



제2장

연료연소 부문 기본접근법과 부문접근법의 배출량 차이 축소 방안

이해속

제1절 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

인류는 문명의 시작부터 에너지를 필요로 했으며 문명이 발달할수록 필요한 에너지는 더욱 많아져 갔다. 이로 인해 인류가 손쉽게 얻을 수 있는 화석연료는 산업혁명 이후 무분별하게 소비되었고 그 결과 지구온난화라는 기후 시스템의 변화로 인한 이상기후, 자연재해 등으로 인류의 목숨까지 위협받게 되는 상황에 처해졌다.

이에 따라 세계 정상은 1992년 지구온난화 방지를 위해 온실가스의 인위적 방출을 규제하기 위한 ‘기후변화협약(UNFCCC)’¹⁾을 채택하고 1994년 세계 154개국이 비준하면서 기후변화협약이 발효되었다.

선진국은 과거로부터 국가발전을 이뤄오면서 대기 중으로 온실가스를 배출한 역사적 책임이 있으므로 선도적 역할을 수행하고, 개발도상국은 현재의 개발상황에 대한 특수 사정을 배려하되 공동의 차별화된 책임과 능력에 입각한 의무부담이 부여되었다. 역사적 책임을 이유로 부속서 I(Annex I)²⁾ 국가는 온실가스 배출량을 1990년 수준으로 감축하기

1) 유엔기후변화협약(The United Nations Framework Convention on Climate Change): UN 주관으로 1992년 브라질 리우데자네이로에서 열린 지구정상회담에서 채택한 국제연합 기본협약
2) 부속서 I(Annex I): 기후변화협약 체결당시 OECD 24개국, EU, 동구권 경제전환국 등 41개국으로 구성

위하여 노력하도록 규정하였으며, 특히 부속서Ⅱ(Annex Ⅱ)³⁾ 국가는 감축노력과 함께 온실가스 감축을 위해 개발도상국에 대한 재정지원 및 기술이전의 의무를 가진다.

우리나라는 1993년 12월 기후변화협약에 가입하고 2002년 10월에 교토의정서에 비준하면서 개발도상국 지위의 비부속서Ⅰ(Non-Annex Ⅰ)⁴⁾ 국가로 지정되었으며, 온실가스 감축의무는 없지만, 국가 온실가스 감축 목표를 2020년 배출전망치(BAU: Business as usual)⁵⁾ 대비 30%⁶⁾로 설정하고 감축의무 대상국가로의 편입에 대비하고 있다.

기후변화협약 가입 당사국은 아래 표에서와 같은 보고서 제출의무가 있다.

〈표 2-1〉 기후변화협약 제출 보고서

구 분	제출 국가	내 용
국가보고서 (NC: National Communication)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 부속서Ⅰ ▪ 비부속서Ⅰ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 세부적인 측정방식이 아니라 온실가스와 관련 있는 국가환경에 대해 과거추세 등을 거시적으로 파악 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 국가상황, 취약성평가, 재정지원 및 기술이전, 교육, 훈련, 공공인식 등에 대한 전반적인 정보가 포함됨
국가인벤토리보고서 (NIR: National Inventory Report)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 부속서Ⅰ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 기후변화협약에서 규정한 배출원 목록에 따라, 6대 온실가스 및 간접온실가스의 배출량 및 흡수량에 대한 산정 방법론 및 산정에 필요한 기초자료 등을 서술한 온실가스 통계 분야에 대한 전문적 국가 보고서
공통보고양식 (CRF: Common Reporting Format)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 부속서Ⅰ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 온실가스 배출량과 흡수량 및 기타 다른 관련 자료를 보고하기 위한 표준화된 양식 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 부속서Ⅰ 국가 사이에서 해당연도의 인벤토리와 추세의 비교가 용이하도록 양적 자료를 보고하기 위해 만들어짐

3) 부속서Ⅱ(Annex Ⅱ): 부속서Ⅰ 국가에서 동구권 경제전환국을 제외한 OECD 24개국과 EU
 4) 비부속서Ⅰ(Non-Annex Ⅰ): 부속서Ⅰ 국가의 상대적인 개념으로 OECD 국가 중 한국, 멕시코 및 그 외 브라질, 아르헨티나 등이 있음
 5) 배출전망치(Business as usual): 특별한 조치를 취하지 않을 경우 배출될 것으로 예상되는 미래 전망치로, 2020년 BAU라고 하면 인위적으로 감축노력을 하지 않을 경우 현 추세로 볼 때 2020년 배출될 온실가스의 총량을 추정할 것을 말한다.
 6) 저탄소 녹색성장 기본법 시행령 제25조(온실가스 감축 국가목표 설정·관리) ① 온실가스 감축목표는 2020년의 국가총배출량을 2020년의 온실가스 배출전망치 대비 100분의 30까지 감축하는 것으로 한다.



우리나라는 부속서 I 국가는 아니지만 의무감축 대상국으로의 진입에 대비 국가 인벤토리 보고서(NIR)를 매년 작성 공표하고 있으며, 2014년 현재 2011년 기준 온실가스 배출량까지 공표되었다.

온실가스 배출량은 에너지, 산업공정, 농업, LULUCF⁷⁾, 폐기물 등 5개 분야에 대해 배출량 및 흡수량을 산정하고 있으며, 에너지 부문의 배출량이 국가 총배출량의 85.7%를 차지하며 매년 증가하고 있는 추세이다.

에너지 부문의 온실가스 배출량은 대부분 화석연료의 연소에 의해 주로 구성된다. 에너지 분야의 화석연료 연소에 의한 이산화탄소 배출량은 우리나라뿐만 아니라 대부분의 국가에서 국가온실가스 총배출량의 85~90%를 차지한다.

우리나라의 에너지 분야 온실가스 배출통계는 1996 IPCC GL의 부문접근법(Sectoral approach)에 기초하여 산정하고 있다. 이 방법론은 연료가 사용되는 특정 부문을 에너지 산업, 제조업 및 건설업, 수송, 가정, 상업부문 등으로 구분하여 각 부문의 소비량 자료를 이용하여 배출량을 산정한다.

에너지 분야의 화석연료 연소로부터 이산화탄소 배출량을 산정하는 방법에는 부문 접근법 외에 기본접근법(Reference approach)이 있다. 기본접근법은 연료의 생산, 대외거래, 연료의 재고량 변동에 대한 공급부문 통계자료와 비에너지 목적을 위해 이용된 연료 소비량 자료를 이용하여 배출량을 구한다.

두 접근법은 서로 다른 통계자료를 이용한다는 측면에서 상호 독립적이기 때문에 기본 접근법은 QA/QC⁸⁾의 한 방법인 부문접근법의 교차검사(verification cross-check)로 이용되고 있으며, 기후변화협약 보고지침(UNFCCC Reporting Guidelines on Annual Inventories)에서도 에너지 연료연소 부문에서 발생하는 이산화탄소 배출량에 대해서는 기본접근법(Reference approach)과 부문접근법(Sectoral approach)의 두 방법론 간의 산정치를 상호 비교·보고하도록 하고 있다.

두 접근법 간의 비교는 변환 전후의 탄소가 보존된다는 가정에서 출발한다. 예를 들면 원유에 들어있는 탄소량과 원유를 정제하여 생산한 파생제품(derived products)의 총 탄소 함량은 동일하다는 것이다. 이를 근거로, 두 접근법으로 산정한 배출량을 비교했을 때 이론적으로는 같은 결과 값을 나타내어야 하나 실제로는 작은 차이(5% 이하⁹⁾)가 발생한다.

7) LULUCF: Land Use, Land Use Change, Forestry(토지이용, 토지용도변경, 산림)

8) QA/QC: 품질보증(Quality Assurance), 품질관리(Quality Control)

9) 두 접근법으로 CO₂ 배출을 계산하면 서로 다른 값을 나타낼 수 있다. 관련된 총 탄소 흐름을 비교할 때, 두 가지 접근법 간의 차이는 상대적으로 작다(5% 이하). 탈루성 배출, 소비부문 재고변화, 통계적 오차 등이 제한적인 경우 기본접근법과 부문접근법은 비슷한 결과를 나타낼 것이다(2006 IPCC 가이드라인, 제2권 제6장(기본접근법))

검증(verification)

31. 부속서 I 국가가 검증을 하기 위해서는 1996 IPCC GL에 따라 연료 연소 부문에서 발생하는 국가 이산화탄소 배출량 산정치와 1996 IPCC GL 기본 접근법으로 산정한 산정치와 비교하여 CRF와 NIR에 보고한다. 부속서 I 국가는 국가적 차원으로 수행된 인벤토리에 대해 전문가 상호 검토(peer review)보고서를 제출할 것이 권고된다.

[인벤토리에 대한 UNFCCC 보고 지침]

출처: 국가온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(2014년 개정)

UNFCCC 보고지침에 따라 에너지 연료연소 부문에서 기본접근법과 부문접근법에 의한 에너지소비량과 이산화탄소 배출량을 상호 비교한 결과 고체연료와 기체연료의 에너지소비량과 이산화탄소 배출량은 5% 이내로 두 접근법 간의 차이가 거의 없으나, 액체연료의 경우 에너지소비량은 12.24%, 이산화탄소 배출량은 19.44%로 두 접근법의 차이가 상당한 것으로 나타나고 있다.

본 연구에서는 에너지 연료연소 부문의 기본접근법과 부문접근법의 작성 방법론을 살펴보고, 관련자료 검토를 통해 두 방법론 간의 에너지소비량 및 이산화탄소 배출량 차이의 원인을 밝혀보고자 한다.

2. 주요 연구 내용

에너지 연료연소 부문의 QA/QC 차원에서 실시하는 기본접근법과 부문접근법의 두 방법론 간의 에너지소비량과 이산화탄소 배출량의 차이를 축소하는 방안을 연구하기 위해 다음과 같은 절차로 진행하고자 한다.

첫째로는 기본접근법과 부문접근법의 방법론에 대해 살펴보고자 한다.

온실가스 배출통계 산정의 적정성을 확인하기 위해서는 두 접근법의 기본 작성 방법론의 이해가 무엇보다 우선이다.

그 다음은 다른 나라의 온실가스 배출통계를 살펴보고자 한다. 기본접근법과 부문접근법의 차이 축소 방안을 위한 국내의 연구사례가 없고 해외 연구사례 또한 찾아볼 수 없었다. 이에 다른 나라의 국가 인벤토리 보고서를 통해 기본접근법과 부문접근법의 비교 사례를 검토하고 그 차이에 대해 어떻게 기술하고 있는지를 확인해 보고자 한다.

마지막으로 기본접근법과 부문접근법의 두 방법론을 기초로 2011년 온실가스 배출



통계의 배출량 차이의 원인을 분석해 보기로 한다. 관련자료는 2013년도 국가 온실가스 인벤토리 보고서 및 CRF 자료와 에너지분야의 주요 활동자료인 에너지통계연보, 석유류 수급통계 등을 중심으로 활동자료의 누락여부, 비에너지 연료의 탄소량 제외한 적정성 등의 검토를 통해 두 방법론 간의 배출량 차이의 원인을 밝히기로 한다.

제2절 기본접근법과 부문접근법

온실가스 배출량은 에너지, 산업공정, 농업, LULUCF, 폐기물 등 5개 분야에 대해 직접 온실가스 6종과 배출량에는 포함되지 않으나 산화질소(NO_x), 일산화탄소(CO), 이산화황(SO₂), 비메탄계휘발성유기화합물(NMVOC) 등 간접온실가스를 보고토록 하고 있다.

〈표 2-2〉 직접온실가스 6종

온실가스	주요 발생원	지구온난화 지수(GWP) ¹⁰⁾	온실효과 기여도	대기체류 기간(년)
이산화탄소(CO ₂)	화석연료 사용	1	55%	50~200
메탄(CH ₄)	농업, 축산, 폐기물	21	15%	20
아산화질소(N ₂ O)	산업공정, 비료 사용	310	6%	120
수소불화탄소(HFCs)	냉동기기 냉매	140~11,700	24%	65-130
과불화탄소(PFCs)	반도체 세정용	6,500~9,200		
육불화황(SF ₆)	전기제품 절연체	23,900		

출처: 기후변화의 이해(2008.12. 환경부)

2011년 이산화탄소(CO₂) 배출량은 총배출량(697.7백만톤 CO₂ eq.)의 89.4%(624.0백만톤 CO₂ eq.)를 차지하였으며 이산화탄소 배출량의 93.9%는 에너지 부문에서 발생한 배출량이다.

에너지 부문의 온실가스 배출량은 대부분 화석연료의 연소에 의해 주로 발생한다. 화석연료의 연소에 의한 이산화탄소(CO₂) 배출량은 우리나라뿐만 아니라 대부분의 국가에서 국가온실가스 총배출량의 85~90%를 차지한다. 그만큼 에너지 연료연소 부문의 중요성이 크다 하겠다.

1996 IPCC 가이드라인에서는 각국의 자료여건에 따라 온실가스 배출량 추정에 선택적으로 사용할 수 있는 방법론을 제시하고 있다.

10) 지구온난화지수(Global Warming Potential): IPCC 제2차 평가보고서(1995년)에서 제시한 값으로 이산화탄소 1kg과 비교했을 때 온실가스가 대기 중에 방출된 후 특정기간 그 기체 1kg의 가열효과가 어느 정도인지를 평가하는 척도로 CO₂ eq.로 표시

화석연료 연소로부터 이산화탄소 배출량을 산정하는 방법은 상대적으로 쉽게 이용 가능한 에너지 공급통계를 기초로 산정할 수 있는 Tier 1 수준의 기본접근법(Reference approach)과 좀 더 높은 수준의 자료가 필요한 Tier 2 수준의 부문접근법(Sectoral approach)의 계산 방법이 있다.

이 절에서는 연료연소로부터의 이산화탄소 배출량을 산정하는 방법론으로 제시되고 있는 기본접근법과 부문접근법의 작성방법론에 대해 살펴보고자 한다.

1. 기본접근법(Reference Approach)

기본접근법은 화석연료 연소로부터 이산화탄소(CO₂) 배출량을 계산하기 위해 에너지 공급통계를 이용하는 하향식(top-down) 접근법이다. 이 방법론은 생산, 수입, 수출 등의 형태로 국가의 에너지경제로 들어오는 화석연료의 공급량을 기준으로 이산화탄소 배출량을 추정하기 때문에 기본접근법은 상대적으로 쉽게 작성할 수 있는 간단한 방법론이라 할 수 있다.

기본접근법에 의한 이산화탄소 배출량 추정식은 다음과 같다.

<CO₂ 배출량 산정식>

$$\text{CO}_2 \text{ 배출량} = \Sigma [(\text{연료소비량} \times \text{에너지단위 전환계수} \times \text{탄소배출계수} \times 10^{-3}) - \text{몰입탄소량}] \times \text{산화율} \times 44/12]$$

- CO₂ 배출량 : CO₂ 배출량[Gg CO₂]
- 연료 소비량 : 생산 + 수입 - 수출 - 국제병커링 - 재고변동[kg, L, Nm³]
- 에너지단위 전환계수 : 연료를 에너지 단위(TJ) 전환계수
- 탄소배출계수 : 연료별 탄소 배출계수[tC/TJ]
- 10⁻³ : t(Mg) → Gg 환산 지수
- 몰입탄소량 : 비에너지용 연료에 몰입된 탄소량
- 산화율 : 각 연료별 산화율
- 44/12 : 탄소(C)량을 이산화탄소(CO₂)량으로 변환하기 위한 CO₂와 C의 분자량 비

이산화탄소는 탄소기반의 화석연료가 연소될 때 발생한다. 이산화탄소 배출량 추정에 있어서 국가 배출량은 총 연료소비량과 각 연료가 함유하고 있는 탄소량에 영향을 받는다.

1996 IPCC 가이드라인에서는 기본접근법에 의한 연료연소 부문 이산화탄소 배출량 추정 방법을 다음의 6개의 단계로 설명하고 있다.



가. 1단계: 연료 소비량 추정

기본접근법의 1단계는 화석연료 소비총량을 추정하는 단계로, 화석연료 소비량은 탄소 공급량의 기본 자료이다.

화석연료는 1차 연료와 2차 연료로 구분할 수 있다. 1차 연료는 원유, 고체연료(석탄), 천연가스 등과 같이 천연자원에서 직접 채취하는 것이고, 2차 연료는 1차 연료에서 생산된 코크스, 휘발유 등의 제품으로 이해하면 될 것이다.

국내 연료 총소비량은 연료의 생산량과 수입량은 더하고 수출량과 국제병커링 그리고 순 재고변동량은 빼줌으로써 국가경제 내에 공급된 총 연료를 추정할 수 있다.

아래 계산식은 IPCC에서 제시한 총소비량 추정 공식이다.

$$\text{총 소비량(명목소비량)} = 1\text{차 연료 생산량(a)} + \text{수입량(b)} - \text{수출량(c)} \\ - \text{국제병커링(d)} - \text{재고 변동량(e)}$$

- (a) 1차 연료 생산량(2차 연료 생산품은 제외)
- (b) 1차 연료 및 2차 연료 수입량
- (c) 1차 연료 및 2차 연료 수출량
- (d) 국제병커링(국제해운, 국제항공)으로 사용된 연료량
- (e) 연료 재고량의 순 증가 및 감소량(연초재고량 - 연말재고량)

연료 소비량 추정에 있어 원유, 천연가스 등과 같은 1차 연료와 가솔린, 윤활유 등과 같은 1차 연료로부터 파생된 제품인 2차 연료를 구분하는 것이 중요하다.

위의 계산식에서 보는 바와 같이 생산량은 1차 연료 생산량만 포함하고 2차 연료 생산량은 포함하지 않는다. 이는 1차 연료인 원유의 탄소량과 그 원유에서 생산된 제품인 2차 연료 탄소량의 합은 동일한 것이기 때문에 탄소량의 중복 산정을 피하기 위해 2차 연료 생산품은 총소비량 계산에서 제외하고 있다.

위의 계산식을 다음과 같이 나타내면 더욱더 명확해진다.

$$\text{총 소비량(명목소비량)} = 1\text{차 연료 소비량} + 2\text{차 연료 소비량} \\ 1\text{차 연료 소비량} = \text{생산량} + \text{수입량} - \text{수출량} - \text{국제 병커링} - \text{재고 변동량} \\ 2\text{차 연료 소비량} = \text{수입량} - \text{수출량} - \text{국제 병커링} - \text{재고 변동량}$$

나. 2단계: 공통의 에너지 단위(TJ)로 전환

2단계는 연료별 소비량을 공통된 에너지 단위로 전환하는 단계이다.

화석 연료는 자료 수집 시 연료의 특성에 따라 m³, l, bbl, t, toe 등의 고유단위로 수집된다. 그러나 배출량 추정에 있어 연료별 고유단위로 작성된 자료는 합산 차감 등 분석에 어려움이 있으므로 모든 연료를 하나의 공통된 단위로 변환하여야 한다.

에너지 단위를 사용하면 여러 가지 물리적 단위 연료들의 에너지량을 합산하는 것이 가능해진다.

물리적 단위의 연료량을 에너지 단위로 전환하기 위해서는 연료 한 단위로부터 얻는 열을 표현하는 환산계수가 필요하다. 환산계수는 칼로리(cal) 또는 연료의 열량이다. 석탄 26GJ/t, 가스 35.6MJ/m³ 등이 전형적인 열량을 표현하는 방법이다. 연료의 열량을 측정하는 방법은 여기서는 중요하지 않다. 각 국에서는 이미 전문기관에서 실험을 거쳐 측정된 연료별 열량을 고시하고 있다. 우리나라도 5년 주기로 에너지원별 국가 고유 발열량을 고시하고 있다.

1996 IPCC GL에서는 TJ(테라줄)을 공통 열량단위로 통일하고 있다. 연료별 소비량을 TJ로 변환하기 위해서는 고유단위의 소비량과 전환계수를 곱한다.

$$\text{연료소비량(TJ)} = \text{연료소비량(고유단위)} \times \text{TJ 전환계수}$$

연료 단위별 TJ로 변환하는 방법과 열량 단위 표준 환산표는 다음의 <표 2-3>, <표 2-4>에서 나타내고 있다. 우리나라의 에너지밸런스는 천toe단위로 연료소비량을 표시하고 있으므로 TJ로 변환하기 위해서는 전환계수인 41.868을 곱하여야 한다.

〈표 2-3〉 단위별 TJ 전환계수		〈표 2-4〉 표준 환산표	
단 위	전환계수(TJ로 변환)		
J, MJ, GJ	J은 10 ¹² , MJ은 10 ⁶ , GJ은 10 ³ 값으로 나눈다	1 toe	10 ¹⁰ cal
10 ⁶ toe	전환계수 41,868TJ/10 ⁶ toe를 곱한다	10 ³ toe	41.868 TJ
Tcal	전환계수 4.186TJ/Tcal를 곱한다	1 t	1 Mg
천t	각 연료의 순발열량을 사용한다	1 kt	1 Gg
		1 Mt	1 Tg
		1 cal	4.1868 J



다. 3단계: 탄소 배출계수

3단계는 화석연료 소비량을 탄소량으로 변환하기 위해 연료별 단위 에너지당 탄소함유량인 탄소배출계수를 곱하는 단계이다.

탄소배출계수는 연료 유형별로 모두 다르다.

탄소배출계수는 국가 고유 배출계수를 우선적으로 적용하며, 국가 고유 배출계수가 없는 경우 1996 IPCC GL 기본배출계수를 적용한다. 우리나라의 경우 일부 연료를 제외하고는 2006년 발열량 기준으로 개발된 고유의 탄소배출계수가 존재한다. <표 2-5>는 IPCC 기본배출계수와 2006년 발열량 기준의 국가고유배출계수이다.

<표 2-5> 탄소배출계수

연 료		1996 IPCC	국가 계수	연 료		1996 IPCC	국가 계수
석유	원유	20.0	-	석유	정제 가스	15.7	-
	오리멸전	22.0	-		기타 석유	20.0	-
	액상천연가스(NGL)	17.2	-	석탄	국내 무연탄	26.8	29.7
	휘발유	18.9	19.7		수입무연탄(연료탄)	26.8	-
	항공유	19.5	19.6		수입무연탄(원료탄)	26.8	-
	보일러 등유	19.6	19.5		유연탄(원료탄)	25.8	-
	실내 등유	19.6	19.5		유연탄(연료탄)	25.8	25.9
	Shale Oil	20.0	-		아역청탄	26.2	29.3
	경유	20.2	20.0		갈탄	27.6	-
	경질중유(B-A)	20.5	20.2		Oil shale	29.1	-
	중유(B-B)	20.8	20.6		토탄	28.9	-
	중질중유(B-C)	20.1	20.8		BKE & Paten Fuel	25.8	-
	부생연료 1호	-	-	Coke Oven/Gas Coke	29.5	-	
	부생연료 2호	-	-	Coke Oven Gas	13.0	-	
	LPG	프로판	17.2	17.6	Blast Furnace Gas	66.0	-
		부탄	17.2	18.1	가스	천연가스(LNG)	15.3
에탄올	16.8	-	도시가스(LNG)	15.3		15.4	
납사	20.0	18.6	도시가스(LPG)	17.2		17.6	
아스팔트	22.0	21.5	바이오 매스	고체바이오매스	29.9	-	
윤활유	20.0	19.7		액체바이오매스	20.0	-	
석유 코크	27.5	27.2		기체바이오매스	30.6	-	

출처: 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증지침(2014년 개정, 온실가스종합정보센터)

각 연료별 탄소함량은 배출계수와 소비량의 곱으로 나타낼수 있다

$$\text{총 탄소함량} = \sum(\text{연료 소비량(TJ)} \times \text{배출계수})$$

라. 4단계: 원료 및 비에너지 제품에 몰입된 탄소량 추정

4단계는 배출되지 않고 제품 내에 남아있는 탄소량을 추정하는 단계로, 이 탄소들은 대기중으로 배출되지 않기 때문에 총 탄소량에서 제외하여야 한다.

화석연료의 일부는 연료 연소를 위한 에너지용도 외에 아스팔트(Bitumen), 윤활유(Lubricants)와 같은 비에너지용으로 사용되기도 하고, 납사(Naphtha), 천연가스 등과 같이 다른 제품 생산을 위한 중간재로 사용되기도 하며, 철강생산과정에 원료탄의 부산물로 생성되는 석탄유 및 타르(Coal Oil and Tar) 등도 있다. 이 제품의 탄소 중 일부는 대기중으로 배출되지 않고 제품 내에 탄소형태로 남게 된다. 이와 같이 제품 내에 남아있는 탄소를 몰입탄소라 하며, 이는 대기중으로 배출되지 않기 때문에 총 탄소량에서 제외하여야 한다.

1996 IPCC GL은 몰입탄소량을 고려하여 배출량을 산출할 수 있도록 연료별 탄소몰입율에 대한 정보를 <표 2-6>과 같이 제공하고 있다.

몰입 탄소량 추정 공식은 다음과 같다.

<표 2-6> 연료별 탄소몰입율

연료	탄소몰입율	
윤활유	0.50	
아스팔트	1.00	
석탄유, 타르 (원료탄 부산물)	0.75	
원료	납사	0.75
	경유	0.50
	천연가스	0.33
	LPG	0.80
	에탄	0.80

$$\text{총 몰입 탄소량(GgC)} = \text{비에너지용 연료사용량(TJ)} \times \text{배출계수(tC/TJ)} \times \text{탄소몰입율} \times 10^{-3}$$

마. 5단계: 연료연소로 산화되지 않은 탄소량 추정

화석연료는 연소될 때 연료에 포함된 탄소가 완전히 연소되는 것은 아니다. 연소되는 과정에 대부분의 탄소는 산화되어 이산화탄소 형태로 대기중으로 흩어지지만 일부는 산화

되지 않고 재 속에 남아 있다. 이를 산화율(연소율)로 나타낼 수 있는데 일반적으로 연료의 산화율은 연료별, 연료사용기기별로 조금씩 다르기 때문에 1996 IPCC GL에서는 연료별 평균 산화율을 <표 2-7>과 같이 제시하고 있으며, 국가 고유의 산화율이 없을 때 IPCC의 평균 산화율 이용을 권장하고 있다.

불완전 연소로 재속에 남아있는 탄소는 이산화탄소로 대기중으로 배출되지 않기 때문에 총 탄소 배출량에서 제외하여야 하며, 이를 위해 배출량 산정 시 산화율을 고려하여 배출량을 산정하여야 한다.

<표 2-7> 연료별 평균 산화율

연료	산화율
석탄*	0.98
원유, 석유제품	0.99
가스	0.995
발전용 peat**	0.99

주: * 석탄의 산화율은 세계 평균이며 석탄의 유형이 다양하기 때문에 0.91정도로 낮을 수도 있다.

** peat를 가정용으로 사용할 경우 산화율은 더 낮다.

바. 6단계: 탄소 배출량을 이산화탄소 배출량으로 전환

지금까지의 단계별 절차를 통해서 화석연료 이용에 따른 탄소 배출량을 구할 수 있다. 탄소 배출량을 이산화탄소 배출량으로 나타내기 위해서는 탄소배출량에 이산화탄소(CO₂)와 탄소(C)의 분자량 비를 곱함으로써 얻을 수 있다. 이는 화석연료에 있던 탄소(C)가 연소되면서 산소(O₂)와 결합하여 이산화탄소(CO₂) 형태로 대기중에 배출된다는 논리로 설명될 수 있다.

$$\text{이산화탄소(CO}_2\text{) 배출량} = \text{탄소배출량} \times 44/12$$

- C 분자량 12g/mol
- O 분자량 16g/mol
- CO₂ 분자량 44g/mol

이상으로 기본접근법에 의한 에너지분야 연료연소 부문 이산화탄소 배출량 산정방법에 대하여 단계별로 살펴보았다.

기본접근법에 의한 이산화탄소 배출량 산정은 화석연료의 총량과 연료의 단위당 탄소 함량인 배출계수에 기초하여 비교적 쉽게 산정할 수 있음을 알 수 있었다.

2. 부문접근법(Sectoral Approach)

위에서 살펴본 기본접근법은 공급부문 연료의 총량으로 이산화탄소 배출량을 빠르게 산출할 수는 있지만, 국가의 이산화탄소 저감정책 및 에너지정책 수립에 중요하게 이용되는 국가 경제 각 분야별 세부자료는 얻을 수 없다는 단점 때문에 각 분야별 온실가스 배출량을 산정하는 부문접근법이 높이 평가된다.

부문접근법은 기본접근법에서 사용된 절차와 근본적으로 비슷하다. 다만 활동자료인 연료소비량 산정에 있어 각 연료가 사용된 특정 부문별 소비량을 기준으로 배출량을 산정하여 합하는 방식이란 점에서 차이가 있다.

부문접근법에 의한 이산화탄소 배출량 산정식은 아래와 같으며, 기본접근법에 의한 배출량 산정식과 동일하다.

$$\text{이산화탄소 배출량} = \sum[(\text{부문별 연료소비량(TJ)} \times \text{탄소배출계수} - \text{몰입탄소량}) \times \text{산화율} \times 44/12]$$

현재 에너지 연료연소 분야 배출량 산정은 다음과 같이 구분하고 있다.

<표 2-8> 에너지 연료연소 부문 온실가스 배출 구분표

부 문	세 부 부 문
에너지산업	전기 및 열을 생산하는 1차 생산시설에서의 배출 ▪ 공공 전기 및 열 생산
	석유제품의 정제를 위한 시설의 배출 ▪ 석유정제
	고체연료로부터 2,3차 가공품 생산 및 도시가스 제조 시설에서의 배출 등 ▪ 고체연료 제조 및 기타 에너지 산업
제조업 및 건설업	일반 산업활동에서의 연료연소 배출(자가발전 및 열 생산 포함) ▪ 철 및 철강 ▪ 비철금속 ▪ 화학 ▪ 펄프·종이·인쇄 ▪ 식음료 및 담배 ▪ 기타
수송	수송활동에서 발생하는 연소에 의한 배출 ▪ 국내항공 ▪ 도로수송 ▪ 철도 ▪ 해운 ▪ 기타수송 ※ 국제수송은 국제빙커링으로 별도보고
기타부문	가정, 상업, 공공, 농림어업 등의 에너지 사용량에 대한 배출 ▪ 상업 및 공공건물 ▪ 가정 ▪ 농업, 임업 및 어업

출처: 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침(2014년 개정, 온실가스종합정보센터)

부문접근법에 의한 배출량 산정에 적용하는 탄소배출계수, 산화율 등 각종 계수는 기본접근법 산정에 사용된 계수와 동일하며, 활동자료는 국가통계인 에너지통계연보의 에너지밸런스를 주로 이용하고 있다.

두 접근법에 사용된 방법론의 차이는 활동자료로 사용하는 에너지 통계의 차이라고 할 수 있다. 기본접근법에서 이용하는 통계는 <표 2-9> 에너지수급밸런스의 공급부문인 1차 에너지소비 부문 자료를 주로 사용하고, 부문접근법은 소비부문 통계인 에너지전환 및 최종에너지소비 통계를 주로 이용한다.

<표 2-9> 에너지수급밸런스 구조

		석탄	석유	천연 가스	도시 가스	수력	원자력	전력	열	신재생	합계
국내생산	1	}									
수입	2										
(석유생산)	3										
(석유수입)	4										
수출	5										
국제병커링	6										
재고증감	7										
월초재고	8										
월말재고	9										
통계오차	10										
1차 에너지소비	11										
에너지전환	12	}									
발전	13										
지역난방	14										
가스제조	15										
자가소비및손실	16										
최종에너지소비	17										
산업부문	18										
농림어업	19										
광업	20										
제조업	21										
음식·담배	22										
섬유·의복	23										
...	...										
건설업	33										
수송부문	34										
철도 운수	35										
육상 운수	36										
수상 운수	37										
항공 운수	38										
가정부문	39										
상업부문	40										
공공기타	41										

출처: 국가에너지수급통계 매뉴얼(2009, 에너지경제연구원)

제3절 기본접근법과 부문접근법 비교 외국사례

이번 절에서는 다른 나라의 국가 인벤토리 보고서를 통해 기본접근법과 부문접근법의 비교사례를 검토하고, 두 방법론 간 차이의 원인이 무엇인지를 살펴보도록 한다.

1. 일본

일본의 기본접근법과 부문접근법의 배출량 산정결과를 보면 에너지 소비량에 있어서는 <표 2-10>에서 보는 바와 같이 합계기준 최하 -0.29%(2008년), 최고 -3.11%(2002년)의 차이를 보이고 있다. 연료 유형별로도 대부분의 연도에서 그 차이가 5% 이하로 아주 안정적인 추세를 보이고 있다. 다만, 고체연료에서 2008년 두 접근법이 5.91%로 차이가 나고 있는데, 보고서에서는 2008년 세계 금융위기로 인한 소비부문의 석탄 재고 증가로 인한 것으로, 공급부문(기본접근법)에서 많은 공급이 있었으나 소비부문(부문접근법)에서 적게 소비된 결과로, 이 소비부문의 재고량이 기본접근법에 적용되지 않았기 때문으로 설명하고 있다.

<표 2-10> 일본의 에너지 소비량 비교

(단위: PJ)

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
기본 접근법														
액체연료	9,689	10,191	9,503	9,200	9,211	9,167	8,926	8,913	8,468	8,528	7,850	7,174	7,241	7,634
고체연료	3,270	3,603	4,175	4,267	4,409	4,534	4,967	4,736	4,796	5,010	4,894	4,354	4,940	4,616
기체연료	2,097	2,534	3,130	3,126	3,215	3,365	3,354	3,388	3,746	4,082	4,013	3,975	4,227	4,921
기타연료														
합계	15,056	16,328	16,809	16,593	16,835	17,066	17,246	17,037	17,010	17,620	16,757	15,503	16,408	17,171
부문 접근법														
액체연료	9,550	10,051	9,450	9,133	9,275	9,094	8,934	8,903	8,390	8,402	7,726	7,103	7,188	7,667
고체연료	3,354	3,635	4,118	4,220	4,484	4,605	4,721	4,808	4,787	4,955	4,621	4,402	4,737	4,541
기체연료	2,106	2,548	3,136	3,137	3,238	3,371	3,371	3,368	3,756	4,106	4,021	4,011	4,238	4,922
기타연료	259	294	348	359	379	408	416	436	438	450	438	420	429	409
합계	15,268	16,529	17,052	16,848	17,375	17,478	17,443	17,515	17,371	17,913	16,806	15,936	16,592	17,539
차 이 (%)														
액체연료	1.46%	1.39%	0.56%	0.74%	-0.69%	0.80%	-0.10%	0.10%	0.93%	1.50%	1.60%	1.00%	0.74%	-0.42%
고체연료	-2.50%	-0.88%	1.39%	1.10%	-1.65%	-1.54%	5.20%	-1.51%	0.19%	1.11%	5.91%	-1.08%	4.30%	1.65%
기체연료	-0.44%	-0.55%	-0.20%	-0.32%	-0.72%	-0.19%	-0.50%	0.62%	-0.28%	-0.57%	-0.18%	-0.91%	-0.26%	-0.03%
기타연료														
합계	-1.39%	-1.21%	-1.43%	-1.51%	-3.11%	-2.36%	-1.13%	-2.73%	-2.08%	-1.64%	-0.29%	-2.71%	-1.11%	-2.10%

출처: National Greenhouse Gas Inventory Report of JAPAN(April, 2013)

이산화탄소 배출량도 <표 2-11>에서 보는 바와 같이 1990~2011년 동안 기본접근법과 부문접근법 간의 이산화탄소량의 차도 합계기준 2% 이하로 양호하다.

〈표 2-11〉 일본의 이산화탄소 배출량 비교

(단위: TgCO₂)

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
기본 접근법														
액체연료	659.1	692.4	647.0	626.3	626.7	623.9	607.8	606.4	575.7	580.5	534.5	488.8	493.5	520.3
고체연료	294.6	324.2	377.6	385.5	399.0	410.3	450.0	428.7	434.2	453.7	442.6	394.1	447.5	417.8
기체연료	103.7	125.3	154.8	154.6	159.0	166.4	165.8	167.6	185.2	201.9	198.5	196.6	209.0	243.3
기타연료														
합계	1057	1142	1179	1166	1185	1201	1224	1203	1195	1236	1176	1080	1150	1181
부문 접근법														
액체연료	646.2	677.3	635.1	613.1	622.9	611.4	600.4	597.8	562.0	563.7	518.4	475.0	481.3	514.6
고체연료	308.6	331.7	376.5	384.9	409.6	419.7	431.1	437.9	436.7	451.5	420.5	401.6	431.5	413.5
기체연료	104.3	126.2	155.3	155.3	160.4	167.0	166.9	166.8	186.4	203.3	199.5	198.7	210.7	245.0
기타연료	9.1	10.5	13.1	14.2	15.0	15.8	15.6	15.1	14.2	14.9	14.6	13.6	13.5	13.5
합계	1068	1146	1180	1167	1208	1214	1214	1218	1199	1233	1153	1089	1137	1187
차 이 (%)														
액체연료	1.99%	2.23%	1.87%	2.17%	0.62%	2.05%	1.22%	1.43%	2.44%	2.98%	3.11%	2.91%	2.52%	1.11%
고체연료	-4.54%	-2.26%	0.29%	0.17%	-2.60%	-2.24%	4.38%	-2.11%	-0.57%	0.49%	5.26%	-1.85%	3.72%	1.03%
기체연료	-0.57%	-0.71%	-0.32%	-0.45%	-0.88%	-0.40%	-0.65%	0.45%	-0.61%	-0.69%	-0.53%	-1.07%	-0.81%	-0.72%
기타연료														
합계	-1.01%	-0.33%	-0.06%	-0.08%	-1.92%	-1.10%	-0.79%	-1.24%	-0.34%	0.22%	1.96%	-0.85%	1.14%	-0.45%

출처: National Greenhouse Gas Inventory Report of JAPAN(April, 2013)

일본의 국가 인벤토리 보고서에서는 기본접근법과 부문접근법 간의 근본적인 차이의 원인은 아래와 같은 것이라고 설명하고 있다.

첫째는 기본접근법 계산 시 고려되지 않는 문제로, 석유정제와 에너지 전환부문에서 에너지원의 투입량은 생산된 제품의 에너지량과 일치하지 않는다는 것이다. 이는 1996 IPCC GL에서 근본적으로 인정하는 사실이다. 그리고 소비부문의 재고량 변동이 기본 접근법에서 고려되지 않는 것과 배출량 산정 시 완전연소를 가정한다는 것이다.

일본에서는 배출량 산정 시에 1996 IPCC GL의 기본산화율을 적용하지 않고 완전산화를 가정하여 산출하고 있다. 그리고 일본의 에너지밸런스는 공급부문 재고량과 소비부문 재고량을 별도로 표시하고 있으며, 배출량 산정 시에도 각각 적용함으로써 소비부문의 재고량이 기본 접근법에서 반영되지 않아 두 접근법의 차이로 나타날 수 있다고 설명하고 있다.

둘째는 모든 조사 데이터의 특성상 피할 수 없는 문제인 통계 오차이다. 통계 오차는 그 원인이 무엇인지 추측하기가 매우 어렵다. 이러한 오차로 인해 공급량을 기준으로 작성하는 기본접근법과 전환 및 최종에너지소비를 기준으로 작성하는 부문접근법 간의 불일치가 발생할 수 있다고 한다.

마지막으로 세 번째는 에너지의 투입과 산출 간의 에너지 및 탄소량 간의 밸런스와 관련된 문제로 보고 있다.

석유정제, 석탄이나 석유제품의 단순혼합, 수분조절 등으로 변환되는 제품은 탄소량이 혼합이나 변환 전후 동일하다고 간주하나, 단위 열량 당 탄소함량은 혼합이나 변환 전후에 변동될 수 있다는 것이다.

일본 인벤토리 보고서에서는 이와 같은 요인들이 두 접근법 간의 차이를 발생시킨다고



보고 있으며, 이는 일본에만 국한되지 않고 국가 인벤토리 보고서를 작성하는 대부분의 국가에서 두 접근법 간의 차이의 원인으로 지적되는 공통된 사안이다.

2. 캐나다

캐나다의 기본접근법과 부문접근법의 비교결과를 보면 아래 <표 2-12>와 같다.

표에서 전체 에너지 비교는 기본접근법에서 원료 및 비에너지용 연료 사용량을 차감하지 않은 경우(RA)와 차감한 경우(RA*) 두 가지로 비교하고 있다.

원료 및 비에너지용 연료 사용량을 차감하지 않은 경우 전체 에너지 사용량의 차이는 4.1~6.4%의 편차를 보이고 있으나, 차감한 경우는 -1.41~-4.90%이다.

전체배출량의 차이는 0.49~1.55%이며, 연료 유형별로도 배출량의 차이가 5% 이하로 기본접근법과 부문접근법 간의 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

<표 2-12> 캐나다의 기본접근법과 부문접근법 비교

(단위: PJ, GgCO₂)

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
전체 에너지 비교														
기본접근법(RA)	6,793	7,265	8,337	8,255	8,381	8,702	8,630	8,526	8,265	8,798	8,632	8,181	8,428	8,499
부문접근법(SA)	6,387	6,863	7,924	7,836	7,985	8,223	8,151	8,093	7,942	8,329	8,128	7,778	7,952	8,069
차이(%) (RA-SA)/SA	6.4	5.9	5.2	5.3	5.0	5.8	5.9	5.4	4.1	5.6	6.2	5.2	6.0	5.3
기본접근법(RA*)	6,297	6,692	7,743	7,635	7,769	8,062	7,852	7,855	7,553	8,108	7,978	7,558	7,704	7,751
차이(%) (RA*-SA)/SA	-1.41	-2.49	-2.29	-2.57	-2.70	-1.96	-3.67	-2.94	-4.90	-2.65	-1.85	-2.83	-3.12	-3.94
비에너지 및 원료용 화석연료														
기체연료	159	210	190	230	203	222	240	201	211	194	166	176	161	197
액체연료	328	353	392	381	399	407	520	421	449	446	448	413	534	522
고체연료	9	10	12	10	10	10	18	49	51	49	40	34	30	29
전체 배출량 비교														
기본접근법	418,000	440,682	511,966	507,944	512,880	533,384	523,923	521,645	510,415	535,606	523,086	491,138	499,319	499,788
부문접근법	413,902	438,535	508,576	504,261	510,312	525,251	521,119	516,510	505,696	529,900	513,829	486,762	496,029	496,448
차이(%)	0.99	0.49	0.67	0.73	0.50	1.55	0.54	0.99	0.93	1.08	1.80	0.90	0.66	0.67
액체연료														
기본접근법	209,274	204,350	227,080	230,797	229,560	248,786	249,575	247,813	242,842	251,302	244,094	238,247	239,257	239,388
부문접근법	199,046	197,365	218,523	221,728	223,649	238,246	244,729	241,146	237,792	245,190	235,905	231,483	234,812	235,376
차이(%)	5.14	3.54	3.92	4.09	2.64	4.42	1.98	2.76	2.12	2.49	3.47	2.92	1.89	1.70
고체연료														
기본접근법	83,125	89,368	112,936	110,711	108,748	107,576	100,564	102,186	98,986	104,598	99,412	81,614	83,334	73,155
부문접근법	85,870	89,698	113,529	111,889	109,545	108,450	101,320	102,608	98,626	103,579	98,287	82,534	83,245	72,383
차이(%)	-3.20	-0.37	-0.52	-1.05	-0.73	-0.81	-0.75	-0.41	0.37	0.98	1.14	-1.12	0.11	1.07
기체연료														
기본접근법	125,479	146,682	171,705	166,201	174,201	176,660	173,386	171,358	168,275	179,279	179,149	170,949	176,390	186,907
부문접근법	128,864	151,191	176,279	170,407	176,747	178,191	174,671	172,469	168,966	180,704	179,207	172,417	177,635	188,351
차이(%)	-2.63	-2.98	-2.59	-2.47	-1.44	-0.86	-0.74	-0.64	-0.41	-0.79	-0.03	-0.85	-0.70	-0.77

출처: National Inventory Report(CANADA, 1990-2011)



캐나다 국가 인벤토리 보고서의 두 접근법 비교에서는 단순히 두 접근법 간의 수치 비교에 그치고 있다. 이는 두 접근법의 차이가 대부분 5% 이하로 양호한 수준으로 나타났기 때문인 것으로 판단되며, 이 차이들은 대부분 에너지 전환부분에서의 원료와 파생제품 간의 에너지량 및 탄소량 불일치, 통계오차 등으로 발생가능한 수준이다.

3. 미국

미국의 에너지 연료연소부문 기본접근법과 부문접근법 비교 결과 에너지 소비량과 배출량 모두 합계기준으로 그 차이는 5% 이하로 양호하다.

〈표 2-13〉 미국의 에너지 소비량 비교

(단위: TBtu)

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
기본접근법	69,786	74,929	82,542	81,118	81,918	82,339	84,031	83,995	82,854	84,206	81,600	76,886	79,673	78,276
석탄	18,072	19,187	21,748	21,121	21,192	21,625	21,893	22,187	21,833	22,067	21,751	19,232	20,329	19,155
천연가스	19,184	22,170	23,392	22,466	23,163	22,561	22,623	22,282	21,960	23,371	23,589	23,187	24,307	24,578
석유	32,530	33,573	37,402	37,531	37,564	38,152	39,515	39,526	39,060	38,768	36,260	34,467	35,037	34,542
부문접근법	69,053	73,971	81,478	80,635	81,389	81,737	83,433	83,435	82,047	83,834	80,256	76,448	77,590	76,636
석탄	17,573	18,567	20,957	20,710	20,797	21,081	21,735	21,986	21,534	21,577	21,391	19,243	19,582	18,914
천연가스	19,672	22,274	23,484	22,535	23,238	22,630	22,690	22,349	22,029	23,441	23,661	23,271	24,086	24,662
석유	31,809	33,130	37,036	37,390	37,353	38,026	39,068	39,100	38,484	38,817	35,205	33,934	33,922	33,060
차 이 (%)	-1.1	-1.3	-1.3	-0.6	-0.6	-0.7	-0.6	-0.7	-1.0	-0.4	-1.6	-0.6	-2.6	-2.1
석탄	-2.8	-3.2	-3.6	-1.9	-1.9	-2.5	-0.7	-0.9	-1.4	-2.2	-1.7	0.1	-3.7	-1.3
천연가스	2.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	-0.9	0.3
석유	-2.2	-1.3	-1.0	-0.4	-0.6	-0.3	-1.1	-1.1	-1.5	0.1	-2.9	-1.5	-3.2	-4.3

출처: Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sink(1990-2011)(April 12, 2013)

〈표 2-14〉 미국의 이산화탄소 배출량 비교

(단위: TgCO₂)

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
기본접근법	4,866	5,172	5,736	5,654	5,694	5,748	5,861	5,891	5,810	5,902	5,730	5,346	5,541	5,407
석탄	1,719	1,823	2,071	2,011	2,022	2,066	2,093	2,121	2,083	2,106	2,076	1,835	1,941	1,829
천연가스	1,007	1,164	1,228	1,178	1,215	1,183	1,189	1,172	1,157	1,231	1,243	1,221	1,281	1,295
석유	2,140	2,184	2,436	2,464	2,457	2,499	2,579	2,598	2,570	2,565	2,411	2,289	2,319	2,284
부문접근법	4,811	5,132	5,683	5,648	5,691	5,737	5,874	5,886	5,782	5,890	5,653	5,347	5,411	5,316
석탄	1,654	1,756	1,988	1,967	1,976	2,002	2,065	2,087	2,049	2,053	2,036	1,832	1,865	1,803
천연가스	1,034	1,171	1,234	1,182	1,220	1,188	1,194	1,176	1,161	1,235	1,247	1,227	1,270	1,300
석유	2,123	2,205	2,460	2,499	2,495	2,547	2,615	2,622	2,573	2,602	2,370	2,288	2,277	2,212
차 이 (%)	-1.1	-0.8	-0.9	-0.1	0.0	-0.2	0.2	-0.1	-0.5	-0.2	-1.3	0.0	-2.3	-1.7
석탄	-3.8	-3.7	-4.0	-2.2	-2.3	-3.1	-1.3	-1.6	-1.7	-2.5	-1.9	-0.2	-3.9	-1.4
천연가스	2.7	0.6	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	-0.9	0.4
석유	-0.8	1.0	1.0	1.4	1.6	1.9	1.4	0.9	0.1	1.4	-1.7	0.0	-1.8	-3.1

출처: Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sink(1990-2011)(April 12, 2013)

미국에서는 이와 같은 차이의 요인을 다음과 같이 설명하고 있다.

미국은 국내외의 수많은 지역으로부터 다양한 등급의 원유를 들여오고 있으나, 이 원유의 에너지함량 및 탄소함량 정보는 정기적으로 갱신하지 않는 반면 원유의 파생 제품인 석유정제품들에 대해서는 각 부문별 계수를 매년 갱신한다고 한다. 이와 같은 이유로 원유의 에너지 및 탄소량은 2차 연료인 석유제품의 에너지 및 탄소량보다 불확실성이 높다고 할 수 있다.

에너지 데이터 수집에 있어서도 기본접근법에 사용될 명목소비량 자료 수집보다는 부문접근법에 사용될 분야별 에너지 소비량 자료 수집에 더 중점을 두고 있다고 한다.

이와 같이 미국에서는 데이터수집, 에너지함량 정보 갱신 등에 있어 국가 경제 내에서 바로 소비되는 석유제품 위주의 정책이 정밀성에서 다소 떨어지는 활동자료를 이용한 기본접근법과 상대적으로 정밀한 활동자료를 이용한 부문접근법 간의 차이 발생의 원인이 될 수도 있다고 설명하고 있다.

지금까지 일본과 미국, 캐나다의 국가 인벤토리 보고서를 살펴보았다.

위의 세 국가의 기본접근법과 부문접근법의 배출량 비교에서 특이한 점은 원료 및 비에너지용 연료 사용량을 차감하는 부분에서 세 국가 모두 다른 방법을 적용하고 있다는 것이다.

일본은 원료 및 비에너지용 연료 사용량 차감시 원료 및 비에너지 연료 사용량에 해당 연료의 탄소몰입율을 곱한 에너지량을 기본접근법의 에너지사용량에서 차감을 하였고, 캐나다의 경우는 원료 및 비에너지용 연료 사용량 전체를 차감하였으며, 미국은 원료 및 비에너지용 연료를 차감하지 않고 두 접근법을 비교하고 있다.

산화율 적용에서도 차이가 난다. 일본과 미국은 모든 연료에서 산화율 100%를 적용하였고 캐나다는 1996 IPCC GL의 기본계수를 적용하였다.

어쨌거나 두 접근법의 배출량 차이는 5% 이내로 거의 차이가 나지 않는다. 이는 세 나라는 온실가스 의무감축국으로 오래전부터 UNFCCC에 국가 인벤토리 보고서(NIR)와 공통보고서(CRF)를 작성·제출해 왔고, UNFCCC의 검토과정을 통해 지속적으로 보고서를 검증 및 개선해 왔기 때문에 두 방법론 간의 큰 차이가 없는 것이다.

제4절 기본접근법과 부문접근법 차이 축소 방안

1. 우리나라의 기본접근법과 부문접근법 비교

우리나라는 부속서 I(Annex I) 국가는 아니지만 의무감축 대상국으로의 진입에 대비하여 국가 온실가스 배출통계(NIR)를 매년 작성 공표하고 있으며, 2014년 현재 2011년 기준



온실가스 배출량까지 공표하였다.

1990~2011년의 기간중 에너지 소비량을 보면 아래 <표 2-15>와 같다. 전체 에너지 소비량에서 두 접근법의 차이를 보면 과거에는 5% 이상 큰 차이가 났으나 최근으로 오면서 그 차이는 감소하여 2011년 현재는 2.82%로 양호한 편이다. 그러나 연료 형태별 두 접근법의 차이를 보면 고체연료와 기체연료는 두 접근법의 차이가 5% 이상인 경우도 있지만 그나마 차이가 줄어들고 있으나, 액체연료는 최근으로 오면서 그 차이가 10% 이상으로 더 크게 벌어지는 경향이 있다.

<표 2-15> 에너지 소비량 비교

(단위: PJ)

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
기본접근법	2,876	4,637	5,250	5,353	5,644	5,785	5,787	5,701	5,912	6,462	6,680	6,809	7,531	8,010
액체연료	1,745	2,974	2,716	2,650	2,754	2,784	2,473	2,379	2,432	2,694	2,642	2,659	2,745	2,678
고체연료	1,004	1,277	1,743	1,831	1,922	1,961	2,138	2,079	2,141	2,317	2,624	2,679	3,039	3,350
기체연료	127	386	791	872	968	1,040	1,176	1,243	1,339	1,452	1,414	1,470	1,747	1,982
부문접근법	3,095	4,834	5,467	5,647	5,885	5,968	6,091	6,182	6,264	6,485	6,624	6,676	7,420	7,790
액체연료	1,966	3,246	2,894	2,890	2,885	2,842	2,706	2,658	2,570	2,565	2,399	2,415	2,423	2,386
고체연료	1,002	1,149	1,764	1,882	2,022	2,106	2,190	2,259	2,339	2,460	2,724	2,836	3,180	3,446
기체연료	128	439	809	875	977	1,019	1,195	1,265	1,355	1,460	1,500	1,426	1,817	1,958
차 이 (%)	-7.08	-4.07	-3.98	-5.21	-4.09	-3.06	-4.99	-7.79	-5.61	-0.35	0.84	1.99	1.50	2.82
액체연료	-11.22	-8.39	-6.16	-8.29	-4.54	-2.03	-8.60	-10.49	-5.37	5.03	10.12	10.14	13.26	12.24
고체연료	0.26	11.16	-1.19	-2.70	-4.95	-6.91	-2.39	-8.00	-8.46	-5.82	-3.70	-5.52	-4.42	-2.79
기체연료	-0.98	-12.08	-2.29	-0.41	-0.96	2.05	-1.59	-1.71	-1.16	-0.57	-5.74	3.12	-3.83	1.23

자료: 2013년도 국가 온실가스 인벤토리 보고서, CRF(2013, 온실가스종합정보센터)

두 접근법의 이산화탄소 배출량의 차이도 에너지 소비량과 마찬가지로 총 배출량은 5% 이하의 양호한 수준으로 나타나지만 각 연료 형태별로 비교해 보면 액체연료에서 두 접근법은 2011년에 19.44%로 아주 큰 차이를 나타내고 있다.

<표 2-16> 연료 연소에 의한 CO₂ 배출량 비교

(단위: TgCO₂)

	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
기본접근법	220.1	345.2	396.7	404.8	426.7	436.0	438.5	430.8	445.6	492.0	513.4	523.7	576.8	612.2
액체연료	121.4	210.6	200.0	196.0	204.9	206.9	186.9	180.9	185.2	208.4	204.2	207.1	213.7	208.9
고체연료	92.4	115.1	156.9	164.8	173.0	176.6	192.3	187.1	192.8	209.8	237.4	242.0	274.3	302.6
기체연료	6.4	19.5	39.9	44.0	48.8	52.5	59.4	62.7	67.6	73.7	71.8	74.7	88.7	100.7
부문접근법	232.1	348.2	404.3	418.2	436.6	444.1	451.4	459.2	465.3	485.2	498.6	505.6	557.6	585.6
액체연료	133.3	222.0	204.7	204.7	205.4	203.1	194.2	192.2	186.5	188.4	175.8	177.0	178.2	174.9
고체연료	92.2	103.8	158.7	169.2	181.8	189.4	196.8	203.1	210.3	222.6	246.4	256.0	286.9	311.0
기체연료	6.5	22.5	40.9	44.3	49.4	51.5	60.4	63.9	68.4	74.2	76.3	72.5	92.5	99.7
차 이 (%)	-5.14	-0.88	-1.87	-3.20	-2.28	-1.82	-2.85	-6.20	-4.24	1.39	2.97	3.59	3.44	4.55
액체연료	-8.95	-5.15	-2.29	-4.23	-0.27	1.87	-3.76	-5.86	-0.72	10.66	16.12	16.98	19.95	19.44
고체연료	0.14	10.96	-1.14	-2.63	-4.85	-6.79	-2.31	-7.88	-8.33	-5.76	-3.67	-5.48	-4.40	-2.68
기체연료	-1.91	-13.37	-2.57	-0.61	-1.14	1.91	-1.71	-1.86	-1.28	-0.68	-5.89	2.93	-4.05	0.97

자료: 2013년도 국가 온실가스 인벤토리 보고서, CRF(2013, 온실가스종합정보센터)

이와 같은 차이는 에너지 전환부문의 연료 전환 전후의 에너지 및 탄소량 불일치, 통계 오차, 배출계수 등의 몇 가지 사항이 원인일 수 있다. 그러나 이산화탄소 배출량의 차이가 20% 가까이 된다는 것은 위에서 예로 든 원인만으로 설명하기에는 너무 큰 수치라는 것이다.

<표 2-17>은 2011년 기준 에너지 소비량 비교표이다. 에너지 소비량 비교에 있어서의 기본접근법과 부문접근법 간의 비교의 동등성을 위해 원료 및 비에너지용으로 사용된 연료는 두 접근법에서 제외한 후 비교하고 있다.

<표 2-17> 2011년 에너지 소비량 비교

(단위: TJ)

구분	기본접근법		부문접근법		차이(%)
	비연료 차감 전	비연료 차감 후	비연료 차감 전	비연료 차감 후	
액체연료	4,211,811	2,678,308	3,919,743	2,386,240	12.24
고체연료	3,405,643	3,349,791	3,501,836	3,445,984	-2.79
가스연료	1,982,086	1,982,086	1,957,995	1,957,995	1.23
기 타	NO	NO	NO	NO	NO
합 계	9,599,540	8,010,185	9,379,574	7,790,219	2.82

자료: 2013년도 국가 온실가스 인벤토리 보고서, CRF(2013, 온실가스종합정보센터)

<표 2-17>의 에너지소비량에서 제외하는 원료 및 비에너지용 연료인 납사, 윤활유, 석탄유와 타르, LPG의 사용량은 다음 <표 2-18>과 같다.

<표 2-18> 원료 및 비에너지용 연료 사용량

(단위: TJ)

연 료	연료사용량	탄소몰입율	탄소배출계수	몰입탄소량
납사(Naphtha)	1,433,866.81	0.75	17.21	18,511.58
액체 윤활유(Lubricants)	20,990.35	0.50	18.42	193.34
LPG	78,646.11	0.80	16.4	1,031.80
고체 석탄유, 타르(Coal Oil and Tars)	55,851.90	0.75	24.88	1,042.14
합 계	1,589,355.17			20,778.85

자료: 2013년도 국가 온실가스 인벤토리 보고서, CRF(2013, 온실가스종합정보센터)

<표 2-17>의 에너지 소비량 비교표의 비연료 차감 전·후를 보면 기본접근법 및 부문 접근법의 비연료사용량은 <표 2-18>의 원료 및 비에너지용 연료 사용량을 그대로 제외하고 있음을 알 수 있다. 이는 이산화탄소 배출량은 몰입탄소량 만큼을 제외한 반면, 에너지



소비량은 비에너지용 연료 총량을 제외하여 에너지 및 탄소량 차감에 있어서 일관성이 결여되었다고도 할 수 있다. 그러나 두 방법론에서는 동일하게 적용되었기 때문에 두 방법론 간의 비교에 있어 큰 문제가 되지는 않는다.

2. 기본접근법과 부문접근법 배출량의 차이 원인 분석

본 연구에서는 기본접근법과 부문접근법의 배출량 차이의 원인으로 두 접근법에 사용된 활동자료와 비에너지용 연료의 제외된 탄소 부분을 중점적으로 검토하였다. 검토 방향은 기본접근법과 부문접근법 산정과정의 주요 활동자료인 에너지밸런스와 석유류수급통계 등의 통계자료를 국가 인벤토리 보고서 및 CRF¹¹⁾의 자료와 상호 비교하여 배출량 산정에서의 제외 여부를 확인하였다. 확인과정의 모든 자료는 2011년을 기준으로 하였다.

가. 기본접근법 산정에서 제외된 연료는 없는가?

먼저 기본접근법에서 탄소량 추정의 기본 자료인 화석연료를 산정에서 누락하지는 않았는지 확인해 보았다.

2011년도 기본접근법에 의한 배출량은 에너지밸런스의 공급부문 통계인 생산, 수입, 수출, 국제병커링, 재고변동 자료가 기본 활동자료이며 CRF Table에서는 1.A(b) CO₂ from Fuel Combustion Activities - Reference Approach에서 확인할 수 있다. CRF Table 1.A(b)에는 공급부분으로 들어온 국가 경제 내의 모든 에너지를 포괄하여야 한다. 생산, 수입, 수출, 재고량 변동 등의 자료가 누락이 없었는지를 CRF Table 1.A(b)와 에너지밸런스, 석유류수급통계 등을 기준으로 비교·검토해 보았다.

<표 2-19>는 2011년 에너지밸런스 자료이며, <표 2-20>은 석유류수급통계로는 확인 가능하지만 에너지밸런스에는 반영되지 않아 확인할 수 없는 연료로 기본접근법 산정에서 중요한 연료인 원유(Crude oil)와 정제원료(Refinery feedstocks)의 소비량 자료이다.

<표 2-21>은 2013 국가 온실가스 인벤토리 보고서 CRF Table 1.A(b)로 기본접근법에 의한 배출량 산정 테이블의 일부이다. 이 표에서 NE(Not Estimated)로 표시된 에탄, 정제원료 등 일부연료는 자료 부족 등으로 산정하지 않음을 나타내는 표시이다.

11) CRF(Common Reporting Format): 온실가스 배출량 및 흡수량 추정과 관련 정보에 대한 표준화된 공통 보고 양식

〈표 2-19〉 2011년 에너지밸런스

(단위: TJ)

	국내생산	수입	(석유생산)	(석유수입)	수출	국제병커링	재고증감
석탄	40,572.6	3,343,601.3	-	-	-	-	21,468.9
무연탄	40,572.6	241,780.4	-	-	-	-	21,468.9
국내탄	40,572.6	-	-	-	-	-	19,741.2
수입탄	-	241,780.4	-	-	-	-	1,727.7
유연탄	-	3,101,820.9	-	-	-	-	0.0
원료탄	-	766,598.9	-	-	-	-	0.0
연료탄	-	2,335,222.0	-	-	-	-	0.0
석유	-	7,279,783.6	5,841,340.3	1,438,443.0	-2,409,118.7	-314,919.9	3,508.7
에너지유	-	4,242,039.5	4,132,347.5	109,691.7	-1,994,968.8	-314,919.9	2,061.6
휘발유	-	658,236.8	658,236.8	0.0	-284,990.5	0.0	3,412.2
등유	-	205,804.6	203,360.4	2,444.2	-52,482.8	0.0	3,398.3
경유	-	1,766,404.0	1,760,678.8	5,724.8	-958,895.7	-17,236.0	5,461.6
B-A	-	19,608.3	19,608.3	-	-249.7	-3,339.3	-248.5
B-B	-	3,410.4	3,410.4	-	-	-	26.6
B-C	-	900,218.6	798,788.4	101,430.2	-225,193.7	-241,067.0	-7,694.2
JA-1	-	688,264.4	688,264.4	-	-473,156.4	-53,277.6	-2,220.9
JP-4	-	-	-	-	-	-	-
AVI-G	-	92.4	-	92.4	-	-	-73.6
LPG	-	397,602.2	79,129.6	318,472.7	-3,765.3	-	-2,211.8
프로판	-	194,192.4	37,049.0	157,143.4	-3,022.6	-	-1,045.4
부탄	-	203,409.8	42,080.6	161,329.2	-742.7	-	-1,166.4
비에너지유	-	2,640,141.9	1,629,863.2	1,010,278.6	-410,384.6	-	3,658.9
납사	-	2,055,489.8	1,045,409.6	1,010,080.2	-189,611.7	-	1,350.5
용제	-	21,216.4	21,017.9	198.5	-1,147.8	-	498.1
아스팔트	-	161,904.1	161,904.1	-	-95,737.9	-	2,659.6
윤활유	-	119,747.0	119,747.0	-	-82,465.2	-	-1,103.4
파라핀왁스	-	722.1	722.1	-	-	-	-34.0
석유코크	-	10,704.2	10,704.2	-	-203.9	-	364.8
기타제품	-	270,358.1	270,358.1	-	-41,218.2	-	-76.7
천연가스	18,897.5	1,996,689.5	-	-	-	-	-33,500.7
도시가스	-	-	-	-	-	-	-

자료: 2012 에너지통계연보(에너지경제연구원)

주: 자료는 천toe 단위의 에너지밸런스 자료에 TJ 변환계수인 41.868을 곱한 값임



〈표 2-20〉 원유 및 정제원료 소비량

	단위	국내생산	수입	수출	국제병커링	재고증감
원유	bbl	284,826	927,044,383	-	-	3,368,767
	TJ	1,729.1	5,627,956.7	-	-	20,451.3
정제원료	bbl	-	503,931	3,921,793	-	558,025
	TJ	-	2,995,998.8	23,316,063.4	-	3,317,601.5

자료: 석유류수급통계(2011, 한국석유공사)

- 재고증감은 석유류수급통계의 연말재고-연초재고 수치임
- TJ 단위자료는 연료별 toe/bbl 환산계수(원유 0.145, 정제원료 0.142)를 곱한후 TJ 변환계수인 0.041868곱하여 구한 값

〈표 2-21〉 2011년 기본접근법 에너지 소비량(CRF Table 1.A(b))

연료유형		단위	생산	수입	수출	국제병커링	재고변동	
액체 연료	1차연료	원유	TJ	1,734.00	5,649,377.41	-	-	20,497.65
	2차연료	휘발유	TJ		-	284,990.48	-	-3,412.19
		항공유(Jet 유)	TJ		-	473,156.41	175,702.04	2,220.87
		등유	TJ		2,444.23	52,482.79	0.53	-3,398.33
		경유	TJ		5,724.82	958,895.72	25,074.63	-5,461.56
		중유(B-A, B-B, B-C)	TJ		101,430.18	225,443.44	344,421.34	7,916.03
		LPG	TJ		318,472.66	3,765.30	-	2,211.84
		에탄			NE	NE	NE	NE
		납사	TJ		1,010,080.19	189,611.67		-1,350.51
		아스팔트(역청)			-	-	-	-
		윤활유	TJ		-	82,465.18		1,103.37
	석유코크	TJ		-	203.88		-364.81	
	정제원료			NE	NE	NE	NE	
	기타(AVI-G)	TJ		92.44	-	-	73.61	
기타액체연료		TJ		-	41,218.16	0.54	76.72	
고체 연료	1차연료	무연탄	TJ	40,572.60	241,780.41	-	-	-21,468.86
		원료탄	TJ		766,598.89	-	-	-
		기타 유연탄	TJ		2,335,222.03	-	-	-
		아역청탄		NE	NE	NE	NE	NE
	2차연료	BKB & Patent Fuel		NE	NE	NE	NE	NE
		Coke Oven/Gas Coke		NE	NE	NE	NE	NE
LNG		TJ	18,897.54	1,996,689.53	0.00	0.00	33,500.68	
도시가스		TJ	-	-	-	-	-	

출처: 2013년도 국가 온실가스 인벤토리 보고서(CRF Table 1.A(b), 2011)

앞의 <표 2-19>, <표 2-20>의 에너지통계자료와 <표 2-21>의 CRF 수치 중 국제병커링과 원유의 수치가 일치하지 않는다. 국제병커링의 경우는 국제에너지기구(IEA)의 기준을 따르는 온실가스 배출통계와 국내기준이 적용된 에너지밸런스에서의 적용기준이 서로 다르기 때문이고, 원유는 toe/bbl 환산계수 및 TJ 변환계수 적용 시 각 계수의 원자료 적용 여부에 따른 차이임을 밝혀 둔다.

여기서 국제병커링에 대해 간단히 언급하자면, IEA의 국제병커링은 국적을 불문하고 한 국가에서 다른 국가로 항공 및 선박 운행 시 소비하는 연료량을 말하고, 국내기준은 외국적의 항공 및 선박에 대해서만 국제병커링을 적용하고 있다. IEA와 국내 기준의 차이점은 외국항로를 운항하는 국내 항공기 및 선박의 분류 차이로, IEA에서는 국제병커링으로 분류하고 국내기준으로는 국내 수송부문 최종소비로 분류한다는 점이다.

<표 2-22>는 에너지통계자료의 명목소비량과 기본접근법의 CRF Table의 자료를 상호 비교한 것이다.

표에서 보는 것과 같이 몇몇 연료는 통계자료가 있음에도 산정에서 제외되었음을 알 수 있다. 해당 연료는 정제원료(Refinery feedstocks), 아스팔트(Bitumen), 파라핀왁스, 용제(Solvent) 등이다.

정제원료는 석유반제품으로 정제과정에 투입되는 원료의 하나이다. <표 2-20>의 소비량 자료에 의하면 정제원료는 기본접근법 적용 항목인 수입, 수출, 재고 변동량 자료가 있으며, 기본접근법 산정에 반드시 적용되어야 하는 연료이다.

아스팔트는 비에너지용으로 사용되며 탄소량의 100%가 제품 내에 몰입되는 제품으로, <표 2-19>의 에너지밸런스에 의하면 수입은 없으나 수출량을 확인할 수 있다. 아스팔트 수출량에 포함된 에너지 및 탄소량은 국가경제 밖으로 나간 양이므로 기본접근법의 배출량 산정에서 제외하여야 한다.

마지막으로 파라핀왁스와 용제(Solvent)가 있다. 파라핀왁스는 양초, 종이코팅 등에 사용되는 제품으로 <표 2-19>의 에너지밸런스에

<표 2-22> 에너지통계자료의 기본접근법 (CRF Table) 적용여부

		연료 자료 적용 유무		
		통계자료	CRF Table	
액체	원유	○	○	
	정제원료	○	×	
	휘발유	○	○	
	항공유	○	○	
	등유	○	○	
	경유	○	○	
	중유	B-A	○	○
		B-B	○	○
		B-C	○	○
	LPG	프로판	○	○
		부탄	○	○
	납사	○	○	
	아스팔트	○	×	
	윤활유	○	○	
	석유코크	○	○	
	파라핀왁스	○	×	
용제	○	×		
AVI-G	○	○		
기타제품	○	○		
고체	무연탄	○	○	
	원료탄	○	○	
	연료탄	○	○	
천연가스(LNG)		○	○	



보면 수출입은 없으며, 소량의 재고량 변동자료가 있을 뿐이다. 용제는 온실가스에서 이산화탄소가 아닌 용제의 생산·사용·폐기 등으로 배출되는 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs) 및 비메탄휘발성유기화합물(NMVOC)¹²⁾ 등의 배출과 관련이 있으며, 제조업 분야에서 세척제나, 희석제 등으로 많이 사용된다. 용제(Solvent)도 수출입 자료가 있으며, 기본접근법 산정에 포함하여 에너지량과 탄소량을 가감하여야 한다.

위에서 기본접근법 산정에서 제외된 것으로 확인된 정제원료, 아스팔트, 용제의 배출량을 산정해 보았다.

<표 2-23>은 온실가스 인벤토리 CRF Table 1.A(b)의 양식에 따라 기본접근법에 의한 에너지 소비량 및 이산화탄소 배출량을 산정한 표이다. 파라핀왁스는 재고변동 자료만 해당되고 그 양도 적어 산정에서는 제외하였다. 이 연료들을 CRF Table에 적용하려면 아스팔트와 정제원료는 CRF Table 1.A(b)의 해당항목에, 용제는 기타액체연료(Other liquid fossil) 항목에 적용 가능하다.

<표 2-23> 기본접근법에서 누락된 연료의 에너지소비량 및 CO₂ 배출량 산정

	단위	수입	수출	재고변동	명목소비량	명목소비량(TJ)
아스팔트	천toe	-	2,286.66	-63.52	-2,223.14	-93,078.30
용제	천toe	4.74	27.41	-11.90	-10.78	-451.20
정제원료	천bbl	503.93	3,921.79	558.03	-3,975.89	-23,637.67
합 계						-117,167.16
	탄소배출계수 (tC/TJ)	전환계수 (NCV/GCV)	산화율	순탄소배출량 (Gg C)	CO ₂ 배출량 (Gg CO ₂)	
아스팔트	21.5	0.944	0.99	-1,871.11	-6,860.72	
용제	19.4	0.925	0.99	-8.01	-29.38	
정제원료	20.0	0.944	0.99	-441.58	-1,619.14	
합 계						-8,509.24

주: toe/bbl 환산계수(정제원료): 0.142, TJ/천toe 환산계수: 41.868

정제원료의 탄소배출계수는 1996 IPCC GL의 기본계수 20.0, 순발열량전환계수는 부생연료유 1호의 전환계수(0.944) 적용

CO₂ 배출량은 순탄소배출량에 이산화탄소 전환계수인 44/12(CO₂/C)를 곱하여 구함

12) 비메탄휘발성유기화합물(Non-methane Volatile Organic Compounds, NMVOCs)은 증기압이 높아 대기 중으로 쉽게 증발되는 액체 또는 기체상 유기화합물의 총칭이다. 배출원은 유기용제사용시설, 도장시설, 세탁소, 저유소, 주유소 및 각종 운송수단의 배기가스 등의 인위적 배출원이 있는데, 배출량은 세계적으로 유기용제 사용시설과 자동차 등의 이동 오염원이 대부분을 차지

〈표 2-24〉 고유발열량 및 전환계수

(단위: kcal)

	단위	순발열량 (NCV)	총발열량 (GCV)	전환계수 (NCV/GCV)
부생연료유 1호	ℓ	8,350	8,850	0.944
아스팔트	kg	9,350	9,900	0.944
용제	ℓ	7,350	7,950	0.925

자료: 에너지법 시행규칙 [별표](시행2006.9.4.)

명목소비량 계산 시 에너지밸런스의 천toe 단위 소비량은 TJ 환산계수인 41.868을 곱하여 TJ로 단위를 변환하였고, 정제원료는 toe/bbl 단위 환산계수인 0.142를 곱한 후 TJ/천toe 환산계수인 41.868을 곱하여 TJ로 단위를 변환하였다.

아스팔트와 용제의 탄소배출계수는 국가고유계수를 적용하였으며, 정제원료는 1996 IPCC GL의 기본계수를 사용하였다. 순발열량 전환계수¹³⁾는 연료별 순발열량(NCV: Net calorific value)을 총발열량(GCV: Gross calorific value)으로 나눈 값이며, 정제원료는 국가 고유 발열량이 없어 부생연료유 1호의 값을 따랐다. 산화율은 1996 IPCC GL의 석유류 기본산화율인 0.99를 적용하였다.

배출량 산정결과 에너지소비량은 -117,167TJ, 이산화탄소 잠재배출량은 -8,509GgCO₂로 기본접근법에서 제외하여야 할 양이다.

위에서 산정한 아스팔트, 용제, 정제원료의 에너지소비량과 배출량을 기본접근법에 반영한 경우, 원자료와 반영자료를 비교하였다. 고체연료와 기체연료는 변경사항이 없으므로 액체연료에 대해서만 비교하였다.

〈표 2-25〉 아스팔트, 용제, 정제원료의 기본접근법 반영 전후 비교

구분	기본접근법(RA)		부문접근법(SA)		차이 (RA-SA)/SA	
	에너지소비량	CO ₂ 배출량	에너지소비량	CO ₂ 배출량	에너지소비량	CO ₂ 배출량
	(TJ)	(Gg)	(TJ)	(Gg)	(%)	(%)
원 자료	2,678,308	208,948.05	2,386,240	174,940.03	12.24	19.44
반영자료	2,561,141	200,438.81	2,386,240	174,940.03	7.33	14.58

13) 순발열량 전환계수(순발열량/총발열량): 에너지밸런스의 연료 소비량은 총발열량 기준으로 작성되어 순발열량 기준의 배출계수를 적용하기 위해 총발열량을 순발열량으로 바꿔야 함



표에서 보는 것과 같이 기본접근법의 명목소비량 산정에서 제외된 정제원료, 아스팔트, 용제의 수·출입량 등의 명목소비량을 기본접근법에 반영한 결과 액체연료의 에너지 소비량은 그 차이가 12.24%에서 7.33%로 4.91%가 줄어들었으며, 이산화탄소 배출량은 19.44%에서 14.58로 4.86%가 줄어들었다.

국가경제 밖으로 나간 에너지 및 탄소량은 우리나라의 배출량과는 무관하기 때문에 기본접근법 산정에서 제외하는 것이 당연하며, 반대로 국가경제 내로 들어온 것은 배출량 산정에 포함하는 것이 수지균형 차원에서 올바른 처리방법이다. 위에서 살펴본 정제원료, 아스팔트, 용제 등은 수입량에 비해 수출량이 많아 기본접근법에 의한 이산화탄소 배출량은 줄었으며 부문접근법과의 차이도 소폭 줄었다.

나. 원료 및 비에너지용 연료의 물입탄소량 차감은 적정하였는가?

이번 단락에서는 원료 및 비에너지용 연료의 물입탄소량을 기본접근법에서 적절하게 제외하였는지 검토하기로 한다.

1996 IPCC GL의 기본접근법에서는 원료 및 비에너지용으로 사용된 화석연료의 제품에 물입된 탄소량을 추정하여 기본접근법의 연료연소 소비량에서 차감하도록 하고 있다. 원료와 비에너지용으로 사용되는 화석연료 내의 일부 탄소는 이산화탄소로 배출되지 않고 제품 내에 물입된 형태로 남아있게 된다. 이 탄소는 지구온난화에 직접적인 영향을 미치지 않기 때문에 온실가스 배출량에서 제외하고 있다.

연료의 비에너지 용도로는 원료, 환원제, 비에너지용으로 나눌 수 있다. 원료는 주로 석유화학 산업 등에서 원재료로 사용되는 연료로 천연가스, 납사, LPG 등이 있다. 환원제는 주로 금속과 무기물 생산을 위한 재료로 사용되며 대표적인 환원제로 코크스가 있다. 마지막으로 비에너지 제품은 윤활유와 아스팔트(역청)가 대표적인데, 윤활유는 엔진에 주로 사용되며 아스팔트는 지붕, 도로포장 등에 사용된다.

1996 IPCC GL에서는 주요 원료 및 비에너지 제품 등에 대한 탄소물입율을 다음과 같이 제공하고 있다.

〈표 2-26〉 연료별 탄소 물입율

연료	비에너지		환원제	원료				
	윤활유	아스팔트	원료탄 (코크스)	납사	경유	천연가스	LPG	에탄
탄소 물입율	0.50	1.00	0.75	0.75	0.50	0.33	0.80	0.80

자료 : 1996 IPCC GL

우리나라는 앞서 살펴본 <표 2-18>의 원료 및 비에너지용 연료 사용량에서와 같이 납사, 윤활유, 석탄유 및 타르, LPG 등 4개 제품을 원료 및 비에너지용 연료로 분류하고 있다. 일본, 미국, 캐나다의 경우는 어떤지 각국의 보고서인 CRF Table 1.A(d)의 Feedstocks and Non-Energy Use of Fuels의 자료로 확인한 결과 <표 2-27>과 같다.

<표 2-27> 각국의 원료 및 비에너지용 연료 현황

	우리나라	일본	캐나다	미국
윤활유	○	○	○	○
아스팔트	NE	○	○	○
석탄유, 타르 (원료탄부산물)	○	○	NO	○
납사(원료)	○	○	○	○
경유(원료)	NO	○	NO	○
천연가스(원료)	NO	○	○	○
에탄(원료)	NO	NA	○	○
LPG(원료)	○	○	○	○
기타		원유 액화천연가스 휘발유 등유 중유 석유코크 Coke Oven/Gas Coke	부탄-NGL 에탄-NGL 기타제품원료 기타석유화학원료	산업용 석탄 기타석유류 기타석유화학원료 파라핀왁스 펜탄 응축물 special 납사 석유화학용 스틸가스

앞 표에서 보는 바와 같이 우리나라는 다른 나라에 비해 원료 및 비에너지용으로 분류된 연료 종류가 윤활유, 납사, 원료탄, LPG의 4종류로 단순하다. 일본, 캐나다, 미국 등은 1996 IPCC GL에서 제시한 연료 외에 여러 종류의 액체연료 및 고체연료 등을 원료 및 비에너지용 연료로 분류하고 있다.

에너지밸런스 및 석유류수급통계 등의 활동자료로 확인할 수 있는 원료 및 비에너지용 연료에는 윤활유, 아스팔트, 석탄유 및 타르¹⁴⁾, 납사, LPG(프로판,부탄), 기타제품 등으로 CRF Table 1.A(d)에 적용되지 않은 연료로 아스팔트와 기타제품이 있다. 앞 표에서 보듯이 아스팔트는 활동자료는 있으나 산정하지 않고 있으며, 기타제품에 대해서도 언급되지 않고 있다.

14) 석탄유 및 타르의 활동자료는 원료탄(원료용 유연탄)으로부터 추출되는 석탄유 및 타르가 함유하고 있는 탄소량이 원료탄의 총 탄소량의 6% 정도이므로 에너지량도 원료탄의 6%를 적용하고 있음(2013 국가 온실가스 인벤토리보고서, 온실가스종합정보센터)



기타제품에 대해 먼저 살펴보면 석유류수급통계에서 확인할 수 있는 석유화학산업의 원료로서의 기타제품(9,751천bb)은 탄소몰입율 등에 대한 정보가 없고, 부문접근법 산정에서는 연료연소에 포함하여 산정하고 있다. 그러므로 여기서의 기타제품은 두 방법론 간의 배출량 차이의 원인은 아니라고 판단하여 검토대상에서는 제외하기로 한다.

아스팔트에 대해 살펴보면 1996 IPCC GL에서 아스팔트의 탄소는 100% 제품 내에 몰입되는 것으로 가정한다. 부문접근법 산정에서는 총 연료사용량에는 포함하고 있지만 비에너지용으로 분류하여 배출량에서는 제외하였다. 이처럼 부문접근법 산정에서 비에너지용 분류하여 제외하는 탄소량은 비교의 동등성을 위해 기본접근법의 배출량에서도 제외해 주어야 한다.

에너지밸런스의 최종에너지소비 부문에서 확인한 아스팔트의 산업부문 소비량은 1,665천toe로 건설업부문에서 소비되었다.

아스팔트의 이산화탄소 잠재배출량을 산정해 보면 <표 2-28>과 같다.

표에서 에너지밸런스의 천toe 단위의 에너지소비량은 전환계수인 41.868을 곱하여 공통 에너지단위(TJ)로 전환하였다. 탄소배출계수는 국가 고유계수인 21.5tC/TJ를 적용하였고 순발열량 전환계수인 0.944(NCV/GCV)를 적용하였다. 아스팔트의 탄소량을 이산화탄소량으로 바꾸기 위해서 이산화탄소와 탄소의 질량값인 44/12를 곱하였다.

<표 2-28> 아스팔트의 이산화탄소 잠재배출량 산정

	에너지소비량		탄소 몰입율	탄소배출계수 (tC/TJ)	전환계수 (NCV/GCV)	탄소합량 (Gg C)	CO ₂ 잠재배출량 (Gg CO ₂)
	천toe	TJ					
아스팔트	1,665.36	69,725.32	1.00	21.5	0.944	1,415.81	5,191.31

<표 2-28>의 계산결과 아스팔트의 이산화탄소 잠재배출량은 5,191Gg CO₂로, 이것은 대기 중으로 배출되지 않는 이산화탄소이므로 기본접근법 배출량에서 제외하여야 한다.

위 표에서 계산한 아스팔트의 에너지소비량(TJ)과 이산화탄소 잠재배출량을 기본 접근법에서 제외한 후 부문접근법과의 차이를 비교하였다.

<표 2-29> 아스팔트 최종소비량 기본접근법 반영 전후 비교

구분	기본접근법(RA)		부문접근법(SA)		차이 (RA-SA)/SA	
	에너지소비량	CO ₂ 배출량	에너지소비량	CO ₂ 배출량	에너지 소비량	CO ₂ 배출량
	(TJ)	(Gg)	(TJ)	(Gg)	(%)	(%)
원 자료	2,678,308	208,948.05	2,386,240	174,940.03	12.24	19.44
반영자료	2,608,583	203,756.74	2,316,514	174,940.03	12.61	16.47

위 표에서 에너지소비량은 비교의 동등성 차원에서 부문접근법에서도 제외하였다. 이는 부문접근법의 총 에너지소비량에는 아스팔트가 포함되어 있고 배출량에는 비에너지로 제외되었기 때문이다.

반영결과를 원자료와 비교해 보면 에너지소비량은 기본접근법과 부문접근법 모두 아스팔트 소비량을 차감하였기 때문에 그 차이가 0.37% 커졌으나, 이산화탄소 배출량은 2.97% 줄어든 것을 확인할 수 있다.

비에너지연료로서 아스팔트는 CRF Table에서 TABLE 1.A(d)의 Feedstocks and Non-Energy Use of Fuels 부문에 적용가능하다.

다. 부문접근법 산정에서 제외한 에너지는 기본접근법에서도 제외하였는가?

‘2013 국가 온실가스 인벤토리 보고서’의 에너지 분야는 1996 IPCC GL에서 제시한 부문접근법(Sectoral approach)에 기초하여 산정하였다.

이번 단락에서는 부문접근법의 활동자료 위주로 검토하였으며, 자료는 ‘2013 국가 온실가스 인벤토리 보고서’의 제3장 에너지 부문 및 CRF 자료와 활동자료인 에너지밸런스, 석유류수급통계를 활용하였다.

국가 인벤토리 보고서와 에너지관련 통계를 검토한 결과 납사, 정제원료, 용제 등의 연료가 부문접근법 산정에서 제외되었거나 에너지통계의 소비량통계와 산정과정에 적용된 수치가 달라 이 연료들을 중심으로 검토를 진행하였다.

먼저 화학산업 부문의 주원료인 납사(Naphtha)¹⁵⁾를 살펴보면, 화학산업의 납사 배출량에 사용되는 활동자료는 에너지밸런스의 최종소비 자료를 그대로 사용하지 않고 석유류수급통계를 이용하여 조정하고 있다. 2011년 기준 화학산업의 납사 활동자료는 에너지밸런스 납사 최종소비량의 76%를 적용하고 있는데, 이는 총투입된 납사가 모두 화학산업의 원료로 사용되는 것이 아니고 일부는 분해되어 정유사로 재유입된다는 가정에 의한 것이다. 정유사로 재유입되는 양은 석유류수급통계에서 타산업 유입량으로 표시하는 양이며 2011년은 납사 총투입량의 24%를 차지한다.

② 화학산업에서의 납사의 활동자료 계산

화학산업에서의 납사의 CO₂ 배출량 계산 시, 납사 소비량의 중복계산을 피하기 위해 투입된 총 납사량(에너지밸런스 상의 데이터)에서 정유사로 재유입된 납사량을 제외한 원료용 납사 순 투입량만 고려하여 화학산업의 납사 CO₂ 배출량을 계산한다.

15) 납사(Naphtha)는 휘발성 경질 액체 유분으로 에틸렌, 프로필렌 등 석유화학 기초제품 생산의 원료 또는 방향족이나 휘발유를 생산하는 개질(reforming)공정의 원료로 사용되는 제품(석유류수급통계)



활동자료 계산에는 석유류수급통계 월별 석유수급현황의 정제투입의 납사 소비량과 타 산업유입의 투입원료계와 산출제품계를 이용하였다. 납사 총 투입량은 정제투입의 납사 소비량이고, 투입원료계와 산출제품계를 합한 타산업유입량은 정유사 재유입 납사량이 된다.

출처: 2013 국가 온실가스 인벤토리 보고서(2014.2, 온실가스종합정보센터)

오른쪽 표는 2011년 기준 납사의 석유화학산업부문 총 투입량과 원료용으로 최종소비된 순투입량, 납사의 부산물로 정유사로 재유입된 양을 나타내고 있다. 표에서는 석유화학산업에서 납사를 분해하는 과정에 발생하는 부산물의 일부를 정유부문으로 되돌려주는 타산업 유입량을 전환투입으로 표시해 납사의 총공급량과 순공급량을 파악할 수 있게 표시해 보았다.

국가 인벤토리 보고서에서는 표에서 최종소비로 표시된 순투입량을 석유화학부문 납사 소비량 활동자료로 적용하고 있으며, CRF Table 1.A(d)의 Feedstocks and Non-Energy Use of Fuels 에서도 마찬가지로 순 투입량을 적용함으로써 기본접근법과의 비교의 동등성을 유지하고 있다.

〈표 2-30〉 2011년 석유화학산업부문 납사 소비량

		(단위: 천bbl)		
		화학산업투입 (총투입량)	최종소비 (순투입량)	타산업유입 (전환투입)
납사		355,192.1	269,912.4	-85,279.7
투입원료	정제원료 ¹⁶⁾			60,082.5
	첨가제 ¹⁷⁾			30.3
	산소성분 ¹⁸⁾			4,587.6
	원료계			64,700.4
재유입납사 부산물	등유			0.1
	경유			45.5
	B-A			30.0
	B-C			446.6
	납사			6,049.8
	용제			46.5
	프로판			3,153.7
	부탄			6,936.3
	윤활유			0.1
	정제가스			3,870.5
제품계				20,579.3
합계				85,279.7

자료: 2011년 석유류수급통계(한국석유공사)

- 16) 정제원료(Refinery feedstocks): 원료로부터 파생된 제품 내지 제품들의 조합으로, 정유산업에서 단순 혼합(Blending)이 아닌 추가 처리공정에 투입되는 제품이다(2006 IPCC GL)
- 17) 첨가제(Additives): 제품의 특성을 조정하기 위해 첨가되는 비탄화수소물로 옥탄값 향상제, 세탄값 향상제, 부식방지제, 매연방지제 등이 있다(석유류수급통계)
- 18) 산소성분(Oxygenates): 휘발유와 경유를 생산하기 위해 정유공장에서 혼합제로 사용하는 에테르, MTBE, TAME, 에탄올(연료용) 및 에스테르(석유류수급통계)

그렇다면, 화학산업 부문의 배출량 산정에서 제외한 납사 총투입량의 24%인 타산업 유입량(85,280천bbl)은 부문접근법 산정에서 제외하였으므로 비교의 동등성 차원에서 기본접근법에서도 제외하여야 하는가 하는 의문이 발생한다.

앞의 표에서 납사의 타산업유입량 중에서 투입원료부문의 정제원료, 첨가제, 산소 성분은 석유정제 또는 석유화학산업의 원료로 재투입되고 있다. 이들은 석유정제 및 석유화학산업에서 원유와 함께 석유류 생산의 주요 원료로 투입되며, 여기서 생산된 제품들은 생산량에 포함되어 최종소비되고 있다. 이것은 다시 말하면 타산업유입량 중 투입원료 부문의 제품은 부문접근법 산정에 포함된 것이라고 할 수 있다. 이는 납사로 화학산업부문에서 소비되지는 않았지만 정제과정에 다른 제품으로 생산되어 배출량 산정에 포함된 것이라는 것이다. 그러므로 타산업유입량 중에서 투입원료 부문의 제품들은 부문접근법 산정에 포함된 제품이므로 기본접근법에서 따로 제외하지 않아야 하는 것이다.

타산업유입량 중 납사 분해과정에 제품의 형태로 유입된 산출제품들을 보면 이 제품들은 원료로 재투입되지도 않았고 그렇다고 생산량에 포함되어 최종소비된 것도 아니다. 그러므로 이 제품들은 비교의 동등성을 위해서 기본접근법에서도 제외하여야 한다. 그렇다면 기본접근법 산정에서 제외할 때 납사로 간주하여 제외하여야 하는지 개별 산출제품 배출량의 합으로 제외하여야 하는지를 결정하여야 한다. 본 연구에서는 산출 제품 전체를 납사로 간주하여 제외하기로 한다. 그 이유는 화학산업의 납사 소비량 조정 시 타산업 유입량을 납사로 보았기 때문에 개별 제품의 배출량으로 제외하기보다는 전체를 납사로 간주하여 제외하는 것이 타당한 것이라 판단하였다.

여기서 한 가지 짚고 넘어갈 것은 석유화학산업에서 재유입되는 타산업유입량에는 납사에 의한 부산물 외에 LPG, 기타제품들의 부산물도 포함된 것일 수 있다. 그러나 그 양이 극히 소량일 것으로 판단되고 국가 인벤토리 보고서에서도 타산업유입량을 전량 납사 부산물로 취급하였으므로 본 연구에서도 타산업유입량을 전량 납사 부산물로 간주하였음을 밝혀둔다.

<표 2-32>는 산출제품을 별도의 배출량으로 산정했을 때와 납사로 간주하여 배출량을 산정했을 때 에너지량과 배출량에서 그 차이가 얼마나 되는지 확인하기 위해 배출량을 산정한 표이다. 배출량 산정 시 적용된 변수는 <표 2-31>과 같으며, 산화율은 고려하지 않았다.

<표 2-31> 배출량 산정 시 적용된 연료별 매개변수

	등유	경유	B - A	B - C	납사	용제	프로판	부탄	윤활유	정제 가스
toe/bbl	0.142	0.144	0.148	0.157	0.128	0.126	0.097	0.109	0.147	0.157
전환계수	0.933	0.934	0.941	0.944	0.925	0.925	0.917	0.920	0.935	0.944
배출계수	19.5	20.0	20.2	20.8	18.6	19.4	17.6	18.1	19.7	15.7

출처: 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증지침(2014년 개정)

〈표 2-32〉 타산업 유입량(산출제품계)의 배출량 산정

구분	연료량			탄소배출량 (연료량(TJ)*전환계수 *배출계수)	CO ₂ 배출량 (C배출량*44/12)	
	천bbl	천toe (연료량(bbl)*toe/bbl)	TJ (연료량(천toe)*41.868)			
산출 제품 별 배출 량	등유	0.13	0.02	0.76	0.01	0.05
	경유	45.54	6.55	274.34	5.12	18.78
	B-A	30.02	4.44	185.83	3.53	12.95
	B-C	446.63	70.30	2,943.22	57.82	212.00
	납사	6049.85	774.27	32417.24	558.02	2046.07
	용제	46.48	5.88	245.98	4.41	16.18
	프로판	3,153.73	306.96	12,852.00	207.42	760.55
	부탄	6,936.31	755.47	31,630.14	526.61	1,930.90
	윤활유	0.10	0.01	0.62	0.01	0.04
	정제가스	3,870.54	609.20	25,506.01	378.20	h1,386.72
제품별 합계	20,579.33	2,533.11	106,056.13	1,741.16	6,384.25	
전량 납사	20,579.33	2,633.79	110,271.38	1,898.17	6,959.97	

배출량 산정 결과 산출제품 전체를 납사로 간주하여 배출량을 산정한 경우가 제품 개별로 배출량을 산정하여 더한 값보다 연료량(TJ)은 4%가량, CO₂ 배출량은 8%가량 더 많았다.

〈표 2-33〉은 기본접근법에서 타산업유입 납사량을 제외한 경우 두 방법론 간의 에너지 소비량과 배출량 차이를 원자료와 비교하였다. 에너지소비량은 4.65% 이산화탄소 배출량은 4%가량 두 접근법 간의 차이가 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

〈표 2-33〉 타산업 유입(산출제품계) 납사량 기본접근법 제외 전후 비교

구분	기본접근법(RA)		부문접근법(SA)		차이 (RA-SA)/SA	
	에너지소비량	CO ₂ 배출량	에너지소비량	CO ₂ 배출량	에너지 소비량	CO ₂ 배출량
	(TJ)	(Gg)	(PJ)	(Gg)	(%)	(%)
원 자료	2,678,308	208,948.05	2,386,240	174,940.03	12.24	19.44
반영자료	2,568,036	201,988.08	2,386,240	174,940.03	7.62	15.46

타산업유입량(산출제품계)은 최종 소비된 제품이 아닌 것으로 간주하였으므로 CRF Table에서는 납사 재고량으로 간주하여 TABLE 1.A(b) CO₂ from Fuel Combustion Activities - Reference Approach의 납사 재고변동 항목에서 가감해 주어야 한다.



납사 외에 주의해 불 연료는 정제원료이다. 정제원료는 대부분이 납사 분해과정에 생산되는 정제 반제품이다. <표 2-34>는 석유류수급통계의 정제원료 수급현황표이다.

<표 2-34> 2011년 정제원료(Refinery feedstocks) 수급현황

(단위: 천bbl)

제품명	연초재고	생산	수입	타산업유입 ¹⁹⁾	제품간이동 ²⁰⁾	이동된제품 ²¹⁾	타사입하 ²²⁾	공급계
	5,962	4,955	504	60,082	-4	787	3,759	76,045
정제 원료	정제투입	내수 ²³⁾	수출	타사출하	정제연료	자가소비	연말재고	수요계
	38,695	30,062	3,922	1,438	127	54	6,520	80,818

자료 : 2011년도 석유류수급통계(한국석유공사)

표에서 보면 정제원료의 소비 항목은 정제투입, 내수, 정제연료, 자가소비 등으로 분류된다.

항목별로 보면 정제투입에 사용된 정제원료는 정제공정의 중간재인 원료로 투입된 것이므로 에너지전환부문의 원료는 부문접근법 산정대상이 아니다. 정제연료와 자가소비 항목은 정유산업에서 자체 연료로 사용한 것으로 부문접근법에서는 에너지산업의 석유정제 부문 배출량에 포함하여 산정하고 있다. 마지막으로 정제원료의 내수 항목이 있는데 내수는 일반적으로 최종소비로 분류할 수 있지만 정제원료 내수는 석유화학사 소비물량으로, 석유화학사에서는 정제원료를 이용하여 연료유, 용제, 윤활유, 부생연료유 등 석유제품을 생산한다고 한다. 그렇다고 한다면 내수 부문의 정제원료도 석유정제에서와 마찬가지로 원료로 사용되는 에너지전환투입의 개념으로 취급하여 부문접근법 산정대상이 아니다.

정제원료가 부문접근법과 기본접근법 간의 배출량 차이의 원인이 되는 제품은 아니지만 정제원료에 대해 좀더 살펴보면, 정제원료 공급량의 대부분은 납사 부산물인 타산업 유입량이고, 정제투입 및 내수부문에서 대부분 소비가 됨을 알 수 있다. 이는 납사 분해 과정에 재유입된 정제원료가 석유정제 및 석유화학 부문의 원료로 모두 재투입된다고 보아도 무관하다.

- 19) 타산업유입: 석유제품이 석유화학공정을 거쳐 다시 환수된 양으로 순수 환입물량을 말한다(석유류수급통계)
- 20) 제품간이동: 산출제품 간의 혼합(Blending)으로 새로운 석유제품이 발생하는 품위 전환량으로 혼합 이전의 제품과 이후의 제품 간 상계처리한 양을 말한다
- 21) 이동된제품: 정제산출제품을 정제공정에 재투입하기 위하여 정제원료로 재분류되는 물량을 말한다
- 22) 타사입하: 동일 유통단계(정유사, 수입사 등) 내에서 타사로부터의 구매, 물량교환으로 입하된 양을 말한다(타사입하와 상반되는 개념으로 수요항목의 타사출하가 있다)
- 23) 내수: 석유제품의 국내 판매량으로 민수, 군납, 국내미군납, 타산업유출을 포함한 것을 말한다



정제원료의 흐름을 좀더 자세히 살펴보기 위해 납사 부산물로서의 정제원료가 석유 정제 및 석유화학 부문의 원료로 투입되어 석유제품으로 생산되는 과정을 <표 2-35>로 살펴보았다.

<표 2-35> 납사 흐름

		공급부문		소비부문	
		생산	타산업유입	정제투입	내수
투입원료	정제원료	2	+20	-10	-10
제품	납사	100	+10	:	100(-30)
	석유제품	900			

주: ()는 중복수치이며, 표의 수치는 부문별 비율을 고려하여 임의로 부여한 수치임

생산된 납사를 모두 석유화학부문 원료로 투입(100)한다고 가정하면 실제 제품원료로는 70이 사용되고 30은 부산물의 형태로 정유사로 재유입된다. 이것은 공급부문의 타산업유입량으로 표현되며 정제원료 20, 석유제품 10으로 나타낼 수 있다. 이 중에서 정제원료 20은 석유정제와 석유화학산업의 에너지전환 과정에 각각 투입되어 석유제품으로 재생산되었으며, 표에서 생산부문 제품에 표현된 20으로 나타낼 수 있으며, 이 양은 생산제품 1,000에 포함된 양이라고 할 수 있다. 이를 통해 볼 때 소비부문에서는 타산업유입량인 30만큼 납사 소비량 과다산정으로 나타나고, 공급부문에서 타산업유입량 만큼의 생산량 중복으로 나타나고 있다.

석유제품 기준으로 볼 때 소비부문의 과다산정은 납사소비량에서 타산업유입량만큼 차감함으로써 과다산정 요인을 제거할 수 있지만, 공급부문에서의 생산량 중복요인 제거는 상당한 어려움이 있다. 이의 개선을 위해서는 연료의 전환이 일어나는 석유정제, 화학산업, 납사전환 과정을 전환통계로 명확하게 표현할 필요가 있다.

온실가스 배출량 산정에 있어 공급부문의 중복은 기본접근법이나 부문접근법의 배출량 산정에 영향을 미치는 부분은 아니다. 그것은 부문접근법은 소비부문 통계가 활용되고, 기본접근법은 공급부문 통계를 이용하지만 석유제품의 생산량과는 관련성이 없기 때문이다.

마지막으로 부문접근법 산정에서 제외된 연료로 용제(Solvent)와 파라핀 왁스가 있다. 용제와 파라핀왁스는 제조업 분야에서 페인트 제조사의 희석제나 산업용 세척제, 양초 등으로 많이 사용되며 1996 IPCC GL에서는 ‘용제 및 기타제품사용(Solvent and Other Product Use)’ 분야에서 보고하도록 하고 있으나 ‘용제 및 기타 제품사용’ 분야는 활동자료 부족으로 현재 NIR에서 산정하지 않고 있다(2013 국가 온실가스 인벤토리 보고서). 그러나 용제와 파라핀왁스도 원유에서 파생하는 제품으로 기본적으로 탄소를 함유하고 있다.

이 제품들이 에너지 연료연소 제품으로 취급되지 않아 부문접근법 배출량 산정에서 제외하고 있으므로 비교의 동등성 차원에서 기본접근법에서도 에너지량 및 배출량을 제외하여야 한다.

<표 2-36>은 용제의 최종소비량에 대한 이산화탄소 잠재배출량을 산정한 결과표이다. 파라핀왁스는 그 양이 매우 적어 산정에서 제외하였다.

<표 2-36> 용제(Solvent)의 이산화탄소 잠재배출량

	연료소비량		탄소배출계수 (tC/TJ)	전환계수 (NCV/GCV)	탄소함량 (Gg C)	CO ₂ 잠재배출량 (Gg CO ₂)
	천toe	TJ				
용제	363.64	15,224.71	19.4	0.925	273.07	1,001.25

주: 순발열량 전환계수(NCV/GCV)는 순발열량 7,350kcal 총발열량 7,950kcal을 적용
탄소배출계수는 국가고유값을 적용

용제의 이산화탄소 잠재배출량을 산정하는 과정은 최종에너지소비량(천toe단위)에 TJ 환산계수인 41.868을 곱한 후, 탄소배출계수와 전환계수 그리고 t단위를 Gg단위로 전환하기 위하여 10³을 곱한 값이 위에서 구해진 탄소함량 273.07Gg C이다. 마지막으로 탄소값을 이산화탄소 값으로 변환하기 위해서는 최종적으로 이산화탄소와 탄소의 분자량 값인 44/12를 곱하였다.

용제의 에너지량은 15,225TJ이며 이는 기본접근법에서 산정한 액체연료 소비량의 0.6%이며 배출량은 1,001Gg CO₂로 액체연료 배출량의 0.5%에 달하는 양이다. 배출량이 많지 않지만 용제의 최종소비량에 포함된 에너지 및 배출량을 기본접근법에서 제외한 경우의 부문접근법과의 차이를 살펴보면 <표 2-37>과 같다.

<표 2-37> 용제(Solvent) 소비량 기본접근법 제외 전후 비교

	기본접근법(RA)		부문접근법(SA)		차이 (RA-SA)/SA	
	에너지소비량	CO ₂ 배출량	에너지소비량	CO ₂ 배출량	에너지소비량	CO ₂ 배출량
	(TJ)	(Gg)	(TJ)	(Gg)	(%)	(%)
원 자료	2,678,308	208,948.05	2,386,240	174,940.03	12.24	19.44
반영자료	2,663,083	207,946.80	2,386,240	174,940.03	11.60	18.87

용제는 앞서 언급한 것과 같이 에너지 연료연소 부문이 아닌 ‘용제 및 기타제품사용 (Solvent and Other Product Use)’ 부문에서 보고하여야 하는 에너지이다. 이는 에너지로 사용하지 않았다는 가정에 근거한 것이므로 기본접근법에서도 제외하려면 용제는 CRF Table에서



비에너지 사용부문에서 적용하여야 한다. CRF Table은 TABLE 1.A(d)의 Feedstocks and Non-Energy Use of Fuels이며 기타액체연료로 탄소물입을 100%를 적용하여야 한다.

지금까지 활동자료를 중심으로 기본접근법 및 부문접근법에 의한 배출량 산정 과정 검토를 통해 두 접근법 간의 배출량 차이의 원인을 분석해 보았다. 위에서 살펴본 내용을 종합적으로 정리해보면 아래 <표 2-38>과 같다.

<표 2-38> 기본접근법과 및 부문접근법의 배출량 차이 원인 분석결과

구분	에너지소비량 (TJ)	CO ₂ 잠재배출량 (Gg CO ₂)	참고사항	
명목소비량 부문 (수·출입, 재고변동 등)	아스팔트	93,078.30	6,860.72	RA에서 차감
	용제	451.20	29.38	RA에서 차감
	정제원료	23,637.67	1,619.14	RA에서 차감
비에너지용 연료 부문	아스팔트	69,725.32	5,191.31	RA에서 차감
부문접근법 산정 제외 (납사: 탄산염유입 제품계)	납사	110,271.37	6,959.97	RA에서 차감
	용제	15,224.71	1,001.25	RA에서 차감
합 계	312,388.57	21,661.77		

주: RA(Reference approach 기본접근법)

기본접근법 산정에서 차감하여야할 에너지소비량은 312,389TJ로 기본접근법에 의한 액체연료 에너지 소비량의 11.7%이며, 이산화탄소 배출량은 21,662Gg CO₂로 기본접근법 배출량의 10.4%에 달하는 양이다.

위의 에너지소비량과 배출량을 기본접근법 및 부문접근법에 반영한 경우 그 전후를 비교해 보니 <표 2-39>와 같았다.

<표 2-39> 누락연료의 기본접근법 및 부문접근법 반영 전후 비교

	기본접근법(RA)		부문접근법(SA)		차이 (RA-SA)/SA		
	에너지소비량 (TJ)	CO ₂ 배출량 (Gg)	에너지소비량 (TJ)	CO ₂ 배출량 (Gg)	에너지소비량 (%)	CO ₂ 배출량 (%)	
원 자 료	액체	2,678,308	208,948.05	2,386,240	174,940.03	12.24	19.44
	고체	3,349,791	302,637.08	3,445,984	310,978.43	-2.79	-2.68
	기체	1,982,086	100,654.30	1,957,995	99,683.56	1.23	0.97
	합계	8,010,185	612,239.43	7,790,219	585,602.03	2.82	4.55
반 영 자 료	액체	2,365,919	187,286.28	2,316,514	174,940.03	2.13	7.06
	고체	3,349,791	302,637.08	3,445,984	310,978.43	-2.79	-2.68
	기체	1,982,086	100,654.30	1,957,995	99,683.56	1.23	0.97
	합계	7,697,797	590,577.66	7,720,493	585,602.03	-0.29	0.85

액체연료 배출량은 19.44%에서 7.06%로 12.38% 감소하였고 전체 배출량은 그 차이가 1% 이하가 되었다.

제5절 결론

온실가스 배출통계는 기후변화협약에 따라 에너지, 산업공정, 농업, LULUCF, 폐기물 등 5개 분야에 대한 교토의정서상의 6대 온실가스 배출량을 매년 작성·공표하고 있는 통계이다. 온실가스 배출통계는 온실가스 감축 잠재력 평가는 물론 감축 이행계획 수립, 기후변화 관련 정책 수립 및 이행의 중요한 기초자료로 활용이 되며 국가별 온실가스 감축 의무부담에 대한 국제협상 시 우리나라의 대응전략 수립의 기초자료로도 활용된다.

온실가스 배출량 중에서는 에너지분야 배출량이 총배출량의 85% 이상을 차지하며, 이 분야 배출량의 관리가 전체 국가 배출량의 증감에 중요한 위치를 점한다 할 수 있다.

에너지부문 배출량 산정은 기본적으로 부문접근법에 기초하여 배출량을 산정하고 있으나, 화석연료 연소로 인한 이산화탄소 배출량 산정에는 부문접근법 외에 기본접근법에 의한 배출량 산정 방법도 있다. 이 두 접근법은 활동자료인 에너지밸런스를 사용함에 있어 기본접근법은 공급부문통계, 부문접근법은 소비부문통계로 각각 다른 자료를 사용하기 때문에 상호 독립적이라 할 수 있다. 또한, 화석연료 변환 전후의 에너지 및 탄소량은 보존된다는 가정하에 두 접근법으로 산정한 에너지량(배출량)은 서로 같다는 가정이 성립하기 때문에 기본접근법은 부문접근법의 교차검사에 활용되며, UNFCCC의 보고지침에서도 두 방법론에 의한 배출량을 상호 비교하고 보고서에 명시하도록 하고 있다.

우리나라의 경우 두 방법론에 의한 배출량의 차이가 2011년 기준 총배출량은 5% 이하이나 액체연료인 석유류 배출량의 차이가 19.44%라는 큰 차이가 나며, 그 원인이 규명되지 않고 있다.

본 연구에서는 두 방법론 간의 배출량 차이의 원인을 밝혀보고자 산정과정에 사용된 활동자료를 중심으로 산정에서 제외된 자료는 없는지, 한 방법론에서 제외된 연료는 다른 방법론에서도 제외하고 있는지, 비에너지용 연료에 몰입된 탄소는 적정하게 제외하였는지 등을 국가 온실가스 배출통계 보고서인 NIR 및 CRF 자료와 에너지관련 통계인 에너지통계연보, 석유류수급통계 등을 중심으로 검토하였다.

그 결과 다음의 세가지 부문에서 그 원인을 찾을 수 있었다.



첫째, 기본접근법 산정에서 일부 제품의 산정 제외

기본접근법에서 사용되는 활동자료는 원료이든 제품이든 1차 연료 생산량, 수입량, 수출량, 국제병커링, 재고변동량을 모두 포함하여야 한다. 그러나 2011년 기준 기본접근법에 의한 배출량 산정에서는 아스팔트, 정제원료, 용제의 수입량, 수출량, 재고변동량 자료를 배출량 산정에서 제외하였다.

둘째, 기본접근법 산정에서 비에너지용 연료의 몰입탄소 차감 누락

원료 및 비에너지로 사용된 제품의 탄소 중 일부는 이산화탄소로 배출되지 않고 수년간 제품 내에 계속 잔류하고 있기 때문에 이 탄소량은 배출량 산정에서 제외하여야 하나 비에너지 연료 중 아스팔트는 100% 제품에 몰입되는 탄소임에도 기본접근법에서 이 탄소량을 제외하지 않았다.

셋째, 부문접근법 산정에서 제외한 연료는 기본접근법에서도 제외하여야 하나 제외하지 않은 사례

기본접근법과 부문접근법 비교의 원리는 두 접근법 간 비교의 동등성이 유지되어야 한다는 것이다. 그러나 납사의 부산물인 타산업유입량 중 산출제품계의 경우는 배출량 산정에서 제외된 납사로 간주하여야 하며, 용제(solvent) 또한 에너지부문에서 산정 제외한 연료인데 기본접근법에서는 이 두 제품의 에너지량, 이산화탄소량을 제외하지 않았다.

이와 같은 원인을 제거한 결과 액체연료의 에너지소비량은 기존의 12.24%의 차이에서 2.13%로 줄었으며, 이산화탄소 배출량은 기존의 19.44%에서 7.06%로 줄었다. 그러나 액체 연료 배출량은 여전히 7.06%로 그 차이가 크다고 할 수 있다. 본 연구에서는 주로 활동 자료 위주로 살펴보았다. 그 외에 기본접근법 산정과정에서 사용된 매개변수인 toe/bbl 환산계수, 순발열량 전환계수 등을 적용함에 있어 원자료를 이용한 것과 소숫점 이하 단위 절삭 자료를 이용한 경우 등도 무시할 정도의 아주 작은 차이이지만 두 접근법 간의 차이를 가져올 수 있다. 또한 앞에서 언급한 것처럼 연료전환 전후의 에너지량의 차이라든가, 배출계수, 통계오차 등이 원인일 수 있으므로 배출량 차이의 원인을 규명하는 작업은 지속적으로 추진되어야 한다.

본 연구는 2013년도 공표된 2011년 온실가스 배출통계를 기준으로 하였으며, 두 접근법 간의 배출량 차이를 검토함에 있어서 1990년 이후 2010년까지의 기간에 대해서는 연구결과를 적용해 보지 않아 단순히 2011년의 결과치로만 기본접근법과 부문접근법 간의 배출량 차이를 줄였다고 하는데는 문제가 있을 수 있으나, 연구과정에 도출된 문제점들이 동일하게 이 기간에도 상존할 것으로 판단된다.

연구를 수행함에 있어서 아쉬운 점이 있었다면, 활동자료인 에너지통계를 들 수 있다.

종합에너지통계인 에너지밸런스는 국가 에너지 흐름을 일목요연하게 살펴볼 수 있는 에너지수지로서의 기능을 하여야 하나 소비부문, 공급부문의 에너지 중복산정으로 순 생산량, 순 소비량 파악이 난해하며, 국제병커링의 경우 국제기준(IEA)과 국내기준의 차이로 에너지밸런스로는 국제병커링 파악이 곤란하다. 또한 석유정제 과정에 사용된 연료나 자체소비연료는 에너지밸런스에 반영되지도 않고 있다. 이를 개선하기 위해서는 현 에너지밸런스에 반영되지 않는 원료제품인 원유, 정제원료 등을 반영하고 석유정제, 납사전환 등의 전환통계도 반영하여야 한다. 이렇게 된다면 에너지통계의 공공자원으로서의 가치는 물론 활용도 또한 높아질 것이다.

이번 연구에서는 에너지분야 온실가스 배출통계의 오랜 숙제였던 연료연소 부문의 기본접근법과 부문접근법 간의 배출량 차이의 원인을 일부나마 규명하였다는데 그 의의를 두고 있으며, 본 연구가 온실가스 배출통계 산정에 조금이나마 기여할 수 있기를 바란다.



<참고문헌>

- IPCC(1996), 1996 IPCC 가이드라인
박태식(2004), 국가 에너지통계 발전과 작성기준
박희천(2006), 한국 석유통계의 개선방안에 관한 연구, 에너지경제연구 제5권 제1호
박태식(2007), 에너지통계체계 개편방안과 향후과제
환경부, 환경관리공단(2008), 2006 IPCC 가이드라인, 제2권
에너지경제연구원(2008), 기후변화협약 대응 국가온실가스 IPCC 신규 가이드라인 적용을 위한 기획연구
에너지경제연구원(2009), 국가에너지수급통계 매뉴얼
에너지경제연구원(2012), 에너지통계연보
Japan(2013), National Greenhouse Gas Inventory Report of JAPAN
U.S.A.(2013), Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emission and Sink(1990-2011)
Canada(2013), National Inventory Report(1990-2011)
한국석유공사(2012), 석유류수급통계
에너지경제연구원(2013), 에너지소비조사 DB의 정책활용도 제고방안 연구
온실가스종합정보센터(2014), 국가 온실가스 통계 산정 보고 검증 지침
온실가스종합정보센터(2014), 2013년도 국가 온실가스0인벤토리 보고서