



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) A small icon of a document with a diagonal line through it, indicating a disclaimer.

공학석사 학위논문

지구온난화에 대한 우리나라의 기여도 분석



2010년 2월

부경대학교 대학원

지구환경공학 학·연합동과정

오 승 환

공학석사학위논문

지구온난화에 대한 우리나라의 기여도 분석

지도교수 옥 곤

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.



2010년 2월

부경대학교 대학원

지구환경공학 학·연합동과정

오 승 환

오승환의 공학석사 학위논문을 인준함

2010년 2월



주 심 이학박사 김 영 섭 (인)

부 심 공학박사 강 임 석 (인)

위 원 공학박사 옥 곤 (인)

<목 차>

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	vi
I. 서 론	1
II. 이론적 고찰	4
1. 지구온난화의 이론적 배경.....	4
2. 전지구적 온실가스 배출현황.....	8
2.1 선진국의 온실가스 배출현황.....	10
2.2 개도국의 온실가스 배출현황.....	12
3. 지구온난화 안정화 관련 국제적 동향.....	14
3.1 IPCC 안정화 방안.....	15
3.2 Pacific Ecologist 안정화 방안.....	17
III. 우리나라의 기여도 분석	19
1. 연구내용 및 방법.....	20
2. 우리나라 현황.....	20
2.1 경제현황.....	20
2.2 온실가스 배출현황.....	21
3. 기여도 분석에 대한 인자별 적용방법.....	22
3.1 전지구적 누적 배출량 적용방법.....	22
3.2 우리나라 누적 배출량 적용방법.....	23

3.3 기여도 분석 적용기간.....	28
3.4 누적 배출량 적용분야 및 대상 가스.....	29
3.5 기타 기여도 분석방법.....	30
3.5.1 대기중 농도 적용방법.....	31
3.5.2 지표온도 상승 적용방법.....	33
4. 우리나라의 기여도 분석결과 및 고찰.....	35
4.1 누적 배출량 산정에 의한 기여도 결과.....	35
4.1.1 추정 활동도에 의한 분석결과.....	35
4.1.2 실제 활동도에 의한 분석결과.....	37
4.2 대기중 농도에 따른 기여도 결과.....	42
4.3 지표온도 상승에 따른 기여도 결과.....	44
IV. 결 론.....	47
참고문헌.....	49
감사의 글.....	52

<List of Tables>

Table 1. Global carbon budget.....	8
Table 2. Aggregate emissions and removals of CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O in CO ₂ equivalent(Gg and percentages of total by Party.....	12
Table 3. Characteristics of post-TAR stabilization scenarios.....	16
Table 4. Mid-Long emission reduction term targe.....	16
Table 5. The status of data collection to evaluate the cumulated CO ₂ ..	22
Table 6. The status of cumulated CO ₂ emission of the Korea.....	24
Table 7. The GHG emission in energy sector of Korea.....	27
Table 8. The comparison of cumulated CO ₂ emission among the countries...	28
Table 9. The ratio of energy sector in the global GHG emission	29
Table 10. The CO ₂ ratio of energy sector in the global GHG emission...	30
Table 11. The value of the main model parameters used in the Brazilian model according to the Brazilian model(UNFCCC 1997), Meta- IMAGE model(den Elzen,1998) and MAGICC model(Wigly and Raper, 1992).....	31
Table 12. The cumulated CO ₂ emission and global warming contribution level of each country in 1865~2005.....	32
Table 13. The % of surface temperature contribution of each country in 1865~2000).....	34
Table 14. The result of global warming contribution considering to the CO ₂ concentration into the atmosphere.....	43
Table 15. The result of global warming contribution considering to the ℃ increase.....	45

<List of Figures>

Figure 1. Radiative force factors.....	5
Figure 2. Main greenhouse gas concentration at atmosphere by 2000.....	6
Figure 3. Global temperature change, 1861-2000	7
Figure 4. Global Warming Potential(GWP) weighted global greenhouse gas emissions 1970-2004.....	9
Figure 5. Greenhouse gas emissions from Annex I Parties, 1990, 2000, 2005 and 2006.....	11
Figure 6. Scenario on global warming stabilization.....	17
Figure 7. The status of GDP in Korea(1971-2007).....	20
Figure 8. Comparison of the national GHG emission and the % of the global emission(1971-2007).....	21
Figure 9. The comparison of GHG emission in energy sector(This research vs. National inventory vs. IEA guideline).....	26
Figure 10. The comparison of global contribution of each country in respect of cumulated CO ₂ emission.....	36
Figure 11. The share of GHG emission per contry(1971-2007).....	37
Figure 12. GHG emission trend of main 5 and other 135 nations.....	38
Figure 13. The comparison of GHG emission per capita between World and Korea.....	40
Figure 14. The ranking of cumulated GHG emission per capita.....	41
Figure 15. The comparison of global contribution of each country in respect of the CO ₂ concentration into the atmosphere.....	44
Figure 16. The comparison of global contribution of each country in respect of the °C increase.....	45

Figure 17. The comprehensive results of global warming contribution in
case of the Korea.....47



Analysis of the contribution rate of the Korea on global warming

Seung-Hwan Oh

*Interdisciplinary Program of Earth Environmental Engineering,
The Graduate School
Pukyong National University*



Abstract

Nowadays, global warming is one of the big issues because it adversely effects on our society and environment. It is known that the global warming was caused of surplus greenhouse emission originated from the human activities related to economic development such as fossil fuel consumption. For the stabilization of global warming, the UNFCCC calls for 189 member country to reduce the greenhouse emission in its nation and being negotiate to bind its reduction target.

There is a principle which is share the burden of GHG emission

reduction as a "common but different responsibility". Even the global warming is common problem, the developed countries have a historical responsibilities causing the current global warming with emitting huge amount of GHG emission for last a few hundred years

But the developed country insist on participating some developing countries including Korea, Mexico, China, India for binding the GHG emission reduction target. In the situation, this research is focused on how much the Korea has a responsibility on the global warming. There are 3 kind of methodologies to define the responsibility; First, how much the country has historically emitted the GHGs for last hundreds years, Second how much the country has contribute to the GHG concentration of the atmosphere, and Third how much the country has influenced on increasing the surface temperature. The historical GHG emission of energy sector from the countries will be collected to analysis of the contribution rate per country in this research. During the research, the Korea's contribution rate on the global warming will be defined in each methodology.

Keyword : greenhouse gas, global warming, historical responsibility, reduction target, UNFCCC

I. 서론

지구 대기는 대부분 수증기와 CO₂ 및 SO₂를 포함한 CH₄, N₂O 등과 같은 온실가스로 구성되어 있으며, 이들 가스는 태양 및 지구 열을 흡수하는 온실효과 (greenhouse effect)를 통하여 지구 온도를 일정 수준으로 유지시켜 주고 있다. 현재의 지구 평균 온도는 약 15℃이나 온실가스에 의한 온실효과가 없을시 온도는 -18℃ 정도로 낮아지게 되는 것으로 보고되고 있다(조광우, 기후변화 대응체제 연구, 2002). 그러나 18세기 후반 시작된 산업혁명 이후 화석연료의 사용 증가로 대기 중 온실가스의 농도가 급속하게 증가되면서 온실효과의 증대로 지구온도 상승, 즉 지구온난화(global warming)가 심화되고 있는 것으로 지적되고 있으며, 이에 따른 기후변화 문제가 국제 환경사회의 집중 조명을 받고 있다.

2001년 발표한 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 3차 평가보고서(Assesment Report)에 따르면 현재와 같은 지구온난화가 지속·심화된다면 21세기 말경에는 지구 기온이 최대 5.8℃, 해수면은 88cm까지 상승할 것이라고 예측하고 있다. 아울러 이러한 지구온난화에 따른 영향은 자연생태계는 물론 인간의 건강과 사회 경제적 활동의 중심인 수자원, 농업수산업, 산업, 대기질, 연안 거주지 등 인간사회의 모든 부분에서 매우 부정적인 영향을 미칠 것 이라는 것이 동 IPCC 보고서의 전망이다

우리나라의 경우에도 지난 1세기 동안의 지구온난화 심화로 기온 및 해수면 상승, 황사일수 증가, 강수량 변화에 따른 홍수 및 가뭄, 태풍 등을 포함한 각종 기상재해 발발, 냉수성 어족의 격감, 농업생산성의 변화, 전염병의 증가 등 각종 부정적 영향들이 나타나고 있는 것으로 보고되고 있다(조광우, 기후변화대응체제 연구, 2002).

국제사회에서의 지구온난화에 대한 문제 제기는 20세기 후반부터 본격화되었으며, 기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change) 채택을(1992) 통하여 전지구적인 공동 대응을 추진하고 있다. 본 협약 제3조에는 “공동의 차별화된 원칙”이라는 공동 대응의 대원칙을 제시하고 있다. 즉 지구온난화는 전지구적인 문제로서 모든 국가가 공동으로 대응하여야 하나, 과거에 많은 온실가스를 배출한 현재의 선진국들이 지구온난화에 대한 책임이 있다는 것이다. 따라서, 동 협약 제1차 이행사항(2008~2012)을 규정한 교토의정서(Kyoto Protocol) 제4조에는 선진국 38개 국가들이 1차적으로 온실가스를 감축하여야 하는 강제적의 의무조항(Commitment)을 규정하고 있다.

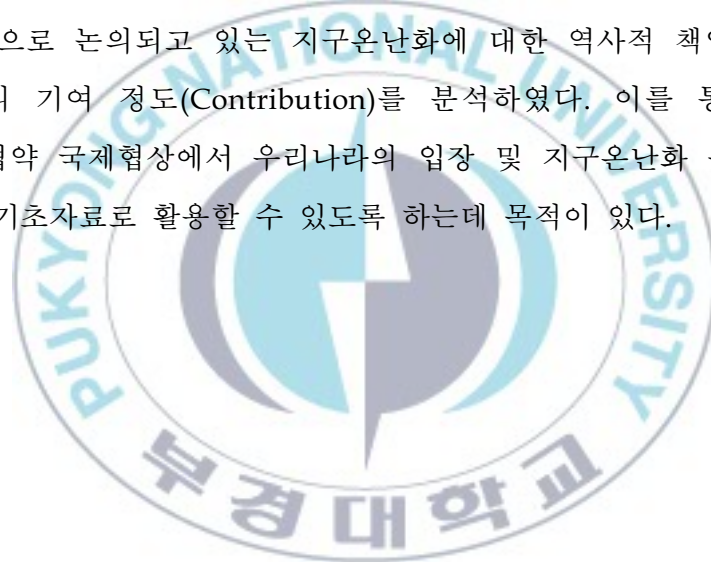
현재 국제사회는 기후변화협약에 따른 제2차 이행사항(Post Kyoto)에 대하여 협상하고 있다. 주요 논의의제는 2차 이행기간에 어느 국가가 얼마만큼의 온실가스 배출을 감축하느냐는 것이다(UNFCCC Long-term Cooperative Action & Kyoto Protocol negotiation text, 2009). 이와 관련하여 1차 이행기간 동안 온실가스 의무감축을 부여받은 선진국들은 현재 온실가스를 많이 배출하고 있는 중국, 인도, 한국 등과 같은 일부 개도국들의 의무감축 참여를 요구하고 있다. 반면, 개도국 그룹은 협약의 대원칙인 현재의 지구온난화에 대한 "역사적인 책임(Historical responsibility)"을 근거로 반대하고 있다.

이러한 배경 하에서 우리나라는 1970년대부터 급속한 경제성장 추세를 보이며, 2006년 국가 온실가스 배출량이 6억CO₂톤으로 온실가스 배출 통계 집계를 개시한 1990년 배출량(3억CO₂톤)과 비교 2배를 초과한 상황이다. 이러한 배출규모 및 증가속도는 전지구적으로 10위에 위치하며, OECD 국가중 가장 빠른 증가 추세를 보인다(에너지경제연구원, 2009).

현재의 우리나라 온실가스 배출 추세를 고려한다면 기후변화협약 2차 이행에서 온실가스 감축의무 부담을 받는 것이 당연한 주장일 수 있다.

그러나, 협약의 기본 취지가 지구온난화의 안정화(Stabilization)이고 지구온난화 발생 원인이 현재 보다는 과거 산업혁명 시기부터 배출하여 온 온실가스에서 근원(IPCC TAR&FAR, 2001,2007) 한다는 과학적 근거를 통하여 볼 때 기후변화협약 제3조(역사적 책임)에 명시된 바와 같이 기후변화협약 2차 이행의 의무부담 참여 여부도 역사적인 온실가스 배출량에서부터 접근하여야 하며, 현재 진행되고 있는 지구온난화에 어느 나라가 어느 정도의 책임이 있나를 살펴볼 필요가 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 지구온난화 방지를 위한 기후변화협약 국제 협상에서 주요 논점으로 논의되고 있는 지구온난화에 대한 역사적 책임과 관련한 우리나라의 기여 정도(Contribution)를 분석하였다. 이를 통하여 향후 기후변화협약 국제협상에서 우리나라의 입장 및 지구온난화 문제에 대한 재정립의 기초자료로 활용할 수 있도록 하는데 목적이 있다.



II. 이론적 고찰

1. 지구온난화의 이론적 배경

지구온난화는 자연적(Natural) 변동 및 인간 활동(Anthropogenic)의 결과로부터 발생하는 지구 대기조성 변화에 의한 것으로 보고되고 있다. 지구의 기온은 태양에서 들어오는 복사에너지와 지구표면 및 대기에서의 에너지 반사, 흡수 및 배출의 관계에 의해서 결정된다. 복사에너지는 태양 주위를 도는 지구 궤도의 변동 등으로 입사량 변화에 따라 변화될 수 있지만, 인위적인 활동에 의해서는 변화될 수 없는 자연적 변동이다. 그러나 지구표면과 대기에서의 에너지 수지 변동은 인위적 변화가 가능하며, 이 인위적인 변화에 의하여 지구 평균온도 변화가 발생한다(IPCC Fourth Assessment Report, 2007). 온실가스 및 에어로솔의 증가가 이러한 인위적인 변화의 대표적인 사례라고 볼 수 있다. 온실가스는 지구에서 나가는 지구복사가 대기에 더 많이 흡수되게 하고 에어로솔은 유입되는 태양복사를 반사하고 흡수함으로써 구름의 복사 특성을 변화시키기 때문이다.

이와 같이 지구 대기시스템에 출입하는 에너지 평형을 변화시키는 영향력의 척도를 복사강제력(Radiative Force)으로 명시하고 있으며, 양(plus)의 복사강제력은 지구평균 온도의 상승을 음(minus)의 복사강제력은 온도의 감소를 일으킨다(IPCC Third Assessment Report, 2001).

아래 Figure 1.은 2005년도에 지구온난화에 영향을 미친 인위적 요인별(Factor) 복사강제력의 정도를 나타낸 것이다.

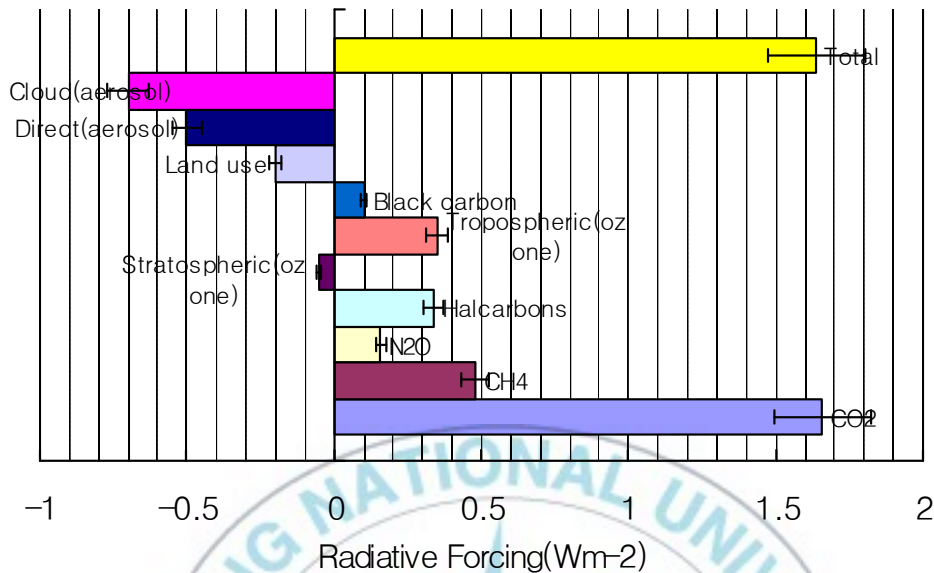


Figure 1 Radiative Force Factors(Modified from IPCC Fourth Assesment Report, 2007)

Figure 1에 나타난 바와 같이 CO₂, CH₄ 및 N₂O와 같은 온실가스들과 오존을 발생시키는 화학물질(질소산화물, 일산화탄소, 탄화수소류)은 복사강제력을 양(각각 $+2.3\text{Wm}^{-2}$ 및 $+0.353\text{Wm}^{-2}$)으로 작용시키면서 지구온도의 상승을 유발하고 있으며, 에어로졸의 경우 음(-1.2Wm^{-2})의 요인으로 작용하면서 온도의 저감을 유발하고 있다. 그러나 결과적으로 양의 요인으로 작용하는 온실가스의 복사강제력의 강도가 높아 지구 전체적으로는 약 $+1.6\text{Wm}^{-2}$ 의 복사강제력을 보이며 지구전체적으로는 온도를 상승시키는 것으로 나타나고 있다. 이와 같이 지구온난화 영향의 대표적인 인자로 온실가스를 고려할 수 있으며, 온실가스는 자연적으로 발생되기도 하지만 인간의 산업화 과정에서 대량으로 배출되고 있는 것으로 보고되고 있다 (IPCC Third & Fourth Assesment Report, 2001,2007).

지구의 자연적 대기 순환체계는 원래 대기로 배출되는 물질들이 화학적, 물리적으로 제거되면서 일정 수준을 유지하는 것이 원칙인데 대표적 온실가스인 CO_2 의 경우 제거의 속도와 비교하여 배출량이 상대적으로 증가하면서 대기중의 농도 증가를 야기시켰다. 특히 CO_2 와 같은 온실가스는 화학적으로 안정하기 때문에 수 십년 또는 수 백년 혹은 그 이상의 기간에도 대기에 계속하여 존재하게 되며, 이러한 잔류기간 동안 지구 복사강제력에 영향을 미침으로서 지구온난화에 주도적인 인자로 보고되고 있다(IPCC Fourth Assessment Report, 2007).

현재 진행되고 있는 지구온난화의 주요 인자인 CO_2 의 인위적인 배출량은 1990년 23.5GtCO_2 에서 2005년 26.4GtCO_2 으로 지속적인 증가 추세를 보이고 있으며, 이에 따른 지구 대기중의 농도도 Figure 2에서 나타나듯이 산업화 이전 280ppm에서 2005년 379ppm으로 지속 상승하고 있는 것으로 관측되고 있다(IPCC Fourth Assessment Report, 2007).

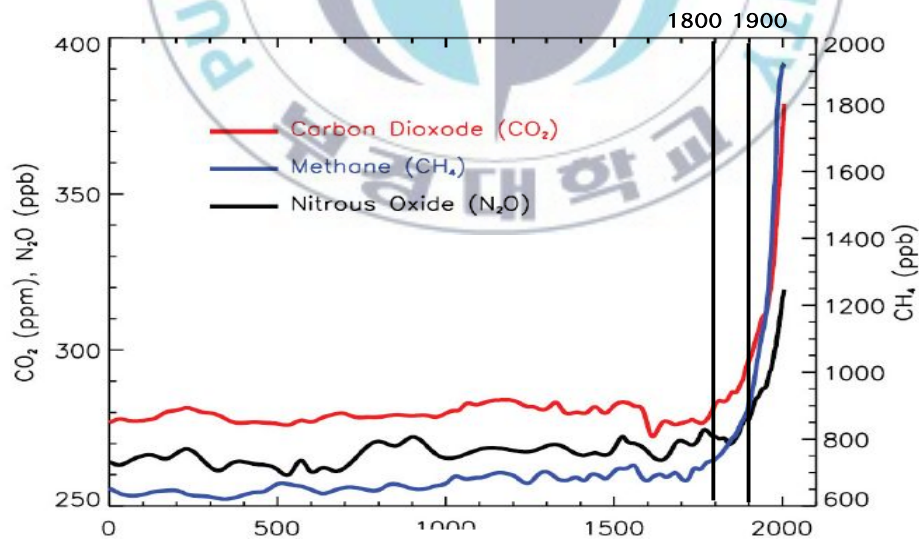


Figure 2. Main greenhouse gas concentration at atmosphere by 2000(IPCC TAR, 2001)

이는 1750년대부터 시작된 산업혁명을 통하여 지금의 선진국들이 배출한 온실가스의 영향으로 1800년을 기점으로 1900년대에 접어들면서 대기중의 온실가스 농도가 급증가하는 추세를 보이고 있다. 이러한 대기중의 온실가스 농도 변화는 실질적인 지구의 온도와 비교 분석되어야 할 필요가 있다. 아래 Figure 3은 실측된 지구의 평균온도 변화 추세를 보여주고 있다. 1860년 이후 직접 측정한 지구 온도에 따르면 지난 100년간(1906-2005) 0.74℃ 증가한 추세를 보이고 있으며 대기중 온실가스 농도 증가와 비례하는 것으로 이러한 추세는 장기간 유지될 것으로 예측된다(IPCC TAR, 2001).

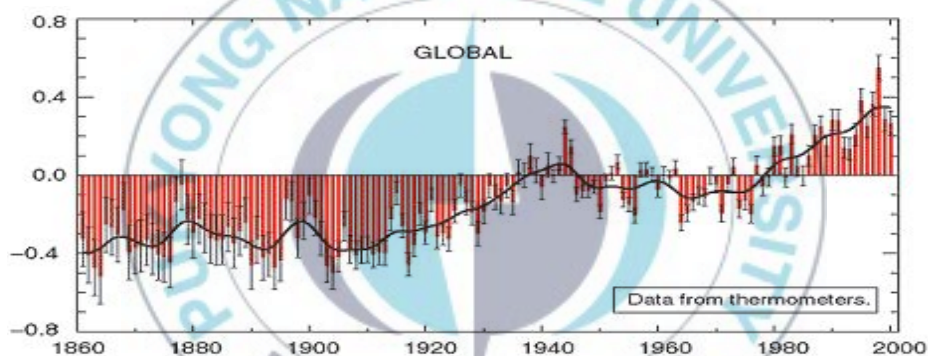


Figure 3. Global temperature change, 1861-2000 (IPCC Third Assessment Report, 2001)

결과적으로 현재 진행되고 있는 지구온난화의 경우 자연적인 요인과 인위적인 요인으로 구분되며, 인위적인 요인 중에서 양의 복사강제력이 높은 온실가스가 음의 복사강제력을 나타내는 에어로졸 보다 우월하고 장기간 대기에 체류하는(IPCC FAR, 2007) 특성 따라 현재의 지구온난화에 직접적인 영향을 미치고 있으며, 이에 따른 대기중 온실가스 농도 증가 및 지구온도 상승으로 이어지는 지구온난화의 심화 체계를 이해할 수 있다.

2. 전지구적 온실가스 배출현황

앞에서 살펴본 바와 같이 현재의 지구온난화는 인위적(anthropogenic)인 온실가스 배출에서 그 원인을 찾을 수 있다. 아래 Table 1은 주요 온실가스인 CO₂의 전지구적인 플럭스 현황을 보여주고 있다. 전반적으로 시간이 지나가면서 화석연료를 기반으로 하는 CO₂ 배출량은 지속 증가하고 있으며, 해양 및 토양으로부터 흡수(Sink)되는 CO₂ 양도 증가하는 추세를 보여주고 있으나 배출량이 흡수량을 초과함으로써 전지구적인 CO₂ 배출량은 지속 증가(IPCC FAR, 2007)하는 결과를 나타내고 있다.

Table 1. Global carbon budget(IPCC FAR, 2007)

Flux(GtC/year)	1980s	1990s	2000-2005
Global CO ₂ Emission	3.3±0.1	3.2±0.1	4.1±0.1
Emission from fossil fuel	5.5±0.3	6.4±0.4	7.2±0.3
Net Flux bet. ocean and atmosphere	-1.8±0.8	-2.2±0.4	-2.2±0.5
Net Flux bet. land and atmosphere	0.3±0.9	-1.0±0.6	-0.9±0.6

결과적으로 현재 진행되고 있는 지구온난화는 인위적인 원인이 높은 것으로 분석(IPCC, TAR & FAR, 2001,2007)되고 인간의 경제활동에서 비롯되었다는 것으로 지적되고 있다. 따라서, 지구온난화의 안정화를 위해서는 온실가스 배출을 제한하는 것이 필요하며, 이를 위하여 현재 및 그간 배출되어 온 온실가스 배출현황 및 추세를 분석하는 것이 요구된다.

IPCC 평가보고서에 따르면 지구온난화의 개시 시점을 산업혁명 시작 시점과 동일하게 보고 있으므로 온실가스 배출량에 대한 조사는 1750년대부터 산정하는 것이 필요하나 국내외적으로 1960년도 이전의 배출량을 추정할 수 있는 자료는 전무한 상황이며, 미국 연구기관인 Pew Center, WRI 등에서 1850년

부터의 국가별 온실가스 배출량 자료를 제시하고는 있으나, 과거년도의 배출량을 화석연료의 수·출입에 의한 물동량으로 추적한 자료(World Resource Institute, 2009)로서 실질적인 국가별 배출량 자료로서 적용하는 것에는 한계가 있는 것으로 평가된다.

따라서, 기후변화협약 국제 협상의 과학적 근거를 제시하는 IPCC에서도 온실가스 배출의 상당부분을 차지하는 “에너지 및 산업공정” 분야의 실측이 가능한 시점부터의 온실가스 배출량을 제시하고 있는 상황이다. 아래 Figure 4는 실질적으로 국가별 화석연료 소비량 파악이 가능한 시기인 1970년과 2004년 간의 전지구적인 주요 온실가스(CO_2 , CH_4 , N_2O)의 배출량 추이를 나타낸 것이다. 인위적인 온실가스 배출량 증가의 대표적 원인 가스인 CO_2 는 1970년에서 2004년 사이에 약 80%까지 증가하였으며(1990년에서 2004년 사이에는 28%), 2004년 온실가스 총 배출량의 77%를 차지하는 것으로 나타나고 있다.

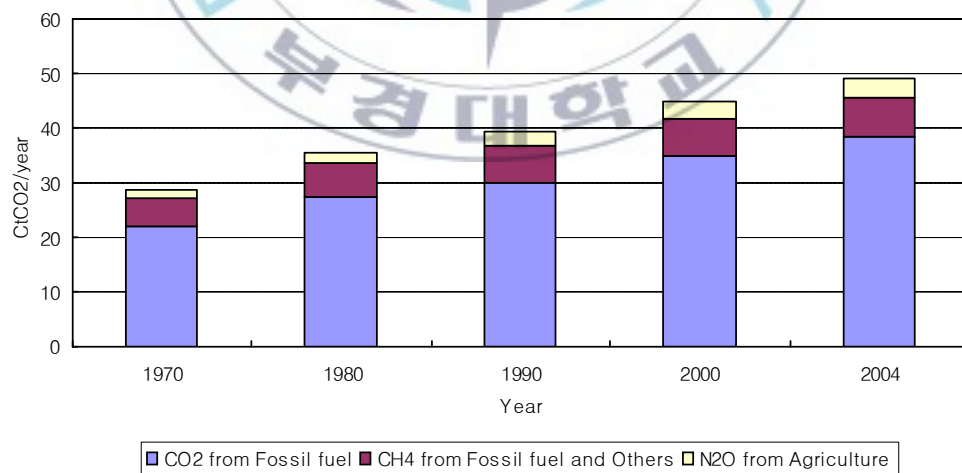


Figure 4. Global Warming Potential(GWP) weighted global greenhouse gas emissions 1970-2004(IPCC FAR, 2007)

CO₂ 배출 분야중 1970년부터 2004년 사이에 가장 두드러진 증가를 나타낸 부문은 에너지 공급 부문으로서 145% 증가로 나타났으며, 이 기간 동안 직접 배출에 의한 증가는 수송수단에 의하여 120%, 산업에서 65%, 토지이용, 토지 이용 변경 및 산림에서 40%로 나타났다. 1970년부터 1990년 사이에 직접 배출은 농업부문에서 27%까지, 건물부문에서 26%까지 증가하였으며, 이후 대략 1990년 수준에서 유지 되고는 있지만, 건물 부문은 높은 전기사용으로 간접부분이 차지하는 비율 전체배출량의 75%이상이 된다(IPCC FAR, 2007).

이상과 같은 결과로부터 보면 전 세계 온실가스 배출량은 산업혁명 이후 계속적으로 늘어났으며, 1970년부터 2004년 사이에는 70%까지 증가하였고 CO₂로 환산할 경우 연간 287억톤에서 490억CO₂톤정도 증가한 것으로 나타나고 있다.

2.1 선진국의 온실가스 배출현황

기후변화협약에 따라 국가는 선진국(Annex I) 및 개도국(non-Annex I)으로 구분하고 있으며, 모든 국가들의 온실가스 배출량 산정은 1990년부터 산정하고 있다. 개도국은 자율적인 시행을 권유하고 있는 반면, 선진국 그룹은 매년 온실가스 배출량을 산정하여 기후변화협약 사무국에 제출토록 하고 있다. 따라서, 사무국에 제출되어진 선진국의 배출량 산정 자료는 국제적인 공식 자료로 구분될 수 있으며 그 만큼 정확성과 신뢰성을 담보할 수 있다(WRI, 2009).

Figure 5는 선진국에서 제출한 연도별 온실가스 배출량을 비교한 결과이다. 대상 국가는 미국, 일본, 영국 등을 포함한 38개 국가이며 이들 국가들이

배출한 온실가스 총량은 1990와 비교하여 약간 하향 추세를 보이며, 최종적으로 2006년 180억톤의 CO₂를 배출한 것으로 나타났다.

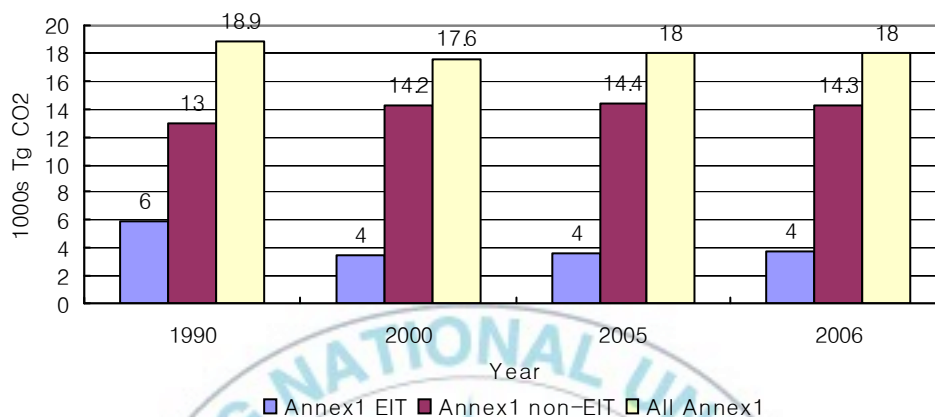


Figure 5. Greenhouse gas emissions from Annex I Parties, 1990, 2000, 2005 and 2006(UNFCCC Doc. FCCC/SBI/2008/12, 2008)

그러나 선진국 그룹의 온실가스 배출량이 전반적으로 하향 추세라고 단정 지을 수는 없을 것이다. 이유는 Annex I 국가중에 과거 산업혁명 기간 동안에는 많은 온실가스를 배출하였으나, 1990년대 초반 경제 붕괴에 따른 경제체제가 전환된 경제전환국(EIT)이 포함되어 있기 때문이다. 반면 현재까지 경제성장을 지속하고 있는 선진국의 경우 지속적인 증가 추세를 보이고 있는 것으로 보고되고 있기 때문이다(UNFCCC FCCC/SBI/2008/12, 2008).

결과적으로 선진국 그룹의 온실가스 배출량이 감소하는 형태를 보이나 실질적으로는 현재의 선진국 즉 non-EIT 국가들은 지속적으로 배출량이 증가하여 왔으며, 경제전환국 EIT 국가들의 자연 감소량 때문에 하향 추세를 보이는 것으로 나타났을 뿐이며, EIT 국가들의 배출량도 2000년도를 기점으로 다시 증가하는 추세로 보이며 장기적으로는 선진국 그룹의 온실가스 배출량은 증가될 것으로 전망된다.

2.2 개도국의 온실가스 배출현황

개도국의 온실가스 배출현황은 Table 2에 나타내었다. 개도국의 경우 온실가스 배출량 산정에 대한 기반 부족으로 우리나라, 멕시코, 브라질 등의 일부 국가를 제외하고는 연차별로 온실가스 배출통계를 산정하지 못하는 국가들이 많다. 기후변화협약 가입국이 총 195(EC 제외)개국이며 선진국이 38개국임을 고려할 때 기후변화협약 상의 개도국으로 분류되는 국가들은 157개국이며, 이중 2008년 기준으로 기후변화협약에 따른 조약에 의거 국가 온실가스 배출통계를 제출한 국가는 122개국이다. 이들 국가들의 온실가스 배출 총량은 아래 Table 2에 나타난 바와 같이 1994년 기준으로 약 117억 CO₂톤이며, 선진국의 1995년 배출량의 65% 수준이다.

Table 2. Aggregate emissions and removals of CO₂, CH₄ and N₂O in CO₂ equivalent(UNFCCC Doc.FCCC/SBI/2005/18/Add.2, 2005)

Party	Energy		Industrial		Agriculture		Waste	
Total NON-Annex I Parties	Gg	%	Gg	%	Gg	%	Gg	%
	7,501,148.06	63.9	703,503.3	6.0	3,033,040.59	25.8	497,744.42	4.2

배출 비중을 살펴보면 에너지 부문이 약 64%, 농업부문이 26%, 산업공정 부문이 약 6% 순으로 온실가스가 배출되는 것으로 나타났으며, 국가경제 성장과 직접적으로 연계되는 에너지 소비 및 산업공정 분야의 비중이 70% 이하로 선진국과 비교 중공업 등의 산업 및 에너지 소비분야에 대한 비중은 낮은 것으로 보고되고 있다(UNFCCC, 2005). 반면 농업부분의 비중이 선진국과 비교 높은 것으로 분석됨에 따라 개도국 모집단(122개국) 및 배출 패턴을 고려하였을 때 농업 중심의 국가가 많은 것으로 평가된다. 한편 최근 우리

나라를 포함한 중국, 인도 등의 산업분야 중심의 경제발전 정책을 추진하면서 개도국의 온실가스 배출량도 상당부분 증가되어 왔으며, 연차별 온실가스 배출량 증가 속도는 선진국 그룹보다 개도국 그룹이 더욱 빠르게 증가되고 있는 것으로 분석되고 있다((UNFCCC FCCC/SBI/2005/18/Add.2, 2005). 다만, 동 통계자료가 기후변화협약 사무국에서 보고된 자료임에도 불구하고, 개도국 그룹에 대한 국가별 온실가스 배출량 산정 및 제출이 강제 규정이 아님에 따라 개도국의 온실가스 배출량 산정결과는 배출량 산정방법론 적용 및 기준년도 설정 등의 측면에서 통일성 및 일관성이 확보되지 못하는 한계를 가지고 있었다.



3. 지구온난화 안정화 관련 국제적 동향

앞에서 살펴본 바와 같이 지구온난화 주요 지표중의 하나로 CO₂ 대기중 농도를 고려할 수 있으며, 농도 증가의 주요 원인인 인간의 산업 활동에 의한 CO₂ 배출량을 감소시키는 것이 지구온난화 안정화의 주요 지표로 제시될 수 있다. 따라서, 배출원에 의한 환경오염 기여에 따른 원인자 부담원칙 및 기후변화협약에서 지적하고 있는 차별화된 책임 원칙에 근거하여 현재 지구온난화의 원인자 및 책임의 소지를 분명하게 평가할 필요가 있다. 우선적으로 현재 가속화 단계에 있는 지구온난화의 안정화를 위한 방법론의 설정이 필요하다.

따라서 IPCC에서는 지구온난화 안정화 방안으로 온실가스 배출량을 조절하여 대기 중 온실가스 농도를 관리함으로써 복사강제력의 안정화를 꾀하는 방안을 제시하고 있다. 그러나 지구의 기후체계(Climatic System) 상, 기후시스템은 지구의 육상, 해양 및 대기 간의 상호 순환체계를 통하여 형성되므로 안정화도 완만하게 진행된다는 관성의 법칙(조광우 2002)에 따라 현재의 온실가스 배출량을 현저히 낮추더라도 대기중의 온실가스 농도를 당장 저하시킬 수 없으며, 지구온난화는 일정기간 유지된다. 아울러 현재 인간의 활동에 의하여 배출되는 온실가스의 배출특성 및 패턴이 국가 경제와 직접적으로 연계되어 있다는 점을 고려하였을 때 온실가스 배출량을 급격히 줄이는 것은 현실성이 매우 부족하다.

결국 대기 중의 온실가스 농도에 대한 안정화의 방향도 현재의 농도 기준보다는 미래의 예측을 통하여 농도를 안정화 시킬 수 있는 전환점(Turning Point)을 기준으로 안정화의 방향을 설정하는 것이 타당한 것으로 IPCC에서는 보고하고 있다.

3.1 IPCC의 안정화 방안

IPCC에서는 대기 중 CO₂ 농도를 현재보다 높은 수준인 450ppm, 650ppm, 1,000ppm을 전환점으로 설정하고 안정화를 위한 전 지구적인 CO₂ 배출 감축량을 설정하는 안정화 전략을 제시하고 있다. 현재 국제적으로 논의되고 있는 지구의 안전을 위한 대기중의 온실가스 농도 최고수준은 450ppm 이하로서(UNFCCC, 2007,2008,2009) 이를 만족시키기 위해서는 향후 수년 이내에 온실가스의 농도가 최고치에 이르고 이후 안정화 및 하향세를 유지하기 위한 중장기적인 온실가스 배출량 제한 전략을 제시한 것이다.

Table 3는 IPCC 4차 평가보고서에서 제안하고 있는 지구 대기중의 온실가스 농도 안정화를 위한 시나리오이다. 예로서 범주 I에서 나타내고 있는 CO₂의 농도가 지구온난화의 안정화를 보장할 수 있는 농도로 알려져 있으며, 이 경우 복사 강제력은 $2.5 \sim 3.0 \text{ W/m}^2$ 이고 이를 이루기 위한 대기중 농도의 최고치(peak point)는 2015년으로 제한되어 있다. 즉 이러한 수준을 이루기 위해서는 전 지구적 온실가스 배출량은 2015년 이내에 최고치를 기록하고 하향 추세로 전환되어야 하며, 2050년에는 2000년 배출량 대비 -85% ~ -50% 수준으로 온실가스 배출을 저감하여야 한다는 것이다.

따라서, 현재 기후변화협약 국제협상에서는 IPCC에서 제시한 대기중의 온실가스 농도 안정화에 대한 시나리오를 기초로 선·개도국간의 온실가스 감축량 분담에 대한 논의가 진행중인 것이며, 아울러 국가 그룹별 이원화된 분담을 통하여 그룹 내의 개별 국가들이 향후 감수하여야 하는 감축량이 협상을 통하여 결정될 예정이다(UNFCCC AWG-LCA&KP, 2009)

Table 3. Characteristics of post-TAR stabilization scenarios(IPCC Fourth Assesment Report, 2007)

Cate gory	Radiative forcing (W/m ²)	CO ₂ concent ration (ppm)	CO ₂ concentr ation (ppm)	Global mean temperature increase above preindustrial at equilibrium, using "best estimate" climate sensitivity (°C)	Peaking year for CO ₂	Change in global CO ₂ emissions in 2050(% of 2000 emissions)
I	2.5-3.0	350-400	445-490	2.0-2.4	2000-2015	-85 to -50
II	3.0-3.5	400-440	490-535	2.4-2.8	2000-2020	-60 to -30
III	3.5-4.0	440-485	535-590	2.8-3.2	2010-2030	-30 to +5
IV	4.0-5.0	485-570	590-710	3.2-4.0	2020-2060	+10 to +60
V	5.0-6.0	570-660	710-855	4.0-4.9	2050-2080	+25 to +85
VI	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	2060-2090	+90 to +140

그러나 Table 4에서 나타나듯이 IPCC에서 제시하고 있는 방법론에서조차도 정확한 가이드 및 원칙을 제시하지 못하고 있다. 예컨대 선진국 그룹의 감축목표량이 매우 광범위하며 개도국의 경우 구체적인 숫자마저 제시하지 못하고 있는 상황이다. 이는 IPCC에서도 현 지구온난화에 대한 역사적인 기여 정도의 척도와 중장기적인 미래의 대기중 온실가스 농도 및 현재·과거 배출량 집계와 사실관계 정립에 한계가 있었던 것으로 평가된다. 즉, 지구온난화와 온실가스 관계 정립에는 과학적인 근거를 마련하였으나 협상에 적용될 국가별 감축 의무량 분담을 위한 계량적 평가에서는 관련 자료가 매우 제한적이었던 것으로 관찰된다.

Table 4. Mid-Long emission reduction term target(IPCC Fourth Assesment Report, 2007)

Concent ration (CO ₂)	Party	Reduction Target	
		by 2020	by 2050
450ppm	Annex1	-25% ~ -40%	-80% ~ -95%
	non-Annex1	Substantial deviation from baseline	Substantial deviation from baseline
550ppm	Annex1	-10% ~ -30%	-40% ~ -90%
	non-Annex1	Deviation from baseline	Deviation from baseline
650ppm	Annex1	0% ~ -25%	-30% ~ -80%
	non-Annex1	Baseline	Deviation from baseline

3.2 Pacific Ecologist의 안정화 방안

Figure 6은 Pacific Ecologist에서 2007년도에 제시한 자료로서 2100년까지 지구 대기의 온실가스 농도 450ppm 준수를 위하여 그간 각 국가 및 국가 그룹들이 배출하여 온 온실가스 배출량 및 향후 배출할 수 있는 총량적 양을 제시하고 있다. 즉 온실가스 배출량 조정을 위한 기본방식은 각 국가 및 그룹별로 1800년도부터 시작 된 온실가스 배출을 고려하여 누적된 배출량을 산정하여야 하고, 향후 지구 안정화를 위한 450ppm에 부합하기 위하여 전 지구적 차원에서 가능한 온실가스 배출 총량을 산정하고 이를 준수하는 조건으로 모든 국가의 온실가스 배출 누적 총량을 평등하게 계산해야 하는 것으로서, 2030년까지 국가 그룹별로 누적 온실가스 배출량 측면에서 동일 하도록 맞춰진 시나리오이다. 동 방안의 경우 비교적 과거 배출량에 대한 책임을 반영함으로써 공평성(equity)을 반영한 것으로 평가되며 현재의 협약에 제시된 원칙에도 매우 근접하여 있는 것으로 관찰된다.

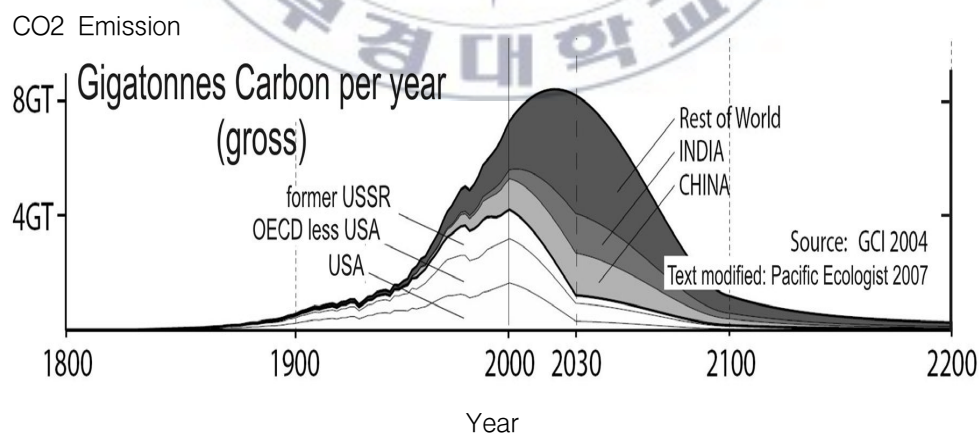


Figure 6. Scenario on global warming stabilization(Pacific Ecologist, summer 2007)

위 시나리오를 분석하여 보면, 향후 중국, 인도 등은 현재 개도국 그룹이 해당 범위 내에서 상당한 배출 할 수 있는 권한을 가지며, 현재의 선진국은 상대적으로 연차별 온실가스 배출량을 급감하여야 하는 형태를 보이고 있다. 결과적으로 선진국 그룹들은 그간 누적하여 배출한 온실가스에 대한 책임을 갖고 향후에는 배출량을 감소하여야 하며, 개도국의 경우에는 온실가스 배출량을 추가적으로 확대하여 배출할 수 있는 권한을 가짐으로서 향후 자국의 경제성장을 기인할 수 있는 화석연료의 사용 권한을 일정부분 인정하는 방법을 제시하고 있는 것이다.

다만, 현실적으로 Figure 6에서 보여주는 바와 같이 선진국 그룹에서 향후 온실가스 배출 권한 부분에서 급감하는 하향곡선을 만족시키기는 불가능하다. 따라서 Pacific Ecologist에서는 거래(trading)라는 개념을 도입하고 있다. 예컨대 선진국이 자국 내에서 온실가스 감축을 수행하는데 한계가 있으므로 추가 감축분을 타 개도국에서 수행하라는 것이다. 이러한 과정을 통하여 전 지구적인 온실가스 배출량은 총량차원에서 감소의 추세로 전환 할 수 있을 것이고 선진국의 개도국 대상 재정투자 및 기술의 이전은 개도국의 경제적 성장에 부여함으로서 선·개도국 그룹간 상생할 수 있는 체제 구축이 가능하다는 논리이며, 교토의정서에서 제시하고 있는 국가간의 온실가스 배출권거래제(Emission Trading)를 적용한 시나리오이다.

Ⅲ. 우리나라의 기여도 분석

1. 연구내용 및 방법

본 연구는 크게 2가지의 주요 자료의 분석을 통하여 연구에 접근하였으며, 첫 번째는 문헌연구로서 전 지구적인 지구온난화에 대한 이론적 분석이었다. 따라서 두 번째로는 현재 진행되고 있는 지구온난화와 연계하여 우리나라에서 근간까지의 온실가스 배출현황을 평가하고, 이를 통하여 현재 진행되고 있는 지구온난화에 대한 우리나라의 기여 정도를 본 장에서 분석하고자 하였다. 아울러, 이상의 문헌적·이론적 연구 및 분석 결과를 토대로 현재 진행되고 있는 국제적 협상에서 우리나라가 취하여야 할 입장 등에 대하여 결과를 도출하고자 하였다.

본 연구를 위하여 직접적인 전지구적 온실가스 배출량 산정은 수행되지 않았다. 그러나 기후변화협약(UNFCCC)에 제출된 각 국가들의 보고서 및 국내·외 권위 있는 연구기관에서 발표한 자료와 국내에서 기수행한 온실가스 배출량 자료를 토대로 분석 및 연구가 이루어졌다. 또한, 우리나라의 역사적 책임을 분석하는 과정에서는 과거 250년에 대한 자료의 현실적 한계로 현재 교토의정서에서 정하고 있는 CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆와 같은 6개 온실가스 전체에 대하여 분석이 이루어지지 못하였고, 현재 지구온난화에 가장 많은 영향을 미치며 국내외적으로도 가장 많이 배출되고 있는 CO₂ (화석연료 사용)를 중심으로 실측 자료의 확보가 가능한 과거 40년의 자료를 활용하여 집중적인 분석이 이루어졌다.

2. 우리나라 현황

2.1 경제 현황

Figure 7에 우리나라의 경제 지표인 국내총생산량(GDP)를 연차별·분야별로 1971부터 2007년까지 나타내었다. 우리나라는 1970년대 초반부터 경제 발전에 박차를 가하여 비교적 짧은 기간에 성과를 견으면서 현재 국제적으로 경제 규모는 10위권을 유지하며 OECD 회원국으로 활동하는 등 선발개도국으로 알려져 있다. 1990년대 후반기 IMF로 경제적 혼란기를 겪고 2007년에서 2008년에는 미국의 서브프라임 영향으로 경제적 위기를 격기도 하였지만 지속적인 경제성장의 추세에 있다. 특히 부분별 국가 총생산량을 살펴보면 Figure 7에 나타난 바와 같이 제조업 및 서비스업 분야가 대폭 확대되면서 온실가스를 다배출하는 경제구조 여건을 만들어 왔다

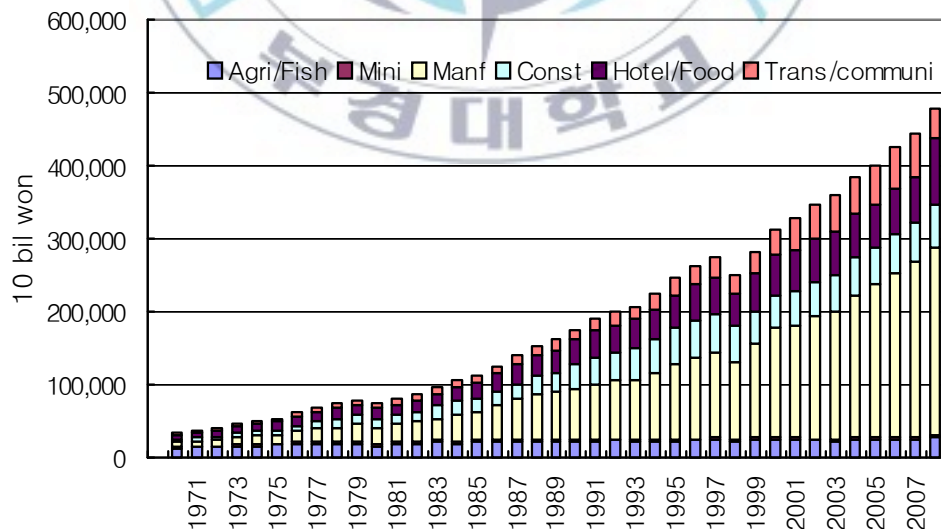


Figure 7. The status of GDP in Korea(1971-2007)

2.2 온실가스 배출현황

우리나라 온실가스 배출현황의 개관적인 분석·평가를 위하여 화석연료 사용량에 대한 IEA(International Energy Agency, 2009) 자료를 활용하였다. 아울러, IEA에 보고되고 있는 140개국의 동 분야 온실가스 배출현황을 비교 분석하였으며 그 결과를 Figure 8에 나타내었다.

우리나라의 경제성장 동력이 된 화석연료의 사용 증가에 따라 CO₂ 배출량은 경제 사정이 좋지 않았던 1997-1999년도를 제외하고는 에너지 사용량이 보고된 1971년도 이후 계속하여 증가하는 추세를 보이고 있다. 그러나 이러한 경제성장 중심의 정책은 전지구적인 추세로서 동 기간 전 지구적 CO₂ 배출량도 지속적으로 증가하여 왔으며, 우리나라의 연차별 온실가스 배출량은 전지구 배출량과 비교하여 비중이 2001년 1.9%을 최고 점으로 낮아지고 있는 추세를 Figure 8를 통하여 파악할 수 있다. 이는 지구 온실가스 배출량의 연차별 증가율이 우리나라의 배출 증가율 보다 높다는 것을 의미하는 것으로 우리나라의 배출량 증가 추세는 비교적 양호한 것으로 평가되며, 즉 이러한 추세는 우리나라의 연료 소비 효율이 지구평균 보다 좋았던 것으로 분석될 수 있다.

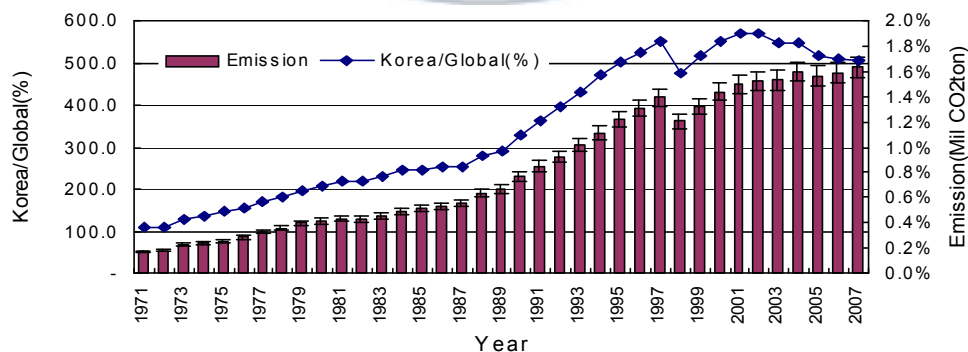


Figure 8. Comparison of the national GHG emission and the % of the global emission(1971-2007, Modified from IEA, 2009)

3. 기여도 분석에 대한 인자별 적용방법

3.1 전지구적 누적 배출량 적용방법

이론적 고찰에서 살펴본 바와 같이 현재의 지구온난화는 주로 인위적인 활동에 의하여 배출한 누적된 온실가스에 기인한 것으로 지적되고 있다 (IPCC TAR&FAR, 2001,2007). 따라서, 각 국가별 지구온난화에 대한 기여도 분석을 위해서는 지구온난화 원인 시점인 산업혁명 시기인 1700년대 중반부터 현재까지의 각 국가별 온실가스 배출량을 누적으로 산정하는 과정이 필요하다. 그러나 현실적으로 이를 위한 기초 자료가 존재하지 않으므로 WRI(World Resource Institute)에서 제공하고 있는 각 국가들의 누적 배출량 자료를 기초 자료로 활용하였다.

Table 5. The status of data collection to evaluate the cumulated CO₂(WRI's "GHG Source & Method", 2009)

Database	Geographic	Coverage	Accuracy
CDIAC	**** Almost all countries	**** (1751-2005)	**
IEA	*** 134 countries	*** (1971-2005)	***
UNFCCC	* Annex1 countries	* 1990-2006	****

주) **** = high, * = low

Table 5는 WRI의 누적 배출량 산정에 대한 기초 자료의 취합 과정 및 출처의 정확도에 대하여 평가한 것이다. 배출량 산정을 위한 활동도 자료가

전무한 1960년대 이전 자료를 위해서 WRI는 CDIAC(Carbon Dioxide Information Analysis Center)의 자료를 활용하고 있다. CDIAC은 1750~2005까지의 모든 국가들에 대한 에너지 사용량을 추정한 자료를 보유하고 있으므로 WRI는 1750년도부터 선진국의 경우 1960년까지 그리고 개도국의 경우 1970년까지의 자료를 인용하고 있다. 그리고 이후부터 현재까지의 자료는 IEA 자료에 의존하고 있다. 이는 CDIAC의 경우 각 국가별 석탄, 원유 등의 화석연료 생산량 및 수출입에 대한 기록 조사와 설문조사를 통하여 확보된 자료로서 WRI의 자체 평가처럼 자료의 신뢰도가 낮기 때문이다.

반면, IEA의 경우 OECD 회원국에 한하고 있으나 각 국가별로 공식적 에너지 소비량 자료를 매년 취합함으로써 자료의 정확도 측면에서는 CDIAC 보다 우월한 것으로 평가되고 있다. 한편 UNFCCC 경우 기후변화 협약 조항에 의거 각 국가들로부터 1990년부터의 CO₂ 배출량에 대한 자료를 보고 받음으로서 정확도 측면에서는 가장 우월한 것으로 나타나나 누적연도 적용에는 가장 취약한 것으로 평가된다.

3.2 우리나라의 누적 배출량 적용방법

Table 6는 WRI가 인용한 CDIAC의 특정년도(1942-1948) 온실가스 CO₂ 배출량을 비교 평가한 것이다. Table 6에 나타난 바와 같이 WRI는 우리나라 분단 이전인 1945년까지는 United Korea의 배출량을 상호 구분하여 적용한 것으로 명시하고 있으나, 1945년도 이후 남·북한 CO₂ 배출량의 합계가 1945년도 이전의 10%에도 못 미치는 배출량으로서 자료의 신뢰도를 낮추고 있다.

Table 6. The status of cumulated CO₂ emission of the Korea(Modified from WRI, 2009)

Data Source	Year	Total CO ₂ emission(thousand ton)		
		United Korea	ROK	DPRK
CDIAC	1942	5,119	-	-
	1943	4,961	-	-
	1944	5,241	-	-
	1945	-	1	18
	1946	-	133	20
	1947	-	245	20
	1948	-	456	383
WRI-CAIT	DPRK : 1909-1970(CDIAC), 1971-2005(IEA) Based on Wri estimates prior to 1945(United Korea)			
	ROK : 1909-1970(CDIAC), 1971-2005(IEA) Based on Wri estimates prior to 1945(United Korea)			

따라서, 우리나라의 지구온난화 기여도 분석을 위하여 본 연구에서는 타 국가들의 누적 CO₂ 배출량은 WRI의 자료를 인용하였고, 우리나라의 CO₂ 배출량은 실제 국내에서 소비된 연차별 에너지 통계(국가에너지통계종합정보 시스템, 2009)에 근거하여 국내에 개발된 CO₂ 배출계수를 적용 실제 배출량을 산정하여 적용하였다. 다만 적용기간은 에너지 통계가 유효한 1968년부터 2005년까지의 연차별 배출량을 누적으로 적용하였으며, 이전의 누적 배출량은 자료의 한계로 WRI에서도 적용하고 있는 CDIAC의 자료를 인용하였다.

한편, 화석연료 사용에 따른 CO₂ 배출량은 활동도(Activity Data)에 기반하여 적정 배출계수(Emission Factor)를 적용함으로써 배출량을 산정할 수 있다(IPCC guideline, 2006). 즉 "GHG Emission = EF x Activity"의 공식을

통하여 온실가스 배출량을 산정할 수 있다. 따라서 본 연구에서 1901-2005년까지의 누적배출량의 경우, EF는 IPCC의 기본값(default)을 활동도는 추정치로 산정되어 분석평가 되었으며, 아울러, 실제 기여도의 평가를 위한 비교 분석을 위하여 1968-2005년까지는 EF를 에너지관리공단(2009)에서 제시하는 각 연료별 우리나라 국가고유계수를 적용하였으며, 활동도는 현재 국내 존재하는 화석연료 소비 통계자료 중 과거 년도로 거슬러 올라갈 수 있는 연도가 1968년도(국가에너지통계종합정보시스템, <http://www.kesis.net>) 임에 따라 동 통계자료를 인용하여 활용하여 1968년도부터 2007년까지의 화석연료 사용 분야의 국가 온실가스 배출량을 산정하였다.

이 같은 실제 기여도의 분석을 위한 실제 활동도 및 국가 고유배출계수를 적용하여 산정된 배출량 결과는 정확도 및 추세분석을 위하여 Figure 9과 같이 국가 에너지부문 온실가스 배출통계와 IEA 지침에 따른 배출량 산정 결과를 비교(1990~2005) 분석하였다. 분석결과 금번 산정결과는 국가 배출 통계와 비교 연차별로 2~4% 적게 산정되었으나 동일한 배출 추세(pattern)를 보이며 국가통계와의 적용 활동도 자료 부분에서 일관적인 오차가 있는 것으로 분석되었다. 예컨대 에너지 국내 통계는 에너지의 수출입 총량, 1차 에너지 소비, 최종에너지 소비에 따라 다소 통계의 수치가 변화되는데 금번 배출량 산정시에는 1차 에너지 소비 통계를 적용한 반면, 국가 배출통계 산정시에는 최종에너지 소비를 적용하는 것이 원칙인 것으로 조사되었다. 한편 IEA의 배출량 산정 결과와의 비교에서는 IEA 지침에 따라 일괄적으로 IPCC 배출계수를 적용함으로써 배출량 산정 결과가 금번 산정 결과 및 국가 배출통계와의 관계에서 일관성을 갖지는 못하였다. 아울러 활동도 자료에서도 실제 국내에서 소비되는 에너지 양과 IEA기준에 의하여 보고되는 에너지의 양에도 다소 차이가 있는 것으로 파악되었다(에너지경제연구원, 2009).

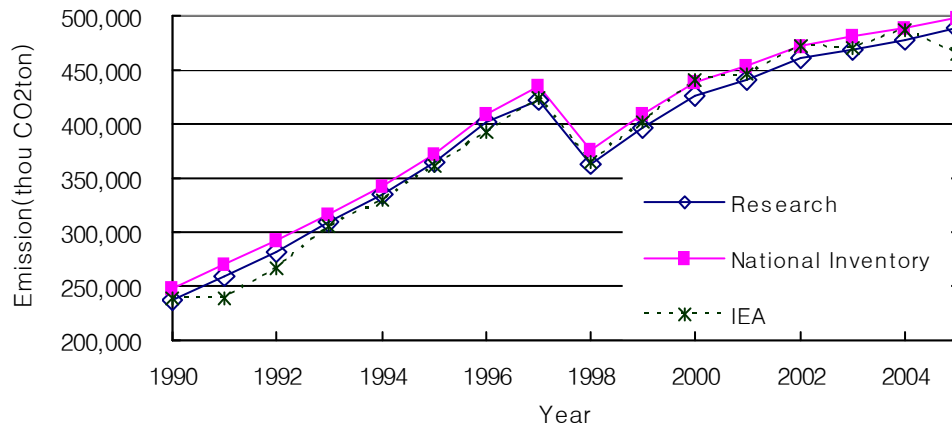


Figure 9. The comparison of GHG emission in energy sector(This research vs. National inventory vs. IEA guideline)

본 연구에서 산정한 배출량 산정결과를 아래 Table 7에 제시하였으며, 결과적으로 1968년부터 2007까지 화석연료 사용 분야의 우리나라 CO₂ 배출량은 9,850,329천CO₂톤이었으며, CDIAC의 1901년부터 1967년의 누적 배출량을 반영한다면 우리나라의 1901~2007년의 누적배출량은 10,271,577천CO₂톤에 이르는 것으로 누적 배출량을 적용하였다.

Table 7. The GHG emission in energy sector of Korea

(unit : thousand TOE, Million CO₂ ton)

Year	Stone Coal	CO2	Soft Coal	CO2	Oil	CO2	LPG	CO2	LNG	CO2	Others	CO2	Total
1901 - 1967													352,900
1968	5,338	21,530	69	268	5,088	15,615	19	50			4,674	18,149	55,612
1969	5,384	21,715	61	237	6,822	20,937	37	97			4,355	16,910	59,896
1970	5,777	23,301	53	206	8,668	26,602	45	118			4,251	16,507	66,733
1971	5,835	23,535	37	144	9,895	30,368	60	157			4,107	15,947	70,150
1972	6,010	24,240	22	85	10,270	31,519	68	178			3,990	15,493	71,515
1973	7,135	28,778	428	1,662	12,259	37,623	98	256			3,672	14,258	82,577
1974	7,211	29,084	554	2,151	12,619	38,728	131	342			3,525	13,688	83,993
1975	7,556	30,476	519	2,015	14,036	43,076	172	450			3,420	13,280	89,297
1976	7,820	31,541	1,047	4,066	15,952	48,957	163	426			3,175	12,329	97,318
1977	8,252	33,283	1,386	5,382	18,901	58,007	172	450			3,117	12,103	109,225
1978	8,462	34,130	1,432	5,560	21,548	66,131	239	625			3,038	11,797	118,243
1979	8,973	36,191	2,870	11,144	24,112	74,000	339	886			2,892	11,230	133,451
1980	9,878	39,841	3,321	12,895	23,362	71,698	458	1,197			2,517	9,774	135,406
1981	10,338	41,696	4,906	19,052	23,110	70,925	511	1,336			2,492	9,676	142,685
1982	9,839	39,682	5,612	21,791	22,649	69,509	750	1,960			2,417	9,386	142,328
1983	10,133	40,871	6,358	24,687	23,250	71,355	1,032	2,697			2,378	9,233	148,844
1984	11,455	46,203	8,412	32,663	22,663	69,553	1,262	3,300			2,492	9,676	161,394
1985	12,322	49,699	9,700	37,665	21,836	67,015	1,467	3,835			2,031	7,888	166,102
1986	13,239	53,395	10,092	39,185	22,408	68,770	1,799	4,702	71	165	1,480	5,748	171,966
1987	12,935	52,170	10,704	41,564	22,958	70,459	2,161	5,650	2,104	4,914	1,319	5,120	179,877
1988	12,441	50,180	12,721	49,396	27,869	85,528	2,629	6,873	2,718	6,349	1,164	4,519	202,844
1989	10,984	44,301	13,509	52,455	32,507	99,762	3,066	8,016	2,630	6,144	1,033	4,010	214,688
1990	9,947	40,120	14,438	56,064	39,653	121,694	3,601	9,415	3,023	7,061	797	3,093	237,448
1991	8,144	32,845	16,391	63,647	45,773	140,479	4,339	11,343	3,503	8,181	617	2,397	258,892
1992	6,315	25,469	17,303	67,188	52,311	160,542	5,441	14,224	4,581	10,700	723	2,805	280,930
1993	5,058	20,400	20,824	80,861	57,139	175,361	5,990	15,660	5,723	13,367	742	2,881	308,531
1994	3,507	14,144	23,173	89,982	62,680	192,366	6,398	16,727	7,618	17,794	906	3,517	334,530
1995	2,953	11,910	25,139	97,614	68,949	211,603	6,675	17,450	9,213	21,519	1,051	4,080	364,175
1996	2,561	10,330	29,639	115,087	73,264	224,848	6,874	17,971	12,172	28,429	1,161	4,507	401,171
1997	1,989	8,023	32,810	127,401	74,144	227,547	7,201	18,826	14,792	34,550	1,344	5,219	421,566
1998	2,207	8,901	33,832	131,371	53,952	165,578	6,877	17,979	13,838	32,321	1,526	5,924	362,074
1999	2,425	9,779	35,731	138,742	59,007	181,091	7,808	20,413	16,849	39,355	1,806	7,013	396,393
2000	3,094	12,480	39,817	154,609	59,743	183,350	8,644	22,599	18,924	44,199	2,130	8,270	425,507
2001	3,678	14,835	42,033	163,214	59,049	181,220	8,676	22,682	20,787	48,552	2,456	9,536	440,038
2002	4,041	16,299	45,054	174,946	58,602	179,848	9,398	24,569	23,099	53,950	2,925	11,359	460,972
2003	4,560	18,392	46,556	180,777	57,605	176,790	9,141	23,896	24,194	56,508	3,241	12,584	468,948
2004	4,302	17,351	48,826	189,590	54,100	166,034	9,153	23,930	28,351	66,219	3,977	15,442	478,566
2005	4,768	19,232	50,020	194,228	53,416	163,934	9,484	24,794	30,355	70,899	3,961	15,380	488,467
2006	5,208	21,006	51,479	199,892	51,800	158,973	9,689	25,330	32,004	74,752	4,358	16,923	496,876
2007	5,214	21,028	55,724	216,376	51,325	157,515	10,085	26,365	34,663	80,961	4,856	18,857	521,101

주) The data for energy consumption are from the web-site(<http://www.kesis.net>, 국가에너지통계종합정보시스템, 2009)

3.3 기여도 분석 적용기간

본 연구에서 지구온난화의 우리나라 기여도 분석을 위하여 적용한 누적 배출량 기간은 1901년부터 전 지구적 누적 배출량과 비교가 가능한 2005년도로 정하였다.

Table 8. The comparison of cumulated CO₂ emission among the countries(Modified from the WRI, 2009)

Country	1971	1950	1900	1850	1971/1850	1950/1850	1900/1850
USA	175,561	239,979	317,769	328,264	53.5%	73.1%	96.8%
European Union (27)	145,431	202,519	273,887	301,940	48.2%	67.1%	90.7%
China	82,753	91,157	92,950	92,950	89.0%	98.1%	100.0%
Russian Federation	65,032	83,963	89,846	90,327	72.0%	93.0%	99.5%
Japan	36,167	42,742	42,742	42,742	84.6%	100.0%	100.0%
Germany	33,678	50,476	72,881	79,033	42.6%	63.9%	92.2%
India	21,150	23,772	25,882	26,008	81.3%	91.4%	99.5%
United Kingdom	19,884	31,906	54,614	67,777	29.3%	47.1%	80.6%
Ukraine	16,913	22,229	23,881	24,016	70.4%	92.6%	99.4%
Canada	15,725	20,209	24,280	24,562	64.0%	82.3%	98.9%
France	14,387	20,547	28,642	32,032	44.9%	64.1%	89.4%
Italy	13,949	16,759	18,151	18,409	75.8%	91.0%	98.6%
Poland	12,730	16,936	21,055	22,330	57.0%	75.8%	94.3%
Mexico	9,668	10,847	11,314	11,320	85.4%	95.8%	99.9%
Australia	8,883	10,812	12,156	12,251	72.5%	88.3%	99.2%
South Africa	8,803	10,951	12,412	12,444	70.7%	88.0%	99.7%
Korea (South)	8,769	9,139	9,254	9,254	94.8%	98.8%	100.0%

Table 8에서 나타난바와 같이 WRI에서 제공하고 있는 1850년 및 1900년도의 우리나라 누적 CO₂ 배출량에는 변화가 없다. 이는 해당기간 동안의 우리나라 CO₂ 배출량이 없음을 의미하기 보다는 배출량 산정에 필요한 통계자료의 확보가 불가함으로 해석되며, 영국을 제외한 모든 CO₂ 다배출 국가들의 해당기간의 편차가 5% 이내로 우리나라의 지구온난화 기여도 평가를 1900년도 이전까지 확대할 필요성이 미진하였다.

다만, 우리나라의 지구온난화에 대한 기여도에 대한 분석은 타국가와 동등한 조건에서 이루어져야 할 것으로 현재 타국가의 같은 분야 CO₂ 누적 배출량과 비교가 가능한 2005년도까지로 제한하였고, 1951년부터 2005년까지의 누적 배출량과 1901년부터 2005년까지의 누적 배출량을 적용하여 우리나라의 기여도를 분석하였다. 따라서 금번 산정결과에 따라 1901~2005 누적배출량은 9,185,252천CO₂톤, 1951~2005 누적배출량은 9,068,752천CO₂톤으로 결정하고 기여도 분석을 적용하였다.

3.4 누적 배출량 적용 분야 및 대상 가스

교토의정서에 의한 온실가스 분야는 크게 에너지 소비, 산업공정, 솔벤트, 농축산 및 폐기물 5개 분야로 구분되며, 온실가스는 CO₂, CH₄, N₂O, PFCs, HFCs, SF₆ 6개 가스로 나열된다. Table 9은 지구 전체적인 온실가스 배출현황에서 에너지분야가 차지하는 비중을 정리한 것이다. 연도가 일괄적이지 않아 신뢰성은 낮지만 전지구적으로 발생하는 온실가스 중 CO₂가 차지하는 비중은 80%가 넘는 것으로 평가된다.

Table 9. The ratio of energy sector in the global GHG emission (Annex1 in 2006, non-Annex1 in 1994)

Classified	Energy	Others	Total	Ratio of Energy
Global	24.3	5.4	29.7	82.0%
Annex1	16.1	1.9	18.0	89.7%
non-Annex1	8.2	3.5	11.7	70.1%

아울러, 이를 온실가스 별로 분류하면 CO₂가 차지하는 비중은 Table 10에 나타낸 것과 같이 75%를 넘는 것으로 산정된다. 또한 모델을 제외한 전 지구적 누적 배출량 추정을 최대한 확대가 가능한 통계도 에너지 분야 및 CO₂ 가스이다. 따라서, 본 연구에서는 에너지 분야 CO₂에 한정하여 우리나라의 지구온난화에 대한 기여도를 분석하였다

Table 10. The CO₂ ratio of energy sector in the global GHG emission (Annex1 in 2006, non-Annex1 in 1994)

Classified	CO ₂	Others	Total	Ratio of Energy
Global	22.3	7.4	29.7	75.1%
Annex1	14.9	3.1	18.0	82.8%
non-Annex1	7.4	4.3	11.7	63.2%

3.5 기타 기여도 분석방법

지구온난화에 대한 기여도를 누적 배출량을 통하여 분석하는 방법은 세 가지로 정리할 수 있다. 첫째 산업혁명 개시 시점인 1750년도를 기준으로 현재까지 각 국가들이 배출한 온실가스 배출량을 누적 배출량으로 산정하여 절대값에 비중을 두어 각 국가의 지구온난화 기여정도를 분석하는 방법 (Martin Khor, 2009), 둘째 지구온난화의 영향은 대기중의 온실가스 농도 증가와 연계된 것이나 대기중으로 배출된 온실가스는 일정 시기가 지나게 되면 대기중에서 소실된다는 점을 고려하여 각 국가들이 현재 대기중의 농도 증가에 어느 정도 기여하여 왔는지를 분석하는 방법(Ecosys, 2009). 그리고 마지막 세 번째는 지구온난화의 상징적 파라미터인 지표온도와 연계된 것으로서 과거년도에 실측한 지표 온도와 현재의 지표 온도를 비교하여 변화된 온도의 부분에서 각 국가들이 어느 정도 기여하여 왔는지를 분석하는 방법 (Michiel Den Elzen and Michiel Chiel Schaeffer, 2002)으로 구분된다.

3.5.1 대기중 농도 적용방법

대기중의 온실가스가 일정기간 지나면 다른 가스들과 화학적 반응을 일으켜 자연적으로 소멸되거나 또는 해양 등으로 흡수되어 처리되므로 더 이상 지구온난화에 영향을 미치지 않는다는 이론의 방법론으로서 브라질에서 1997년에 처음으로 제안한 방법이다

Table 11. The value of the main model parameters used in the Brazilian model according to the Brazilian model(UNFCCC 1997), Meta-IMAGE model(den Elzen,1998) and MAGICC model(Wigly and Raper, 1992)

Parameter	MODEL	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Atmospheric life time(Year)	Original Brazilian model	140	12.2	120
	Revised Brazilian model	Calculated	12.2	120
	Meta-IMAGE/IMAGE	Calculated	Calculated	120
	MAGICC	Calculated	Calculated	120
Concentration-to-mass conversion factor(ppm/GtC)	Original Brazilian model	0.560	0.311	0.224
	Revised Brazilian model	0.4636	0.347	0.199
	Meta-IMAGE/IMAGE	0.471	0.38	0.212
	MAGICC	0.469	0.36	0.208
		(ppm/GtC)	(ppb/TgCH ₄)	(ppb/TgN)

각 배출 온실가스별 대기중 잔류기간(life time)과 각 가스가 대기중 온실가스 농도에 기여하는 정도 및 양을 주요 파라미터로 선정하고 있으며, 브라질 모델의 경우 CO₂의 경우 대기중 잔류기간을 140년 그리고 그간 잔류한 CO₂의 양이 GtC당 약 0.560ppm의 대기중 온실가스 농도에 기여하고 있는 것으로 분석하고 있다.

Table 12. The cumulated CO₂ emission and global warming contribution level of each country in 1865~2005(Modified from WRI, 2009)

Rank	Country	MtCO ₂ e	% of World Total
1	United States of America	324,799.30	29.42%
2	European Union (27)	287,903.10	26.07%
3	China	92,950.00	8.42%
4	Russian Federation	90,220.90	8.17%
5	Germany	76,539.00	6.93%
6	United Kingdom	60,333.90	5.46%
7	Japan	42,742.00	3.87%
8	France	30,236.40	2.74%
9	India	25,986.40	2.35%
10	Canada	24,500.00	2.22%
11	Ukraine	23,985.90	2.17%
12	Poland	21,796.50	1.97%
13	Italy	18,332.70	1.66%
14	South Africa	12,443.80	1.13%
15	Australia	12,227.50	1.11%
16	Mexico	11,320.40	1.03%
17	Spain	10,297.90	0.93%
18	Belgium	9,966.70	0.90%
19	Kazakhstan	9,927.00	0.90%
20	Czech Republic	9,924.40	0.90%

이를 2005년을 기준으로 CO₂의 잔류 가능기간인 과거 140년으로 돌아간 시점부터 현재까지의 CO₂ 누적배출량(1865~2005)을 산출하고 이를 통하여 도출된 값이 현재 지구온난화의 원인이 되는 대기중 농도 증가에 100%

영향을 미쳤다고 고려하는 것으로서 Table 12와 같은 결과가 도출될 수 있다. 예로서 미국의 경우 1865~2005 동안 324,799백만CO₂톤을 누적 배출하였고 현재의 대기 농도 수준에 29.42% 기여한 것으로 평가할 수 있다. 이는 실제로 동 기간 전지구적 누적배출량은 1,384,397MtCO₂ 수준으로 지구온난화 전환계수 0.560ppm/GtC 적용시 약 377ppm 수준으로 실제 관측된 2005년 379ppm(IPCC FAR, 2007)과 매우 유사한 결과가 도출됨을 알 수 있다.

3.5.2 지표온도 상승 적용방법

지구온난화의 직접적인 영향인 지표온도의 상승과 각 국가별 온실가스 누적 배출량과 연계 비교함으로써 각 국가들의 지구온난화 기여정도를 분석하는 방법이다. IPCC 4차 평가보고서(2007) Technical summary에 따르면 전지구의 평균 지표온도는 1906~2005년 동안 $0.74^{\circ}\text{C} \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ 상승한 것으로 보고되고 있으며, 이러한 상승 전망은 3차 평가보고서(2001) 발표시 $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 보다 상승한 것으로, 지구온난화가 가속화되고 있는 것으로 보고되고 있다. 따라서 동 방법은 누적 배출량에 의하여 지표온도가 상승한다는 전제 하에 각 국가들의 지표온도 상승 정도에 어느 정도 기여하였는지를 분석하는 방법이다.

아래의 Table 13은 이러한 방법론에 따라 IPCC 3차 평가보고서에서 제시된 1850년부터 2000년까지 0.6°C 상승에 따른 각 국가별 지구온난화에 대한 기여 수준을 평가한 것이다. 이 표에서도 미국이 해당기간 온도 상승에 29.45% 기여하였고 이를 온도로 환산한다면, 미국이 0.177°C 지표온도 상승에 기여한 것으로 평가할 수 있다

Table 13. The % of surface temperature contribution of each country in 1865~2000(Modified from WRI, 2009)

No	Country	Index	% of World Total
1	United States of America	100	29.45%
2	European Union (27)	88.4	26.03%
3	Russian Federation	30.1	8.87%
4	China	24.3	7.15%
5	Germany	23.8	7.01%
6	United Kingdom	17.6	5.18%
7	Japan	13.1	3.86%
8	France	9.3	2.73%
9	Ukraine	8.3	2.44%
10	Canada	7.5	2.22%
11	Poland	7	2.05%
12	India	6.8	2.00%
13	Italy	5.6	1.66%
14	South Africa	3.8	1.12%
15	Australia	3.6	1.06%
16	Kazakhstan	3.4	1.01%
17	Mexico	3.3	0.96%
18	Czech Republic	3.1	0.93%
19	Belgium	3	0.88%
20	Spain	3	0.87%
21	Netherlands	2.7	0.81%
22	Brazil	2.6	0.76%

4. 우리나라의 기여도 분석결과 및 고찰

4.1. 누적 배출량 산정에 의한 기여도 결과

전술한 바와 같이 누적 배출량 산정에 따른 기여도 분석은 2가지 방법을 실시하였다. 1901-2005년간의 누적 배출량 고려시 1967-2005년까지는 실제 활동도 및 국가 고유배출계수를 기반으로 하는 정확도가 높은 배출량을 산정하고 이전의 배출량은 추정 활동도와 IPCC 배출계수를 적용하는 방법과, 타 국가들과의 형평성을 고려하여 타국가의 경우 국제기구(IEA, 2009)에 보고된 실제 활동도에 근거하고 IPCC 기본 배출계수 적용한 방법과 동 기간 우리나라의 경우에는 실제 활동도 및 국가 배출계수를 적용하여 우리나라의 기여도를 분석하였다

4.1.1 추정 활동도에 의한 분석결과

기여도 분석 적용기간을 1901-2005로 고려하고, 동 기간 실제 활동도 및 국가 고유배출계수를 반영(1968-2005)한 우리나라의 화석연료 사용에 따른 배출량과 WRI의 자료를 인용하여 적용된 우리나라의 누적 배출량은 9,185백만CO₂톤 이다. 이를 1951-2005로 구분하여 다시 산정하면 우리나라의 누적 배출량은 9,068백만CO₂톤(WRI는 9,137, 1.02%)이었으며, 전지구적인 누적 배출 총량은 1,095,172백만CO₂톤이고 미국(237,486백만CO₂톤), 유럽연합 27개국(200,754백만CO₂톤) 그리고 중국(91,078백만CO₂톤)의 순이었다.

따라서, 동 기간(1951-2005) 누적 배출량만 고려시 우리나라의 지구온난화

기여도는 0.8%인 것으로 분석되었다.

한편, 1901-2005 기간동안 전 지구적인 누적 배출 총량은 1,348,127백만 CO₂톤으로 1951-2005과 동일하게 미국(317,769백만CO₂톤), 유럽연합 27개국 (273,886백만CO₂톤) 그리고 중국(92,950백만CO₂톤)의 순으로 나타났으며, 우리나라는 동 기간 9,185백만CO₂톤을 누적 배출한 것으로 평가됨에 따라 0.68%의 지구온난화에 기여도가 있는 것으로 분석되었으며, 1951-2005 기간의 평가보다 기여도가 낮아지는 것으로 나타났다.

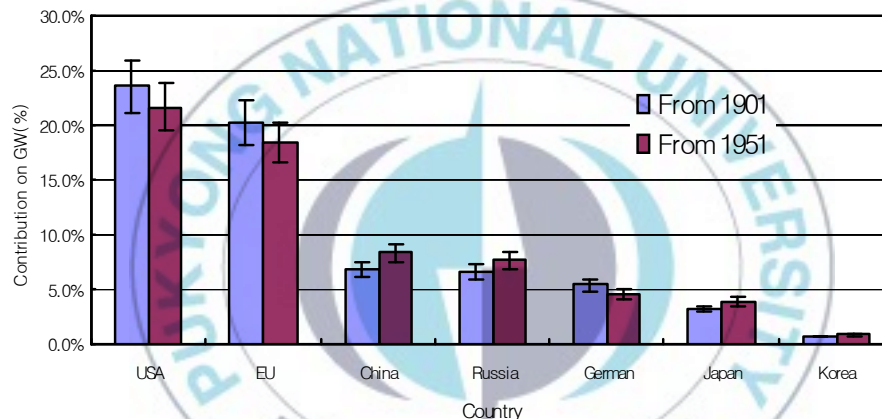


Figure 10. The comparison of global contribution of each country in respect of cumulated CO₂ emission

Figure 10를 통하여 미국, 유럽, 독일과 같이 역사적으로 오랜 기간동안 온실가스 배출을 하여온 국가들은 누적 배출량 고려기간이 길수록 지구온난화에 대한 기여도가 높은 것으로 나타난 반면, 일본, 한국과 같은 경우 1900년대 이후에 산업화를 추진한 국가들은 누적 배출량 산정기간이 짧을수록 온난화에 대한 기여도가 높아지는 것으로 나타났다.

4.1.2 실제 활동도에 의한 분석결과

(1) 누적 배출량 분석

앞의 분석은 전 지구적으로 추정된 자료를 기반으로 우리나라의 지구온난화에 대한 기여도를 분석하였다. 이 경우 우리나라의 적용 자료가 전지구적 배출량의 자료와 객관성이 부족하여 신뢰성을 확보하기 어렵다. 따라서 IEA 자료에 기반한 일관적인 자료를 반영하되 우리나라의 경우 국가 상황이 반영된 실제 배출량에 기반하여 기여도를 분석하고자 하였다. 아울러 본 분석에서는 1인당 온실가스 배출량에 대하여서도 평가하였다.

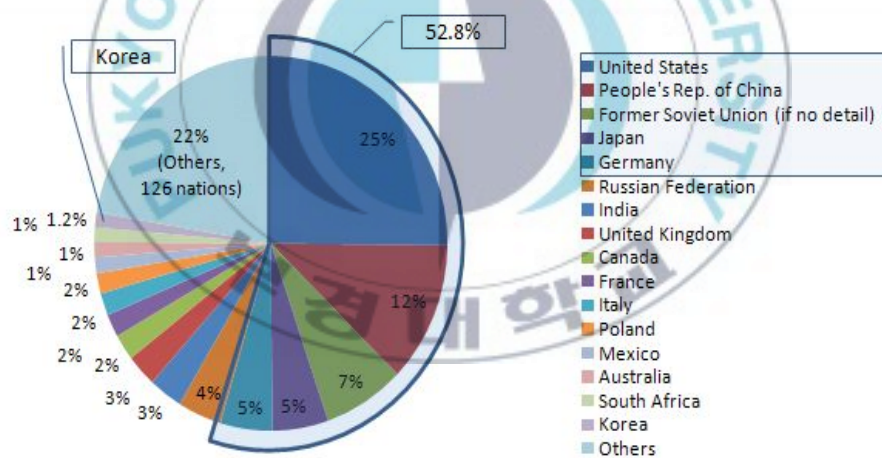


Figure 11. The share of GHG emission per country(1971-2007, IEA, 2007)

Figure 11은 1971년부터 2007년까지의 국가별 누적 배출량의 국가별 비중을 나타낸 것이다. 국가별로 화석연료 사용에 대한 통계가 집계된 1971년부터 2007년까지의 140개국의 누적배출량(cumulated amount)을

평가한 결과로서 전 지구적 누적 배출량은 758,292백만CO₂톤이고 우리나라의 실제 배출량은 8,650백만CO₂톤으로 IPCC 기본배출계수 적용하여 산정된 9,307백만CO₂톤 보다 낮게 산정되었으며, 전 지구적으로 차지하는 비중은 약 1.14%인 것으로 분석되었다.

또한, 배출량 비중 상위 5개국은 미국, 중국, (구)소련연방국, 일본, 독일이 차지하였고 이들 이들 상위 5개국의 누적 배출량은 전세계 누적배출량의 52.8%를 차지함으로써 상위 5개국의 과거 40여 년간의 온실가스 배출량의 절반 이상을 배출한 것으로 평가되었다. 결과적으로 조사기간(1971~2007) 지구온난화에 대한 책임은 상위 5개국이 절반 이상의 책임이 있는 것이며, 우리나라의 경우 1.14%의 책임이 있는 것으로 평가될 수 있다.

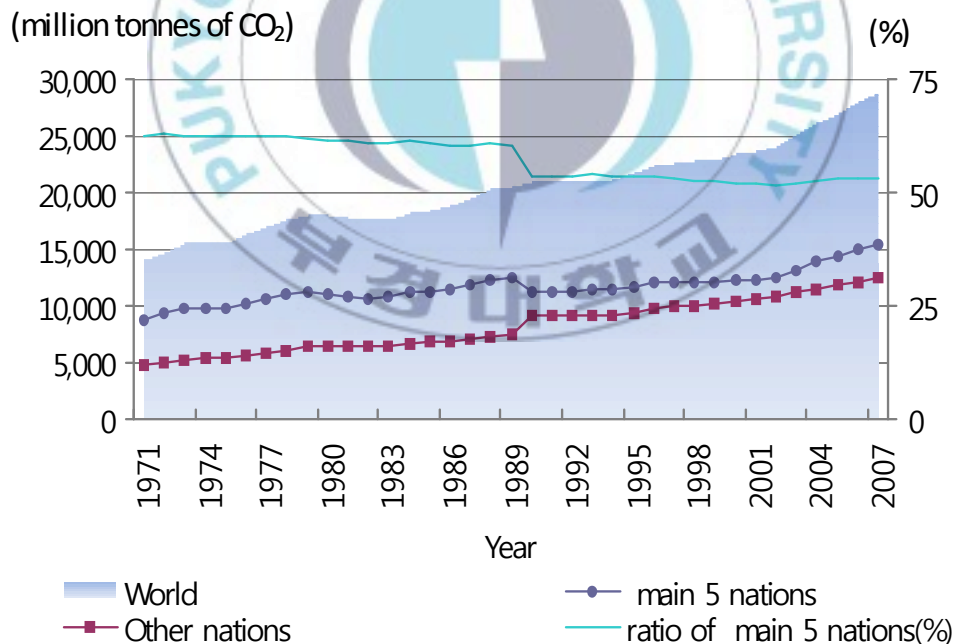


Figure 12. GHG emission trend of main 5 and other 135 nations(Modified from IEA, 2009)

이를 좀 더 자세히 분석하기 위하여 이들 5개국의 조사기간 해당년도의
합계 배출량 추세와 우리나라를 포함한 나머지 135개국의 합계 배출량 추
세를 비교 분석하여 Figure 12에 나타내었다.

두 그룹간의 조사기간 동안의 연차별 온실가스 배출량 합계를 살펴본
결과 조사기간 초기에는 상위 배출 5개국의 연간 배출량이 전 지구 온실가
스 총배출량의 63%를 차지하는 것으로 조사되었으며, 1990년을 기점으로
두 그룹간의 연간 배출량 비중의 차이가 좁혀지면서 조사기간 마지막 년도의
상위 배출 그룹의 비중은 53%를 차지한 것으로 조사되었다. 이러한 추세는
1990년을 기점으로 개도국 그룹들이(특히 중국, 인도) 자국의 경제성장을
기인하기 위하여 에너지 소비가 많았기 때문인 것으로 분석되었다.

(2) 1인당 배출량 분석

지구온난화의 기여도와 연계된 또 다른 논의의 핵심 하나가 일인당 온실
가스 배출량(per capita)에 대하여 살펴보았다. 본 논의의 배경은 과거와
현재의 기준 설정 한계와 지구를 둘러싸고 있는 대기권 공유에 대한 인간의
평등성(equity) 이다. 즉 산업혁명 시기인 1750년도부터 경제성장을 시작한
선진국과 최근 20세기 후반부터 경제성장을 꾀하고 있는 개도국 그룹과는
역사적 온실가스 배출량에 대한 책임이 차별화되어야 하고 개인이 대기를
공유할 수 있다는 평등성을 고려할 때 온실가스 배출에 대한 책임은 국가
별이 아닌 개인별 온실가스 배출량으로 산정하여 감축량을 부담하여야 한다
는 것이다. 예컨대 세계 인구의 1/5도 안 되는 선진국 인구가 역사적 배출의
3/4 이상을 배출하고 있으며, 선진국의 일인당 배출량 역시 개도국의 10배
이상을 배출하고 있다는 통계에서 잘 설명되고 있다(TWN, Briefing Paper,
AWG-KP and 6th session of the AWG-LCA, 1 June-12 June 2009)

대기권은 일개 국가의 소유물도 특정 지역의 전유물도 아니다. 우리 인간 모두에게 소중한 재산이고 삶의 여건인 것이다. 따라서 인간은 모두가 평등(Equity) 하다는 기본개념 아래 지구온난화 방지를 위한 온실가스 감축 할당은 국가별로 이루어지는 것이 아니고 개인별로 할당되는 것이 진정한 평등(Equity)이라는 의미에서 1인당(per capita) 온실가스 배출량은 중요한 의미를 갖는다.

기후변화협약에서도 명시된 바와 같이 평등성(equity)을 고려한 온실가스 의무감축 여부를 분석하기 위해서는 국가별 1인당 온실가스 배출량을 비교 평가하는 것이 타당할 것이다. 따라서 우리나라의 1인당 배출량을 전지구적 차원에서 비교 분석하여 보고, 1인당 배출량 측면에서 우리나라의 온실가스 기여도를 분석하였다

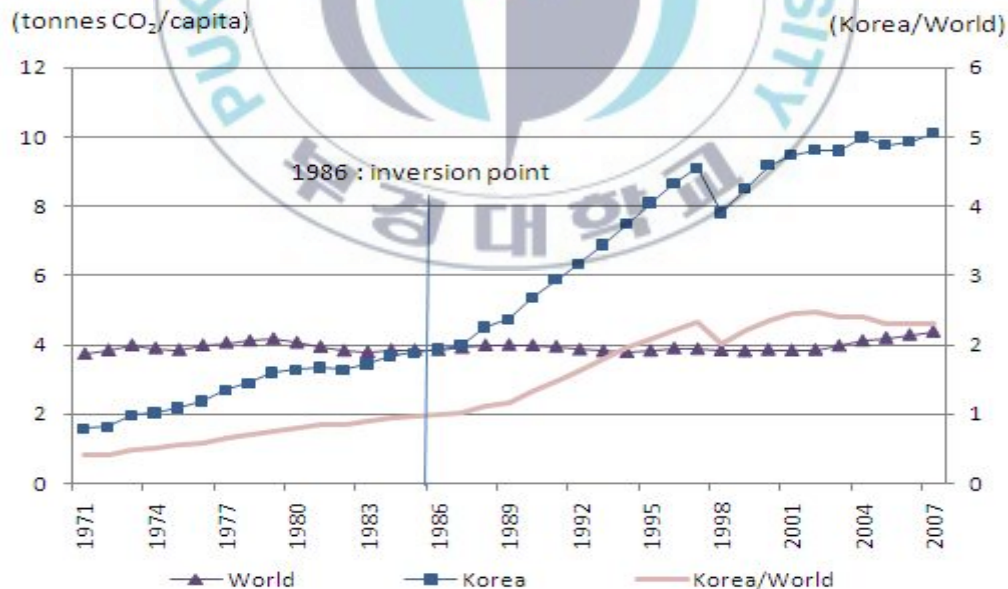


Figure 13. The comparison of GHG emission per capita between World and Korea(Modified from IEA, 2009)

Figure 13은 전세계 및 우리나라의 1인당 온실가스 배출량 추세를 나타내고 있다. 우리나라 1인당 온실가스 배출량은 우리나라의 국가 온실가스 배출량과 유사한 곡선을 보이고 있다. 1970-1990년대에 급격한 상승 곡선을 보이다가 2000년 이후 완만한 안정세를 유지하는 추세를 보이고 있다. 이러한 우리나라의 1인당 온실가스 배출량 곡선은 전 지구적으로 일정 수준을 유지하고 있는 곡선과 비교하여 볼 때 온실가스 의무감축 참여 여부를 결정하기 어려운 한계가 있다. 왜냐하면 우리나라의 경우 1980년대 중반까지 전지구적 1인당 배출량 보다 적은 수준을 유지하다가 1990년대에 들어 지구의 평균 수준을 초과하는 추세로 나타나기 때문이다.

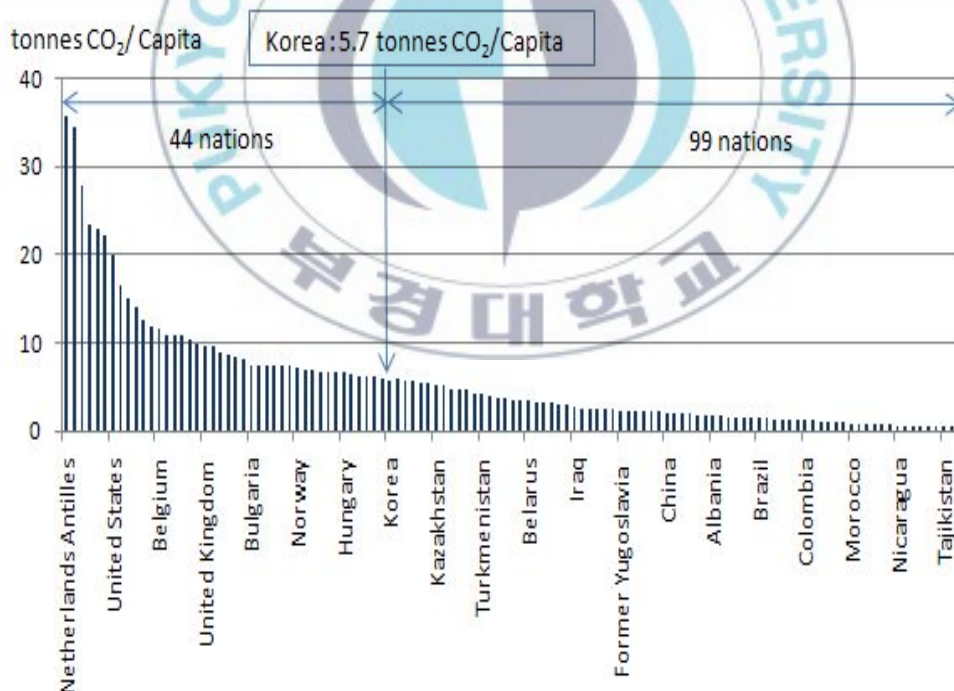


Figure 14. The ranking of cumulated GHG emission per capita(Modified from IEA, 2009)

Figure 14는 조사기간 평균 연도별 국가별 1인당 온실가스 배출량을 누적으로 나타내고 있다. 국가별 순위를 조사한 결과 우리나라의 경우 44위에 위치하는 것으로 나타났다.

1인당 온실가스 배출량으로 국가별 온실가스 감축 여부를 결정하는 경우 두 가지의 옵션을 고려할 수 있다. 예컨대 전지구적 평균을 초과하는 국가 모두가 온실가스 의무감축 국가로 분류되는 경우와, 절대 누적 배출량에 적용된 바와 같이 1인당 배출량 국가 상위 국가별 절대 누적 배출량을 산정하여 전지구적 누적 배출량이 절반 이상에 포함되는 국가들을 의무감축 국가로 반영하는 방법이다.

두 가지 방법 모두가 가능할 수 있으며, 조사기간 전 지구적 평균 1인당 배출량을 초과하는 경우를 적용할 때에는 우리나라가 온실가스 의무감축 국가로 분류됨이 타당하고 국가별 1인당 배출량을 기초로 절대 누적 배출량을 근거로 의무감축 국가를 선정하는 경우 우리나라는 의무 감축 국가에서 배제되는 것으로 평가 되었다.

4.2 대기중 농도에 따른 기여도 결과

본 분석에서는 CO₂만을 고려하고 있고, CO₂의 대기중 잔류기간 140년인 점을 고려하였을 때, 금번 연구의 분석 대상기간인 1901년부터 2005년까지의 누적 배출량이 모든 국가들에게 유효한 것으로 산정되기 때문에 일본과 우리나라의 경우에는 1951~2005 기간의 분석은 의미가 없다. 다만, 역사적으로 오랜 기간동안 CO₂를 배출하여 온 선진국들은 분석기간 구분에 따라 영향이 있을 수 있기 때문에 구분하여 기여도를 분석하였다.

아울러, Original Brazilian model이 제시하고 있는 파라미터 GtC당 0.560ppm을 적용하여 1901년 이후 각 국가들이 현재의 대기중 CO₂ 농도 증가에 어느 정도의 영향을 미쳤는지를 분석하였다

Table 14. The result of global warming contribution considering to the CO₂ concentration into the atmosphere

Classified		USA	EU	China	Russia	German	Japan	Korea
Mil CO ₂ ton	from1901	317,769	273,886	92,950	89,846	72,881	42,742	9,185
	from1951	237,486	200,754	91,078	83,544	49,971	42,639	9,068
Mil C ton	from1901	86,664	74,696	25,350	24,503	19,877	11,657	2,505
	from1951	64,769	54,751	24,839	22,785	13,628	11,629	2,473
Conc. Contribut. (ppm)	from1901	56	49	16	16	13	8	2
	from1951	42	36	16	15	9	8	2
Ratio(%)	from1901	23.6%	20.3%	6.9%	6.7%	5.4%	3.2%	0.7%
	from1951	17.6%	14.9%	6.8%	6.2%	3.7%	3.2%	0.7%

1901-2005년간 및 1951-2005년간의 전지구적인 CO₂ 배출량을 고려하였을 때 대기중의 CO₂ 농도는 Table 14에 나타난 바와 같이 각각 239ppm 및 194ppm(해당기간 누적배출량에 GtC당 0.560ppm을 적용)인 것으로 분석되며, 우리나라의 기여도는 각각 2ppm 정도로 분석되었다. CO₂의 대기중 잔류 기간 40년 추가 고려와 자연적 CO₂ 배출량을 반영한다면 Original Brazilian model이 제시하고 있는 파라미터 GtC당 0.560ppm은 타당한 것으로 분석된다.

한편, 대기중 농도 분석에서는 Figure 15에 나타난바와 같이 미국, EU 27 개국, 러시아, 독일 등 그히 일부의 선진국 그룹이 현재 심화되고 있는 대기중의 온실가스 농도 상승에 50% 이상 기여한 것으로 평가된다.

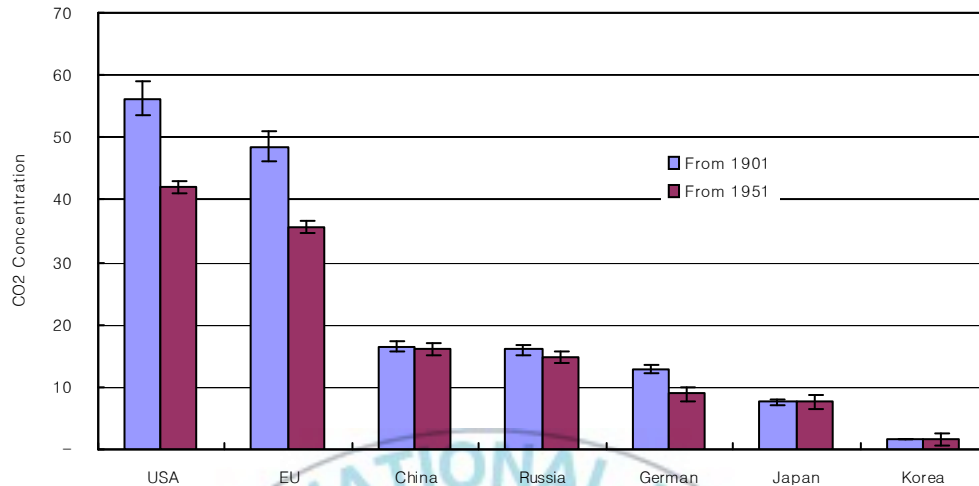


Figure 15. The comparison of global contribution of each country in respect of the CO₂ concentration into the atmosphere

4.3 지표온도 상승에 대한 기여도 결과

본 분석에서는 IPCC 4차 평가보고서에 제시된 지난 100년간(1901~2005)의 변화 온도인 0.74℃에 대하여 어느 나라가 얼마만큼의 영향을 미쳤는가의 분석이다. 결과적으로 지표온도의 상승에 누적된 온실가스가 직접적인 영향을 미쳤으며, 이에 대한 기여 정도를 분석하는 과정을 의미한다.

아울러, 1951~2005의 경우에도 IPCC 4차 평가보고서의 “0.64℃”을 고려하여 국가별 기여정도를 분석하였다

Table 15. The result of global warming contribution considering to the $^{\circ}\text{C}$ increase

Classified		USA	EU	China	Russia	German	Japan	Korea
Mil CO ₂ ton	from1901	317,769	273,886	92,950	89,846	72,881	42,742	9,185
	from1951	237,486	200,754	91,078	83,544	49,971	42,639	9,068
Cumulate Ratio	from1901	23.57%	20.32%	6.89%	6.66%	5.41%	3.17%	0.68%
	from1951	21.68%	18.33%	8.32%	7.63%	4.56%	3.89%	0.83%
Increase contribut($^{\circ}\text{C}$)	from1901	0.17	0.15	0.05	0.05	0.04	0.02	0.01
	from1951	0.14	0.12	0.05	0.05	0.03	0.02	0.01

분석결과를 Table 15 및 Figure 16에 정리하여 나타냈으며 우리나라의 지표온도 상승에 기여한 정도는 1901~2005 및 1951~2005 모두 0.01°C 상승에 기여한 것으로 분석되었다. 아울러 최상위 4개국이 지구 지표온도 상승의 50% 이상 역할을 한 것으로 분석되었으며, 본 연구결과 누적 배출량을 장기간으로 설정하는 것이 우리나라의 기여도 정도가 낮게 산정되는 결과를 얻었다.

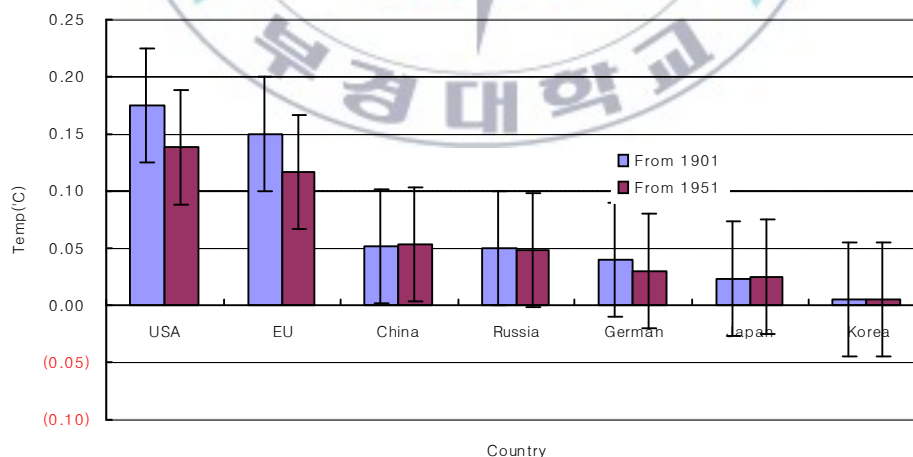


Figure 16. The comparison of global contribution of each country in respect of the $^{\circ}\text{C}$ increase

따라서, 이상의 결과를 비교 평가한 결과를 아래 Figure 17에 나타내었다. 전반적으로 우리나라의 지구온난화에 대한 기여도는 누적 배출량을 장기간 적용시 기여도가 낮게 나타나는 것으로 분석되었으며, 방법으로는 지구 대기중의 CO₂ 농도에 대한 평가시 기여도가 가장 낮았고 전체적으로는 1901-2005년간의 누적 배출량 적용시 기여도가 가장 낮은 것으로 평가되었다. 한편, 실제 누적 배출량을 적용(1971-2005)한 경우 온실가스 배출량은 IPCC 기본값(Default)을 적용한 것보다 낮은 것으로 조사되었으나 적용기간(Period)이 짧아 비교적 지구온난화에 대한 기여도는 높은 것으로 분석되었다.

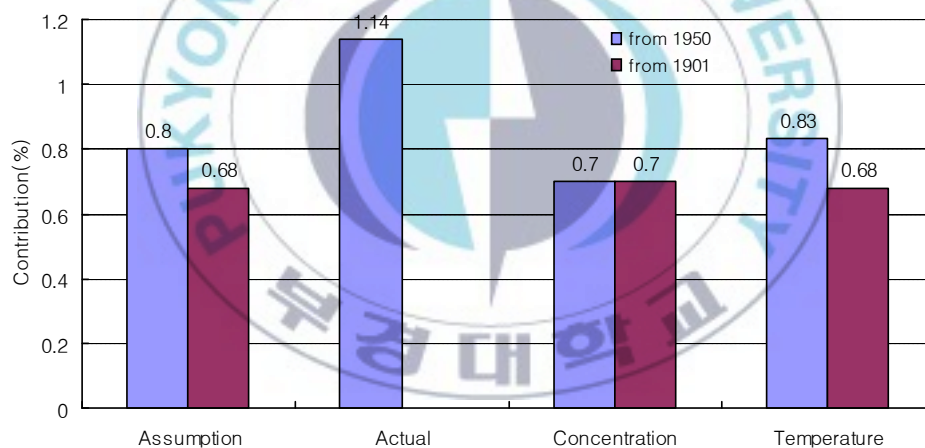


Figure 17. The comprehensive results of global warming contribution in case of the Korea

IV. 결 론

본 연구는 현재 진행되고 지구온난화와 관련하여 전 지구적인 대응이 필요한 상황에서 지구온난화에 대한 근본적 원인에 대하여 이론적인 고찰을 통하여 분석하였고, 분석 결과에 따른 지구온난화 안정화 방안에 대하여 국외 전문기관의 방법론을 조사하였다. 아울러, 이에 따른 우리나라를 포함한 국가 그룹별 지구온난화에 대한 기여도를 “국가별 누적 배출량, 대기중 농도 증가 및 지구 표면온도의 상승”의 방법을 통하여 기여도를 분석하였다. 또한, 객관성을 확보하기 위하여 IEA 자료를 통하여 지난 37년간의 지구온난화에 대한 역사적 책임의 기여도를 분석하였으며, 주요 결과는 다음과 같다.

현재 진행되고 있는 지구온난화는 과거 산업혁명 기간을 통하여 산업화에 참여하였던 일부 국가들이 대기중 배출한 온실가스에 의한 영향으로 진행된 것으로 평가되었다. 이에 대한 증거로는 1800년대부터 증가되기 시작한 대기중의 온실가스 농도와 인간의 활동에 의하여 배출된 온실가스 배출량이 비례하는 것으로 나타났다. 또한 이들 주요 두 인자(factors)들을 통한 시나리오 분석은 1900년대부터 실측된 지구의 지표온도와 대기중 CO₂ 농도가 각각 0.74℃, 99ppm 동반 상승하는 추세가 확인되었으며, 본 연구의 역사적 책임 분석에 대한 기여도 평가의 판단 기준이 되었다.

본 연구결과, 1951-2005 기간 동안 우리나라는 9,068백만CO₂톤(WRI는 9,137, 1.02%)을 누적 배출하여 누적 배출량 고려 시 지구온난화 기여도는 0.8%로 추산 되었으며, 1901-2005 기간의 경우 우리나라는 9,185백만CO₂톤을 누적 배출하여 0.68%의 지구온난화에 대한 역사적 책임기여도가 있는 것으로 분석되었다.

대기중 농도에 대한 기여도 분석에서는 1901-2005년간 및 1951-2005년간의 전지구적인 대기중의 CO₂ 농도는 각각 239ppm 및 194ppm(해당기간 누적 배출량에 GtC당 0.560ppm을 적용)인 것으로 평가되었으며, 우리나라의 역사적 책임 기여도는 각각 2ppm(0.7%) 정도로 분석되었다.

지표온도의 상승에 대한 기여도 분석에서는 1901~2005 및 1951~2005 모두 0.01℃(각각 0.63, 0.83%) 상승에 기여한 것으로 분석되었고, 최상위 4개국(미국, EU, 중국, 러시아)이 지구 지표온도 상승에 50% 이상 역할을 한 것으로 분석되었으며, 누적 배출량을 장기간으로 설정하는 것이 우리나라의 기여도가 낮게 산정되는 결과를 얻었다.

그리고, 객관적인 기여도 평가를 위하여 IEA의 에너지 분야를 1971년부터 2007년까지 평가한 결과 미국, 중국, (구)소련연방국, 일본, 독일 5개국이 역사적으로 53%의 책임이 있는 것으로 평가되었다. 또한, 우리나라의 경우에도 1.14%의 책임이 있는 것으로 평가되었으나 지구온난화의 개시 원인을 산업 혁명시기인 1750년도로 확대하는 경우 우리나라의 지구온난화에 대한 역사적인 책임의 정도는 상당부분 감소되어야 할 것으로 평가되었다.

그리고, 1971년부터 2007년까지의 에너지 분야의 1인당 배출량을 고려하였을 때 우리나라는 140개국중 “6CO₂톤/인”으로 44위권에 위치하며, 1980년대 후반부에 조사 대상국의 동일기간 평균 배출량을 초과한 것으로 평가되므로서 1인당 배출량을 고려하였을 경우 우리나라는 온실가스 의무감축에 참여하는 것이 타당하다는 결과가 도출되었다.

이상과 같은 결과를 토대로 현재 진행되고 있는 기후변화협약 2차 이행에 대한 국제협상과 관련하여 온실가스 의무감축 국가 선별에서는 현재 진행되고 있는 지구온난화에 대한 역사적 책임에 대한 분석을 통하여 감축의무 국가가 결정되어야 할 것이며, 책임에 대한 정도 평가(지구온난화의 기여도) 분석은 우리나라의 경우 가능한 장기간을 적용하여 그간의 누적 배출량(Cumulated emission)에 입각하여 접근하는 것이 가장 유리한 것으로 분석 되었다.

참고문헌

- AUBREY MEYER and Kay Weir(2007), Support grows for equity based global warming plan, Global Action:Pacific Ecologist Summer(2006/07), 18-22.
- Benito Niklas and Christian Ellermann(2007), Differentiating(Historic) Responsibilities for Climate Change, OIES Energy and Environment Paper, Ecofys, Cologne, Germany.
- Eileen Claussen Lisa McNeilly(1998), Climate Change The Complex Elements of Global Fairness, Pew Center on Global Climate Change, USA.
- Elzen, M.G. den, and M. Schaeffer(2002), "Responsibility for Past and Future Global Warming: Uncertainties in Attributing Anthropogenic Climate Change." Climatic Change, Vol. 54, No. 12, 2973.
- Hohne, Niklas and Kornelis Blok.(2005), Calculating Historical Contributions To Climate Change-Discussing The 'Brazilian Proposal'. Climatic Change, 71 (1), 141-173.
- IEA.(2009), Key World Energy Statistics, International Energy Agency.
- IEA.(2009), CO₂ Emissions from Fuel Combustion(2009 edition). International Energy Agency.
- IPCC(2001), IPCC 3rd Assesment Report, Working Group-1 : The science of climate change.
- IPCC(2007), IPCC 4th Assesment Report, Working Group-1 : The Physical Science Basis.
- IPCC(2007), IPCC 4th Assesment Report, Working Group-3 : Mitigation of Climate Change.

- Joseph E. Aldy, Thomas C. Heller(2003), Advancing the international effort against climate change, Pew-Center Global Climate Change.
- Kevin Baumert Jonathan Pershing, Timothy Herzog Matthew Markoff(2004), CLIMATE DATA: INSIGHTS AND OBSERVATIONS, Pew-Center Global Climate Change, USA.
- Laila Gohar(2009), Modeling and assesment of contribution to climate change; The forum on discussion of outcome in Bonn, The 3th AWG-LCA, ECOSYS.
- Larry Parker & John Blodgett(2008), Greenhouse Gas Emissions: Perspectives on the Top 20 Emitters and Developed Versus Developing Nations, USA Congressional Research Service, Order Code RL32721.
- Luiz Pinguelli Rosa, Maria Silvia Muylaert and Christiano Pires de Campo(2003), The Brazilian Proposal and its Scientific and Methodological Aspects, Grant No. GEW-G-00-01-00013-00 of US-AID, IISD.
- MADELEINE HEYWARD(2009), Equity and international climate change negotiations: a matter of perspective, Climate Policy: synthesis article, 519-534
- Martin Khor(2009), Technical Briefing on Historical responsibility as a guide to future action in climate change, The 3th AWG-LCA, The south center.
- Michel DEN Elzeni and Michel Schaeffer(2002), Responsibility for past and future global warming uncertainties in attributing anthropogenic climate change, Climatic Change 54: 29-73.
- Neumayer, E. 2002. "Can Natural Factors Explain any Cross-Country Differences in Carbon Dioxide Emissions?" Energy Policy 30, p.712.

Prof. Jeffrey Frankel(2006), Formulas for Quantitative Emission Targets, Workshop held at Harvard University, May 12-13, 2006

Roque Pedace (FoE Argentina), Brandy Vaughan (editorial consultant to FoEI), and Ann Doherty(2005), climate debt making historical responsibility part of the solution friends of the earth international.

Shue, Henry (1999). 'Global Environment and International Inequality', International Affairs [London], 75:3, 531-45, at 533.

Third World Network(Bonn on 4 June 2009), Historical responsibility and equity: The key to a fair and effective outcome in Copenhagen.

UNFCCC(2005), Sixth compilation and synthesis of initial national communications from Parties not included in Annex I to the Convention, FCCC/SBI/2005/18/Add.2, 25 OCT, 2005.

UNFCCC(2008), National greenhouse gas inventory data for the period 1990-2006, FCCC/SBI/2009/12, 17 NOV, 2008.

US DOE(2009), International Energy Outlook, Department of Energy, USA.

WRI(2009), CAIT: Indicator Framework Paper, Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) version 6.0., World Resource Institute.

감사의 글

기후변화 업무를 오래하다 보니 단순 행정업무로는 한계가 있다는 것을 느끼게 되고 주위의 권유로 학문의 길에 접어들게 되었습니다. 그간 업무와 관련된 수학을 하면서 그리고 금번 논문을 준비하면서 나 자신의 부족함에 깊은 반성을 느끼며 도와주신 모든 분들께 감사하다는 뜻을 전하고 싶습니다.

특히, 오늘의 본 논문이 준비되기까지 기후변화에 대한 이론적·학술적 의미와 현실에서의 대응방향에 대하여 많은 가르침과 깨우침을 주신 지도 교수님께 깊은 경애와 함께 감사의 뜻을 전하고 싶습니다. 누구보다도 관련 업무를 많이 하였기에 스스로 자만심에 빠져있는 저에게 교수님의 훈육은 나 자신을 다시금 돌아보고 진일보 할 수 있는 계기가 되었습니다.

그리고, 저를 학문의 길로 접어들게 하고 바쁜 직장생활에서도 학업을 할 수 있게끔 도와주신 공단의 이종연 팀장님과 정동희 팀장님께 이 자리를 빌어 감사하다는 말씀을 드립니다. 팀장님들의 격려와 도움이 없었다면 아마도 오늘 이 자리까지 올 수 없었다는 것을 누구보다도 저 자신이 잘 알고 있습니다. 다시 한번 진심으로 감사드립니다.

또한, 직장 후배이자 학업 선배인 권영성, 강석재, 이기형 등 직장 동료들에게도 감사의 뜻을 전하고 싶습니다. 늦게 시작한 학업으로 여러 가지 어려움이 있을 때마다 자기 일처럼 도와 준 학업 선배님들께 감사를 전하며, 아울러 저와 같이 학업을 하며 물심양면으로 도와주신 동기 정유진씨에게도 감사의 말을 전합니다. 정유진씨의 도움이 없었다면 제가 오늘 이 자리까지 오기는 정말 힘들었을 것입니다. 정유진씨와의 만남을 소중히 생각하고 앞으로도 동기로서 지속된 만남을 통하여 도움에 보답코자 합니다.

개인시간을 이해해준 우리 가족들과 다이옥신 연구센터 교우들 그리고 같이
학업에 참여하고 있는 직장 동료들 모두에게 감사합니다.

마지막으로, 오늘의 본 논문이 나오게끔 지도해 주신 옥 곤 교수님께
진심으로 깊은 감사드립니다.

