전공단의 주행거리 실태조사, 지식경제부의 국가온실가스배출량 분석 보고서를 이용할 수 있다. 첫째, 자동차등록현황은 사용연료에 따라 승용, 승합, 화물, 특수 차량의

〈표 5〉 자동차분류 기준 비교

차종	2006 IPCC GL	국내분류 기준(자동차관리법)
승용	12인승 이하	10인 이하
소형트럭	총중량 3,500~3,900kg 이하	총중량 3.5톤 이하
중형트럭, 버스	총중량 3,500~3,900kg 이상 12인승 이상 버스	총중량 3.5톤 초과 11인 이상
오토바이	중량 680kg 이하, 바퀴3개 이하	2인승 이하, 이륜차(50cc미만 제외)

〈표 6〉 자동차 정기검사 주기

자동차 구분		검사유효기간
비사업용 승용자동차		2년(최초검사 차량등록 후 4년)
사업용 승용자동차		1년(최초검사 차량등록 후 2년)
경·소형 승합 및 화물자동차		1년
사업용 대형화물자동차	차령 2년 이하	1년
	차령 2년 초과	6개월
기타	차령 5년 이하	1년
	차령 5년 초과	6개월

자료: 자동차관리법 시행규칙

등록통계와 배기량별(50cc 이상, 100cc 초과, 260cc 초과) 이륜차 등록현황을 파악할 수 있다. 현재 50cc 미만 이륜차에 대한 통계가 없으며, 이에 대한 조사가 필요하다.

둘째, 자동차 주행거리는 교통안전공단의 검사 차량을 대상으로 주행기록계의 수치를 통계 처리한 자료를 이용할 수 있다. 해당 통계는 실측된 자료로서 통계적으로 정확한 수치를 반영하고 표본수(전체 자동차등록대수의 30%정도)도 충분하지만, 다음과 같은 한계가 있다.

해당년도에 자동차 정기검사를 받은 자동차를 대상으로 조사하므로 주행거리는 직전 검사일부터 당일까지의 평균주행거리를 반영한다. 예를 들어, 비사업용 승용자동차는 2년 전 검사일로부터 검사 당일까지 평균주행거리, 사업용 승용차는 1년 전 검사일로부터 검사당일까지 평균주행거리가 검사 년도의 주행거리로 나타나게 된다. 또한, 이륜차와 같이 검사대상이 아닌 차량은 통계 표본에서 누락되므로, 해당 차량에 대한 조사가 진행되어야 한다. 사업용 차량의 경우, 교통안전법 시행령 개정에 따라 2011년 1월 1일 이후 신규로 등록하는 사업용 차량은 의무적으로 디지털 운행기록계를 장착하여야 한다. 또한, 기존에 등록된 버스·일반택시는 2012년까지, 개인택시·화물자동차는 2013년까지 디지털 운행기록계를 장착하여야 한다. 따라서 향후 사업용 차량에 대해서는 디지털 운행기록계의 주행거리 자료도 이용 가능할 것으로 판단된다.

셋째, 주행거리당 연료소비량은 에너지관리공단

에서 작성한 국가온실가스배출량 분석보고서의 자가용·운수업부문을 활용할 수 있다. 동 보고서에서 2009년 기준 차종별 주행연비를 이용할 수 있지만, 조사가 3년 주기로 시행되므로 3년 단위로 주행연비를 적용하거나 연도별 추이를 추정하는 방법이 있다.

도로 부문에서 연료·차종·배출제어기술·운행조건에 따른 주행거리 자료가 있다면 Tier 3 접근법을 적용할 수 있으며, 이는 앞서 언급한 교통안전공단의 주행거리 자료를 이용할 수 있다. 이륜차와 4년 미만 사업용 및 2년 미만 비사업용 승용차에 대한 조사가 보완되어야 하고, 연료·차종·배출제어기술에 따른 주행거리 통계가 필요하다. 자동차 등록정보를 이용하여 연료·차종에 따른 주행거리 정보는 이용 가능하지만, 배출제어기술에 따른 자동차분류는 향후 개선되어야 할 사항이다. 또한, 엔진 예열단계(cold start)와 관련된 통계가 없는 상태이므로, 이를 확보하기 위한 조사방법론 개발과 통계구축이 필요하다. 물론, 활동자료에 적용할 수 있는 배출계수 개발도 함께 진행되어야 한다.

이 외에도 2006 IPCC 가이드라인을 적용하기 위해서 촉매변환기의 요소첨가제사용에 의한 CO₂ 배출량(1A3bvi)을 추정할 수 있어야 한다. 이는 요소첨가제 이용차량 대수 및 비중, 요소첨가제 판매량, 요소첨가제 내 요소 질량비율 자료가 필요하다(식 3-2). 현재 자동차 제원표나 제작증에는 요소첨가제 사용여부가 기록되지 않으므로 향후 이에 대한 항목을 추가할 필요가 있다.

3) 철도

Tier 2 방법론은 기관차별 연료소비량(Tier 2), Tier 3 방법론은 기관차별 등록대수, 연간사용시간, 평균정격출력, 부하율이 활동자료로 필요하다. 기관차별 활동자료는 국내 철도운영기관을 대상으로 조사가 가능할 것으로 판단된다. 2000년도 이후 최근 년도를 중심으로 해당통계를 조사할 수 있지만, 기준년도(1990년)부터의 자료는 확보가 불가능하다. Tier 3 방법론의 활동자료는 자료가 방대하고, 새로운 통계조사 및 처리에 따른 많은 노력과 비용이 필요한 반면, 그에 따른 이점은 크지 않을 것으로 예상된다. 따라서 Tier 2 수준의 통계구축이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 해운

해운 부문은 선박 혹은 엔진종류에 따른 연료소비량 자료가 필요하며, 국내 해운의 배출은 국제해운과 구분하여 작성된다. 우리나라는 선박안전법에 따라 선박소유주가 정기적으로 선박검사를 받아야 하며, 이 업무를 한국선급과 선박안전기술공단에서 수행하고 있다. 검사기관에서 보유한 선박제원 자료와 선박에 대한 유가보조금 및 면세유 자료를 활용한다면 선박종류에 따른 연료소비량의 유추가 가능할 것으로 판단된다.

V. 결론

본 연구는 수송부문 온실가스 배출량 산정에 대해 정확성을 제고하기 위하여 활동도 자료인 기존 통계자료의 문제점과 개선방안을 검토하였다.

기존의 에너지관련 통계자료를 이용하여 배출량을 산정하는데는 큰 어려움이 없을 것으로 판단되지만 기존 통계의 문제점을 수정 및 보완할 필요가 있고, 상위방법론을 이용하기 위하여 새로운 통계개발도 필요하다. Tier 1 수준 배출량 산정에 적용되는 국가 에너지 통계에서 교통수단에만 공급된 에너지사용량의 분류가 가능하도록 통계의 수

정 및 보완이 필요하다. 새로 개발이 필요한 통계는 이륜차 주행거리, 요소첨가제 공급량과 이를 사용하는 자동차등록대수, 배출제어장치에 따른 자동차등록대수 등이 있다.

이동연소 전 부문을 Tier 3 방법론을 적용하기 위하여 배출계수를 개발하고, 통계체계를 구축하는 것은 바람직하지 않은 것으로 판단된다. 따라서 주요 배출원 분석, 경제적 비용, 자료 활용성 등의 측면에서 주요 배출원인 도로는 Tier 3, 활동자료 조사가 비교적 용이한 항공, 철도, 해운은 Tier 2 방법론을 적용할 것을 제안한다. 현재 항공 부문은 Tier 2 적용이 가능하며, 철도와 해운 부문은 국내 운송업체와 통계자료를 활용하여 기관차·선종에 따른 연료사용량 통계조사가 가능할 것으로 판단된다. 도로 부문은 교통안전공단의 주행거리 조사 자료에서 이륜차 부문만 보완한다면 적용이 가능하며, 향후 사업용 차량에 대한 디지털 운행기록계 장착이 의무화되면서 해당 차량의 주행거리 조사가 체계화될 전망이다.

우리나라 고유 배출계수가 적용된다면 CO₂ 배출량은 Tier 2 수준으로 산정이 가능하며, non-CO₂는 상위방법론 적용을 위하여 교통수단별 특성에 맞는 세부 배출계수 개발이 필요하다. IPCC GL은 국가고유 배출계수가 없을 경우에 사용할 수 있는 기본 배출계수를 제공하고 있지만, 주요 배출원에 대해서는 상위방법론(tier 2 혹은 tier 3)의 사용을 권고한다. 2008년도 우리나라 온실가스 인벤토리 주요 배출원 및 흡수원 분석(LUCF 포함)에 따르면, 이동연소 부문은 도로수송/경유, 도로수송/휘발유, 도로수송/LPG가 주요 배출원에 포함된다. 해당 배출원의 상위방법론을 적용하기 위해서는 연료별 CO₂ 배출계수와 연료별, 차종별, 배출제어기술별 non-CO₂ 배출계수가 필요하다. 국립환경과학원에서 차종별 CO₂, CH₄, N₂O 배출계수를 개발한 바 있으며, 이를 추가 및 보완하기 위하여 현재 교통안전공단에서 배출계수 개발시험을 진행하고 있다. 또한, 이동연소에 사용되는 연료를 중심으로 Tier 2 수준의 CO₂

배출계수를 개발하고 있다.

국가온실가스 배출통계를 구축하기 위하여 기존의 통계를 모두 새롭게 구축하고, 전 부문에 대해 상위방법론의 배출계수를 개발하는 것은 바람직하지 않다. 우리나라의 주요 배출원 및 흡수원, 활동자료 및 배출계수의 조사가 용이한 부문을 중심으로 상위방법론을 적용하는 것을 제안한다. 또한, 기존의 통계를 최대한 활용하여 비용 효율성을 극대화하고, 상위방법론을 이용하여 통계 활용성을 제고할 필요가 있다.

참고문헌

1. 국무조정실(2006), “국가 온실가스배출통계 D/B구축을 위한 국가전략로드맵 수립 및 최적 운영방안 연구”.
2. 국립환경과학원(2007), “수송부문 온실가스 국가배출통계 연구”.
3. 에너지경제연구원(2004), “기후변화협약 제3차 국가보고서 작성을 위한 기반구축연구(제1차년도)-폐기물부문 온실가스 배출통계체계 개선 및 보완방안 연구”.
4. 에너지경제연구원(2005), “기후변화협약 대응을 위한 중장기 정책 및 전략수립에 관한 연구(제2차년도)-온실가스 인벤토리 및 통계 작성체계 개선방안”.
5. 에너지경제연구원(2006a), “기후변화협약 대응을 위한 중장기 정책 및 전략수립에 관한 연구(제2차년도)-국가 온실가스 인벤토리 시스템 구축방안 연구”.
6. 에너지경제연구원(2006b), “국가 온실가스 배출원/흡수원 평가”.
7. 에너지경제연구원(2006c), “국가에너지통계 개편방안 연구”.
8. 에너지경제연구원(2007), “에너지통계연보”.
9. 에너지경제연구원(2008), “기후변화협약 대응 국가온실가스 IPCC 신규 가이드라인 적용을 위한 기획연구”
10. 석유류수급통계(2009), “석유류수급통계”
11. 지식경제부·에너지경제연구원(2009), “에너지통계연보”
12. 환경부·온실가스종합정보센터(2010), “1990 - 2008년 국가온실가스 인벤토리 보고서”
13. EEA(2009), EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook
14. IPCC(1996), “Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual”.
15. IPCC(2000), “IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories”.
16. IPCC(2006), “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 1. General Guidance and Reporting”.
17. IPCC(2006), “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2. Energy”.