



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

工學碩士學位論文

산업연관분석을 이용한 한국의 산업부문별
오염물질 배출량의 변화 분석

Evaluation of Pollutant Emissions by Industrial Sector in
Korea Using Input-Output Analysis

蔚山大學校 大學院

建設環境工學科

朴有珍

산업연관분석을 이용한 한국의 산업부문별
오염물질 배출량의 변화 분석

指導教授 朴興錫

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함

2020年 02月

蔚山大學校 大學院

建設環境工學科

朴有珍

박유진의 工學碩士學位 論文을 認准함

審査委員 이 병 규 (印)

審査委員 원 중 목 (印)

審査委員 박 흥 석 (印)

蔚山大學校 大學院

2020年 02月

초 록

최근 대기오염물질1급 발암물질로 지정되어 있는 미세먼지와 온실가스에 대한 심각성이 날로 증가되어 다양한 저감대책이 발표되고 있으며, 계속적으로 관련 연구들이 진행되고 있다. 대기오염물질 배출량은 생산기술, 경제규모 그리고 에너지 투입 구조 등의 변화에 따라 달라진다. 이에 본 연구는 산업연관표, 에너지밸런스 및 에너지원별 오염물질 배출원단위를 활용하여 2003년부터 2017년까지 산업별 이산화탄소, 황산화물, 질소산화물, 먼지 그리고 황산화물과 질소산화물이 야기하는 미세먼지 등 오염물질배출량의 변화를 평가하였다.

대한민국의 각 산업에서 발생하는 대기오염물질 배출량을 계산하기 위하여 한국은행 경제통계시스템에서 제공하는 산업연관표와 에너지 관리공단에서 제공하는 에너지밸런스 자료 및 국립환경과학원에서 제공하는 대기오염 배출계수를 이용하여 환경산업연관표를 작성하였다. 환경산업연관표는 산업연관표의 기록 원칙에 몇가지 가정과 산업별 에너지원별 사용량과 에너지원별 오염물질 배출계수를 추가하여 만든 표로 산업별 대기오염물질 배출량을 추정할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 작성된 환경산업연관표를 이용하여 이산화탄소뿐만 아니라 먼지, 황산화물과 질소산화물 발생량 그리고 이들의 이차반응에 의하여 생성되는 2차먼지 생성가능량을 추정하였다. 또한, 각 산업부문별 투입금액 백만원 당 발생하는 오염물질 배출계수를 산정하고, 생산유발계수를 곱하여 각 산업분야에서 발생하게 되는 총오염물질 발생량을 추정하였다. 이를 바탕으로, 오염물질 발생에 영향을 미치는 수요측 요인인 산업별 총생산량의 변화와 공급측 요인인 산업구조 변화의 기여율을 평가하였다.

우리나라의 전체 에너지사용량은 2003년에는 164,550 TOE로 2017년에는 34.6%증가한 221,448 TOE였으며, 총 산출액은 2003년에는 1,669조억원이었으며 2017년에 2.5배 증가한 4,168조억원이었다. 황산화물(SO_x)배출량은 2003년에 610,573.4ton 이었고 2017년에는 18.1%감소한 499,918.6ton 배출되었으나, 질소산화물(NO_x) 배출량은 2003년에 379,513.0ton 이었고, 2017년에는 4.2%증가한 396,301.1ton 배출되었다. 황산화물질과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지

(PM10) 생성가능량은 2003년에 195,706.7ton이었으며 2017년에는 8.9%감소한 178,207.8ton 이었다. 먼지(Dust) 배출량은 2003년에 424,023.2ton 이었으며 2017년에는 49.0%증가한 631,662.8ton 배출되었다. 이산화탄소 배출량은 2003년에 394,858.8천ton이었으며 2017년에는 25.4%증가한 495,049.6천ton 배출되었다.

경제발전에 의한 총 공급액은 2003년 1,669조에서 2017년 4,861조로 2.5배 증가하였으나, 이산화탄소와 오염물질 배출량이 상대적으로 적게 증가하여 먼지 배출계수는 1/4, 그외 오염물질 배출계수는 약 1/2로 감소한 것으로 나타났다. 그러나, 산업별로 배출계수와 배출유발계수가 상당한 차이가 있으므로, 이산화탄소 및 오염물질 감축 대책 수립시 이를 고려한 경제적 감축의 수립이 필요하다.

특히, 이산화탄소와 오염물질 배출에 영향을 미치는 수요요인과 공급측 요인의 분석결과, 경제발전에 의한 수요요인은 배출증가에 기여를 하고, 산업구조 및 에너지 효율화 등에 의한 공급요인은 배출감소에 기여를 하는 것으로 나타났다. 따라서, 기후변화 및 미세먼지 대책 등을 수립시, 경제발전에 제한이 적도록 산업별 수요요인과 공급요인의 기여율을 고려한 정책수립이 필요함을 확인하였다.

그러나, 본 연구는 활용 가능한 데이터를 중심으로 산업연관표의 가정과 에너지사용량 및 에너지 사용에 의한 이산화탄소 및 오염물질 배출계수에 기반한 환경산업연관 분석을 하였기 때문에 대기오염물질과 온실가스에 대한 정확한 실측값과는 차이가 있는 한계를 가지고 있다.

Abstract

Recently, the severity of greenhouse gases and fine dust, designated as the first-grade carcinogenic air pollutants, has been increasing day by day, and various reduction measures have been announced. Air pollutant emissions are dependent on various factors such as changes in production technology, economic scale and energy input structure, etc. Therefore, this study is to evaluate the chronological changes of carbon emissions and air pollutants emitted by industrial sector from 2003 to 2017 using environmental input-output analysis approach integrating input-output table, energy balance and energy emission factors.

To calculate potential air pollutant emissions from each industry in Korea, the Bank of Korea's economic input-output tables, the energy balance data provided by the Korea Energy Management Corporation and the air pollutant emissions coefficients provided by the National Institute of Environmental Research, were used. Using these data, a hybrid environmental input-output table was established considering assumptions and principles of the input-output table and adding energy balance data and energy pollutant emissions coefficients to input-output table.

Using the established environmental input-output table, not only the amount of CO₂ emissions, dust, sulfur oxides (SO_x) and nitrogen oxides (NO_x), but also secondary fine dust (PM10) formation potential- by SO_x and NO_x were analysed. In addition, pollutant emission factors, air pollutants generated per 1 million won input by each industrial sector, were calculated and then total pollutant emissions by final demand in each industrial sector were also calculated by multiplying production inducement factor. Based on this emission results, the contribution rates of the changes in the total output of each industry, which are demand-side factors affecting the generation of pollutants, and the changes in the industrial structure, which are supply-side factors, were evaluated.

Total energy consumption were 164,550 and 221,448 *TOE*(34.6 increase), in 2003 and 2017, respectively, while the total output were 166.9 *trillion* and 416.8 *KRW* (2.5 times increase), in 2003 and 2017, respectively. Sulfur Oxide (SO_x) emissions were 610,573.4 and 499,918.6 *ton*(18.1% decrease) in 2003 and 2017, respectively, while Nitrogen Oxide (NO_x) emissions were 379,513.0 and 396,301.1 *ton* (4.24% increase) in 2003 and 2017, respectively. Secondary pollutant PM-10 formation potential induced by Sulfur Oxides and Nitrogen Oxides were 195,706.7 and 178,207.8 *ton*(8.9% decrease)in 2003 and 2017, respectively. Dust emissions increased from 424,023.2 to 631,662.8 *ton*(49.0% increase) and Carbon Dioxide (CO_2) from 394,858 to 495,049 *million ton*(25.4% increase) in 2003 and 2017, respectively.

Though the total output from economic development increased by 2.5 times from 1,669 *trillion* in 2003 to 4,168 *trillion* in 2017, CO_2 and pollutant emissions increased relatively little, resulting in an overall decrease of 25% in dust emission factors and about 1/2 in pollutant emission factors. However, since emission and emission inducement coefficients vary considerably from industry to industry, it is necessary to establish customized economic reduction strategies in consideration of those factors.

In particular, as a result of analysis of demand factors and supply side factors affecting changes of carbon dioxide and pollutant emissions, demand factors due to economic development contribute positively, while supply factors due to industrial structure and energy efficiency contribute almost negatively. Thus, planning climate change and fine dust countermeasures, it was confirmed that it is necessary to establish policies considering the emission contribution rate of supply and demand factors by industry.

However, this study analyzed the environmental input-output analysis based on the available data with the assumptions of the input-output table and the carbon dioxide and pollutant emission factors by energy use, which is the limitations of this study and thus the estimated and actual values for air pollutants and greenhouse gases emissions are some differences.

목차

제 1 장 서론.....	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 방법.....	4
1.2.1 연구범위.....	4
1.2.2 연구방법.....	4
제 2 장 연구 배경 및 선행연구의 검토	6
2.1 연구 배경.....	6
2.1.1 기후변화협약	6
2.1.2 국내 온실가스 및 오염물질 배출 현황	7
2.2 산업연관표	8
2.2.1 산업연관표의 개념 및 정의.....	8
2.2.2 산업연관분석을 위한 이용한 각종 계수.....	9
2.2.3 산업연관분석법(Input-Output Analysis)의 이용.....	14
2.3 산업연관분석을 이용한 국내의 환경영향 분석 동향.....	15
제 3 장 환경산업연관표 작성 및 분석방법.....	19
3.1 환경산업연관표	19
3.1.1 에너지밸런스	20
3.1.2 대기오염 배출계수	22
3.1.3 이산화탄소 배출계수	26
3.2 환경산업연관표 작성방법.....	28
3.3 환경산업연관 분석방법.....	35

3.3.1 분석개요.....	35
3.3.2 분석방법.....	36
1) 산업구조의 변화.....	36
2) 에너지사용량 변화.....	36
3) 산업별 대기오염물질 배출량 추정.....	36
(1) 산업별 대기오염물질 배출유발계수.....	37
(2) 산업별 대기오염물질 배출량 변화.....	37
제 4 장 환경산업연관표 분석결과 및 고찰.....	40
4.1 산업구조의 변화.....	40
4.2 산업별 대기오염물질 및 이산화탄소 발생량.....	41
4.2.1 산업별 에너지 사용량과 오염물질 배출에 기여율.....	42
4.2.2 산업별 총산출액, 대기오염물질 및 이산화탄소 발생량.....	46
4.3.산업별 대기오염 배출계수 및 배출유발계수.....	56
4.3.1 산업별 대기오염 배출계수.....	56
4.3.2 산업별 대기오염물질 배출유발계수.....	62
4.4 산업별 대기오염물질 배출량 변화 요인 분석.....	67
4.5 연구의 한계 및 추후 연구과제.....	72
제5장 결론.....	73
참고문헌.....	74

List of Tables

Table 2 –1 Basic Structure of Input–Output Table	12
Table 3 –1 Industry Classification of Energy Input–Output Table.....	21
Table 3 –2 Fuel SO _x Emission Coefficients ⁴⁷	23
Table 3 –3 Fuel NO _x Emission Coefficients ⁴⁷	24
Table 3 –4 Fuel Dust Emission Coefficients ⁴⁷	25
Table 3 –5 Midpoint Characterization Factors for Particulate Matter Formation	26
Table 3 –6 Fuel Carbon Emission Factors ⁴⁹	27
Table 3 –7 Integration of Industry Considering Input–Output Table and Energy Balance.....	29
Table 3 –8 Standard Factors for Energy Calories Conversion.....	33
Table 3 –9 The Structure of Environmental Input–Output Model.....	34
Table 4 –1 Sectorial Energy Consumption from 2003 to 2017.....	42
Table 4 –2 Data Usage of Energy Balance for SO _x , NO _x , Dust and PM10*	44
Table 4 –3 Data Usage of Energy Balance for CO ₂	45
Table 4 –4 Amount of Air Pollutant Emissions in 2003	47
Table 4 –5 Amount of Air Pollutant Emissions and Industrial Output in 2008...	49
Table 4 –6 Amount of Air Pollutant Emissions and Industrial Output of 2013...	51
Table 4 –7 Amount of Air Pollutant Emissions and Industrial Output in 2017...	53
Table 4 –8 Air Pollutant Emission Factors by Industry (2003)	56
Table 4 –9 Air Pollutant Emission Factors by Industry (2008)	57
Table 4 –10 Air Pollutant Emission Factors by Industry (2013).....	58

Table 4 –11 Air Pollutant Emission Factors by Industry (2017).....	59
Table 4 –12 Difference of Air Pollutant Emission Factors by Industry between 2003 and 2017	60
Table 4 –13 Air Pollutant Emission Inducement Factors by Industry (2003)	62
Table 4 –14 Air Pollutant Emission Inducement Factors by Industry (2008)	63
Table 4 –15 Air Pollutant Emission Inducement Factors by Industry (2013)	64
Table 4 –16 Air Pollutant Emission Inducement Factors by Industry (2017)	65
Table 4 –17 Differences of Air Pollutant Emission Inducement Factors between 2003 and 2017	66
Table 4 –18 Changes of Emission Inducement Coefficients and Output between 2003 and 2017	67
Table 4 –19 Air Pollutants Emissions Changes Contributed by Total Out-put Change ($C_2\Delta X$)	68
Table 4 –20 Air Pollutant Change Contributed by Industrial Structure and Energy Efficiency (ΔCX_1)	68
Table 4 –21 Changes of Air Pollutants Emission between 2003 and 2017	69
Table 4 –22 Contribution of $C_2\Delta X$ to Air Pollutants Emission Change	70
Table 4 –23 Contribution of ΔCX_1 to Air Pollutants Emission Change.....	70

List of Figures

Figure 3 –1 Simulation algorithm for environmental input–output analysis.....	38
Figure 4 –1 Change of Industrial Structure from 2003 to 2017 ⁵⁷	41
Figure 4 –2 Industrial Value–added value and Total Output.....	54
Figure 4 –3 Changes of Air Pollutant Emissions from 2003 to 2017.....	55
Figure 4 –4 Changes of Air Pollutant Emission Factors from 2003 to 2017.....	61

제 1 장 서론

1.1 연구배경 및 목적

산업혁명 이후 화석연료의 사용 증가로 지구온난화(Global Warming) 현상이 심해지면서 인류의 생존에 심각한 악영향을 미치고 있다. 현재 지구온난화의 영향으로 지난 20세기에 지구 평균 기온이 0.4~0.8℃ 상승한 것으로 나타났다¹. 2001년, ‘기후변화에 관한 정부간 패널 (IPCC^a : Intergovernment Panel on Climate Change)’의 기후변화 2014 종합보고서에 의하면 1850-1900 년의 평균 기온 대비 2003-2012년의 평균 기온은 0.72~0.85℃ 상승하였다². 그럼에도 불구하고, 기후변화 대응 여하에 따라 2080-2100년에는 산업화 이전 기준 대비 평균기온이 2℃ 및 4℃ 상승할 것으로 예측하고 있다². 이상과 같이 생활의 편의를 위한 생산 및 소비활동으로 인한 화석연료 사용량의 증가는 대기중의 온실가스 농도를 증가시키고 기후변화 등을 가져와 현재 이미 인간생활 및 자연생태계가 실제적으로 큰 위협을 받고 있다.

온실가스는 지구 표면과 대기 그리고구름에 의해 우주로 방출되는 특정한 파장 범위를 지닌 적외선 복사열에너지를 흡수하여 열을 저장하고 다시 지구로 방출하는 기체를 말하며, 이러한 온실기체의 특성으로 온실효과가 발생된다³. 온실효과는 지구를 항상 일정한 온도를 유지시켜주는 매우 중요한 현상으로 대기가 없어 온실효과가 없다면 지구는 햇빛을 받을 때 수십도 이상 올라갈 것이며, 태양이 없는 밤에는 모든 열이 방출되어 영하로 떨어진다고 알려져 있다. 자연적인 온실 효과가 없다면 지구 표면에서 방출되는 태양에너지가 모두 지구 밖으로 사라져 지구의 평균온도는 영하 20℃ 정도로 유지될 것으로 예상된다. 온실기체는 지구 복사를 통하여 우주공간으로 나가는 에너지 중 일부를 다시 지구로 되돌아가도록 하기 때문에 지구온난화의 원인으로 작용된다⁴. 기후변화를 유발하는 대표적인 온실가스(기체)는 이산화탄소, 메탄, 과불화탄소 그리고

^a 세계기상기구(World Meteorological Organization; WMO)와 유엔환경계획(United Nations Environment Program; UNEP)이 공동으로 설립한 정부간기후변화패널(Inter Governmental Panel on Climate Change; IPCC)이 1996년과2006년에 ‘국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 IPCC 가이드라인’을 발표하였다.

아산화질소 등이 있다. 이산화탄소는 에너지사용 및 산업공정, 메탄은 폐기물, 농업 및 축산, 그리고 아산화질소는 주로 산업 공정과 비료사용으로부터 배출된다⁵. 화석연료의 사용이 크게 늘면서 이산화탄소의 배출량도 증가하여 대기중의 이산화탄소 농도가 증가하였고 이는 지구온난화를 더욱 심화시키는 요인으로 작용되고 있다⁴. 1980년 이후 주요 온실가스인 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 하층 대기 농도는 각각 30%, 142%, 14%증가하였다⁶.

기후변화는 한 국가의 노력만으로 해결할 수 없고 전 세계가 힘을 합쳐 대응해야 한다는 공감대가 형성됐다. 이에 따라 1992년 리우 협약을 시작으로 1997년 교토의정서가 채택되어 2005년 발효되면서 대표적인 기후변화 대응 국제환경협약으로 자리매김되었다. 그러나, 기존 선진국에만 온실가스 감축 의무를 부과하던 교토의정서 체제의 한계로 국제사회의 기후대응동력이 떨어지면서, 2015년에 모든 국가가 기후변화 대응에 참여하는 신(新)기후체제로 ‘파리협정’을 채택하고, 2020년부터 모든 국가가 자국의 상황을 반영하여 온실가스 감축에 참여하는 보편적인 기준을 마련하게 되었다⁷ 이에 따라 우리나라는 파리협정에 대응하기 위해 2018년 7월 24일 국무회의에서 2030온실가스 감축 로드맵 수정안 및 2018~2020년 배출권 할당계획에 따라 2030년까지 온실가스배출 전망치(BAU) 대비 37% 감축목표를 세웠고, 그 중 국내 감축량을 25.7%에서 32.5%로 상향 조정하는 방안을 확정지었다³. 온실가스 감축 로드맵에는 산업부문에서 온실가스를 저감하기 위한 친환경 공정가스 개발 및 냉매 대체, 온실가스 저배출 연료 및 연료 그리고 폐열과 폐기물 등 폐자원 활용 등의 온실가스 감축 계획이 포함되어 있다³. 하지만 온실가스 감축로드 맵은 산업별 특성을 고려한 온실가스 배출량의 예측과 과학적인 감축계획이 수립되지 못하여 산업계에서는 정책 실현에 대한 우려가 높은 것이 현실이다. 온실가스로는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소불화탄소 등이 있지만 다른 온난화 물질들에 비하여 이산화탄소 발생량이 전체 배출을 80%이상을 차지하고 있고 중요하기 때문에 세계 각국의 기후변화 대응책은 이산화탄소를 중심으로 이루어지고 있다. 따라서, 국가 온실가스 배출량 산정과 감축목표 설정을 위해서는 경제 전반에서 에너지 사용량과 그 결과로 발생하는 이산화탄소 배출량을 산업별로 과학적으로 추정하는 것이 필요하다.

한편, 최근에 국민들의 관심이 높아지고 있는 미세먼지는 대기 중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상 물질⁸ 중 입자의 지름이 $10\mu\text{m}$ 이하인 먼지(PM10:미세먼지)와 입자의 지름이 $2.5\mu\text{m}$ 이하인 먼지(PM2.5: 초미세먼지)인 흡입성먼지를 말한다⁹. 세계보건기구(WHO)는 미세먼지(PM10, PM2.5)에 대한 대기질 가이드라인을

1987년부터 제시해 왔고, 2013년에는 세계보건기구 산하의 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서 미세먼지를 사람에게 발암이 확인된 1군 발암물질(Group 1)로 지정하였다¹⁰. 미세먼지는 급성 노출 시에는 기도의 자극으로 인하여 기침과 호흡곤란이 발생하며 만성 노출시 폐의 기능이 감소되고 만성기관지염이 증가하는 것으로 알려져 있다¹¹. 미세먼지는 크게 1차 생성과 2차 생성으로 나눌 수 있다. 1차 생성물은 공장의 굴뚝 등 고정배출원과 자동차의 배기가스, 건설현장의 비산먼지 등에서 미세먼지가 배출되어 직접적으로 대기 중으로 유입되는 것이다. 2차 생성은 가스 상태로 배출된 물질이 공기 중의 다른 물질과 화학 반응을 일으켜 미세먼지가 생성되는 것으로 화석연료의 연소과정에서 배출되는 황산화물이 대기 중의 수증기, 암모니아와 결합하거나 자동차 배기가스에서 나오는 질소산화물이 대기 중의 수증기, 오존 등과 결합하는 화학반응을 통하여 미세먼지가 생성되는 것을 말한다¹². 특히, 미세먼지에 대한 관심이 높아지면서 미세먼지 저감대책에 대하여도 다양한 저감대책을 발표하고 있다. 하지만 현재의 대책은 황산화물과 질소산화물 감축으로 이들 물질에 의한 대기화학반응으로 생성되는 2차 미세먼지의 감축과 같은 Co-benefit과 연계한 저감대책이 미진한 상황으로 이에 대한 연구도 필요하다.

특히, 우리나라는 지구온난화현상을 유발시키는 온실가스뿐만 아니라 대기오염물질1급 발암물질로 지정되어 있는 미세먼지에 대한 심각성이 크게 증가되면서 2019년 4월 대통령 직속 국가기후환경회의를 설치하였다. 기후환경위원회는 국민들이 체감할 수 있는 실효성 있는 미세먼지와 온실가스 저감대책을 추진하면서, 중장기적인 R&D, 한중 및 다자간 국제협력을 강화시켜나가고 있다. 또한 기후변화와 미세먼지 문제는 에너지 사용과 연계되어 있어 경제 및 산업 전반을 고려한 포괄적인 연구의 필요성에 대한 공감대는 형성되어 있으나, 현재까지 이 부분에 대한 연구도 매우 부족한 실정이다.

이에 본 논문에서는 기후변화와 미세먼지가 에너지사용과 연계되어 있다는 점에 착안하여, 2003, 2008, 2013, 2017년의 우리나라의 경제 및 산업활동(에너지사용)에 따른 이산화탄소와 오염물질 배출량 및 2차 미세먼지의 생성가능량을 추정하였다. 또한, 2003년과 2017년간의 이산화탄소와 오염물질배출량의 변화를 성장요인분해 모형으로 구조분해하여 산업구조의 변화 및 에너지 효율화와 경제발전이 기인한 총수요의 증가에 따른 기여율을 분석하고자 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

1.2.1 연구범위

본 연구는 경제 전반의 활동에 의한 온실가스 및 대기오염물질 배출량을 파악하기 위한 연구로 경제 전반의 활동을 정리한 산업연관표를 기반으로 하였다. 기존의 산업연관표로는 산업간의 투입-산출을 분석하는 것으로 환경적인 영향을 분석하기 위해서는 먼저 산업부문별 사용되는 에너지밸런스를 활용하여 산업부문별 투입구조와 배분구조를 알 수 있는 에너지 산업연관표를 작성한다. 이 에너지 산업연관표에 에너지원별 오염물질 배출계수 데이터를 이용하여 산업별 오염배출량을 추가하여 환경산업연관표를 만들었다. 이 환경산업연관표를 이용하면 산업별로 최종수요 1단위가 증가할 때 이를 생산하기 위하여 전체 산업에서 생산되는 산출액의 크기뿐만 아니라 산업별 투입된 에너지량 및 수반되는 대기오염물질 배출량을 산출할 수 있다. 본 연구에서는 환경산업연관표를 활용하여 산업부문에서 배출되는 이산화탄소와 오염물질의 연도별 배출량의 파악하고, 2003~2017년 사이의 이산화탄소와 오염물질 배출량 변화량을 산정한다. 이를 바탕으로 산업구조와 기술발전에 의한 온실가스 및 대기오염물질의 배출량 변화(공급요인)와 최종수요의 변화(수요요인)에 의한 기여율을 파악하여 산업별 온실가스 및 대기오염 감축 정책수립의 기초자료를 확보하고자 하였다.

1.2.2 연구방법

본 연구에서 환경산업연관표의 기본거래표에 필요한 데이터는 한국은행에서 공표한 실측표 이용하고, 에너지물량표 추정에 필요한 데이터는 에너지통계연보를 참고한다. 또한, 에너지원별 탄소함유량은 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 ‘2006IPCC 가이드라인’에서 제시하는 탄소배출계수를 이용한다. 또한, 시간적 범위는 2003년과 2008년, 2013년, 2017년으로 한정하고 산업의 분류는 한국은행에서 공표한 산업연관표의 통합대분류와 에너지통계자료의 산업분류를 고려하여 최종적으로 16개 산업부문을 재정리하여 분석한다.

본 연구의 분석과정을 순차적으로 정리하면 다음과 같다. 첫째, ‘산업연관표’의 ‘부문별 품목별 공급액표’와 각종 에너지 통계자료를 이용하여 전국의 ‘에너지 산업연관표’를 작성한다. 둘째, 산업별 에너지사용량과 연료별 배출계수를 이용하여

전국의 제조업 산업별 대기오염배출량을 추정하여 환경산업연관표를 작성한다. 셋째, 2003년, 2008년, 2013년, 2017년 실측표를 이용하여 투입계수를 추정한다. 넷째, 산업별 대기오염 배출계수에 생산유발계수를 곱하여 산업별 대기오염배출량을 추정한다. 다섯째, 년도별 오염물 배출량 변화를 구조분해하여 배출량변화에 미치는 공급측 요인과 수요측 요인의 기여율을 분석한다.

본 연구의 세부 구성은 다음과 같다.

1장에서는 연구의 배경 및 목적, 논문의 연구범위 및 방법을 제시한다.

2장에서는 본 연구의 배경이 되는 국내외의 상황에 대하여 좀 더 깊게 설명하고, 기초가 되는 선행연구를 알아본다.

3장에서는 산업연관표를 바탕으로 한 산업연관분석을 실시하기 전에 대기오염 배출계수와 에너지 수급량을 활용하여 환경산업연관표를 만드는 방법에 대하여 설명한다.

4장에서는 앞서 만든 환경산업연관분석를 이용하여 산업별 대기오염물질 배출량과 대기오염 배출계수 및 배출유발계수를 구하고, 경제 활동을 통해 배출되는 총 오염배출량을 산정한다. 이를 바탕으로 년도별로 오염물질 배출량의 변화에 미치는 공급측 요인과 수요측 요인의 기여율을 분석한다.

5장에서는 연구를 요약하고 시사점을 도출한다.

제 2 장 연구 배경 및 선행연구의 검토

2.1 연구 배경

2.1.1 기후변화협약

지구온난화에 따른 기후변화에 적극 대처하기 위하여 국제사회는 1988년 UN총회 결의에 따라 세계기상기구(WMO)와 유엔환경계획 (UNEP)에 기후변화에 관한 정부간 패널(IPCC)을 설치하였고, 1992년 6월 유엔환경개발회의(UNCED)에서 기후변화협약 (UNFCCC)을 채택하였다. 기후변화 협약의 기본원칙은 지구온난화 방지를 위하여 모든 당사국이 참여하되, 온실가스 배출의 역사적 책임이 있는 선진국은 차별화된 책임을 지는 것이며, 의무사항으로는 모든 당사국은 지구 온난화 방지를 위한 정책 또는 조치 및 국가 온실가스 배출통계가 수록된 국가보고서를 UN에 제출하는 것이다.

1997년 국제적으로 교토의정서를 채택하였다. 교토의정서에서는 온실가스 감축의무 국가들의 비용효과적인 의무부담을 이행을 위하여 신축성 있는 교토 메카니즘을 제시하였으며, 공동이행제도(JI: Joint Implementation), 청정개발체제(CDM: Clean Development Mechanism), 배출권거래제도(ET: Emission Trading)가 있다². 공동이행제도는 선진국 A국이 다른 선진국에 투자하여 얻은 온실가스 감축분을 A국 감축실적으로 인정하는 제도이며, 청정개발체제는 선진국이 개도국에 투자하여 얻은 온실가스 감축분을 선진국의 감축실적으로 인정하는 제도이고, 배출권거래제도는 온실가스 감축의무가 있는 국가에 온실가스의 대부분을 차지하는 탄소 배출에 대한 배출쿼터를 부여한 후 동 국가간 배출쿼터의 거래를 허용하는 제도이다². 그러나, 교토의정서 체제가 실패하면서 기후변화에 대응하기 위한 새로운 시스템으로 파리협약이 2015년에 체결되어 2016년 11월 4일부터 포괄적으로 적용되는 국제법으로서 효력이 발효되었다¹³.

기후변화협약을 운영하고 관리하는 조직은 협약에 가입한 당사국들로 구성된 '당사국총회(COP)'이다. 당사국총회는 협약에 따른 당사국의 의무사항과 제도적 장치를 정기적으로 검토하고 당사국이 채택한 조치에 관한 정보의 교환을 촉진하는 역할을 한다. 또한 온실가스의 배출원과 흡수원에 관한 목록을 작성하고 온실가스의 배출을 제한하는 조치의 효과를 평가하기 위해 비교 가능한 방법론을 개발하고 정기적인 개선을 촉진 및 지도한다(제7조 2항). 2015년 국내에서 배출권거래제가 시행되었고, 2016년 파리협약에

대한 국회비준을 위하여 2030년 BAU 온실가스 배출량 대비 37%감축 목표 확인하였다¹⁴.

2.1.2 국내 온실가스 및 오염물질 배출 현황

온실가스정보센터는 2016년 한 해 동안 우리나라의 온실가스 총 배출량이 전년 대비 0.2% 증가한 6억 9,410만 톤 CO_2eq .(이하 톤)으로 CO_2 배출량 세계 12라고 밝혔다. 톤 CO_2eq 는 메탄, 아산화질소, 불소계 온실가스 등의 배출량을 이산화탄소 배출량으로 환산한 단위('이산화탄소 환산톤' 또는 줄여서 '톤'으로 읽음)이다. 2016년 국가 온실가스 배출량'을 분야별로 나누면, 에너지 87.1%, 산업공정 7.4%, 농업 3.1%, 폐기물 2.4%으로, 에너지 비중이 대부분이다. 통계청과 에너지업계에 따르면 2016년 한국의 1인당 에너지 소비량은 5.6 TOE이며¹⁵, CO_2 배출량은 13.5ton/인이다. 우리나라는 공급에너지의 95.8%를 해외 수입에 의존하고 있으며, 총 소비에너지의 35.2%를 차지하는 석유의 경우, 중동 수입비중이 87.9%를 차지하고 있다¹⁶. 2010년 기준, 산업부문에서 59.8%로 가장 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 이러한 추이는 1990년 이후에도 꾸준히 증가하고 있는 것으로 나타났다. 2010년 기준, 이산화탄소와 메탄은 전체 배출량의 93.3%를 차지하고 있으며, 온실가스 중 이산화탄소 배출량의 비중은 1990년 85.8%에서 2010년 89.1%로 증가하여 1990년 이후 연 4.3% 증가했다. 한편 2016년 대기오염물질 발생량을 살펴보면 NO_x , SO_x , TSP, PM10, PM2.5, VOC 각각 1,248,309, 358,951, 611,539, 233,085, 100,247 및 1,024,029톤이 발생하는 것으로 조사되었다¹⁷. 특히, 우리나라의 대기오염물질은 에너지 사용과 밀접한 관계가 있어 온실가스 관리 대책과 함께 체계적인 관리가 매우 시급하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 경제 전반에서 사용되는 에너지의 사용에 따른 이산화탄소 및 오염물질 배출추이를 경시적으로 분석하므로써 산업부문별 이산화탄소와 오염물질 배출 특성을 파악하여 과학적인 관리를 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

2.2 산업연관표

2.2.1 산업연관표의 개념 및 정의

자동차를 생산하기 위해서는 엔진, 타이어 등 수많은 부품이 필요하고 그 엔진이나 타이어 등의 생산에는 다시 철강, 고무 등의 원재료가 투입되어야 하며 이렇게 생산된 자동차는 다시 엔진, 타이어 공장이나 택배회사의 운송수단으로 사용된다¹⁸. 이렇게 산업상호간의 관계는 서로 얽혀있다. 이런 상호 연관 관계를 거래내역으로 나타내는 표가 산업연관표이다. 산업연관표는 미국의 W.W.Leontief교수에 의해 처음으로 작성되었다. 그는 미국경제를 대상으로 모든 재화와 서비스의 흐름을 나타내는 통계표의 작성을 시도하여 그 결과를 1936년에 “Quantitative Input-Output Relations in the Economic System of the U.S.” 라는 논문을 통해 발표하였다. 산업연관표는 보통 일정 기간(보통1년)동안의 산업간 거래관계를 일정한 원칙에 따라 행렬형식으로 기록한 통계표이다¹⁹. 산업연관표의 기본구조는 재화와 서비스의 거래를 첫째, 산업 상호간의 중간재 거래부분 둘째, 각 산업부문에서의 노동, 자본 등 근본적 생산요소의 투입부분 마지막으로, 각 산업부문 생산물의 최종소비자에게 판매부분으로 구분하여 기록한다²⁰. 산업연관표는 산업 간 상호연관관계를 수량화하여 행렬형식으로 표현하므로 산업구조 분석, 경제정책 수립, 파급효과 계산에 기초적으로 이용할 수 있다²¹. 산업연관표는 행렬형태로 작성되며 행방향에는 각 부문에서 생산된 제품이 어떻게 판매 공급되는지에 대한 배분구조를 의미하며, 열 방향 수치는 어떠한 중간재와 생산요소를 이용하여 제품이 생산되는지에 대한 생산요소 투입을 나타내는 투입구조를 나타낸다²¹. 좀 더 자세하게 말하자면 행방향은 각 산업부문의 중간재로 판매되는 중간수요와 소비재, 자본재, 수출상품 등으로 판매되는 최종수요의 두 부분으로 나누어지며 중간수요와 최종수요를 합한 것을 총 수요액이라 하고 여기서 수입을 뺀 것을 총 산출액이라 한다²². 열방향은 산업부문의 비용구성, 즉 투입 구조를 나타내는데, 이는 원재료등의 투입을 나타내는 중간투입과 노동이나 자본 투입을 나타내는 부가가치의 두 부분으로 나누어지며 그 합계를 총 투입액이라 한다²². 이 때 각 산업부문의 총 산출액과 이에 대응하는 총 투입액은 항상 일치하여야 한다. 외생부문에서 부가가치 부문은 피용자보수, 영업잉여, 고정자본소모, 간접세등으로 이루어지며, 최종수요 부문에는 소비, 투자, 수출 등이 들어간다.

산업연관표는 작성 형식에 따라 공급사용표와 투입산출표로 구분할 수 있다. 투입산출표는 상품 기준으로 생산과 배분 내역을 나타낸 표이며, 공급사용표는 산업 기준으로 상품 공급을 나타내는 공급표와 생산을 위한 상품의 사용과 배분 내역을 나타낸 사용표이다²³. 투입산출표는 상품 기준으로 되어 있어, 하나의 산업은 하나의 상품만을 생산한다는 기본 가정에 따른 산업간 상호연관관계 분석에는 적합하지만 경제 현실을 제대로 반영하지 못하는 문제점을 보완하기 위하여 공급사용표가 작성된다²³. 산업연관표는 한국은행에서 5년을 주기로 실측하여 작성된 실측표와 실측표를 기반으로 한 연장표를 구분하여 매년 발표된다.

2.2.2 산업연관분석을 위한 이용한 각종 계수

어떤 재화나 서비스에 대한 최종수요가 증가하는 경우 이를 충족시키기 위해서 직접적으로 필요한 재화 및 서비스 이외에 해당 재화 및 서비스 생산에 투입되는 중간투입재의 생산이 해당 재화 및 서비스의 투입계수에 따라 연속적으로 필요하게 되는데 이러한 투입계수를 매개로 최종수요에 의해 발생한 직·간접적인 생산의 크기를 생산유발효과라고 하고 이를 계측, 분석하는 것이 산업연관분석의 기본원리다²¹. 소비, 투자 및 수출 등의 최종수요에 의한 직·간접적인 생산 변동 즉 생산유발효과를 계측하는 등의 경제분석을 하고자 할 때 부문 수가 적은 단순한 경우에는 투입계수를 이용해서 계산할 수 있지만 부문 수가 많아지는 경우 무한히 반복되는 생산유발효과를 투입계수를 이용해서 일일이 계산하는 것은 불가능한 일이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 역행렬이라는 수학적 방법을 이용하여 생산유발계수(production inducement coefficients)를 도출하여 분석에 사용하게 된다²¹. 생산유발효과는 어떤 산업의 생산물에 대한 최종수요 1단위가 증가할 때 이를 생산하기 위하여 전체 산업에서 생산되는 산출액의 크기를 나타낸 것으로 1단위의 최종수요가 주어지는 경우에 각 산업의 생산에 미치는 직간접의 파급효과를 나타내는 승수를 의미한다²⁴.

1) 투입계수

투입계수는 산업연관표를 이용하는 분석 기법인 산업연관분석에서 기본이 되는 계수로 각 부문이 재화나 서비스의 생산에 사용하기 위하여 구입한 각종 원재료, 부재료, 연료등 중간투입액과 피용자보수, 고정자본소모 등 부가가치를 해당 상품의 총투입액 (=총산출액)으로 나눈 것이다. 따라서 투입계수는 각 부문이 생산물 1단위를 생산하는

데 소요된 각종 중간재와 부가가치의 단위를 나타내기 때문에 각 부문의 생산기술구조, 즉 투입과 산출의 생산함수를 의미한다. 투입계수의 종류에는 총거래표에서 도출되는 총투입계수, 국산거래표에서 도출되는 국산투입계수, 그리고 수입거래표에서 도출되는 수입투입계수 등이 있다.

2) 생산유발계수

생산유발계수의 도출 및 의미는 각 산업은 생산 활동 과정에서 직접적으로 연계되거나 간접적으로 연계되어 있다는 것을 나타낸다. 이러한 산업 간의 직·간접적 연계 정도를 측정하기 위해 이용하는 것이 생산유발계수이다.

생산유발계수를 측정하기 위해서는 투입계수가 필요한데, 투입계수는 재화나 서비스에 대한 최종수요가 발생하였을 때 각 부문으로 파급되는 생산유발효과의 크기를 측정하는데 이용되는 매개변수의 역할을 한다. 그러나 부문 수가 많은 경우에는 무한히 계속되는 생산파급효과를 투입계수로만 계산하는 것이 매우 어렵기 때문에 역행렬이라는 수학적 방법을 이용하여 생산유발계수를 도출한다. 즉, 생산유발계수는 최종수요가 한 단위 증가하였을 때 이를 충족시키기 위하여 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 생산액 수준을 나타내는 것이다¹⁹.

앞서 살펴본 투입산출표에서 공급부문의 수입과 잔폐물을 상품의 총수요 (=중간수요+최종수요)에서 차감하면 국내 총 산출액이 되는데 이러한 관계를 일련의 연립방정식 체계로 표시할 수 있다. 생산유발계수표의 종류 생산유발계수표는 수입의 취급 방법에 따라 그 유형과 의미가 달라지는데, 생산유발계수표는 크게 국산과 수입을 구분하지 않은 경쟁수입형 투입산출표를 이용하는 $(I-A)^{-1}$ 형, $(I-A+\hat{m}^*)^{-1}$ 형, $[I-(I-\hat{m})A]^{-1}$ 형과 국산과 수입을 구분한 비경쟁수입형의 국산거래표를 이용하는 $(I-A_d)^{-1}$ 형 등 네 가지로 구분된다¹⁹. $(I-A+\hat{m}^*)^{-1}$ 형은 $(I-A)^{-1}$ 형의 생산유발계수표에서는 수입과 국내 생산활동 간에 아무런 함수관계가 존재하지 않는다는 가정을 하고 있으나 실제로 각 품목부문의 수입은 그 부문의 국내 총산출수준에 따라 결정된다고 보는 것이 보다 타당할 것이다. 따라서 수입을 외생변수로 취급하지 않고 내생화하여 도출하는 생산유발계수표가 $(I-A+\hat{m}^*)^{-1}$ 형이다¹⁹. $[I-(I-\hat{m})A]^{-1}$ 형은 앞에서 살펴본 $(I-A+\hat{m}^*)^{-1}$ 형의 생산유발계수에서는 각 품목부문별로 중간수요와 모든 최종수요 항목이 일정한 비율의 국산품과 수입품으로 구성되어 있다고 가정하고 있다. 그러므로 최종수요 항목의 하나인 수출에도 원재료가 아닌 최종수요로서의 수입품이 포함되어 있다고 가정하고 있다¹⁹. $(I-A_d)^{-1}$ 형은 지금까지 설명한 생산유발계수표들은 모두 국산과 수입을 구분하지 않는 경쟁수입형 투입산출표의

투입계수를 기초로 하여 도출된 것으로 국산과 수입을 구분하여 작성하는 비경쟁수입형표의 투입계수로부터 도출되는 생산유발계수이다¹⁹.

본 논문에서는 (I-A)⁻¹형을 이용하였으며, (I-A)⁻¹형은 생산유발계수표는 국산과 수입을 구분하지 않는 경쟁수입형 투입산출표의 투입계수로부터 도출된다. 이 생산유발계수표는 기본 수급방정식 $AX+Y-M-Z=X$ 를 $X=(I-A)^{-1}(Y-M-Z)$ 로 변환하여 도출된 것인데, (I-A)⁻¹형의 생산유발계수표를 이용하기 위해서는 외생변수로서 최종수요 벡터(Y)와 수입 벡터(M), 잔폐물 발생액 벡터(Z)가 주어져야 한다¹⁹.

3) 부가가치유발계수

소비, 투자, 수출 등 최종수요의 발생이 국내 생산을 유발하고 생산 활동에 의해서 부가가치가 창출되므로 최종수요의 발생은 부가가치 창출의 원천이 된다. 산업연관표를 이용하면 최종수요와 부가가치와의 기능적 관계를 파악할 수 있는데, 최종수요가 한 단위 발생할 경우 국민경제 전체에서 직·간접으로 유발되는 부가가치단위를 보여주는 계수가 부가가치유발계수이다. 각 산업부문이 해당 부문의 재화나 서비스 생산에 사용하기 위하여 다른 부문으로부터 구입한 원재료 및 연료 등의 중간투입액을 총투입액으로 나눈 것을 투입계수(input coefficients) 또는 기술계수(technical coefficients)라 하고 노동 등 본원적 투입물에 대한 대가인 피용자보수,영업잉여 등 부가가치액을 총투입액으로 나눈 것을 부가가치율(부가가치계수 또는 소득률)이라고 한다²¹.

앞서 설명한 계수들을 좀 더 쉽게 설명하고자 표와 식을 이용하여 말하고자 한다. 산업연관표의 기본구조는 다음 페이지에 있는 [Table 2-1]과 같다.

Table 2 -1 Basic Structure of Input-Output Table

		중간수요 (내생부문)					최종수요 (외생부문)				수입 (공제)	잔폐물 발생액	총 산출액
		1	2	...	n	중간수요계	소비	투자	수출	최종수요계			
중간투입 (내생부문)	1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1n}	W_1	C_1	I_1	E_1	Y_1	M_1	Z_1	X_1
	2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2n}	W_2	C_2	I_2	E_2	Y_2	M_2	Z_2	X_2

	n	X_{n1}	X_{n2}	...	X_{nn}	W_n	C_n	I_n	E_n	Y_n	M_n	Z_n	X_n
	중간투입계	U_1	U_2	...	U_n								
부가가치 (외생부문)	비용자보수	CE_1	CE_2	...	CE_n								
	영업잉여	S_1	S_2	...	S_n								
	고정자본소 모	D_1	D_2	...	D_n								
	간접세	T_1	T_2	...	T_n								
	부가가치계	V_1	V_2	...	V_n								
총 투입액		X_1	X_2	...	X_n								

[Table 2-1]에 나타난 제1열 즉, 1산업의 중간투입내역 X_{11}, X_{12} 를 총 투입액 X_1 으로 나눈 값을 a_{11}, a_{12} 이라 하면 이것이 1산업 생산물 한 단위를 생산하기 위하여 필요한 각 산업부문 생산물의 크기를 나타내는 투입계수로 일반화하면 Eq. 1으로 나타낼 수 있다.

$$a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j} \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, a_{ij} : j 산업 1 단위를 생산하기 위한 i 산업 투입계수

X_{ij} : i 산업에서 j 산업으로의 투입량

X_j : i 산업의 총 투입액

투입계수는 재화나 서비스에 대한 최종수요가 증가하였을 때 이에 따라 각 산업부문에 공급되는 생산유발효과의 크기를 계측하는 데 이용되는 중요한 매개변수이다. [Table 2-1]에서 각 산업부문 생산물의 수급관계를 보면 중간수요와 최종수요의 합계에서 수입을 차감하면 총 산출액과 일치하므로 다음과 같은 수급방정식(Eq. 2)을 만들 수 있다.

$$\begin{aligned} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \cdots + a_{1n}X_n + Y_1 - M_1 &= X_1 \\ \vdots & \\ a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \cdots + a_{in}X_n + Y_i - M_i &= X_i \\ \vdots & \\ a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \cdots + a_{nn}X_n + Y_n - M_n &= X_n \end{aligned} \quad (\text{Eq. 2})$$

여기서, a_{ij} : i 부문에서 j 부문으로 투입계수

X_i : i 부문의 산출액

Y_i : i 부문의 최종 수요

M_i : i 부문의 수입

식(Eq. 2)를 행렬로 표시하면, 식(Eq. 3)이 된다.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1i} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} & \cdots & a_{in} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{ni} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_i \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} M_1 \\ \vdots \\ M_i \\ \vdots \\ M_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} \quad (\text{Eq. 3})$$

식(Eq. 3)의 행렬을 행렬식으로 표현하면 다음과 같이 식(Eq. 4)로 표현된다.

$$AX+Y-M = X \quad (\text{Eq. 4})$$

여기서, A : 투입계수행렬(A matrix)

X : 총 산출액 벡터

Y : 최종수요 벡터

M : 수입액 벡터

이를 전개하여 X에 대해 풀면 식(Eq. 7)가 된다.

$$X-AX = Y-M \quad (\text{Eq. 5})$$

$$(I-A)X = Y-M \quad (\text{Eq. 6})$$

$$X = (I-A)^{-1}(Y-M) \quad (\text{Eq. 7})$$

여기서 $(I-A)^{-1}$ 을 Leontief의 역행렬이라 부르며 이를 생산유발계수라 한다. I는 주대각요소가 모두 1이고 그 밖의 요소는 모두 0인 단위행렬로 아래의 식 (Eq. 8)과 같이 나타낸다.

$$I = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Eq. 8})$$

이 생산유발계수를 통해 최종수요(Y)와 수입(M)의 변동에 따라 각 산업부문에 있어서 직접간접으로 유발되는 총 산출액(X)를 구할 수 있게 된다. 식(Eq. 7)를 보면 식 좌우변의 총 산출(X)과 국내 최종 수요(Y-M)이 생산유발계수를 매개로 연결되고 있음을 알 수 있다.

2.2.3 산업연관분석법 (Input-Output Analysis)의 이용

한 나라의 국민경제는 각 산업에서 생산된 재화 및 서비스가 다른 산업의 생산을 위한 원재료로 투입됨으로써 산업들이 직접간접적으로 서로 밀접한 연관관계를 맺고 있다. 이러한 산업연관 관계를 이용하여 한국은행에서는 5년 간격으로 현재 산업의 재화와 서비스를 만드는 프로세스에 있어 투입, 산출 관계를 연계적으로 작성한 산업연관표를 발행하고 있다.

산업연관분석은 생산활동을 통하여 이루어지는 산업 간의 상호연관관계를 수량적으로 분석하는 경제분석방법으로 산업연관표를 사용한다¹⁹. 산업연관분석의 기본 가정은 첫

번째는 결합 생산이 존재하지 않는다. 두 번째는 대체생산방법이 존재하지 않는다. 세 번째는 규모의 경제가 존재하지 않는다는 가정으로 각 부문이 사용한 투입량은 그 부문의 생산수준에 비례한다. 마지막으로 외부 경제가 존재하지 않는다는 가정으로 투입계수가 고정적이라는 것으로 각 산업 마다 하나의 생산함수를 상정하기 위한 것이다. 산업연관표는 국민경제 전체를 포함하며 이를 유기적으로 결합하고 있어 거시적 분석이 미치지 못하는 산업과 산업간의 연관관계까지도 분석이 가능하기 때문에 구체적인 경제구조를 분석하는데 유용할 뿐만 아니라 산업구조정책의 방향설정이나 조정 등에 활용될 수 있다.

산업연관분석은 국민경제를 산업별로 세분하여 산업간 재화와 서비스의 거래로 이루어지는 상호의존관계를 파악함으로써 소비, 투자, 수출 등 최종 수요가 각 산업의 생산활동에 미치는 파급효과를 분석하는 것이다. 산업연관표로 산출한 투입계수를 이용하여 도출되는 생산유발계수를 이용하여 수요에 의한 생산, 고용, 소득 등 파급효과와 경제정책을 분석할 수 있다. 따라서 이 분석은 전통적으로 각 산업부문의 원재료 투입구성비를 나타내는 투입계수의 산출을 기본으로 하여, 생산유발계수를 도출하고 최종수요에 의한 각 부문의 직·간접 생산, 고용 및 소득 등 경제파급효과를 분석하는데 활용되어 왔으며, 에너지 및 환경분석과 부가가치 기준 무역 등으로 그 활용범위가 넓어지고 있다.

2.3 산업연관분석을 이용한 국내의 환경영향 분석 동향

산업연관분석을 이용한 환경오염 영향에 대한 연구는 1960년대 후반부터 진행되었다. 1970년에 열린 ‘국제공해심포지엄’에서 W.W.Leontief교수가 “공해의 파급과정과 산업구조: 투입산출분석에 의한 접근”이라는 논문을 통해 실증 분석방법이 제시하였는데, 생산과정에 투입된 화석연료의 단위당 대기오염물질의 발생계수를 산업별로 산정하여 이를 기존의 산업연관표에 더하는 방법을 이용하였다^{25,26}. 그 후 환경·투입 산출모형을 근거로 공해의 국제간 파급효과를 분석하는 방법을 제시하였다²⁷. 이후 Miller & Blair(1985), Gowdy & Miller(1987), Julio & Rosa(2004)등에 의해 추가적으로 후속 연구가 이루어졌다. Miller와 Blair이 2009년에 책으로 발간한 *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*은 커뮤니티에서 학자들에게 필수적인 참고서로 에너지연관표의 개념, 기본구조 등을 서술하고 있으며, 일반적인 환경산업연관분석 모형과 생태계 부문을 내생부문에 포함시킨 경제-생태모형 등을

설명하고 있다²⁸. 이 책은 통상적인 산업연관표가 모두 금액 단위로 표시된 것과 다르게 에너지 투입은 물량단위, 비에너지 투입은 금액단위로 나타내는 에너지 산업연관표 작성방법을 제시하였고, 이산화탄소 등 환경 오염물질 배출량을 물량으로 나타내는 하이브리드 환경산업연관표 작성방법을 제시하였다²⁵. 환경산업연관을 이용하여 산업별 대기오염물질 배출량에 분석에 대한 연구보다는 이산화탄소 배출량을 평가하는 연구가 더 많이 수행되고 있다.

김안제·이정전(1983)은 레온티에프의 환경 투입-산출분석을 이용하여 공해 배출량의 계량적 측정방법을 제시하였다²⁹.

양태민·김진현(1991)은 산업연관분석을 이용하여 전국의 아황산가스(SO₂), 생화학적 산소요구량(BOD), 분진(TSP) 등의 오염 발생량을 1995년까지 추정하고 적정 오염처리 수준과 소요투자규모를 산출하였다. 그들은 1986년의 한국은행 산업연관표의 65개 부문의 (I-A)-1 레온티에프역행렬을 이용하여 이미 연구되어있는 각 산업별 오염발생 계수행렬(W)을 곱하여 오염영향력(오염유발)계수 행렬을 구하였다. 이 연구에서는 지역적 여건의 고려없이 1986년 GNP를 기준으로 일률적으로 각 산업별 오염영향력 계수를 구하여 대기오염물질의 양을 추정하였다³⁰.

박재홍(1992)은 기존의 레온티에프 모델에서 공해억제승수의 개념을 도입한 환경 투입-산출모델을 이용하여 지역경제 파급효과에 관한 방법에 대해 연구를 하였다. 그는 레온티에프의 환경모델을 더욱 세분화시켜, 개방형 지역모델과 폐쇄형 지역모델, 수정형 산업모델을 제시하였다³¹.

정병익(1996)은 에너지의 소비로 인하여 발생하는 대기오염원을 대상으로 레온티에프의 기본산업연관모형에 환경오염 관계의 변수와 계수를 첨가하여 구성된 '확장된 레온티에프의 환경 모형'을 이용하여 최종수요를 충족시키기 위한 에너지 투입과 대기오염원의 발생과의 관계를 분석하였다³².

최한주(2002)는 이 연구는 1980년부터 1998년 기간 중 우리나라 CO₂배출량 변화의 요인을 산업연관분석을 이용하여 분석하였다. 분석자료로 산업연관표(1980년, 1990년, 1998년)와 에너지총조사보고서(1980년, 1989년, 1992년, 1998년)를 이용하여 CO₂ 배출 변화 요인을 8개로 분해하여 각 요인의 기여도를 실증분석하였다³³. 그리고 최한주, 이기훈(2006)은 산업연관표에 에너지투입부분을 금액 단위로 대처한 환경혼합형 산업연관분석 모형을 만들어 이산화탄소의 배출량을 추정하여 1990년과 2000년 각 산업이 최종수요를 충족시키기 위해 직·간접 에너지 소비로 유발한 CO₂배출량을 추정하였다³⁴.

김윤경(2006)은 우리나라의 2000년 환경산업연관표를 작성하여, 부문별 및 산업별로 에너지소비, CO₂배출 구조와 그 흐름을 파악하였고 산업별 CO₂발생량, 환경(CO₂)원단위, 산업간 연관관계를 고려하여 CO₂ 발생량을 분석하였다³⁵. 또한 2011에는 우리나라의 2005년 환경산업연관표를 작성하고, 중간수요부문과 최종수요부문을 대상으로 중간투입액기준의 CO₂원단위, 열량기준의 CO₂원단위, 유발 CO₂발생량을 추정하고, 경제주체간 및 산업간의 상품생산과 흐름에 수반되는 에너지소비와 CO₂의 흐름을 분석하였다³⁶.

황성일, 손병암, 지해명(2008)은 산업별 원단위 배출계수를 추정하고 이를 산업별 원단위 배출계수와 투입산출모형을 결합한 환경 산업연관모형을 이용하여 경제적 요인별 오염물질 배출량 변화를 분석하였으며, 15개의 산업별 5가지 대기오염물질 배출량의 증감을 환경 산업연관모형과 평균변화율지수 방법에 의해 요인분해 하였다²⁷.

박필주, 김만영, 이일석(2009)은 2003년 산업연관표와 에너지 사용량 통계자료를 기초로 산업별 직간접 이산화탄소원 단위를 산출하고 이를 활용하는 방안을 검토하고, 폐기물 영향까지 고려하였다³⁷.

최정운(2008)은 우리나라의 온실가스 배출현황을 살펴보고, 산업연관표를 이용하여 산업별로 온실가스의 배출계수 및 배출유발계수, 최종수요 항목별 온실가스 배출효과를 알아보고 1995~2004년중의 온실가스 배출 증감요인을 분석하여 각 산업의 온실가스 배출 현황에 대한 종합적인 정보를 제공하였다³⁸.

표학길·김동구·박재환(2010)은 접속불변산업연관표 95-00-05를 이용하여 28개 부문의 하이브리드 산업연관표를 작성하고 이를 기반으로 이산화탄소 배출계수와 배출량을 추계하고, 이를 구조분해분석 방법론에 입각하여 각 요인별 분해하여 분석하였다³⁹. 분석에 따르면 1995-2000년에는 국내 최종수요, 수출 등의 성장효과가 CO₂배출량을 증가시키는 주요인으로 작용하였고, 2000-2005년에는 국내 최종수요, 수출등의 성장효과가 CO₂배출량을 증가시키는 주요인으로 작용하고, 유발계수 변화효과가 부수적으로 CO₂배출량을 증가시켰다고 결론지었다³⁹.

Dong, Liang(2014)은 중국을 대상으로 산업공생의 개념과 이를 적용한 도시공생의 개념을 적용하여 산업 공생 연구 분야의 이론, 실제 및 분석방법의 개발을 검토하여 재료 및 에너지 흐름을 순환시켜 소비를 확인하였다⁴⁰. 또한 물질 및 에너지 흐름 분석, 프로세스 기반 LCA 및 하이브리드 투입산출 모델이 통합되도록하여 산업 공생 계획을 평가하였다⁴⁰.

김준범(2017)은 전과정평가과정에서 수행할 수 있는 전과정영향평가 방법론 중에서 ReCiPe 방법론을 사용하여 미세먼지형성에 영향을 주는 NO_x, SO_x, NH₃자료를 활용 및 고려하여 미세먼지가 인간 건강에 미치는 영향을 제시하였다⁴¹.

이상의 선행연구를 살펴보면 보면, 2000년대 이전에는 기존의 레온티에프 투입산출모형을 이용한 경제성 분석연구가 주로 진행되었으나 2000년대 이후 우리나라에서도 환경산업연관표를 작성하여 환경문제에 적용시키는 연구가 수행되어 왔으며, 이산화탄소를 중심으로 한 연구가 주로 진행되고 있다.

본 연구는 경제 및 산업발전에 따른 국내의 산업별 이산화탄소, 황산화물, 질소산화물, 먼지, 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지(5가지 물질을 합쳐 이하 대기오염물질이라 칭한다.)발생량과 변화 요인을 분석하기 위해 산업연관표와 에너지밸런스, 에너지원별 대기오염 배출계수를 이용하여 Dong, Liang이 제시한 하이브리드 산업연관표를 작성하였다. 이를 바탕으로 이산화탄소와 대기오염물질 배출량을 산정하였으며, ReCiPe방법론에 제시된 미세먼지 생성능을 이용하여 황산화물과 질소산화물이 야기시키는 2차미세먼지 발생량을 추정하고자 하였다. 또한, 경제발전예 따른 에너지수급량과 대기오염물질 발생량을 바탕으로, 최정윤이 제시하는 ‘성장요인분해 모형을 이용한 온실가스 배출량 증감요인 분석’ 방법을 이용하여, 기술발전과 효율향상에 의한 공급요인과 최종수요 증가에 의한 수요요인의 기여율을 평가하고자 하였다.

이를 위해 산업연관표와 에너지 통계의 산업부분을 통합하여 우리나라 전체 산업을 16부문으로 재구성하고 2003년, 2008년, 2013년 그리고 2017년 각 산업의 대기오염물질 배출량을 살펴보고 그 변화 요인을 분석하였다.

분석에 사용된 데이터는 한국은행 경제통계시스템에서 제공하는 2003년, 2008년, 2013년, 2017년 산업연관표와 에너지경제연구원에서 제공하는 에너지 총 조사보고서의 2003년, 2008년, 2013년, 2017년 에너지데이터를 이용하였다. 황산화물 그리고 질소산화물, 먼지 배출량을 알아보기 위하여 국립환경과학원에서 2012년 4월에 발표한 ‘대기오염 배출계수 관리위원회 배출계수 자료집(I)’의 자료를 이용하였으며, 이산화탄소 배출량을 알아보기 위하여 국가탄소배출계수(17년 발열량 기준)을 이용하였다.

제 3 장 환경산업연관표 작성 및 분석방법

3.1 환경산업연관표

산업연관표는 일정한 기간(1년)동안 각 산업부문별로 특정 재화와 서비스를 생산하는데 투입된 거래내역을 화폐단위로 정리한 것으로 자연환경 및 에너지투입이 얼마만큼 이루어지는지 또는 필요한가에 대한 정보가 빠져있다⁴². 이와 다르게 환경산업연관표는 기존의 산업연관표에 각 산업이 사용하는 에너지 이용량을 반영하고, 에너지원별 배출계수를 이용하여 산업간 연관관계에 따른 오염물질배출의 관계를 추가하여 담고 있다. 그러므로 경제활동, 에너지 이용, 지구온난화가스 배출의 관계에 대한 정보를 제공하는 환경산업연관표가 작성되면 경제활동에 의한 산업부문별 생산과 지출활동을 파악함은 물론 특정산업의 생산활동으로 인한 자원의 투입과 환경오염물질 배출과의 상관관계를 파악할 수 있어, 경제활동이 환경에 미치는 파급효과를 분석 할 수 있다¹. 환경산업연관표는 에너지의 흐름에 대한 에너지 산업연관표에 에너지원별 대기오염물질 각각의 배출계수를 반영하여 대기오염물질 배출량을 포함하여 작성한다. 이 표는 간단하게 산업 간의 연관관계에 따른 에너지이용과 대기오염물질 배출량 관계를 나타내는 표라 할 수 있다.

환경산업연관표는 산업연관표의 형식을 기본으로 통계자료의 제약과 에너지 및 오염물질 배출관련 산업부문간 불일치 해소 등을 위해 다음과 같은 가정하에 작성한다. 첫째, 환경산업연관표는 산업연관표의 형식을 따르고 산업연관표의 기록원칙에 의해 작성한다. 둘째, 환경산업연관표의 내생부문(중간수요와 중간투입)은 산업연관표의 내생부문과 동일하다. 셋째, 사용제약성을 고려하여 배출계수 자료가 있는 에너지원만을 이용하여 대기오염물질 배출량을 계산한다. 넷째, 대분류에 표시된 자료만을 이용하여 데이터를 계산한다. 예를 들어 실제 산업연관표의 기본부문으로 분류된 신재생에너지(278)의 경우는 전력생산에 국한된 신재생에너지를 의미하지만, 에너지밸런스상 신재생에너지는 신재생에너지 및 기타로 구분되며 전력생산 외의 기타 에너지생산도 포함하는 개념⁴³이기 때문에 자료간의 연관성이 떨어지는 부분이 발생하지만 이러한 부분에 대해서는 고려하지 않는다. 다섯째, 원유의 경우 원유 자체로 소비되지 않고 정제되어 휘발유, 등유 등 석유제품으로 사용되는 부문은 무시한다.

이렇게 작성한 환경산업연관표는 산업연관표와 같이 경제활동에 의한 직간접적인 환경영향효과를 분석할 수 있다. 환경산업연관표를 이용하여 대기오염물질 배출량을

분석할 경우 어떤 산업의 생산물에 대한 최종수요 1단위가 증가할 때 이를 생산하기 위하여 전체 산업에서 생산되는 총산출액의 크기를 기반으로 산업별 투입된 에너지양과 에너지원별 대기오염배출계수를 이용하여 대기오염물질 배출량을 산출할 수 있다. 이렇게 산출한 대기오염물질 배출량을 기존의 배출량 자료와 비교할 때 아래와 같은 여섯가지 장점이 예상된다. 첫째, 산업연관표와 에너지밸런스를 같이 이용하므로 산업에서 에너지 흐름을 알아보기 쉽다. 경제주체들이 의식하고 사용하는 에너지 외에 간접적으로 사용하는 에너지에 의해 배출되는 대기오염물질 배출 경로까지 파악할 수 있다²⁵. 둘째, 산업별로 세분된 배출량 산정이 가능하여 특정 산업별 배출량을 비교할 수 있다. 셋째, 주기적인 작성이 가능하여 배출량 증감량을 알 수 있어 대기오염물질 배출량 감축 정책에 필요한 기초자료로 사용할 수 있다. 넷째, 경제주체들이 의식하고 사용하는 에너지 외에 간접적으로 사용하는 에너지에 의해 배출되는 대기오염물질 배출 경로까지 파악할 수 있다²⁵. 다섯째, 환경규제가 기업의 경제활동과 환경에 미치는 영향을 분석할 수 있으며 산업의 환경오염물질 배출량을 줄이기 위해 조세를 부과하는 방법, 보조금을 주는 방법 등 어느 것을 선택하는 것이 바람직한 지를 분석할 수 있는 도구를 제공한다¹⁹. 여섯째, 특정 목적의 환경정책에 대하여 각 산업부문이 미치는 경제활동과 환경에 미치는 영향을 분석하여 효과적인 환경정책을 선택할 수 있다.

환경산업연관표를 이용한 대기오염물질 배출량을 추정하기 위해서는 관련 통계자료가 필요하다. 먼저 환경산업연관표에 기초가 되는 산업연관표 대분류, 에너지밸런스 그리고 에너지별(휘발유, 등유, 경유, 부탄, 천연가스, 도시가스, 무연탄 등)에 대한 각각의 발열량과 탄소배출계수가 필요하다.

3.1.1 에너지밸런스

에너지밸런스(Energy Balance)는 에너지 수급에 대한 통계를 작성할 때 에너지 플로우(Flow)의 개념으로, 일정한 기간과 일정한 지역 안에 에너지 투입과 산출 간의 균형을 나타내는 표이다. 에너지 밸런스는 통상 에너지원을 가로축, 에너지 수급량을 세로축에 나타내는 행렬(Matrix) 방식을 채택하고^{19,44} 작성대상지역 및 시간대는 일률적이 아닌 것으로 알려져 있다⁴⁴. 에너지밸런스는 공급통계, 수요통계(에너지 총조사 등), 특정목적 수요통계(가전기기 보급실태 조사 등) 그리고 세부 수요통계(기술조사 등)으로 세분화되며 공급통계와 수요통계에 많이 의존하고 있다⁴⁵. 에너지밸런스는 에너지전환에 따른 손실과 에너지산업의 자가 소비를 전환부문에서

처리하고 최종에너지에서는 제외한다⁴⁵. 우리나라의 에너지 밸런스는 농림어업, 광업, 음식 및 담배 등을 포함하여 총21개의 산업별 부문으로 분류되어 있다[Table 3-1].

Table 3-1 Industry Classification of Energy Input-Output Table

Number	Industry Classification
1	Agricultural and fishery
2	Mining industry
3	Food and tobacco
4	Textile clothing
5	Lumber
6	Wood pulp, Printing
7	Stone oil and Chemistry
8	Nonmetallic minerals
9	Primary metal
10	Nonferrous metal
11	Prefabricated
12	Other manufacturing
13	Other energy
14	Construction industry
15	Commercial section
16	Railway transport
17	Land transport
18	Water transport
19	Air transport
20	The public sector
21	Household and Service

현재 에너지경제연구원에서 제공하는 에너지수급통계는 에너지법 시행령 제15조 제1항에 따른 에너지열량환산 기준 중 총 발열량을 적용하며, IEA 등 일부 국가에서는 목적에 따라 순 발열량을 적용하고 있다⁴⁶. 에너지밸런스의 값은 TOE(석유환산톤, Ton of Oil Equivalent) 단위로 표시된다. TOE는 에너지원의 발열량에 기초해서 이를 석유의 발열량으로 환산한 것으로 1 TOE은 10,000,000kcal과 같으며 11.63MWh과 같은 값이다.

에너지밸런스값은 TOE단위를 사용하고 있으나, 에너지에 대한 오염물질 배출계수 단위가 CO₂는(ton/TOE), 황산화물, 질소산화물, 먼지는 유류 나 LPG일 경우(kg/kℓ), 석탄일 경우(kg/ton) 그리고 LNG일 경우(kg/1,000m³)로 에너지 상에 따라 상이하다. 따라서, 에너지 사용에 따른 오염물질 배출량은 에너지밸런스 값을 각 단위에 맞게 단위를 환산하여야 하며 에너지열량 환산기준에 따른 총발열량기준 석유환산톤을 이용하여 단위를 바꿀 수 있다.현행 국가통계자료인 에너지밸런스는 종합에너지 통계로 볼 때 국제에너지기구와 다르게 코크스 및 고로 공정의 에너지 전환통계 미반영 등의

에너지 전환과정이 미반영되거나 양수발전량이 수력생산에 포함되어 수력 생산이 이중계산 되는 등의 에너지원의 이중계산이 되는 부문이 발생하기도 하여, 정부 고시열량이 비현실적이고 국제기준과 에너지원 분류기준이 상이하다는 평가를 받고있다⁴⁵. 하지만 그럼에도 생산활동에 따른 직접적인 에너지 수급량 뿐만 아니라 에너지에 관련된 환경부하량을 추계화하기에 가장 적합한 자료로 이용할 수 있기 때문에 본 논문에서는 에너지벨런스 자료를 이용하기로 하였다.

에너지소비열량표는 에너지물량표를 열량단위(*kcal*)로 환산한 표이다. 각 에너지의 고유단위로 되어 있는 에너지 수급량을 열량단위로 환산하는 과정을 통해서 에너지원들이 갖고 있는 고유단위를 넘어서 에너지원간의 비교와 에너지원간의 합산을 할 수 있다. 에너지 환산시에 열량단위로 *kcal*를 사용할 수도 있고, 석유환산치인 *TOE*를 사용할 수도 있다.

대기오염물질 발생량표는 각 산업부문에서 발생하고 있는 대기오염물질을 기재한 것이다. 이 표는 각 산업별로 에너지가 연료로 쓰인 양만을 계산한 에너지소비물량표를 이용하여 각 에너지의 사용에 따른 오염물질 배출계수를 고려하여 추정한다.

3.1.2 대기오염 배출계수

본 논문에서 확인하고자하는 대기오염물질 배출량 산정을 위해서 온실가스인 이산화탄소 배출량 통계는 국가탄소배출계수 17년 발열량 기준을 사용하여 계산하였다. 먼지, 황산화물 그리고 질소산화물 배출량 통계는 국립환경과학원에서 2012년 4월에 발표한 ‘대기오염 배출계수 관리위원회 배출계수 자료집(I)’의 자료를 이용하여 배출량을 산정하였다. 여기서 배출계수란 오염물질의 배출과 관련된 활동으로 인해 대기로 배출되는 오염물질의 양을 나타내는 값으로 오염원은 점 오염원과 면 오염원으로 나눌 수 있다. 점 오염의 경우, 오염물질은 배출하는 조업형태나 단위공정의 연료소모에 따라 배출되는 오염물질의 무게나 부피로 나타내며 면 오염원의 경우, 지리적으로 격자를 만들어서 해당 면적에 포함되어있는 오염원의 각 기여도를 감안하여 면적당 오염물질 배출량으로 표현한다⁴¹.

[Table 3-2]는 황산화물 배출계수, [Table 3-3]는 질소산화물 배출계수, [Table 3-4]은 먼지배출계수로 연료 *kl*, *ton* 또는 천 m^3 당 배출오염물질 무게(*kg*)이다. [Table 3-5]은 황산화물과 질소산화물이 야기시키는 2차미세먼지형성 포텐셜계수로 황산화물 및 질소산화물 *kg* 당 PM10 물질 생성 가능량을 *kg*을 보여주고 있다.

Table 3-2 Fuel SO_x Emission Coefficients⁴⁷

구분	용도	시행규칙초안		국립환경 연구원	EPA배출계수		현행 배출계수		개정 (안)
등유 (0.01%) [unit:kg/kℓ]	난방	17.0S	0.017	-	17.0S	17.0S	-	-	17.0S
	산업	-	-		-	-	-	-	
	발전	-	-		-	-	-	-	
등유 (0.1%) [unit:kg/kℓ]	난방	17.0S	1.700	-	17.0S	1.700	17.0S	1.700	
	산업	17.0S	1.700		17.0S	1.700	-	-	
	발전	17.0S	1.700		16.9S	1.690	-	-	
경유 (0.05%) [unit:kg/kℓ]	난방	17.0S	0.850	-	17.0S	1.700	17.0S	1.700	17.0S
	산업	17.0S	0.850		17.0S	1.700	17.0S	1.700	
	발전	17.0S	0.850		16.9S	1.690	17.0S	1.700	
경유 (0.1%) [unit:kg/kℓ]	난방	17.0S	1.700	-	17.0S	1.700	17.0S	1.700	
	산업	17.0S	1.700		17.0S	1.700	17.0S	1.700	
	발전	17.0S	1.700		16.9S	1.690	17.0S	1.700	
B-A유 [unit:kg/kℓ]	난방	18.0S	9.000	5.282	18.0S	9.000	18.0S	9.000	5.282
	산업	18.0S	9.000		18.0S	9.000	18.0S	9.000	
	발전	18.0S	9.000		18.0S	9.000	18.0S	9.000	
B-B유 [unit:kg/kℓ]	난방	18.8S	9.400	14.328S	18.84S	9.420	19.0S	9.500	14.328S
	산업	18.8S	9.400		18.84S	9.420	19.0S	9.500	
	발전	18.8S	9.400		18.84S	9.420	19.0S	9.500	
B-C유 (0.3%) [unit:kg/kℓ]	난방	18.8S	5.640	14.328S	18.84S	5.652	19.0S	5.700	14.328S
	산업	18.8S	5.640		18.84S	5.652	19.0S	5.700	
	발전	18.8S	5.640		18.84S	5.652	19.0S	5.700	
B-C유 (0.5%) [unit:kg/kℓ]	난방	18.8S	9.400	14.328S	18.84S	9.500	19.0S	9.500	
	산업	18.8S	9.400		18.84S	9.500	19.0S	9.500	
	발전	18.8S	9.400		18.84S	9.500	19.0S	9.500	
B-C유 (1.0%) [unit:kg/kℓ]	난방	18.8S	18.800	14.328S	18.84S	18.840	18.840	19.000	
	산업	18.8S	18.800		18.84S	18.840	18.840	19.000	
	발전	18.8S	18.800		18.84S	18.840	18.840	19.000	
B-C유 (2.5%) [unit:kg/kℓ]	난방	18.8S	47.000	14.328S	18.84S	47.100	19.0S	47.500	
	산업	18.8S	47.000		18.84S	47.100	19.0S	47.500	
	발전	18.8S	47.000		18.84S	47.100	19.0S	47.500	
B-C유 (4.0%) [unit:kg/kℓ]	난방	18.8S	75.200	14.328S	18.84S	75.360	19.0S	76.000	
	산업	18.8S	75.200		18.84S	75.360	19.0S	76.000	
	발전	18.8S	75.200		18.84S	75.360	19.0S	76.000	
LNG [unit: kg/1,000m ³]	난방	0.01	0.010	-	0.01	0.01	0.01	0.010	0.010
	산업	0.01	0.010		0.01	0.01	0.01	0.010	
	발전	17.75S	0.010		0.01	0.01	0.01	0.010	
LPG [unit:kg/kℓ]	난방	0.114S	0.001	-	0.012S	0.001	0.01	0.010	0.001
	산업	0.114S	0.001		0.012S	0.001	0.01	0.010	
	발전	-	-		0.012S	0.001	0.01	0.010	
무연탄 [unit:kg/ton]	난방	10.30	10.300	-	19.5S	13.650	10.30	10.30	19.5S
	산업	4.50	4.500		19.5S	13.650	19.5S	13.650	
	발전	19.5S	13.650		19.5S	13.650	19.5S	13.650	
유연탄 [unit:kg/ton]	난방	-	-	-	15.5S	7.750	-	-	19.0S
	산업	4.50	4.500		19.0S	7.750	19.0S	7.750	
	발전	19.0S	9.500		19.0S	7.750	19.0S	7.750	

Table 3-3 Fuel NO_x Emission Coefficients⁴⁷

구분	용도	시행규칙 초안	국립환경 연구원	EPA 배출계수	현행배출계수	개정(안)
등유 (0.01%) [unit:kg/kℓ]	난방	5.46	-	2.16	-	2.16
	산업	-	-	-	-	
	발전	-	-	-	-	
등유 (0.1%) [unit:kg/kℓ]	난방	2.40	-	2.40	5.46	2.40
	산업	2.40	-	2.40	-	
	발전	14.7	-	2.40	-	14.7 ¹⁾
		14.7	-	14.7 ¹⁾	-	
경유 (0.05%) [unit:kg/kℓ]	난방	2.40	-	2.40	2.40	2.40
	산업	2.40	-	2.40	2.40	
	발전	2.40	-	2.40	2.40	53.38 ²⁾
		-	-	53.38 ²⁾	-	
경유 (0.1%) [unit:kg/kℓ]	난방	2.40	-	2.40	2.40	2.40
	산업	2.40	-	2.40	2.40	
	발전	2.40	-	2.40	2.40	53.38 ²⁾
		-	-	53.38 ²⁾	-	
B-A유 [unit:kg/kℓ]	난방	2.40	6.64	2.40	2.40	5.99
	산업	4.81	5.99	3.84	4.81	
	발전	3.84	5.99	3.84	6.50	
B-B유 [unit:kg/kℓ]	난방	6.60	2.47	6.60	6.60	2.47
	산업	3.84	2.47	3.84	6.60	
	발전	5.64	2.47	3.84	5.64	
B-C유 (0.3%) [unit: kg/kℓ]	난방	6.63	6.25	6.60	6.63	6.64
	산업	3.84	6.25	3.84	6.60	
	발전	5.87	6.25	3.84	5.87	
B-C유 (0.5%) [unit: kg/kℓ]	난방	6.63	6.06	6.60	6.63	
	산업	5.21	6.06	3.84	5.21	
	발전	5.87	6.06	3.84	5.87	
B-C유 (1.0%) [unit:kg/kℓ]	난방	6.63	6.77	6.60	6.63	
	산업	5.79	6.77	3.84	5.79	
	발전	5.87	6.77	3.84	5.87	
B-C유 (2.5%) [unit:kg/kℓ]	난방	6.63	5.85	6.60	6.63	
	산업	3.84	5.85	3.84	6.60	
	발전	5.87	5.85	3.84	5.87	
B-C유 (4.0%) [unit:kg/kℓ]	난방	6.63	5.85	6.60	6.63	
	산업	2.56	5.85	3.84	2.56	
	발전	5.87	5.85	3.84	5.87	
LNG [unit: kg/1,000m ³]	난방	2.26	3.70	1.50	2.62	3.70
	산업	2.00	3.70	4.48	2.00	
	발전	1.43	-	6.04	1.43	
				42.9 ³⁾		42.9 ³⁾
LPG [unit:kg/kℓ]	난방	2.18	-	1.68	2.18	2.18
	산업	2.30	-	2.28	2.30	
	발전	-	-	2.28	1.70	2.28
무연탄 [unit:kg/ton]	난방	1.30	5.83	1.50	1.30	5.83
	산업	3.35	5.83	4.50	9.00	5.83
	발전	2.40	5.83	9.00	2.40	9.00
유연탄 [unit:kg/ton]	난방	-	-	4.55	-	4.55
	산업	3.35	-	5.50	10.9	5.50
	발전	2.69	-	7.50	2.69	7.50

주 1) : 가스터빈, 2) : 디젤엔진 3) : LNG연소 엔진 중 4-strok Rich-burn

Table 3-4 Fuel Dust Emission Coefficients⁴⁷

구분	용도	시행규칙초안		EPA배출계수		현행배출계수		개정 (안)
등유 (0.01%) [unit:kg/kℓ]	난방	0.048	0.048	0.048	0.048	0.240	0.240	0.048
	산업	0.240	0.240			-	-	
	발전	-	-			-	-	
등유 (0.1%) [unit:kg/kℓ]	난방	0.170	0.170	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240
	산업	0.240	0.240	0.240	0.240	-	-	
	발전	0.072	0.072	0.072	0.072	-	-	
경유 (0.05%) [unit:kg/kℓ]	난방	0.170	0.170	0.240	0.240	0.170	0.170	0.240
	산업	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	
	발전	0.240	0.240	1.668	1.668	0.240	0.240	
경유 (0.1%) [unit:kg/kℓ]	난방	0.170	0.170	0.240	0.240	0.170	0.170	0.240
	산업	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	
	발전	0.240	0.240	1.668	1.668	0.240	0.240	
B-A유 [unit:kg/kℓ]	난방	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840	0.840
	산업	0.840	0.840	0.840	0.840	0.089	0.089	
	발전	0.840	0.840	0.840	0.840	0.089	0.089	
B-B유 [unit:kg/kℓ]	난방	1.200	1.200	1.200	1.200	1.20	1.20	1.200
	산업	1.200	1.200	1.200	1.200	0.190	0.190	
	발전	1.200	1.200	1.200	1.200	0.190	0.190	
B-C유 (0.3%) [unit:kg/kℓ]	난방	1.640	1.640	1.200	1.200	1.640	1.640	1.1S+0.39
	산업	1.1S+0.39	0.72	1.1S+0.39	0.72	0.320	0.320	
	발전	1.1S+0.39	0.72	1.1S+0.39	0.72	0.195	0.195	
B-C유 (0.5%) [unit:kg/kℓ]	난방	1.640	1.640	1.200	1.200	1.640	1.640	
	산업	1.1S+0.39	0.940	1.1S+0.39	0.940	0.320	0.320	
	발전	1.1S+0.39	0.940	1.1S+0.39	0.940	0.195	0.195	
B-C유 (1.0%) [unit:kg/kℓ]	난방	2.530	2.530	1.200	1.200	2.530	2.530	
	산업	1.1S+0.39	1.490	1.1S+0.39	1.490	0.320	0.320	
	발전	1.1S+0.39	1.490	1.1S+0.39	1.490	0.195	0.195	
B-C유 (2.5%) [unit:kg/kℓ]	난방	1.1S+0.39	3.140	1.200	1.200	1.12S+0.37	3.170	
	산업	1.1S+0.39	3.140	1.1S+0.39	3.140	1.12S+0.37	3.170	
	발전	1.1S+0.39	3.140	1.1S+0.39	3.140	0.195	0.195	
B-C유 (4.0%) [unit:kg/kℓ]	난방	1.1S+0.39	2.790	1.200	1.200	1.12S+0.37	4.850	
	산업	1.1S+0.39	2.790	1.1S+0.39	2.790	0.528	0.528	
	발전	1.1S+0.39	2.790	1.1S+0.39	2.790	0.195	0.195	
LNG [unit: kg/1,000m ³]	난방	0.030	0.030	0.030	0.030	0.03	0.03	0.030
	산업	0.030	0.030	0.030	0.030	0.10	0.10	
	발전	0.036	0.036	0.036	0.036	0.05	0.05	
LPG [unit:kg/kℓ]	난방	0.048	0.048	0.048	0.048	0.05	0.05	0.072
	산업	0.072	0.072	0.072	0.072	0.07	0.07	
	발전	-	-	0.072	0.072	0.05	0.05	
무연탄 [unit:kg/ton]	난방	0.600	0.600	5.000	5.000	0.60	0.60	5A
	산업	65.000	65.000	0.4A	16.000	5A	5A	
	발전	0.4A	0.4A	5A	200.000	0.117	0.117	
유연탄 [unit:kg/ton]	난방	-	-	7.500	7.5000	-	-	5A
	산업	65.000	65.000	33.000	33.000	5A	5A	
	발전	5.0A	5.0A	5A	50.000	0.117	0.117	

1) 등유 0.1% : 0.072(가스터빈), 경유 0.05%, 0.1% : 1.668(내연기관)

Table 3-5 Midpoint Characterization Factors for Particulate Matter Formation

Emitted substance	Particulate Matter Formation Potential [unit: PM10-eq/kg]
SO _x	0.19
NO _x	0.21

Date from ReCiPe⁴⁸

3.1.3 이산화탄소 배출계수

이산화탄소 배출량은 에너지 수급량에 에너지원별 탄소함유량을 이용하여 추정한다. 각 에너지가 갖고 있는 탄소함유량은 열량과 동일하게 에너지들의 원산지와 질에 따라서 다르다. 따라서 동일한 석탄이라 하더라도 각 산지에 따라서 탄소함유량은 달라진다. 그러나 상세한 정보를 얻기는 어려우며, 대체적으로 많은 국가들이 자국의 지구온난화가스를 추정할 때에는 IPCC에서 제시하는 가이드라인 탄소배출계수를 인용하여 사용하고 있다. IPCC가이드라인은 “연료사용량 X 단위발열량 X 탄소배출계수(이산화탄소분자량/탄소원자량/연료열량, TJ)” 를 적용하여 배출량을 계산하도록 권하고 있다. IPCC에서 고시하는 에너지원 별 탄소배출계수가 17년 발열량기준 국가탄소 배출계수보다 세분화되어 있지 않아 본 논문에서는 17년도 발열량 기준 국가 탄소배출계수 [Table 3-6]를 이용하여 계산하였다.

Table 3-6 Fuel Carbon Emission Factors⁴⁹

구분	IPCC 분류	국내 분류	IPCC 탄소배출계수 [unit: tC/TJ]		국가탄소배출계수 [unit: tC/TJ]	
			1996 IPCC	2006 IPCC	'17년 발열량기준	'11년 발열량기준
석유류	Gasoline (MotorGasoline*)	휘발유	18.9	18.9	19.548	20
	Other Kerosene	등유2호 (실내 등유)	19.6	19.6	19.969	19.6
		등유1호 (보일러 등유)				
	Gas/Diesel Oil	경유	20.2	20.2	20.111	20.2
		B-A유			20.657	20.4
	Residual Fuel Oil	B-B유	21.1	21.1	21.384	20.5
		B-C유			21.929	20.6
	Naphtha	나프타	20	20	19.157	19.2
	White Spirit and SBP*	용제		20	19.172	19.3
	Jet Kerosene	항공유 (JET-A1)	19.5	19.5	19.931	19.8
	Bitumen	아스팔트	22	22	21.544	21.6
	Lubricants	윤활유	20	20	19.979	19.9
	Petroleum Coke	석유코크스	27.5	26.6	26.086	-
	Other Oil (Other Petroleum Products)	부생연료1호	20	20	26.086	19.7
		부생연료2호			21.729	21
Liquefied Petroleum Gases	프로판	17.2	17.2	17.641	17.6	
	부탄			18.107	18.1	
가스류	Natural Gas	천연가스 (LNG)	15.3	15.3	15.312	15.3
		도시가스 (LNG)			15.272	
		도시가스 (LPG)	-	-	17.454	17.6
석탄류	Anthracite	국내무연탄	26.8	26.8	30.185	30.5
		수입무연탄 (연료용)			27.404	28.6
		수입무연탄 (원료용)			29.909	29.2
	Other Bituminous Coal	유연탄 (연료용)	25.8	25.8	25.951	26
	Coking Coal	유연탄 (원료용)	25.8	25.8	25.963	26.2
	Sub-Other Bituminous Coal	아역청탄	26.2	26.2	26.468	26.2

3.2 환경산업연관표 작성방법

본 연구에서는 앞 절의 자료를 이용하여 환경산업연관표는 다음 단계 작업을 거쳐 작성하였다.

- 1 단계: 산업연관표와 에너지밸런스의 산업부문 통일화
- 2 단계: 계산에 이용가능한 연료 선택과 배출계수 선택
- 3 단계: 에너지밸런스의 단위(TOE)를 에너지원별 물량단위로 환산(이산화탄소 및 대기오염 배출계수 자료와 동일한 단위)로 교체(이산화탄소는 동일한 단위를 사용)
- 4 단계: 1~3 단계를 적용한 환경산업연관표 작성

1단계: 산업연관표와 에너지밸런스의 산업부문 통일화

한국은행 경제통계시스템에서 제공하는 산업연관표는 산업통상자원부와 에너지경제연구원에서 제공하는 에너지밸런스와 달리 산업 부문분류표가 5년 마다 달라지기 때문에 각 년도별 통일화가 필요하며, 산업연관표와 에너지밸런스의 산업부문 분류체계가 다르기 때문에 통일화가 필요하다.

2003년도와 2008년도 산업연관표 대분류의 산업부문은 28개분야이고, 2013년도 산업연관표 대분류의 산업부문은 30개이며, 2017년도 산업연관표 대분류의 산업부문은 33개로 서로 상이하다. 또한 에너지밸런스의 산업부문은 21개이며, 산업연관표의 대분류 산업부문과 일치하지 않아 유사부분을 통합하여 16산업분야로 통일화하여 [Table 3-7]에 나타내었다.

Table 3-7 Integration of Industry Considering Input-Output Table and Energy Balance

Input - Output Table 2003	Input - Output Table 2008	Input - Output Table 2013	Input - Output Table 2017	Energy balance	This Study
Agricultural and fishery products	Agricultural and fishery products	Agricultural and fishery products	Agriculture	Agricultural and fishery	Agriculture
Mine goods	Mine goods	Mine goods	Mine goods	Mining	Mine goods
Food and Beverage goods	Food and Beverage goods	Food and Beverage goods	Food and Beverage goods	Food and tobacco	Food and Beverage
Textile and leather goods	Textile and leather goods	Textile and leather goods	Textile and leather goods	Textile clothing	Textile and leather goods
Wood and Paper goods/ Print, Publishing and cloning	Wood and Paper goods/ Print and cloning	Wood and Paper goods/ Print and cloning	Wood and Paper, Printing	Lumber/Wood pulp and Printing	Wood and printing
Coal and petroleum products / Chemical products	Coal and petroleum products / Chemical products	Coal and petroleum products / Chemical products	Coal and petroleum products / Chemical products	Stone oil and Chemistry	Stone oil and Chemistry
Nonmetallic mineral products	Nonmetallic mineral products	Nonmetallic mineral products	Nonmetallic minerals	Nonmetallic minerals	Nonmetallic minerals
Primary metal products	Primary metal products	Primary metal products	Primary metals	Primary metal	Primary metals
Metal goods	Metal goods	Metal goods	Metal goods	Nonferrous metal/Prefabricated	Metal goods

(계속)

Input – Output Table 2003	Input – Output Table 2008	Input – Output Table 2013	Input – Output Table 2017	Energy balance	This Study
General machine / Electrical and electronic equipment / Precision machinery/ Transportation equipment / Other manufacturing products	General machine / Electrical and electronic equipment / Precision machinery/ Transportation equipment / Other manufacturing products	Machinery and Equipment / Electrical and Electronic Equipment / Precision machinery/ Transportation Equipment / Other manufacturing products and Forestry	Computer, Electronic and Optical instruments / Electrical equipment / Machinery and Equipment / Transportation Equipment / Other Manufacturing Products / Repair manufacturing and industrial equipment	Other manufacturing	Other manufacturing
Power, gas and water supply	Power, gas and water supply	Power, gas and steam	Power, gas and steam	Power, Gas and Steam	Other energy
Construction	Construction	Water, Wastes and Recycling Service / Construction	Water, Wastes and Recycling Service / Construction	Construction	Construction
Wholesale and retail service	Wholesale and retail service	Wholesale and retail service	Wholesale and retail service	Commercial section	Commercial
Transport Service and Storage	Transport Service	Transport Service	Transport Service	Railway transport / Land transport / Water transport / Air transport	Transport

(계속)

Input – Output Table 2003	Input – Output Table 2008	Input – Output Table 2013	Input – Output Table 2017	Energy balance	This Study
Restaurants and Accommodation / fortune / Telecom and Broadcast / Finance and Insurance / Real Estate and Business Services / Public Administration and Defense / Education and health	Restaurants and Accommodation / fortune / Telecom and Broadcast / Finance and Insurance / Real Estate and Business Services / Public Administration and Defense / Education and health	Restaurants and Accommodation Service / Information and Communication Services / Financial and insurance services / Real Estate and Lease / Professional, scientific and technical services / Business support service / Public Administration and Defense / Educational service / Health and social services	Wholesale and commodity brokerage services / Restaurants and Accommodation Service / Information and Communication and Broadcasting Services / Financial and insurance services / Real estate service / Professional, Cientific and technical services / Business Support Service / Public administration, National defense and Social security / Training service / Health and Social Welfare Service	The public	Public
Social and Other Services / The Others	Social and Other Services / Other	Culture and other services	Services related to art, sports and leisure / Other Services / Other	Household and Service	Household and Service

2 단계: 계산에 이용가능한 한 연료 선택과 배출계수 선택

이산화탄소 배출량을 알아보기 위한 배출계수를 선택하기 위해서 17년 발열량 기준으로 작성된 국가탄소배출계수를 이용하였다. 국가탄소배출계수는 휘발유, 등유2호(실내 등유), 등유1호(보일러 등유), 경유, B-A유, B-B유, B-C유, 나프타, 용제, 항공유(JET-A1), 아스팔트, 석유코크, 윤활유, 석유코크, 부생연료 1호, 부생연료 2호, 프로판, 부탄, 천연가스(LNG), 도시가스(LNG), 도시가스(LPG), 국내무연탄, 수입무연탄(연료용), 수입무연탄(연료용), 유연탄(연료용), 유연탄(원료용), 아역청탄에 대하여만 사용하였다. 또한 파라핀 왁스는 윤활유와 같은 이산화탄소 배출계수 값을 이용하였으며, 기타제품은 부생연료 1호의 이산화탄소 배출계수 값을 이용한다.

먼지, 황산화물 그리고 질소산화물 배출량 통계는 국립환경과학원에서 2012년 4월에 발표한 ‘대기오염 배출계수 관리위원회 배출계수 자료집(I)’의 EPA자료를 이용하였다.

황산화물[Table 3-2], 질소산화물[Table 3-3], 그리고 먼지[Table 3-4]배출량 통계는 국립환경과학원에서 2012년 4월에 발표한 ‘대기오염물질 배출계수 대기오염 배출계수 관리위원회 배출계수 자료집(I)’의 자료 중 EPA자료를 이용하였다. 배출계수는 등유(0.001%), 등유(0.1%), 경유(0.05%), 경유(0.1%), B-A유, B-B유, B-C유(0.3%), B-C유(0.5%), B-C유(1.0%), B-C유(2.5%), B-C유(4.0%), LNG, LPG, 무연탄, 유연탄만 있어, 등유(0.1%), 경유(0.1%), B-A유, B-B유, B-C유(1.0%), LNG, LPG, 무연탄, 유연탄에 대한 자료만을 사용하여 계산하였다. 여기서, 괄호 안의 숫자는 황함량을 의미한다.

황산화물, 질소산화물 그리고 먼지의 배출계수를 보면 에너지원의 수입과 수출 그리고 연료용과 원료용의 배출계수가 구분이 되어 있지 않다. 그렇기에 구분하지 않고 총 합으로 계산하였으며, 배출계수의 자료가 없는 에너지원에 대하여는 고려하지 않기 위해 계수값을 0으로 하였다.며, 이산화탄소의 경우 연료인지 원료인지 또는 수입한 것인지 아닌지를 구분을 하지 않고 각 합인 평균값을 이용하여 계산하였다. 황산화물, 질소산화물 그리고 먼지의 배출계수는 산업용도로 사용될 때의 배출계수를 이용하였다.

3 단계: 에너지밸런스의 단위 (TOE)를 에너지원별 물량 단위로 환산((이산화탄소 및 대기오염 배출계수의 에너지 물량단위와 일치)

에너지밸런스 단위는 TOE으로 원유 1톤에 해당하는 열량으로 약 $10^7 kcal$ 에 대하여 나타냈고 대기오염 배출계수 단위는 유류($kg/k\ell$), 석탄(kg/ton), LNG($kg/1,000m^3$), LPG($kg/k\ell$)으로 나타나있다.

탄소배출량은 연료별 에너지 수급량에 국가탄소배출계수를 적용하여 산출할 수 있다. 이를 계산하기 위하여 에너지열량 환산기준(제5조제1항 관련)를 이용하여 에너지밸런스에 나타난 TOE단위를 유류는 ℓ , 석탄과 LNG는 kg , LPG는 Nm^3 으로 단위변환 한다.

한국에너지공단 사이트에서 제공하는 석유환산톤 계산기 사이트는 아래의 식 (Eq. 9)을 이용하여 연료의 TOE을 알 때 사용한 연료의 양을 알 수 있다. 총 발열량은 에너지열량 환산기준(제5조제1항 관련)을 이용하였다[Table 3-8].

$$\frac{10^7 kcal \times \text{연료의 TOE양}}{1TOE \times \text{연료의 총 발열량}} = \text{각 사용된 연료의 양} \quad (\text{Eq. 9})$$

Table 3-8 Standard Factors for Energy Calories Conversion

에너지열량 환산기준(제5조제1항 관련)									
구분	에너지원	단위	총발열량			순발열량			
			MJ	kcal	석유환산톤 ($10^{-3}TOE$)	MJ	kcal	석유환산톤 ($10^{-3}TOE$)	
석유	원유	kg	45.0	10,750	1.075	42.2	10,080	1.008	
	휘발유	ℓ	32.7	7,810	0.781	30.4	7,260	0.726	
	등유	ℓ	36.7	8,770	0.877	34.2	8,170	0.817	
	경유	ℓ	37.8	9,030	0.903	35.2	8,410	0.841	
	B-A유	ℓ	39.0	9,310	0.931	36.4	8,690	0.869	
	B-B유	ℓ	40.5	9,670	0.967	38.0	9,080	0.908	
	B-C유	ℓ	41.7	9,960	0.996	39.2	9,360	0.936	
	프로판(LPG1호)	kg	50.4	12,040	1.204	46.3	11,060	1.106	
	부탄(LPG3호)	kg	49.5	11,820	1.182	45.7	10,920	1.092	
	나프타	ℓ	32.3	7,710	0.771	29.9	7,140	0.714	
	용제	ℓ	32.8	7,830	0.783	30.3	7,240	0.724	
	항공유	ℓ	36.5	8,720	0.872	33.9	8,100	0.810	
	아스팔트	kg	41.4	9,890	0.989	39.2	9,360	0.936	
	윤활유	ℓ	40.0	9,550	0.955	37.3	8,910	0.891	
	석유코크스	kg	35.0	8,360	0.836	34.2	8,170	0.817	
	가스	부생연료유1호	ℓ	37.1	8,860	0.886	34.6	8,260	0.826
		부생연료유2호	ℓ	39.9	9,530	0.953	37.7	9,000	0.900
천연가스(LNG)		kg	54.7	13,060	1.306	49.4	11,800	1.180	
도시가스(LNG)		Nm^3	43.1	10,290	1.029	38.9	9,290	0.929	
도시가스(LPG)		Nm^3	63.6	15,190	1.519	58.4	13,950	1.395	
석탄	국내무연탄	kg	19.8	4,730	0.473	19.4	4,630	0.463	

전기 등	연료용 수입무연탄	kg	21.2	5,060	0.506	20.5	4,900	0.490
	원료용 수입무연탄	kg	25.2	6,020	0.602	24.7	5,900	0.590
	연료용 유연탄	kg	24.8	5,920	0.592	23.7	5,660	0.566
	원료용 유연탄	kg	29.2	6,970	0.697	28.0	6,690	0.669
	아역청탄	kg	21.4	5,110	0.511	19.9	4,750	0.475
	코크스	kg	29.0	6,930	0.693	28.9	6,900	0.690
	전기(발전기준)	kWh	8.9	2,130	0.213	8.9	2,130	0.213
	전기(소비기준)	kWh	9.6	2,290	0.229	9.6	2,290	0.229
	신탄	kg	18.8	4,500	0.450	-	-	-

비고

1. “총발열량”이란 연료의 연소과정에서 발생하는 수증기의 잠열을 포함한 발열량을 말한다.
2. “순발열량”이란 연료의 연소과정에서 발생하는 수증기의 잠열을 제외한 발열량을 말한다.
3. 석탄의 발열량은 인수식(引受式)을 기준으로 한다. 다만, 코크스는 건식(乾式)을 기준으로 한다.
4. 최종 에너지사용자가 사용하는 전력량 값을 열량 값으로 환산할 경우에는 $1kWh=860kcal$ 를 적용한다.
5. $1cal=4.1868J$ 이며, 도시가스 단위인 Nm^3 은 $0^{\circ}C$ 1기압(atm) 상태의 부피 단위(m^3)를 말한다. 에너지원별발열량(MJ)은 소수점 아래 둘째 자리에서 반올림한 값이며, 발열량(kcal)은 발열량(MJ)으로부터 환산한 후 1의 자리에서 반올림한 값이다. 두 단위 간 상충될 경우 발열량(MJ)이 우선한다.

4 단계: 1~3 단계를 적용한 환경산업연관표 작성

본 연구에서는 Dong, liang⁵⁰ 이 제안한 hybrid input-output table 모형을 이용하여 [표 Table 3-9]과 같은 환경산업연관표를 분석모형으로 작성하였다.

Table 3-9 The Structure of Environmental Input-Output Model

Input		Intermediate Output Sector	Final Demand	Income (Deduct)	Total Output	Total pollutant emission
		1, 2, ..., n	Y	M	X	W
Intermediate Input Sector	1	A	Y_1	M_1	X_1	W_1
	2		Y_2	M_2	X_2	W_2

	N		Y_n	M_n	X_n	W_n
Added Value	V					
Total Output	X					
Physical Energy Input		Physical Input Distribution				
Energy Resource	1	E				
	2					
	...					
	N					
Pollutants Emissions Coefficient	1	P_1				
	2	P_2				
				
	N	P_n				

앞에서 설명한 바와 같이 표의 A 는 식(Eq. 2)의 행렬을 표시한 것이며, Y 는 최종 수요, M 은 수입, V 는 부가가치계, X 는 총 산출, W 는 계산한 대기오염물질 발생량, E 는 에너지밸런스, P 는 대기오염 배출계수를 나타냈다. 위의 표를 아래와

같이 식 4 개의 행렬식으로 정리하여 식 (Eq. 11)로 총 산출량을 계산하였다.

$$AX+Y-M = X \quad (\text{Eq. 5})$$

$$Y-M = V \quad (\text{Eq. 10})$$

$$X = (I-A)^{-1}(Y-M) \quad (\text{Eq. 11})$$

$$W = EP \quad (\text{Eq. 12})$$

$$C = W/X \quad (\text{Eq. 13})$$

[Table 3-9]과 식(Eq. 5, Eq. 10 ~ Eq. 13)을 적용하면, 생산유발계수를 이용하여 총수요에 따른 에너지 사용량으로 부터 오염물질 발생량을 추정할 수 있다. 식(Eq. 4)는 총 산출을 나타내는 식으로 총수요에서 수입을 제외한 수요와 산출을 하기 위한 중간투입에서 사용된 양을 합하여 나타낸 식이다. 여기서 최종수요에서 수입을 뺀 수치는 지출 GDP로 생산GDP인 부가가치와 같다(Eq. 10). 총 산출액 행렬(X)는 생산유발계수 행렬((I-A)⁻¹)에 부가가치 행렬(V)를 곱한 것이다(Eq. 11). 부가가치를 충족시키기 위해 발생한 총 오염물질 배출량은 한 가지 제품의 생산에서 직접 발생한 직접배출량과 그 밖의 다른 부분으로써 그 제품에 투입된 간접적인 배출량을 합한 것이 된다. 산업별 에너지밸런스행렬(E)에 에너지원별 오염물질 배출계수(P)을 곱하여 오염물질 배출량 W를 산출하고 (Eq. 12), 이를 다시 산업별 총 산출액(X)으로 나누어 준 C(=W/X)가 산업별 오염물질 배출계수이다(Eq. 13).

3.3 환경산업연관 분석방법

3.3.1 분석개요

본 연구는 우리나라의 경제활동에 의한 산업별 에너지 사용 및 오염물질 배출량을 추정하기 위하여, 산업연관표와 에너지 통계자료의 산업부분을 통일화하고, 산업별 에너지 사용량과 오염물질배출량을 이용하여 작성된 년도별 환경산업연관표를 이용하여 2003, 2008, 2013, 2017년도의 산업별 에너지사용 및 대기오염물질 배출량의 변화와 오염물질배출 증가의 요인을 파악하고 정량화하였다.

3.3.2 분석방법

1) 산업구조의 변화

산업구조는 각 년도별 총 공급과 총 공급 국내 총 산출에 대하여 알아보고 국내 최종수요 중 소비와 투자비율을 알아보고자 한다. 또한 각 년도별 1차산업, 2차산업 그리고 3차 산업의 비율이 어떻게 변화하는지를 분석하였다.

2) 에너지사용량 변화

2003년, 2008년, 2013년 그리고 2017년도의 에너지밸런스를 이용하여, 기준년과 비교년 사이의 에너지사용 변동율을 아래 식(Eq. 14)을 이용하여 계산하였다.

$$\frac{\text{기준년 에너지밸런스} - \text{비교년 에너지밸런스}}{\text{기준년 에너지 밸런스}} \times 100 \quad (\text{Eq. 14})$$

3) 산업별 대기오염물질 배출량 추정

앞에서 설명한 [Table 2-1]과 식(Eq. 12)을 이용하여 경제와 산업활동에 의한 에너지사용량과 에너지원별 대기오염 배출계수와 배출유발계수를 대기오염물질의 직간접 배출량을 구한다.

산업별 대기오염 배출계수는 각 산업별 대기오염 배출량은 산업별 산출액(X) 대비 대기오염 물질 배출량(W)의 크기를 나타내는 지표이다(Eq.13). 본 연구에서는 에너지수급량과 에너지원별 대기오염물질 계수를 곱하는 식(Eq. 12)을 이용하여 대기오염물질 배출량을 구하였다. 최정운은 ‘최근 우리나라의 산업별 온실가스 배출구조 분석’ 연구에서 온실가스 배출계수를 (Eq. 15)과 같이 분해하여 에너지소비 효율(단위 산출액당 투입 에너지)과 투입에너지의 온실가스 배출계수(단위에너지당 온실가스 배출량)로 분해하였다.

$$\frac{\text{온실가스 배출량}(W)}{\text{에너지수급량}(E)} \times \frac{\text{에너지수급량}(E)}{\text{산업별 산출액}(X)} \quad (\text{Eq. 15})$$

$$= \frac{\text{온실가스 배출량}(W)}{\text{산업별 산출액}(X)} = \text{온실가스 배출계수}(C)$$

본 연구에서는 $\frac{\text{온실가스 배출량}(W)}{\text{에너지수급량}(E)}$ 를 에너지원별 온실가스의 배출계수 [Table 3-6] 과 에너지원별 오염물질 배출계수 [Table 3-2] ~ [Table 3-5] 로 사용하여, 산업별 온실가스와 대기오염 물질 배출계수를 산정하였다.

(1) 산업별 대기오염물질 배출유발계수

대기오염물질 배출유발계수는 직접적으로 발생하는 오염물질배출량 외에 생산과급과정에서 간접적으로 유발되는 재화나 서비스 수요에 의해 발생하는 오염물질의 간접적 배출량까지 포함하는 개념이다³⁸ 경제 및 산업활동에 의한 대기오염물질 배출유발계수를 산출하기 위하여, 생산유발에 따른 총 산출액 (Eq. 11) 을 이용한다.

$$X = (I-A)^{-1}(Y-M) \quad (\text{Eq. 11})$$

$$C = W/X \quad (\text{Eq. 13})$$

$$w = \hat{c}(I-A)^{-1}(Y-M) \quad (\text{Eq. 14})$$

식 (Eq. 11)의 양변에 오염물질 배출계수의 대각행렬 \hat{c} (Eq. 13)을 곱하면 직간접을 포함한 오염물질 총배출량 식(Eq. 14)이 된다. 여기서 $\hat{c}(I-A)^{-1}$ 가 오염물질 배출유발계수이다.

(2) 산업별 대기오염물질 배출량 변화

산업별 대기오염물질 배출량 변화분석을 위하여 성장요인분해모형을 이용하여 대기오염물질 배출량 증감요인 분석했다. 성장요인분해모형은 산업간 연관관계의 체계 내에서 수요측 요인과 공급 측의 기술변화 요인을 포괄하여 변동요인을 분석하는 모형으로 대기오염물질 배출 증가량을 경제성장에 수반되는 수요측 요인과 생산기술구조 변화에 따른 공급측 요인으로 구분하여 증감요인을

분석하는데 사용했다³⁸. 아래 식(Eq. 16)을 이용하여 산업별 대기오염물질 배출량 변화분석을 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta W &= C_2 X_2 - C_1 X_1 = C_2(1 - A_2)^{-1}(Y_2 - M_2) - C_1(1 - A_1)^{-1}(Y_1 - M_1) \\ &= C_2(X_2 - X_1) + (C_2 - C_1)X_1 = C_2\Delta X + \Delta C X_1 \end{aligned} \quad (\text{Eq. 16})$$

위 식에서, 1은 기준년도, 2는 비교년도이며, 본 논문에서 기준년도를 2003년, 비교년도를 2017년도로 하였다. 위 식에서 해당 년도의 총 산출량 X는 최종수요(Y-M)와 생산유발계수((I-A)⁻¹)의 곱으로 계산된다⁵¹. 따라서, 비교 대상이 되는 2기간 동안의 오염물질 배출량의 차이는 경제발전에 의한 수요측 변동요인(C₂ΔX)과 산업구조의 변화 및 에너지효율화 등에 의한 투입측 요인(ΔCX₁)으로 분해가 가능하다.

이상의 환경산업연관분석방법을 이용하여 여러가지 경제상황에서 이산화탄소 및 오염물질 배출량을 분석하는 절차를 도식화하면, 아래 [Figure 3-1]과 같이 정리할 수 있다.

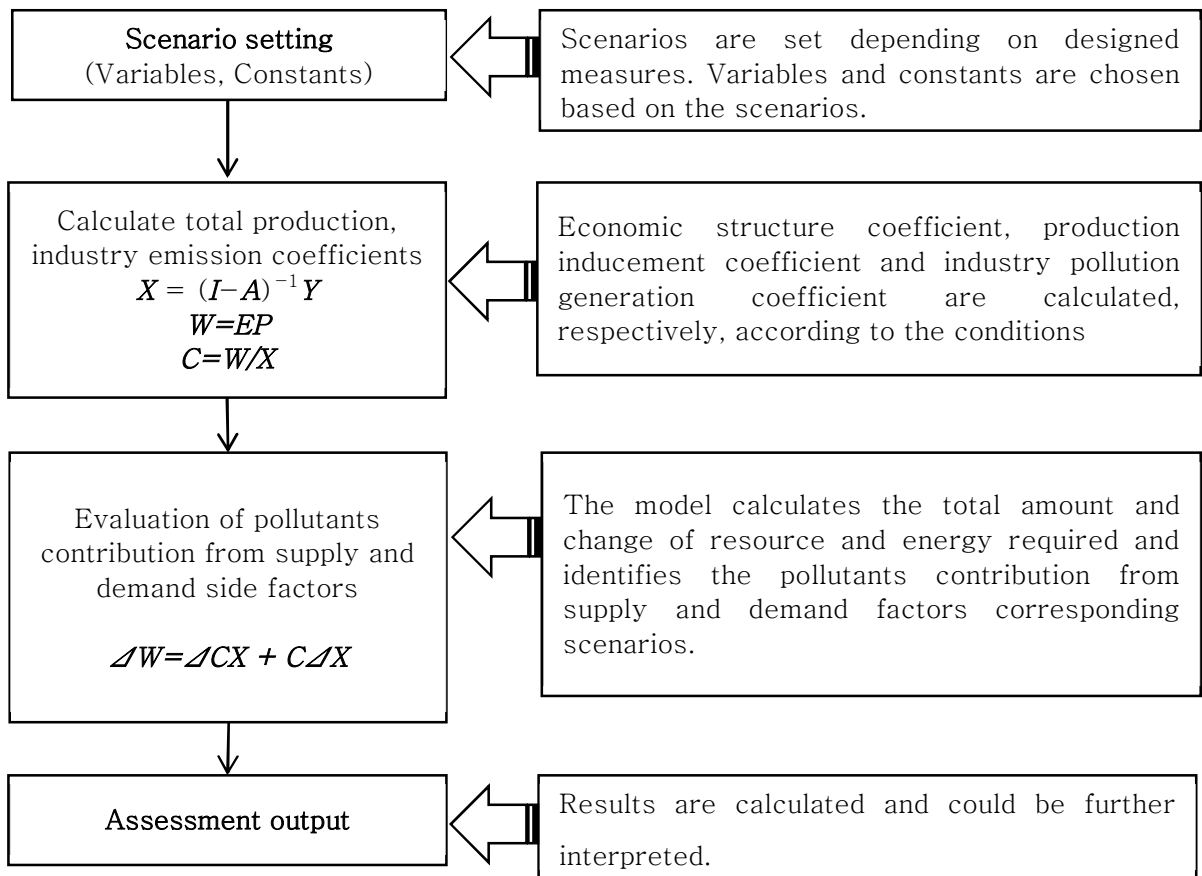


Figure 3-1 Simulation algorithm for environmental input-output analysis

그림에서와 같이 환경산업연관 분석은 경제성장에 수반되는 수요측요인과 생산기술구조 변화에 따른 공급측 요인으로 나누어 분석할 수 있기 때문에 다양한 경제적 상황에서 온실가스 및 오염물질 배출의 영향을 시뮬레이션 할 수 있다⁴⁰.

따라서, 본 연구에서 작성한 환경산업연관표를 이용하면 2013~2017년까지 우리나라의 경제 및 생산 활동에 따른 직접적인 에너지 수요량과 이산화탄소 및 대기오염 배출량 뿐만아니라 간접적으로 소요되는 에너지 및 이산화탄소와 대기오염 배출량을 종합적으로 추계할 수 있다.

제 4 장 환경산업연관표 분석결과 및 고찰

4.1 산업구조의 변화

2003년 우리나라의 재화와 서비스의 총공급은 2,009조 2,419억원으로 총 공급중 86.6%인 1,740조 9,453억 원어치의 상품은 국내에서 생산(국내 총 산출)되어 공급되고, 나머지 13.4%인 268조 2,965억 원어치의 상품은 해외에서 수입하여 국내에 공급된 것으로 나타났다⁵². 또한 국내 총 산출 중 44.1%인 766조 9,781억 원은 부가가치이고, 나머지 55.9%인 973조 9,672억 원은 원재료 등 중간투입이었다⁵². 한편 상품 총공급에 대한 수요의 구성비를 보면 소비, 투자, 수출을 나타내는 최종수요는 51.5%로 나타났으며 중간수요는 48.5%로 나타났으며 다시 수출을 제외한 국내최종수요의 구성비를 보면 소비가 69.6%, 투자가 30.4%를 각각 차지한 것으로 나타났다⁵².

2008년 우리나라의 재화와 서비스의 총공급은 3,320조 3,000억 원으로 총 공급중 82.5%인 2,740조 1,000억 원어치의 상품은 국내에서 생산(국내 총 산출)되어 공급되고, 나머지 17.5%인 580조 2,000억 원어치의 상품은 해외에서 수입하여 국내에 공급된 것으로 나타났다⁵³. 또한 국내 총 산출 중 36.8%인 1,008조 8천억 원은 부가가치이고, 나머지 63.2%인 1,731조 3천억 원은 원재료 등 중간투입이었다⁵³. 한편 상품 총공급에 대한 수요의 구성비를 보면 소비, 투자, 수출을 나타내는 최종수요는 31.3%로 나타났으며 중간수요는 52.1%로 나타났으며 다시 수출을 제외한 국내최종수요의 구성비를 보면 소비가 69.2%, 투자가 30.8%를 각각 차지한 것으로 나타났다⁵³.

2013년 우리나라의 재화와 서비스의 총공급은 4,207조 원으로 총 공급중 83.3%인 3,503조 5,000억 원어치의 상품은 국내에서 생산(국내 총 산출)되어 공급되고, 나머지 16.7%인 703조 5,000억 원어치의 상품은 해외에서 수입하여 국내에 공급된 것으로 나타났다⁵⁴. 또한 국내 총 산출 중 37.2%인 1,303조 2천억 원은 부가가치이고, 나머지 62.8%인 2,200조 2천억 원은 원재료 등 중간투입이었다⁵⁴. 한편 상품 총공급에 대한 수요의 구성비를 보면 소비, 투자, 수출을 나타내는 최종수요는 30.4%로 나타났으며 중간수요는 51.2%로 나타났으며 다시 수출을 제외한 국내최종수요의 구성비를 보면 소비가 69.9%, 투자가 30.1%를 각각 차지한 것으로 나타났다⁵⁴.

2017년 우리나라의 재화와 서비스의 총공급은 4,861조 원으로 총 공급중 85.8%인 4,168조 4,000억 원어치의 상품은 국내에서 생산(국내 총 산출)되어 공급되고, 나머지 14.2%인 692조 6,000억 원어치의 상품은 해외에서 수입하여 국내에 공급된 것으로

나타났다⁵⁵. 또한 국내 총 산출 중 43.5%인 1,813조 2500억원은 부가가치이고, 나머지 56.5%인 2355조 1500억원은 원재료 등 중간투입이었다. 한편 상품 총공급에 대한 수요의 구성비를 보면 소비, 투자, 수출을 나타내는 최종수요는 36.0%로 나타났으며 중간수요는 48.5%로 나타났으며 다시 수출을 제외한 국내최종수요의 구성비를 보면 소비가 66.0%, 투자가 34.0%를 각각 차지한 것으로 나타났다⁵⁶. 연도가 증가할수록 총공급은 증가하고 있는 산업구조를 나타내고 있다.

각 년도별 산업구조의 비율이 어떻게 되는지 살펴보기 위하여 산업통상자원부 주관 아래 산업연구원이 운영 관리하는 산업통계 포털사이트에서 운영하는 아이스탠드 (ISTANS)의 자료를 이용하여 아래 그림 [Figure 4-1]으로 나타내었다.

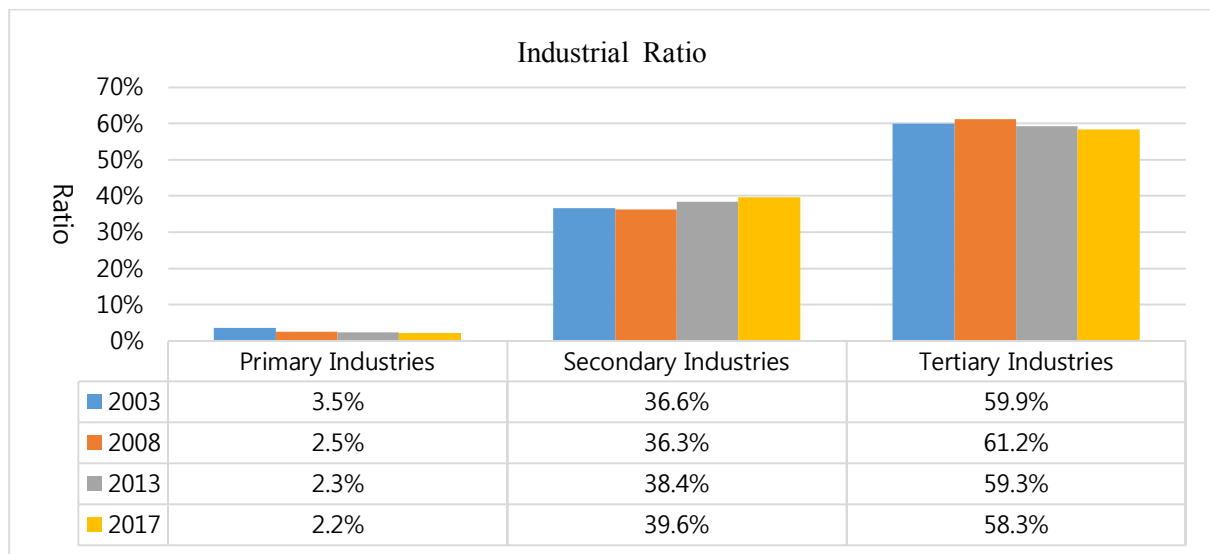


Figure 4 - 1 Change of Industrial Structure from 2003 to 2017⁵⁷

2003년, 2008년, 2013년 그리고 2017년도에 대하여 각 산업별 비율을 살펴보면 1차산업은 3.5%, 2.5%, 2.3% 및 2.2로 점차 감소하는 경향을 보이며, 2차 산업은 36.6%, 36.3%, 38.4% 및 39.6%로 조금 증가하여는 경향을 보였으며 3차산업은 59.9%, 61.2%, 59.3% 및 58.3%로 증가하다가 감소하는 경향을 보였다.

4.2 산업별 대기오염물질 및 이산화탄소 발생량

대기오염물질 발생량은 에너지밸런스에 대기오염 배출계수를 곱하여 나온 결과값으로 해당 년도에 사용된 에너지수급량이 어떻게 변화하는지에 따라 배출량이 달라진다. 따라서 에너지원별 배출량에 기여하는 에너지량을 파악하는 것이 매우 중요하다.

4.2.1 산업별 에너지 사용량과 오염물질 배출에 기여율

우선 2003년, 2008년, 2013년 그리고 2017년도에 해당하는 에너지사용량과 2003년과 2017년도 사이의 변동율을 [Table 4-1]에 나타내었다. 16개의 산업부문을 농업, 광업, 제조업, 에너지산업, 건설업, 서비스업 6개의 산업부문으로 나누어 비교하면 아래와 같다. 농업에서 에너지 수급량 감소가 발생하였는데, 이는 농업비율이 감소하고 있음을 수치적으로 보여주는 것이다. 광업, 제조업, 에너지산업, 건설업, 서비스업에서는 에너지 수급량이 증가하였다. 제조업을 자세히 살펴보면 섬유 및 가죽제품업, 목재 및 인쇄업, 비금속업, 기타제조업의 에너지 수급량도 감소하였는데, 이는 이들 분야이 산업이 점차로 축소되고 있음을 보여주는 것이다. 한편 음식료품업, 석유 및 화학업, 1차금속업, 금속업의 에너지 수급량은 증가하였는데, 이 분야의 산업의 비율이 늘어나고 있음을 보여주는 것이다. 서비스 산업에는 상업, 운송업, 공업, 가정 및 서비스업부분에서 모두 증가하였는데 이는 우리나라의 3차 산업의 비율이 증가하고 있음을 보여주는 것이다. 전반적으로 2003년에 대비하여 2017년도에 에너지 수급량은 25.69%증가하였다.

Table 4-1 Sectorial Energy Consumption from 2003 to 2017

Industry [unit : TOE]	Energy Balance				
	2003	2008	2013	2017	Rate of Change
Agriculture	3780	2860	3311	2675	-29.2%
Mine goods	181	194	228	205	13.3%
Manufacturing	84517	92541	113017	125193	48.1%
Food and Beverage Industry	1683	1589	1687	1790	6.4%
Textile and leather goods	3028	1983	1524	1347	-55.5%
Wood and printing	2193	1844	1604	1336	-39.1%
Stone oil and Chemistry	39945	49442	60455	69208	73.3%
Nonmetallic minerals	6270	5597	4969	4603	-26.6%
Primary metals	17391	20911	27549	30120	73.2%
Metal goods	6207	8312	11789	12306	98.3%
Other manufacturing	7800	2863	3440	4483	-42.5%
Other energy	655	884	761	1103	68.4%
Construction	2269	2390	2456	2634	16.1%
Service	73148	76153	79958	89638	22.5%
Commercial	12439	15148	16508	17427	40.1%
Transport	34633	35756	36961	42795	23.6%
Public	3601	4103	5185	6938	92.7%
Household and Service	22475	21146	21304	22478	0.0%
Total	164550	175022	199731	221448	34.6%

에너지의 사용에 따라 대기오염물질과 이산화탄소가 발생되므로 오염물질 배출량을 산정하기 위해서는 배출계수와 연계된 에너지 사용량을 사용하여야 한다. [Table 4-2]는 황산화물, 질소산화물, 먼지, 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지를

계산하기 위하여 이들 배출계수를 적용되는 에너지는 2003년도에는 47.6%, 2008년도에는 42.0%, 2013년도에는 39.8% 그리고 2017년도에는 38.3%로 전체 에너지의 약 40%내외로 매우 낮은 값을 보여주고 있다. [Table 4-3]은 따르면 이산화탄소를 계산하기 위해 사용된 에너지양으로 수력, 원자력, 전력, 열, 신재생에너지의 온실가스 배출이 없는 에너지 수급량을 제외한 양이다. 표에서와 같이 2003년도에는 81.8%, 2008년도에는 79.6%, 2013년도에는 77.5% 그리고 2017년도에는 77.6%로 에너지 사용량의 약 80%가 온실가스 배출에 기여하고 있음을 보여주고 있다.

Table 4 –2 Data Usage of Energy Balance for SO_x, NO_x, Dust and PM10*

Industry [unit: TOE]	2003	2008	2013	2017
Agriculture	3045 (80.6%)	1984 (69.4%)	2049 (61.9%)	1179 (44.1%)
Mine goods	72 (39.8%)	64 (33.0%)	91 (39.9%)	48 (23.4%)
Manufacturing	34044 (40.3%)	32023 (34.6%)	39230 (34.7%)	39803 (31.8%)
Food and Beverage	960 (57.0%)	817 (51.4%)	792 (46.9%)	780 (43.6%)
Textile and leather goods	1740 (57.5%)	947 (47.8%)	446 (29.3%)	350 (26.0%)
Wood and printing	1252 (57.1%)	847 (45.9%)	560 (34.9%)	314 (23.5%)
Stone oil and Chemistry	2484 (6.2%)	2644 (5.3%)	3948 (6.5%)	2035 (2.9%)
Nonmetallic minerals	5193 (82.8%)	4416 (78.9%)	3886 (78.2%)	3482 (75.6%)
Primary metals	15537 (89.3%)	18118 (86.6%)	24207 (87.9%)	26987 (89.6%)
Metal goods	2069 (33.3%)	2189 (26.3%)	2760 (23.4%)	2569 (20.9%)
Other manufacturing	4809 (61.7%)	2045 (71.4%)	2631 (76.5%)	3286 (73.3%)
Other energy	89 (13.6%)	62 (7.0%)	52 (6.8%)	74 (6.7%)
Construction	522 (23.0%)	764 (32.0%)	721 (29.4%)	743 (28.2%)
Service	40592 (55.5%)	38540 (50.6%)	37338 (46.7%)	42889 (47.8%)
Commercial	5315 (42.7%)	4454 (29.4%)	4560 (27.6%)	4459 (25.6%)
Transport	20203 (58.3%)	19376 (54.2%)	19113 (51.7%)	23760 (55.5%)
Public	914 (25.4%)	958 (23.3%)	763 (14.7%)	983 (14.2%)
Household and Service	14160 (63.0%)	13752 (65.0%)	12902 (60.6%)	13687 (60.9%)
Total	78364 (47.6%)	73437 (42.0%)	79481 (39.8%)	84736 (38.3%)

Table 4 –3 Data Usage of Energy Balance for CO₂

Industry [unit: TOE]	2003	2008	2013	2017
Agriculture	3269 (86.5%)	2139 (74.8%)	2188 (66.1%)	1301 (48.6%)
Mine goods	77 (42.5%)	70 (36.1%)	101 (44.3%)	55 (26.8%)
Manufacturing	69695 (82.5%)	76649 (82.8%)	92178 (81.6%)	102924 (82.2%)
Food and Beverage	1076 (63.9%)	919 (57.8%)	825 (48.9%)	820 (45.8%)
Textile and leather goods	1768 (58.4%)	975 (49.2%)	455 (29.9%)	379 (28.1%)
Wood and printing	1265 (57.7%)	866 (47.0%)	569 (35.5%)	329 (24.6%)
Stone oil and Chemistry	37260 (93.3%)	46089 (93.2%)	55973 (92.6%)	64008 (92.5%)
Nonmetallic minerals	5385 (85.9%)	4616 (82.5%)	4003 (80.6%)	3518 (76.4%)
Primary metals	15593 (89.7%)	18182 (86.9%)	24278 (88.1%)	27065 (89.9%)
Metal goods	2228 (35.9%)	2337 (28.1%)	2866 (24.3%)	2664 (21.6%)
Other manufacturing	5120 (65.6%)	2665 (93.1%)	3209 (93.3%)	4141 (92.4%)
Other energy	655 (100.0%)	884 (100.0%)	761 (100.0%)	1103 (100.0%)
Construction	2269 (100.0%)	2390 (100.0%)	2456 (100.0%)	2634 (100.0%)
Service	58601 (80.1%)	57272 (75.2%)	57178 (71.5%)	63788 (71.2%)
Commercial	5525 (44.4%)	5667 (37.4%)	5653 (34.2%)	5721 (32.8%)
Transport	34433 (99.4%)	35382 (99.0%)	36406 (98.5%)	42121 (98.4%)
Public	1669 (46.3%)	1468 (35.8%)	1324 (25.5%)	1547 (22.3%)
Household and Service	16974 (75.5%)	14755 (69.8%)	13795 (64.8%)	14399 (64.1%)
Total	134566 (81.8%)	139404 (79.6%)	154862 (77.5%)	171805 (77.6%)

4.2.2 산업별 총산출액, 대기오염물질 및 이산화탄소 발생량

대기오염물질 발생량은 에너지밸런스에 대기오염 배출계수를 곱하여 나온 결과값으로 해당 년도에 사용된 에너지수급량이 어떻게 변화하는지에 따라 배출량이 달라진다. [Table 4-4]~[Table 4-7]은 2003, 2008, 2013, 2017년 4개 년도의 16개 산업에 대하여 산업별 산출액과 대기오염물질과 이산화탄소 발생량을 정리한 표이다, 이표에서 총 산출액 X는 산업연관표에 나온 총 산출액을 사용하였다. 그러나, 2013년도의 산업연관표의 경우 총 산출액과 총 투입액이 일치하지 않는데 이는 자가 공정산출의 차이인 것으로 나타났다. 따라서, 2013년도 산업연관표의 총 산출액은 산업연관표의 총 산출액에 자가공정산출을 더한 값을 이용하였다. 따라서, 국내 수요액 또한 총산출액으로 계산한 값을 이용하였다.

표에서와 같이 황산화물, 질소산화물, 먼지 그리고 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차 미세먼지 단위는 *kg* 이고, 이산화탄소 단위는 *ton*로 나타내었다.

[Table 4-4]은 2003년 우리나라의 산업별 대기오염물질 배출량에 대하여 나타냈다. [Table 4-4]에서와 같이 총 산출액은 1,669조이며 제조업에서 44.1%, 서비스업에서 42.9%, 건설업에서 8.1%, 에너지업에서 2.3%, 농업에서 2.3% 그리고 광업에서 0.2%의 비율을 나타냈다. 국내 수요액인 부가가치액은 726조이며 서비스업에서 72.4%, 에너지업에서 22.0%, 제조업에서 8.3%, 건설업에서 1.5%, 농업에서 1.2% 그리고 광업에서 -5.4%의 비율을 나타냈다.

이산화탄소(CO_2) 총배출량은 394,858.8천 ton 으로 제조업에서 55.0%, 서비스업에서 40.33% 건설업에서 1.8%, 농업에서 2.4%, 에너지업에서 0.5%발생하였다. 황산화물(SO_x) 총배출량은 610,573.4 ton 로 제조업에서 73.5%, 서비스업에서 24.2% 농업에서 1.4%, 건설업에서 0.5%, 에너지업에서 0.3%발생하였다. 질소산화물질(NO_x) 총배출량은 379,513.0 ton 으로 제조업에서 65.7%, 서비스업에서 31.3% 농업에서 2.3%, 건설업에서 0.5%, 에너지업에서 0.1%발생하였다. 먼지(Dust) 총배출량은 424,023.2 ton 로 서비스업에서 71.0%, 제조업에서 28.6%, 농업에서 0.3% 발생하였다. 한편, 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지(PM10) 총배출량은 195,706.7 ton 로 제조업에서 70.3%, 서비스업에서 27.1% 농업에서 1.8%, 건설업에서 0.5%, 에너지업에서 0.2%발생하였다. 전반적으로 광업 부문의 거의 대기오염물질 배출량이 다른 산업에 비하여 아주 작았다.

Table 4-4 Amount of Air Pollutant Emissions in 2003

Industry	SO _x [unit: kg]	NO _x [unit: kg]	Dust [unit: kg]	CO ₂ [unit: ton]	PM10* [unit: kg]	X [unit: million]	Y-M [unit: million]
Agriculture	8.35.E+06	8.83.E+06	1.22.E+06	9.40.E+06	3.44.E+06	3.90.E+07	8.37.E+06
Mine goods	5.31.E+05	2.93.E+05	2.34.E+04	2.27.E+05	1.62.E+05	3.48.E+06	-3.92.E+07
Manufacturing	4.49.E+08	2.49.E+08	1.21.E+08	2.17.E+08	1.38.E+08	7.36.E+08	6.04.E+07
Food and Beverage	1.18.E+07	4.41.E+06	7.56.E+06	3.16.E+06	3.18.E+06	5.87.E+07	2.90.E+07
Textile and leather goods	2.42.E+07	8.28.E+06	1.21.E+07	5.15.E+06	6.33.E+06	4.30.E+07	2.30.E+07
Wood and printing	2.18.E+07	6.90.E+06	2.59.E+06	3.91.E+06	5.60.E+06	3.18.E+07	1.38.E+06
Stone oil and Chemistry	3.50.E+07	1.31.E+07	1.29.E+07	1.03.E+08	9.40.E+06	1.45.E+08	3.69.E+06
Nonmetallic minerals	6.33.E+07	3.96.E+07	1.00.E+07	1.93.E+07	2.04.E+07	2.28.E+07	8.79.E+06
Primary metals	1.92.E+08	1.28.E+08	2.64.E+07	5.81.E+07	6.33.E+07	7.63.E+07	-1.21.E+06
Metal goods	2.00.E+07	8.66.E+06	2.15.E+07	6.18.E+06	5.62.E+06	2.82.E+07	-7.76.E+06
Other manufacturing	8.11.E+07	4.03.E+07	2.84.E+07	1.83.E+07	2.39.E+07	3.30.E+08	3.52.E+06
Other energy	1.53.E+06	4.91.E+05	5.71.E+04	1.95.E+06	3.94.E+05	3.91.E+07	1.60.E+08
Construction	3.24.E+06	1.83.E+06	1.69.E+05	6.98.E+06	9.99.E+05	1.36.E+08	1.06.E+07
Service	1.48.E+08	1.19.E+08	3.00.E+08	1.59.E+08	5.31.E+07	7.16.E+08	5.26.E+08
Commercial	1.03.E+07	1.32.E+07	6.16.E+07	1.42.E+07	4.73.E+06	7.99.E+07	1.25.E+08
Transport	1.04.E+08	6.59.E+07	9.87.E+06	9.79.E+07	3.36.E+07	6.27.E+07	4.82.E+07
Public	1.92.E+06	2.36.E+06	6.86.E+06	4.59.E+06	8.59.E+05	5.00.E+08	3.22.E+08
Household and Service	3.21.E+07	3.72.E+07	2.22.E+08	4.25.E+07	1.39.E+07	7.33.E+07	3.08.E+07
Total	6.11.E+08	3.79.E+08	4.23.E+08	3.95.E+08	1.96.E+08	1.67.E+09	7.26.E+08

[Table 4-5]은 2008년 우리나라의 산업별 대기오염물질 배출량에 대하여 나타냈다. [Table 4-5]에서와 같이 총 산출액은 2,651조이며 제조업에서 48.7%, 서비스업에서 40.6%, 건설업에서 6.4%, 에너지업에서 2.4%, 농업에서 1.8% 그리고 광업에서 0.2%의 비율을 나타냈다. 국내 수요액인 부가가치액은 955조이며 서비스업에서 60.3%, 제조업에서 35.3%, 건설업에서 16.8%, 에너지업에서 1.6%, 농업에서 0.6% 그리고 광업에서 -14.5%의 비율을 나타냈다.

이산화탄소(CO₂) 총배출량은 401,488.2천ton로 제조업에서 57.5%, 서비스업에서 38.4% 건설업에서 1.8%, 농업에서 1.5%, 에너지업에서 0.7% 발생하였다. 황산화물(SO_x) 총배출량은 483,622.6ton로 제조업에서 69.1%, 서비스업에서 28.9% 농업에서 1.2%, 건설업에서 0.5%, 에너지업에서 0.2% 발생하였다. 질소산화물질(NO_x) 총 배출량은 340,067.4ton로 제조업에서 64.1%, 서비스업에서 33.4% 농업에서 1.7%, 건설업에서 0.7%, 에너지업에서 0.1% 발생하였다. 먼지(Dust) 총배출량은 530,451.4ton로 서비스업에서 68.9%, 제조업에서 31.0%, 농업에서 0.1% 발생하였다. 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지(PM10) 총배출량은 163,302.4ton로 제조업에서 66.9%, 서비스업에서 30.9% 농업에서 1.4%, 건설업에서 0.6%, 에너지업에서 0.2% 발생하였다. 전반적으로 광업 부문의 거의 대기오염물질 배출량이 다른 산업에 비하여 아주 작았다.

Table 4-5 Amount of Air Pollutant Emissions and Industrial Output in 2008

Industry	SO _x [unit: kg]	NO _x [unit: kg]	Dust [unit: kg]	CO ₂ [unit: ton]	PM10* [unit: kg]	X [unit: million]	Y-M [unit: million]
Agriculture	5.70.E+06	5.86.E+06	5.72.E+05	6.17.E+06	2.31.E+06	4.79.E+07	5.39.E+06
Mine goods	3.73.E+05	2.29.E+05	1.86.E+04	2.07.E+05	1.19.E+05	3.98.E+06	-1.38.E+08
Manufacturing	3.34.E+08	2.18.E+08	1.64.E+08	2.31.E+08	1.09.E+08	1.29.E+09	3.37.E+08
Food and Beverage	5.60.E+06	2.82.E+06	1.27.E+07	2.46.E+06	1.66.E+06	7.65.E+07	2.97.E+07
Textile and leather goods	8.73.E+06	3.59.E+06	1.19.E+07	2.62.E+06	2.41.E+06	4.18.E+07	2.26.E+07
Wood and printing	1.11.E+07	3.89.E+06	6.55.E+06	2.49.E+06	2.93.E+06	3.09.E+07	-2.34.E+06
Stone oil and Chemistry	2.52.E+07	1.10.E+07	3.09.E+07	1.26.E+08	7.10.E+06	3.09.E+08	4.55.E+07
Nonmetallic minerals	5.15.E+07	3.25.E+07	1.25.E+07	1.64.E+07	1.66.E+07	2.98.E+07	-3.21.E+06
Primary metals	2.05.E+08	1.45.E+08	3.88.E+07	6.70.E+07	6.95.E+07	1.95.E+08	-2.23.E+07
Metal goods	8.78.E+06	6.45.E+06	3.89.E+07	5.83.E+06	3.02.E+06	6.50.E+07	9.90.E+06
Other manufacturing	1.78.E+07	1.24.E+07	1.22.E+07	8.31.E+06	5.99.E+06	5.42.E+08	2.57.E+08
Other energy	1.11.E+06	3.48.E+05	4.15.E+04	2.66.E+06	2.85.E+05	6.33.E+07	1.51.E+07
Construction	2.42.E+06	2.26.E+06	1.80.E+05	7.29.E+06	9.35.E+05	1.70.E+08	1.60.E+08
Service	1.40.E+08	1.13.E+08	3.65.E+08	1.54.E+08	5.04.E+07	1.07.E+09	5.75.E+08
Commercial	7.65.E+06	1.03.E+07	8.16.E+07	1.38.E+07	3.61.E+06	1.27.E+08	6.09.E+07
Transport	8.90.E+07	6.10.E+07	2.56.E+07	9.97.E+07	2.97.E+07	1.15.E+08	4.68.E+07
Public	1.71.E+06	2.40.E+06	7.71.E+06	4.01.E+06	8.29.E+05	7.16.E+08	4.21.E+08
Household and Service	4.14.E+07	3.98.E+07	2.50.E+08	3.66.E+07	1.62.E+07	1.16.E+08	4.68.E+07
Total	4.84.E+08	3.40.E+08	5.30.E+08	4.01.E+08	1.63.E+08	2.65.E+09	9.55.E+08

[Table 4-6]은 2013년 우리나라의 산업별 대기오염물질 배출량에 대하여 나타냈다. [Table 4-6]에서와 같이 총 산출액은 3,676조이며 제조업에서 51.1%, 서비스업에서 38.8%, 건설업에서 5.8%, 에너지업에서 2.8%, 농업에서 1.5% 그리고 광업에서 0.1%의 비율을 나타냈다. 국내 수요액인 부가가치액은 1,341조이며 서비스업에서 60.8%, 제조업에서 36.6%, 건설업에서 13.8%, 에너지업에서 1.4%, 농업에서 0.4% 그리고 광업에서 -13.0%의 비율을 나타냈다.

이산화탄소(CO_2) 총배출량은 446,139.1천ton로 제조업에서 62.2% 서비스업에서 34.2% 건설업에서 1.7%, 농업에서 1.4%, 에너지업에서 0.5% 발생하였다. 황산화물(SO_X) 총배출량은 459,248.1t로 제조업에서 78.8%, 서비스업에서 22.5% 농업에서 1.0%, 건설업에서 0.5%, 에너지업에서 0.1% 발생하였다. 질소산화물질(NO_X) 총배출량은 368,186.8ton로 제조업에서 75.83%, 서비스업에서 22.5% 농업에서 1.0%, 건설업에서 0.5%, 에너지업에서 0.1% 발생하였다. 먼지($Dust$) 총배출량은 667,539.7ton로 서비스업에서 59.0%, 제조업에서 40.9%, 농업에서 0.1% 발생하였다. 한편, 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지(PM10) 총배출량은 164,576.4ton로 제조업에서 73.1%, 서비스업에서 25.0%, 농업에서 1.3%, 건설업에서 0.5%, 에너지업에서 0.1% 발생하였다. 2013년도에도 광업 부문의 거의 대기오염물질 배출량이 다른 산업에 비하여 아주 작았다.

Table 4-6 Amount of Air Pollutant Emissions and Industrial Output of 2013

Industry	SO _x [unit: kg]	NO _x [unit: kg]	Dust [unit: kg]	CO ₂ [unit: ton]	PM10* [unit: kg]	X [unit: million]	Y-M [unit: million]
Agriculture	4.73.E+06	5.74.E+06	5.18.E+05	6.29.E+06	2.11.E+06	5.64.E+07	5.86.E+06
Mine goods	4.55.E+05	3.12.E+05	2.50.E+04	2.96.E+05	1.52.E+05	4.28.E+06	-1.74.E+08
Manufacturing	3.48.E+08	2.58.E+08	2.73.E+08	2.77.E+08	1.20.E+08	1.80.E+09	4.91.E+08
Food and Beverage	1.38.E+06	1.87.E+06	1.78.E+07	1.92.E+06	6.55.E+05	1.03.E+08	3.84.E+07
Textile and leather goods	9.46.E+05	1.02.E+06	9.62.E+06	1.05.E+06	3.94.E+05	7.75.E+07	3.11.E+07
Wood and printing	8.19.E+05	1.20.E+06	1.29.E+07	1.28.E+06	4.08.E+05	3.79.E+07	-2.77.E+06
Stone oil and Chemistry	1.15.E+07	1.06.E+07	8.32.E+07	1.53.E+08	4.40.E+06	4.22.E+08	5.55.E+07
Nonmetallic minerals	3.97.E+07	2.75.E+07	1.75.E+07	1.39.E+07	1.33.E+07	3.65.E+07	-1.10.E+07
Primary metals	2.70.E+08	1.95.E+08	4.74.E+07	8.96.E+07	9.22.E+07	2.11.E+08	-1.71.E+07
Metal goods	6.83.E+06	7.59.E+06	5.46.E+07	6.97.E+06	2.89.E+06	9.41.E+07	1.02.E+07
Other manufacturing	1.67.E+07	1.32.E+07	3.00.E+07	9.41.E+06	5.94.E+06	8.18.E+08	3.86.E+08
Other energy	4.76.E+05	2.08.E+05	2.17.E+04	2.25.E+06	1.34.E+05	1.01.E+08	1.86.E+07
Construction	2.06.E+06	2.11.E+06	1.60.E+05	7.51.E+06	8.35.E+05	2.13.E+08	1.85.E+08
Service	1.03.E+08	1.02.E+08	3.94.E+08	1.52.E+08	4.11.E+07	1.42.E+09	8.15.E+08
Commercial	3.11.E+06	9.31.E+06	9.68.E+07	1.33.E+07	2.55.E+06	2.32.E+08	1.02.E+08
Transport	6.76.E+07	5.62.E+07	3.83.E+07	1.02.E+08	2.47.E+07	1.33.E+08	4.34.E+07
Public	1.50.E+06	2.01.E+06	2.68.E+06	3.72.E+06	7.07.E+05	9.83.E+08	6.14.E+08
Household and Service	3.10.E+07	3.47.E+07	2.56.E+08	3.34.E+07	1.32.E+07	7.70.E+07	5.54.E+07
Total	4.59.E+08	3.68.E+08	6.68.E+08	4.46.E+08	1.65.E+08	3.60.E+09	1.34.E+09

[Table 4-7]은 2017년 우리나라의 산업별 대기오염물질 배출량에 대하여 나타냈다. [Table 4-7]에서와 같이 총 산출액은 4,168조이며 제조업에서 49.8%, 서비스업에서 36.8%, 건설업에서 3.2%, 에너지업에서 2.9%, 농업에서 2.0% 그리고 광업에서 5.3%의 비율을 나타냈다. 국내 수요액인 부가가치액은 1,812조이며 서비스업에서 59.4%, 제조업에서 31.4%, 건설업에서 14.7%, 에너지업에서 0.9%, 농업에서 0.4% 그리고 광업에서 -6.9%의 비율을 나타냈다.

이산화탄소(CO_2) 총배출량은 495,049.6천ton로 제조업에서 62.4% 서비스업에서 34.53% 건설업에서 1.6%, 농업에서 0.8%, 에너지업에서 0.6% 발생하였다. 황산화물(SO_x) 총배출량은 499,918.6ton로 제조업에서 75.0%, 서비스업에서 24.0% 농업에서 0.6%, 건설업에서 0.4%, 에너지업에서 0.1% 발생하였다. 질소산화물질(NO_x) 총배출량은 396,301.1ton로 제조업에서 69.2%, 서비스업에서 29.4% 농업에서 0.8%, 건설업에서 0.5%, 에너지업에서 0.1% 발생하였다. 먼지($Dust$) 총배출량은 631,662.8ton로 서비스업에서 63.7%, 제조업에서 36.2%, 농업에서 0.1% 발생하였다. 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지(PM_{10}) 총 배출량은 178,207.8ton로 제조업에서 72.3%, 서비스업에서 26.5%, 농업에서 0.7%, 건설업에서 0.4%, 에너지업에서 0.1% 발생하였다. 2017년도에도 광업 부분의 거의 대기오염물질 배출량이 다른 산업에 비하여 아주 작았다.

Table 4-7 Amount of Air Pollutant Emissions and Industrial Output in 2017

Industry	SO _x [unit: kg]	NO _x [unit: kg]	Dust [unit: kg]	CO ₂ [unit: ton]	PM10* [unit: kg]	X [unit: million]	Y-M [unit: million]
Agriculture	2.76.E+06	3.33.E+06	3.20.E+05	3.74.E+06	1.22.E+06	6.15.E+07	7.50.E+06
Mine goods	2.48.E+05	1.66.E+05	1.37.E+04	1.61.E+05	8.20.E+04	4.73.E+06	-1.24.E+08
Manufacturing	3.75.E+08	2.74.E+08	2.29.E+08	3.09.E+08	1.29.E+08	1.81.E+09	5.69.E+08
Food and Beverage	8.53.E+05	1.70.E+06	1.84.E+07	1.86.E+06	5.18.E+05	1.29.E+08	4.19.E+07
Textile and leather goods	1.09.E+06	8.68.E+05	7.45.E+06	8.89.E+05	3.90.E+05	7.07.E+07	3.12.E+07
Wood and printing	5.54.E+05	6.88.E+05	7.30.E+06	7.48.E+05	2.50.E+05	4.52.E+07	-2.82.E+06
Stone oil and Chemistry	9.34.E+06	6.43.E+06	3.26.E+07	1.75.E+08	3.12.E+06	3.88.E+08	6.91.E+07
Nonmetallic minerals	3.63.E+07	2.44.E+07	1.50.E+07	1.22.E+07	1.20.E+07	4.38.E+07	-3.35.E+06
Primary metals	3.04.E+08	2.19.E+08	4.69.E+07	1.00.E+08	1.04.E+08	1.42.E+08	-1.19.E+06
Metal goods	6.87.E+06	7.69.E+06	5.03.E+07	6.59.E+06	2.92.E+06	1.02.E+08	1.36.E+07
Other manufacturing	1.55.E+07	1.36.E+07	5.09.E+07	1.13.E+07	5.81.E+06	8.87.E+08	4.20.E+08
Other energy	5.00.E+05	2.63.E+05	2.58.E+04	3.17.E+06	1.50.E+05	9.21.E+07	1.67.E+07
Construction	1.76.E+06	2.09.E+06	1.86.E+05	8.05.E+06	7.74.E+05	2.97.E+08	2.66.E+08
Service	1.20.E+08	1.16.E+08	4.02.E+08	1.71.E+08	4.72.E+07	1.91.E+09	1.08.E+09
Commercial	3.31.E+06	9.12.E+06	9.55.E+07	1.34.E+07	2.54.E+06	2.73.E+08	1.25.E+08
Transport	9.33.E+07	7.17.E+07	3.86.E+07	1.19.E+08	3.28.E+07	1.43.E+08	3.75.E+07
Public	1.85.E+06	2.59.E+06	2.17.E+06	4.37.E+06	8.95.E+05	1.38.E+09	8.37.E+08
Household and Service	2.13.E+07	3.29.E+07	2.66.E+08	3.44.E+07	1.10.E+07	1.06.E+08	7.75.E+07
Total	5.00.E+08	3.96.E+08	6.32.E+08	4.95.E+08	1.78.E+08	4.17.E+09	1.81.E+09

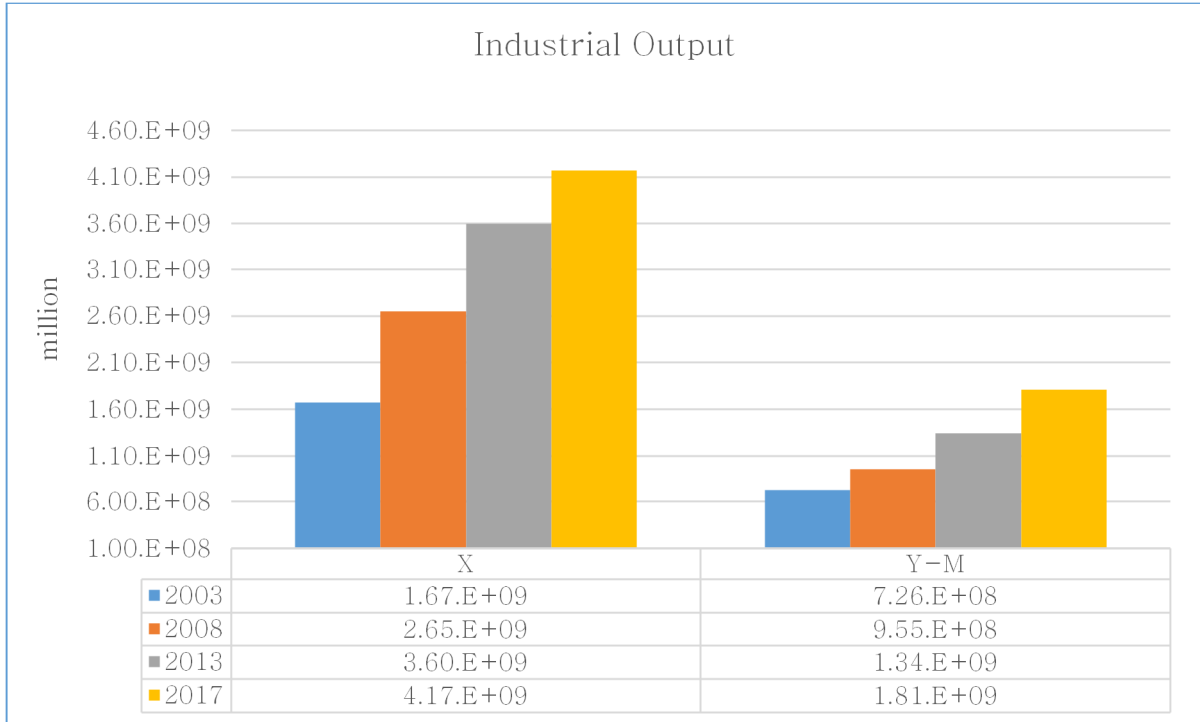


Figure 4-2 Industrial Value-added value and Total Output

이상의 자료를 정리하여 각 년도별 총 산출액과 국내 수요액인 부가가치액을 살펴보면 [Figure 4-2]와 같다. 총 산출액은 2003년 1,669조에서 2017년 4,168조로 2.5배 증가하였으며, 국내수요액인 부가가치액은 2003년 726조에서 2017년 1,812조로 2.5배 증가하였다.

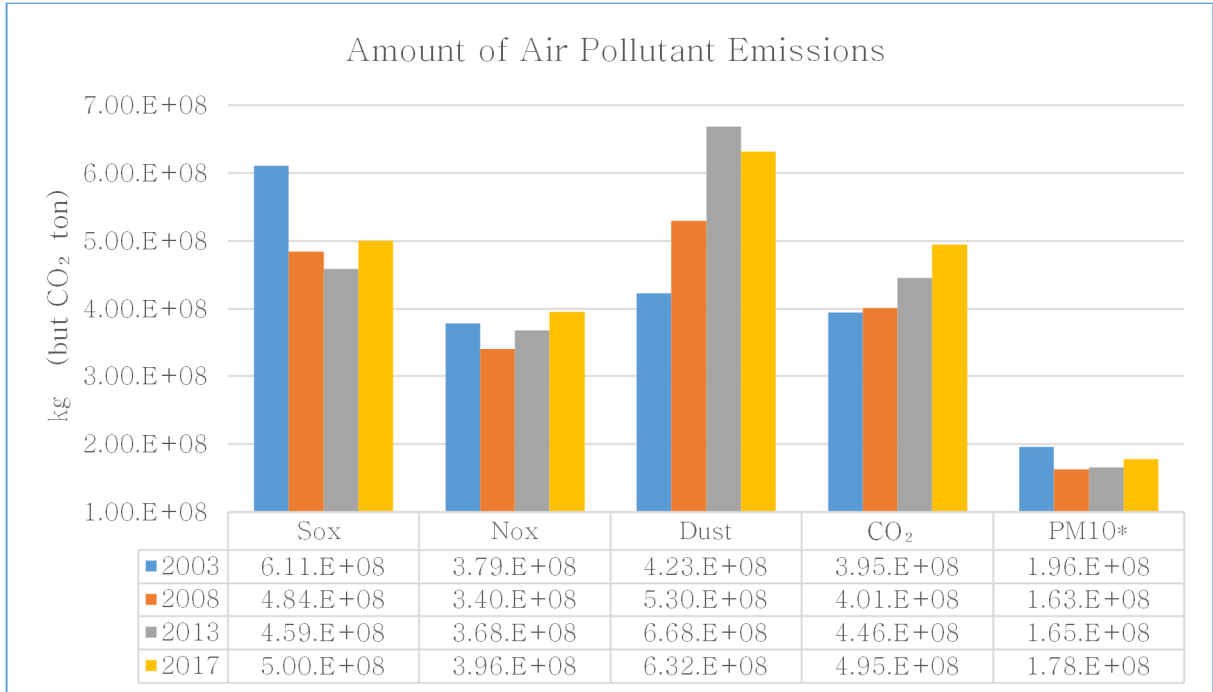


Figure 4-3 Changes of Air Pollutant Emissions from 2003 to 2017

[Figure 4-3]은 2003년부터 2017년까지 이산화탄소와 오염물질 배출량을 정리한 것이다. 그림에서와 같이 각 년도별로 오염물질 발생량을 살펴보면 황산화물, 질소산화물 그리고 황산화물과 질소산화물이 야기시키는 2차미세먼지 배출량은 감소하는 경향을 보이다가 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 이산화탄소의 경우 오염물질 발생량은 지속적으로 증가하는 경향을 보였으며, Dust의 경우 크게 증가하는 경향을 보이다가 2017년도에는 약간 감소하는 것으로 나타났다.

전체적으로 총 산출액과 부가가치액이 증가하고 있음에도 황산화물과 질소산화물 및 2차 오염물질인 미세먼지는 2003년도에 비해 2017년도가 많이 감소하였으나, 이산화탄소와 Dust는 증가하는 것으로 나타나 이산화탄소와 탄소와 Dust 발생을 줄이기 위한 많은 노력이 필요할 것으로 보인다.

4.3. 산업별 대기오염 배출계수 및 배출유발계수

4.3.1 산업별 대기오염 배출계수

앞에서 제시한 식(Eq. 14)을 이용하여 계산한 대기오염 배출계수 [unit: *kg(or ton)/million*] 를 각 년도별로 [Table 4-8], [Table 4-9], [Table 4-10], [Table 4-11]에 나타내었다.

[Table 4-8]은 2003년의 대기오염 배출계수를 정리한 것이다. 표에서와 같이 황산화물 배출계수일 경우 기초금속업, 1차금속업, 운송업에서 높았으며, 질소산화물 배출계수의 경우 도 황산화물 배출계수와 같이 기초금속업, 1차금속업, 운송업에서 높게 나타났다. 따라서, 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지도 비금속업, 1차금속업, 운송업에서 비교적 높은 배출계수값을 나타냈다. 먼지와 관련된 배출계수일 경우 가정 및 서비스업에서 월등히 높게 나왔으나, 이산화탄소와 관련된 배출계수일 경우 운송업, 비금속업, 1차금속업, 석유 및 화학업에서 높게 나왔다.

Table 4-8 Air Pollutant Emission Factors by Industry(2003)

Industry	SO _x [unit: kg/million]	NO _x [unit: kg/million]	Dust [unit: kg/million]	CO ₂ [unit: ton/million]	PM10* [unit: kg/million]
Agriculture	0.214	0.226	0.031	0.241	0.088
Mine goods	0.152	0.084	0.007	0.065	0.047
Manufacturing	0.992	0.553	0.277	0.362	0.305
Food and Beverage	0.202	0.075	0.129	0.054	0.054
Textile and leather goods	0.562	0.192	0.280	0.120	0.147
Wood and printing	0.687	0.217	0.082	0.123	0.176
Stone oil and Chemistry	0.242	0.091	0.089	0.712	0.065
Nonmetallic minerals	2.779	1.738	0.440	0.848	0.893
Primary metals	2.513	1.679	0.346	0.762	0.830
Metal goods	0.711	0.307	0.761	0.219	0.199
Other manufacturing	0.246	0.122	0.086	0.055	0.072
Other energy	0.039	0.013	0.001	0.050	0.010
Construction	0.024	0.013	0.001	0.051	0.007
Service	0.557	0.432	0.992	0.582	0.197
Commercial	0.129	0.165	0.772	0.178	0.059
Transport	1.658	1.052	0.158	1.562	0.536
Public	0.004	0.005	0.014	0.009	0.002
Household and Service	0.438	0.508	3.027	0.580	0.190
All Industries	0.662	0.405	0.389	0.352	0.211

[Table 4-9]는 2008년의 대기오염 배출계수를 정리한 것이다. 표에서와 같이 2008년의 황산화물 배출계수일 경우, 비금속업, 1차금속업, 운송업에서 높았고, 질소산화물과 관련된 배출계수일 경우 황산화물과 관련된 배출계수와 같이 비금속업, 1차금속업, 운송업에서 높게 나타났다. 따라서, 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지도 비금속업, 1차금속업, 운송업에서 비교적 높은 배출계수값을 나타냈다. 먼지와 관련된 배출계수일 경우 가정 및 서비스 업에서 월등히 높게 나왔으며 이산화탄소와 관련된 배출계수일 경우 운송업, 비금속업, 석유 및 화학업, 1차금속업에서 높게 나왔다.

Table 4-9 Air Pollutant Emission Factors by Industry (2008)

Industry	SO _x [unit: kg/million]	NO _x [unit: kg/million]	Dust [unit: kg/million]	CO ₂ [unit: ton/million]	PM10* [unit: kg/million]
Agriculture	0.131	0.135	0.013	0.142	0.053
Mine goods	0.152	0.152	0.152	0.152	0.152
Manufacturing	0.992	0.992	0.992	0.992	0.992
Food and Beverage	0.202	0.202	0.202	0.202	0.202
Textile and leather goods	0.562	0.562	0.562	0.562	0.562
Wood and printing	0.687	0.687	0.687	0.687	0.687
Stone oil and Chemistry	0.242	0.242	0.242	0.242	0.242
Nonmetallic minerals	2.779	2.779	2.779	2.779	2.779
Primary metals	2.513	2.513	2.513	2.513	2.513
Metal goods	0.711	0.711	0.711	0.711	0.711
Other manufacturing	0.246	0.246	0.246	0.246	0.246
Other energy	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039
Construction	0.024	0.024	0.024	0.024	0.024
Service	0.557	0.557	0.557	0.557	0.557
Commercial	0.129	0.129	0.129	0.129	0.129
Transport	1.658	1.658	1.658	1.658	1.658
Public	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
Household and Service	0.438	0.438	0.438	0.438	0.438
All Industries	0.319	0.212	0.316	0.196	0.105

[Table 4-10]의 2013년 대기오염 배출계수를 살펴보면, 황산화물과 관련된 배출계수일 경우 1차금속업, 기초금속업, 운송업에서 높았고 질소산화물과 관련된 배출계수일 경우 황산화물과 관련된 배출계수와 같이 1차금속업, 비금속업, 운송업에서 높게 나옴에 따라 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지도 1차금속업, 비금속업, 운송업에서 높은 배출계수값을 나타냈다. 먼지와 관련된 배출계수일 경우 가정 및 서비스업에서 월등히 높게 나왔으며 이산화탄소와 관련된 배출계수일 경우 운송업, 1차금속업, 비금속업, 석유 및 화학업에서 높게 나왔다.

Table 4-10 Air Pollutant Emission Factors by Industry(2013)

Industry	SO _x [unit: kg/million]	NO _x [unit: kg/million]	Dust [unit: kg/million]	CO ₂ [unit: ton/million]	PM10* [unit: kg/million]
Agriculture	0.084	0.102	0.009	0.111	0.037
Mine goods	0.106	0.073	0.006	0.069	0.035
Manufacturing	0.317	0.232	0.269	0.165	0.109
Food and Beverage	0.013	0.018	0.173	0.019	0.006
Textile and leather goods	0.012	0.013	0.124	0.014	0.005
Wood and printing	0.022	0.032	0.340	0.034	0.011
Stone oil and Chemistry	0.027	0.025	0.197	0.363	0.010
Nonmetallic minerals	1.087	0.752	0.480	0.381	0.364
Primary metals	1.281	0.922	0.224	0.425	0.437
Metal goods	0.073	0.081	0.580	0.074	0.031
Other manufacturing	0.020	0.016	0.037	0.012	0.007
Other energy	0.005	0.002	0.000	0.022	0.001
Construction	0.010	0.010	0.001	0.035	0.004
Service	0.232	0.229	1.008	0.316	0.092
Commercial	0.013	0.040	0.416	0.057	0.011
Transport	0.510	0.424	0.289	0.769	0.186
Public	0.002	0.002	0.003	0.004	0.001
Household and Service	0.403	0.452	3.325	0.434	0.171
All Industries	0.263	0.210	0.395	0.189	0.094

[Table 4-11]의 2017년 대기오염 배출계수를 살펴보면 황산화물과 관련된 배출계수일 경우 1차금속업, 비금속업, 운송업에서 높았고 질소산화물과 관련된 배출계수일 경우 황산화물과 관련된 배출계수와 같이 1차금속업, 비금속업, 운송업에서 높게 나옴에 따라 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지도 1차금속업, 비금속업, 운송업에서 상대적으로 높은 배출계수값을 나타냈다. 먼지의 경우 가정 및 서비스업에서 월등히 높게 나왔으며 이산화탄소의 경우 운송업, 1차금속업, 석유 및 화학업에서 높게 나왔다.

Table 4-11 Air Pollutant Emission Factors by Industry(2017)

Industry	SO _x [unit:kg/million]	NO _x [unit:kg/million]	Dust [unit:kg/million]	CO ₂ [unit:ton/million]	PM10* [unit:kg/million]
Agriculture	0.045	0.054	0.005	0.061	0.020
Mine goods	0.052	0.035	0.003	0.034	0.017
Manufacturing	0.390	0.281	0.215	0.195	0.133
Food and Beverage	0.007	0.013	0.142	0.014	0.004
Textile and leather goods	0.015	0.012	0.105	0.013	0.006
Wood and printing	0.012	0.015	0.162	0.017	0.006
Stone oil and Chemistry	0.024	0.017	0.084	0.451	0.008
Nonmetallic minerals	0.829	0.557	0.343	0.278	0.274
Primary metals	2.150	1.546	0.332	0.709	0.733
Metal goods	0.067	0.075	0.491	0.064	0.029
Other manufacturing	0.018	0.015	0.057	0.013	0.007
Other energy	0.005	0.003	0.000	0.034	0.002
Construction	0.006	0.007	0.001	0.027	0.003
Service	0.216	0.212	0.783	0.301	0.086
Commercial	0.012	0.033	0.350	0.049	0.009
Transport	0.651	0.500	0.270	0.829	0.229
Public	0.001	0.002	0.002	0.003	0.001
Household and Service	0.201	0.311	2.510	0.324	0.103
Toal	0.256	0.200	0.304	0.183	0.091

[Table 4-12]는 2003년과 2017년의 오염물질 배출계수의 변화를 나타낸 표이다. 황산화물 배출계수는 제조업(0.992→0.390)의 하락이 0.602로 가장 크게 나타났고, 그 다음으로 서비스업(0.553→0.281)의 하락이 0.341로 크게 나타났다. 질소산화물 배출계수는 제조업(0.992→0.390)의 하락이 0.271로 가장 크게 나타났고, 그 다음으로 서비스업(0.432→0.212)의 하락이 0.221로 크게 나타났다.

먼지 배출계수는 서비스업(0.992→0.783)의 하락이 0.210 로 가장 크게 나타났고, 그 다음으로 제조업 (0.277→0.215)의 하락이 0.062로 크게 나타났다. 이산화탄소 배출계수는 서비스업(0.580→0.301)의 하락이 0.281로 가장 크게 나타났고, 그 다음으로 농업(0.214→0.060)의 하락이 0.180로 크게 나타났다. 황산화물과 질소산화물이 야기시키는 미세먼지 배출계수는 제조업(0.305→0.133)의 하락이 0.171로 가장 크게 나타났고, 그 다음으로 서비스업(0.197→0.086)의 하락이 0.111 로 크게 나타났다

Table 4 -12 Difference of Air Pollutant Emission Factors by Industry between 2003 and 2017

Industry	SO _x [unit:kg/million]	NO _x [unit:kg/million]	Dust [unit:kg/million]	CO ₂ [unit:ton/million]	PM10* [unit:kg/million]
Agriculture	0.169	0.172	0.026	0.180	0.068
Mine goods	0.100	0.049	0.004	0.031	0.029
Manufacturing	0.602	0.271	0.062	0.167	0.171
Food and Beverage	0.195	0.062	-0.013	0.039	0.050
Textile and leather goods	0.546	0.180	0.175	0.107	0.142
Wood and printing	0.675	0.202	-0.080	0.107	0.171
Stone oil and Chemistry	0.218	0.074	0.005	0.261	0.057
Nonmetallic minerals	1.950	1.181	0.097	0.571	0.619
Primary metals	0.363	0.133	0.015	0.053	0.097
Metal goods	0.644	0.232	0.270	0.155	0.171
Other manufacturing	0.228	0.107	0.028	0.043	0.066
Other energy	0.034	0.010	0.001	0.015	0.008
Construction	0.018	0.006	0.001	0.024	0.005
Service	0.341	0.221	0.210	0.281	0.111
Commercial	0.117	0.132	0.421	0.129	0.050
Transport	1.006	0.552	-0.112	0.733	0.307
Public	0.003	0.003	0.012	0.006	0.001
Household and Service	0.237	0.197	0.517	0.255	0.086
Toal	0.406	0.206	0.085	0.169	0.120

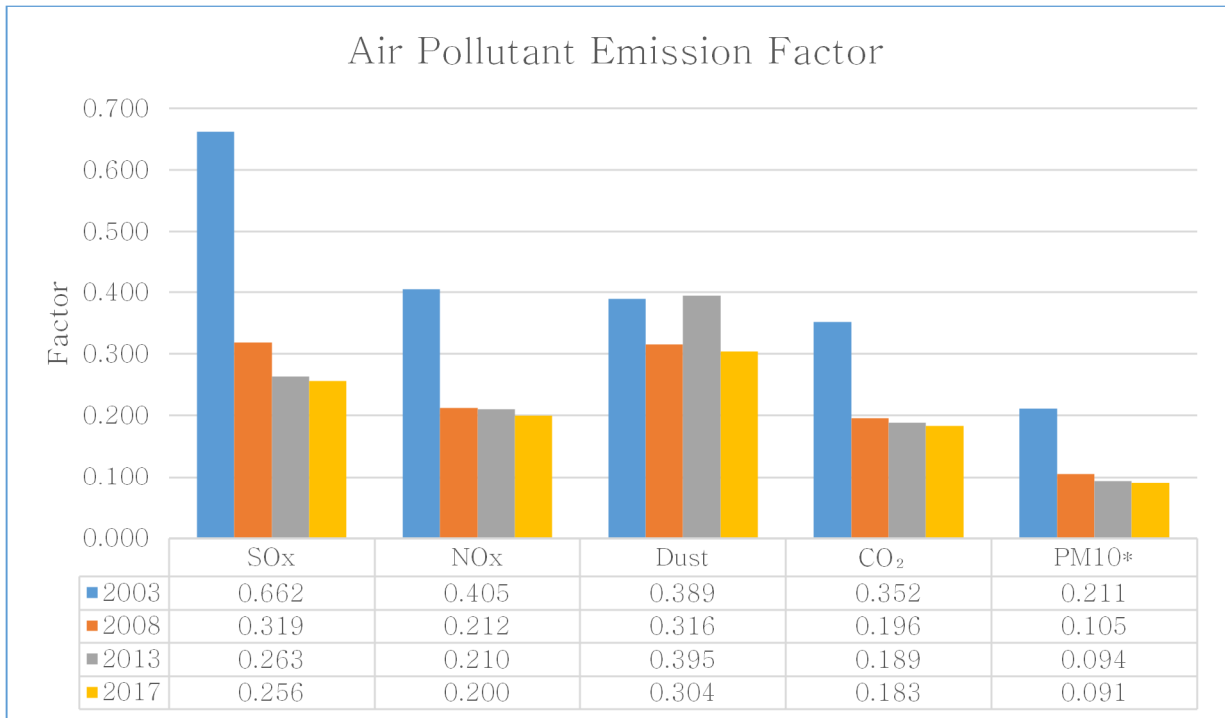


Figure 4-4 Changes of Air Pollutant Emission Factors from 2003 to 2017

[Figure 4-4]는 년도별 대기오염물질 배출계수를 정리한 것이다. 그림에서와 같이 황산화물 배출계수는 2003년부터 2017년까지 0.662→0.319→0.263→0.256으로 2003년도와 2017년도를 비교하였을 때 크게 감소하는 것을 보여주고 있다. 질소산화물 배출계수도 같은 기간동안 0.405→0.212→0.210→0.200으로 2003년도와 2017년도를 비교하였을 때 2배정도 감소하였다. 먼지 배출계수는 같은 기간동안 0.389→0.316→0.395→0.304으로 감소하였다가 증가하는 추세를 보이고 있으나, 이산화탄소 배출계수는 0.352→0.196→0.189→0.183으로 2003년도와 2017년도를 비교하였을 때 2배정도 감소하였다. 황산화물과 질소산화물이 야기시키는 2차미세먼지 배출계수는 0.211→0.105→0.094→0.091으로 2003년도와 2017년도를 비교하였을 때 2배정도 감소하였다. 전반적으로 먼지를 제외한 대기오염물질의 2003년도의 배출계수와 2017년도의 배출계수를 보면 약 2배정도 감소한 것을 볼 수 있었다. 배출계수는 산출액 백만원생산당 직접 발생하는 대기오염물질 배출량이므로, 배출계수의 하락은 에너지소비 효율의 상승 또는 산업구조의 변화에 따른 투입에너지의 대기오염 배출계수 하락을 의미한다. 따라서 동 기간 중 우리나라는 전반적으로 에너지 이용의 효율화, 대기오염물질 저배출 에너지원로의 구조전환을 일정 부분 실현한 것을 알 수 있다⁵⁸

4.3.2 산업별 대기오염물질 배출유발계수

대기오염물질 배출유발계수는 어느 산업부문업의 산출액 한 단위 생산에 따라 직접 발생하는 대기오염물질(대기오염 배출계수)뿐만 아니라 생산과급과정에서 간접적으로 발생하는 대기오염물질 배출량까지 포함하는 개념이다.

대기오염물질 배출유발계수는 생산유발계수에 산업별 대기오염 배출계수를 곱한 것으로 각 산업의 산출액 백만원당 직간접으로 발생하는 대기오염물질 총량을 말한다.

[Table 4-13]는 2003년의 대기오염물질 배출유발계수에 대하여 나타낸 표다. [Table 4-13]을 크게 6가지(농업, 광업, 제조업, 에너지업, 건설업, 서비스업)에 대하여 살펴보면, 황산화물과 관련된 배출유발계수일 경우 제조업(2.287), 에너지업(1.209) 그리고 서비스업(1.14)에서 높게 나왔으며 질소산화물과 관련된 배출유발계수일 경우 제조업(1.305)과 서비스업(0.793)에서 높게 나왔다. 그러므로 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지는 제조업(0.709)과 서비스업(0.383)에서 상대적으로 높게 나왔다. 먼지와 관련된 배출유발계수일 경우 서비스업(1.368)에서 월등히 높게 나왔으며 이산화탄소와 관련된 배출유발계수일 경우 제조업(0.916)과 서비스업(0.875)에서 높게 나왔다.

Table 4-13 Air Pollutant Emission Inducement Factors by Industry (2003)

Industry	SO _x	NO _x	Dust	CO ₂	PM10*
Agriculture	0.850	0.622	0.280	0.548	0.292
Mine goods	0.429	0.259	0.251	0.237	0.136
Manufacturing	2.287	1.305	0.880	0.916	0.709
Food and Beverage	1.084	0.654	0.467	0.548	0.343
Textile and leather goods	2.152	1.104	0.876	0.738	0.641
Wood and printing	1.858	0.847	0.522	0.593	0.531
Stone oil and Chemistry	0.724	0.383	0.356	0.988	0.218
Nonmetallic minerals	5.280	3.285	1.072	1.851	1.693
Primary metals	3.660	2.407	0.756	1.266	1.201
Metal goods	2.143	1.025	2.015	0.803	0.623
Other manufacturing	1.398	0.734	0.977	0.539	0.420
Other energy	1.209	0.691	0.555	0.565	0.375
Construction	0.398	0.242	0.218	0.287	0.126
Service	1.140	0.793	1.368	0.875	0.383
Commercial	1.143	0.775	1.238	0.597	0.380
Transport	1.908	1.214	0.392	1.735	0.617
Public	0.349	0.224	0.281	0.204	0.113
Household and Service	1.159	0.959	3.562	0.963	0.422
All Industries	1.609	0.964	0.864	0.779	0.508

[Table 4-14]는 2008년의 대기오염물질 배출유발계수에 대하여 나타낸 표다. [Table 4-14]을 크게 6가지(농업, 광업, 제조업, 에너지업, 건설업, 서비스업)에 대하여 살펴보면, 황산화물과 관련된 배출유발계수일 경우 제조업(1.316)과 건설업(0.9052)에서 높게 나왔으며, 질소산화물과 관련된 배출유발계수일 경우 제조업(0.859)과 건설업(0.6215)에서 높게 나타났다. 따라서 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지는 제조업(0.430)과 건설업(0.3025)에서 상대적으로 높게나왔다. 먼지와 관련된 배출유발계수일 경우 서비스업(1.0955)에서 월등히 높게 나왔으며 이산화탄소와 관련된 배출유발계수일 경우 제조업(0.771)에서 높게 나왔다.

2003년과 비교하여 6가지업만 살펴볼 때 대기오염물질 배출유발계수는 제조업과 에너지업 그리고 서비스업에서 많이 감소하였다. 황산화물과 질소산화물 그리고 황산화물과 질소산화물이 야기시키는 2차미세먼지와 관련된 배출유발계수는 건설업을 제외하고 증가하였으며, 먼지와 관련된 배출유발계수는 건설업, 광업 그리고 농업에서 증가하였다. 이산화탄소와 관련된 배출유발계수는 건설업과 광업에서 증가하였다. 전체적으로 2003년과 비교한 전체 배출유발계수는 감소하였다.

Table 4-14 Air Pollutant Emission Inducement Factors by Industry (2008)

Industry	SO _x	NO _x	Dust	CO ₂	PM10*
Agriculture	0.344	0.275	0.290	0.404	0.123
Mine goods	0.383	0.258	0.291	0.371	0.127
Manufacturing	1.316	0.859	0.742	0.771	0.430
Food and Beverage	0.453	0.311	0.566	0.437	0.151
Textile and leather goods	0.595	0.324	0.783	0.481	0.181
Wood and printing	0.884	0.412	0.702	0.507	0.254
Stone oil and Chemistry	0.508	0.312	0.482	1.028	0.162
Nonmetallic minerals	2.551	1.629	0.869	1.137	0.827
Primary metals	3.004	2.112	0.819	1.234	1.014
Metal goods	1.652	1.163	1.238	0.825	0.558
Other manufacturing	0.878	0.608	0.481	0.522	0.294
Other energy	0.3362	0.2180	0.2602	0.3844	0.1097
Construction	0.9052	0.6215	0.4819	0.5215	0.3025
Service	0.5708	0.4279	1.0955	0.6230	0.1983
Commercial	0.245	0.210	0.889	0.310	0.091
Transport	1.225	0.834	0.551	1.440	0.408
Public	0.158	0.115	0.269	0.159	0.054
Household and Service	0.655	0.552	2.673	0.583	0.240
All Industries	0.924	0.622	0.728	0.647	0.306

[Table 4-15]는 2013년의 대기오염물질 배출유발계수에 대하여 나타낸 표다. [Table 4-15]을 크게 6가지(농업, 광업, 제조업, 에너지업, 건설업, 서비스업)에 대하여 살펴보면, 황산화물과 관련된 배출유발계수일 경우 제조업(1.291)과 건설업(0.912)에서 높게 나왔으며 질소산화물과 관련된 배출유발계수일 경우 제조업(0.956)과 건설업(0.673)에서 높게 나왔다. 따라서, 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지도 제조업(0.473)과 건설업(0.332)에서 상대적으로 높게 나왔다. 먼지의 서비스업(0.778)에서 월등히 높게 나왔으며 다음으로 제조업(0.776)이 높게 나왔다. 이산화탄소의 경우는 제조업(0.772)과 서비스업(0.464)에서 높게 나왔다.

2008년과 비교하여 6가지업만 살펴볼 때 대기오염물질 배출유발계수는 황산화물과 이산화탄소와 관련된 배출유발계수는 건설업을 제외하고 감소하였다. 질소산화물과 황산화물과 질소산화물이 야기시키는 2차미세먼지와 관련된 배출유발계수는 농업과 서비스업에서 감소하였으며, 나머지 부문업에서는 증가하였다. 먼지와 관련된 배출유발계수는 제조업과 서비스업에서 증가하였으며, 나머지 부문에서 모두 감소하였다. 전체적으로 2008년과 비교한 전체 배출유발계수는 황산화물과 이산화탄소와 관련된 배출유발계수는 감소하였으며, 질소산화물, 먼지 그리고 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지와 관련된 배출유발계수는 증가하였다.

Table 4-15 Air Pollutant Emission Inducement Factors by Industry (2013)

Industry	SO _x	NO _x	Dust	CO ₂	PM10*
Agriculture	0.240	0.233	0.246	0.349	0.100
Mine goods	0.360	0.271	0.231	0.364	0.137
Manufacturing	1.291	0.956	0.776	0.772	0.473
Food and Beverage	0.287	0.257	0.542	0.363	0.117
Textile and leather goods	0.337	0.269	0.535	0.382	0.144
Wood and printing	0.309	0.267	0.820	0.399	0.126
Stone oil and Chemistry	0.422	0.329	0.621	0.963	0.162
Nonmetallic minerals	1.868	1.328	0.961	0.945	0.647
Primary metals	4.616	3.339	1.057	1.789	1.592
Metal goods	1.637	1.228	1.192	0.824	0.585
Other manufacturing	0.855	0.633	0.479	0.508	0.409
Other energy	0.291	0.219	0.228	0.344	0.113
Construction	0.912	0.673	0.470	0.525	0.332
Service	0.443	0.397	1.265	0.464	0.179
Commercial	0.179	0.174	0.627	0.265	0.077
Transport	0.825	0.675	0.659	1.230	0.312
Public	0.131	0.106	0.182	0.138	0.054
Household and Service	0.636	0.633	3.591	0.223	0.271
All Industries	0.869	0.665	0.778	0.601	0.324

[Table 4-16]는 2017년의 대기오염물질 배출유발계수에 대하여 나타낸 표다. [Table 4-16]을 크게 6가지(농업, 광업, 제조업, 에너지업, 건설업, 서비스업)에 대하여 살펴보면, 전체적으로 과거 년도와 비슷한 양상을 보여주었으며, 제조업과 서비스업의 대기오염 배출유발계수가 높게 나타났다.

Table 4-16 Air Pollutant Emission Inducement Factors by Industry (2017)

Industry	SO _x	NO _x	Dust	CO ₂	PM10*
Agriculture	0.145	0.138	0.164	0.242	0.057
Mine goods	0.276	0.208	0.195	0.317	0.096
Manufacturing	0.923	0.676	0.503	0.591	0.317
Food and Beverage	0.184	0.162	0.373	0.258	0.069
Textile and leather goods	0.272	0.211	0.396	0.335	0.096
Wood and printing	0.199	0.165	0.424	0.290	0.072
Stone oil and Chemistry	0.239	0.180	0.287	0.855	0.083
Nonmetallic minerals	1.307	0.907	0.635	0.709	0.439
Primary metals	3.637	2.624	0.722	1.382	1.242
Metal goods	1.032	0.782	0.859	0.551	0.360
Other manufacturing	0.510	0.380	0.331	0.350	0.177
Other energy	0.184	0.139	0.145	0.266	0.064
Construction	0.498	0.367	0.260	0.330	0.172
Service	0.365	0.330	0.963	0.519	0.139
Commercial	0.131	0.129	0.489	0.226	0.052
Transport	0.904	0.698	0.535	1.234	0.318
Public	0.082	0.067	0.116	0.116	0.030
Household and Service	0.343	0.424	2.713	0.500	0.154
All Industries	0.621	0.474	0.540	0.497	0.218

[Table 4-17]는 2003년과 2017년의 오염물질 배출유발계수의 변화를 나타낸 표이다. 황산화물 배출유발계수는 제조업(2.287→0.923)의 하락이 1.365로 가장 크게 나타났고, 그 다음으로 에너지업(1.209→0.184)의 하락이 1.024로 크게 나타났으며, 서비스업(1.140→0.365)의 하락이 0.775로 나타났다. 하지만 건설업(0.398→0.498)의 상승이 0.100로 오히려 증가하였다. 질소산화물 배출유발계수는 제조업(1.305→0.676)의 하락이 0.628로 가장 크게 나타났고, 그 다음으로 에너지업(0.691→0.139)의 하락이 0.553로 크게 나타났으며, 농업(0.622→0.138)의 하락이 0.485로 나타났다. 황산화물 배출유발계수와 마찬가지로 건설업(0.242→0.367)의 상승이 0.125로 나타났다. 먼지 배출유발계수는 에너지업(0.555→0.145)의 하락이 0.411로 가장 크게 나타났고, 그 다음으로 서비스업(1.368→0.963)의 하락이 0.405로 크게 나타났으며, 제조업(0.880→0.503)의 하락이 0.377로 나타났다. 또한 건설업(0.218→0.260)의 상승이 0.042로 나타났다.

이산화탄소 배출유발계수는 서비스업(0.875→0.519)의 하락이 0.356로 가장 크게 나타났고, 그 다음으로 제조업(0.916→0.591)의 하락이 0.325로 크게 나타났다. 그러나 광업(0.398→0.498)의 상승이 0.080로 크게 나타났으며, 건설업(0.287→0.330)의 상승이 0.043로 나타났다. 황산화물과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지 배출유발계수는 제조업(0.709→0.317)의 하락이 0.391로 가장 크게 나타났고 그 다음으로 에너지업(0.375→0.064)의 하락이 0.311로 크게 나타났으며, 건설업(0.172→0.126)의 상승이 0.045로 나타났다.

Table 4 -17 Differences of Air Pollutant Emission Inducement Factors between 2003 and 2017

Industry	SO _x	NO _x	Dust	CO ₂	PM10*
Agriculture	0.704	0.485	0.115	0.306	0.236
Mine goods	0.153	0.051	0.055	-0.080	0.040
Manufacturing	1.365	0.628	0.377	0.325	0.391
Food and Beverage	0.900	0.492	0.094	0.290	0.274
Textile and leather goods	1.880	0.893	0.481	0.403	0.545
Wood and printing	1.658	0.683	0.098	0.303	0.458
Stone oil and Chemistry	0.485	0.203	0.069	0.133	0.135
Nonmetallic minerals	3.973	2.378	0.437	1.142	1.254
Primary metals	0.024	-0.218	0.034	-0.116	-0.041
Metal goods	1.111	0.244	1.156	0.252	0.262
Other manufacturing	0.889	0.354	0.646	0.189	0.243
Other energy	1.024	0.553	0.411	0.299	0.311
Construction	-0.100	-0.125	-0.042	-0.043	-0.045
Service	0.775	0.463	0.405	0.356	0.245
Commercial	1.012	0.646	0.749	0.371	0.328
Transport	1.004	0.516	-0.143	0.502	0.299
Public	0.267	0.157	0.165	0.088	0.084
Household and Service	0.816	0.535	0.848	0.464	0.267
All Industries	0.987	0.490	0.323	0.281	0.291

4.4 산업별 대기오염물질 배출량 변화 요인 분석

산업별 대기오염물질 배출량의 변화요인을 파악하기 위하여 2003년과 2017년 사이의 오염물질 배출량을 차이를 구조분해하여 공급측 요인과 수요측요인의 기여율을 파악하였다. 오염물질 배출량의 변화요인분석을 위한 $\Delta W = C_2\Delta X + \Delta C X_1$ (Eq.16)을 계산하고자 ΔC 와 ΔX 로 정리한 것을 [Table 4-18]에 정리하였다..

Table 4-18 Changes of Emission Inducement Coefficients and Output between 2003 and 2017

Industry	ΔSO_x [unit: kg/million]	ΔNO_x [unit: kg/million]	$\Delta Dust$ [unit: kg/million]	ΔCO_2 [unit: ton/million]	ΔPM_{10}^* [unit: kg/million]	ΔX [unit: million]
Agriculture	-0.169	-0.172	-0.026	-0.180	-0.068	2.24E+07
Mine goods	-0.100	-0.049	-0.004	-0.031	-0.029	1.25E+06
Food and Beverage	-0.195	-0.062	0.013	-0.039	-0.050	7.07E+07
Textile and leather goods	-0.546	-0.180	-0.175	-0.107	-0.142	2.77E+07
Wood and printing	-0.675	-0.202	0.080	-0.107	-0.171	1.34E+07
Stone oil and Chemistry	-0.218	-0.074	-0.005	-0.261	-0.057	2.44E+08
Nonmetallic minerals	-1.950	-1.181	-0.097	-0.571	-0.619	2.10E+07
Primary metals	-0.363	-0.133	-0.015	-0.053	-0.097	6.53E+07
Metal goods	-0.644	-0.232	-0.270	-0.155	-0.171	7.42E+07
Other manufacturing	-0.228	-0.107	-0.028	-0.043	-0.066	5.57E+08
Other energy	-0.034	-0.010	-0.001	-0.015	-0.008	5.30E+07
Construction	-0.018	-0.006	-0.001	-0.024	-0.005	1.61E+08
Commercial	-0.117	-0.132	-0.421	-0.129	-0.050	1.93E+08
Transport	-1.006	-0.552	0.112	-0.733	-0.307	8.06E+07
Public	-0.003	-0.003	-0.012	-0.006	-0.001	8.83E+08
Household and Service	-0.237	-0.197	-0.517	-0.255	-0.086	3.26E+07

산업별로는 2003년과 2017년을 비교하였을 때 대기오염물질 배출유발계수는 모든 산업에서 감소하는 경향을 보였다. 먼지 배출계수의 경우 운송업과 목재 및 인쇄업에서 배출유발계수가 증가하였고, 나머지 업종에서는 감소하였다. ΔX 는 2017년도에서 2003년을 뺀 값으로, 모든 부문에서 총 산출액이 증가하였다.

[Table 4-19]에는 산출량의 변화에 대한 기여율인 $C_2\Delta X$ 을 나타내었다. 표에서와 같이 모든 산업분야에서 수요량의 증가에 의한 배출량은 증가한 것으로 나타났다,

Table 4-19 Air Pollutants Emissions Changes Contributed by Total Out-put Change ($C_2\Delta X$)

Industry	SO _x [unit: kg]	NO _x [unit: kg]	Dust [unit: kg]	CO ₂ [unit: ton]	PM10* [unit: kg]
Agriculture	1.01E+06	1.21E+06	1.17E+05	1.49E+06	4.46E+05
Mine goods	6.56E+04	4.38E+04	3.63E+03	4.69E+04	2.17E+04
Food and Beverage	4.66E+05	9.27E+05	1.01E+07	1.27E+06	2.83E+05
Textile and leather goods	4.28E+05	3.40E+05	2.92E+06	3.17E+05	1.53E+05
Wood and printing	1.64E+05	2.04E+05	2.16E+06	2.64E+05	7.39E+04
Stone oil and Chemistry	5.86E+06	4.03E+06	2.05E+07	1.08E+08	1.96E+06
Nonmetallic minerals	1.74E+07	1.17E+07	7.19E+06	6.98E+06	5.75E+06
Primary metals	1.40E+08	1.01E+08	2.16E+07	4.42E+07	4.79E+07
Metal goods	4.98E+06	5.58E+06	3.65E+07	5.20E+06	2.12E+06
Other manufacturing	9.76E+06	8.52E+06	3.20E+07	6.40E+06	3.64E+06
Other energy	2.88E+05	1.51E+05	1.48E+04	1.66E+06	8.65E+04
Construction	9.53E+05	1.14E+06	1.01E+05	6.08E+06	4.20E+05
Commercial	2.34E+06	6.45E+06	6.75E+07	1.11E+07	1.80E+06
Transport	5.25E+07	4.03E+07	2.17E+07	7.22E+07	1.84E+07
Public	1.18E+06	1.65E+06	1.39E+06	3.93E+06	5.72E+05
Household and Service	6.54E+06	1.01E+07	8.18E+07	1.45E+07	3.37E+06

[Table 4-20]은 산업구조와 에너지효율화 등에 따른 ΔCX_1 을 나타낸 것이다. 표에서의 같이 산업의 고도화 및 에너지 효율화 등으로 배출유발계수가 감소하여 총 배출량은 감소한 것을 확인할 수 있다.

Table 4-20 Air Pollutant Change Contributed by Industrial Structure and Energy Efficiency (ΔCX_1)

Industry	SO _x [unit: kg]	NO _x [unit: kg]	Dust [unit: kg]	CO ₂ [unit: ton]	PM10* [unit: kg]
Agriculture	-6.60.E+06	-6.72.E+06	-1.02.E+06	-7.02.E+06	-2.67.E+06
Mine goods	-3.48.E+05	-1.71.E+05	-1.33.E+04	-1.09.E+05	-1.02.E+05
Food and Beverage	-1.15.E+07	-3.64.E+06	7.85.E+05	-2.32.E+06	-2.94.E+06
Textile and leather goods	-2.35.E+07	-7.75.E+06	-7.52.E+06	-4.61.E+06	-6.09.E+06
Wood and printing	-2.14.E+07	-6.42.E+06	2.54.E+06	-3.39.E+06	-5.42.E+06
Stone oil and Chemistry	-3.15.E+07	-1.08.E+07	-7.01.E+05	-3.77.E+07	-8.24.E+06
Nonmetallic minerals	-4.44.E+07	-2.69.E+07	-2.21.E+06	-1.30.E+07	-1.41.E+07
Primary metals	-2.77.E+07	-1.01.E+07	-1.11.E+06	-4.02.E+06	-7.38.E+06
Metal goods	-1.81.E+07	-6.54.E+06	-7.60.E+06	-4.36.E+06	-4.82.E+06
Other manufacturing	-7.54.E+07	-3.52.E+07	-9.41.E+06	-1.41.E+07	-2.17.E+07
Other energy	-1.32.E+06	-3.79.E+05	-4.61.E+04	-6.04.E+05	-3.30.E+05
Construction	-2.43.E+06	-8.72.E+05	-8.43.E+04	-3.30.E+06	-6.45.E+05
Commercial	-9.31.E+06	-1.05.E+07	-3.37.E+07	-1.03.E+07	-3.98.E+06
Transport	-6.31.E+07	-3.46.E+07	7.02.E+06	-4.59.E+07	-1.92.E+07
Public	-1.25.E+06	-1.42.E+06	-6.07.E+06	-3.01.E+06	-5.36.E+05
Household and Service	-1.74.E+07	-1.44.E+07	-3.79.E+07	-1.87.E+07	-6.33.E+06

[Table 4-21]에는 [Table 4-19]와 [Table 4-20]을 더한 값인 $C_2\Delta X + \Delta C X_1$ 인 총 배출량을 나타낸 것이다

Table 4-21 Changes of Air Pollutants Emission between 2003 and 2017

Industry	SO _x [unit: kg]	NO _x [unit: kg]	Dust [unit: kg]	CO ₂ [unit: ton]	PM10* [unit: kg]
Agriculture	-5.59.E+06	-5.51.E+06	-9.04.E+05	-5.65.E+06	-2.22.E+06
Mine goods	-2.83.E+05	-1.27.E+05	-9.69.E+03	-6.61.E+04	-8.04.E+04
Manufacturing	-7.41.E+07	2.49.E+07	1.08.E+08	9.19.E+07	-8.85.E+06
Food and Beverage	-1.10.E+07	-2.71.E+06	1.08.E+07	-1.30.E+06	-2.66.E+06
Textile and leather goods	-2.31.E+07	-7.41.E+06	-4.61.E+06	-4.26.E+06	-5.94.E+06
Wood and printing	-2.13.E+07	-6.22.E+06	4.71.E+06	-3.17.E+06	-5.35.E+06
Stone oil and Chemistry	-2.56.E+07	-6.72.E+06	1.98.E+07	7.21.E+07	-6.28.E+06
Nonmetallic minerals	-2.71.E+07	-1.52.E+07	4.98.E+06	-7.18.E+06	-8.34.E+06
Primary metals	1.13.E+08	9.08.E+07	2.05.E+07	4.23.E+07	4.05.E+07
Metal goods	-1.32.E+07	-9.62.E+05	2.89.E+07	4.13.E+05	-2.70.E+06
Other manufacturing	-6.56.E+07	-2.67.E+07	2.25.E+07	-6.97.E+06	-1.81.E+07
Other energy	-1.03.E+06	-2.27.E+05	-3.13.E+04	1.22.E+06	-2.44.E+05
Construction	-1.48.E+06	2.65.E+05	1.64.E+04	1.06.E+06	-2.25.E+05
Service	-2.84.E+07	-2.42.E+06	1.02.E+08	1.17.E+07	-5.91.E+06
Commercial	-6.97.E+06	-4.09.E+06	3.39.E+07	-8.20.E+05	-2.18.E+06
Transport	-1.05.E+07	5.75.E+06	2.88.E+07	2.09.E+07	-7.95.E+05
Public	-7.07.E+04	2.34.E+05	-4.68.E+06	-2.16.E+05	3.57.E+04
Household and Service	-1.08.E+07	-4.32.E+06	4.39.E+07	-8.17.E+06	-2.96.E+06
Total	-1.11.E+08	1.68.E+07	2.08.E+08	1.00.E+08	-1.75.E+07

위 표에 나타난 바와같이 농업, 광업에서 대기오염물질 발생량은 모두 감소하였고, 제조업과 건설업의 경우 황산화물 발생량과 황산화물과 질소산화물이 야기시키는 2차미세먼지 발생량이 감소하였고 질소산화물과 먼지 그리고 이산화탄소의 발생량은 증가하였다. 에너지업의 경우 황산화물, 질소산화물, 먼지 그리고 황산화물과 질산화물이 야기시키는 2차미세먼지의 발생량은 감소되었으나 이산화탄소의 발생량은 증가하였다. 서비스업의 경우 황산화물, 질소산화물 그리고 황산화물과 질산화물이 야기시키는 2차미세먼지의 발생량은 감소하였으나, 먼지와 이산화탄소 발생량은 증가하였다. 전체적으로 황산화물과 황산화물과 질산화물이 야기시키는 2차미세먼지의 양은 감소되었지만 질소산화물, 먼지 그리고 이산화탄소 발생량은 증가한 것으로 나타났다.

이 자료를 이용하여 2003년부터 2017년까지 배출량의 변화에 미치는 영향을 산업별로 파악하고자, 총 수요량의 변화에 따른 오염물질 변화량(C₂ΔX) [Table 4-19]의 총배출량변화에 대한기여율을 계산하였다[Table 4-22].

Table 4-22 Contribution of C₂ΔX to Air Pollutants Emission Change

Industry	SO _x	NO _x	Dust	CO ₂	PM10*
Agriculture	18.0%	22.0%	12.9%	24.2%	20.1%
Mine goods	23.2%	34.5%	37.5%	64.2%	26.9%
Food and Beverage	4.2%	34.1%	92.8%	78.5%	10.7%
Textile and leather goods	1.9%	4.6%	63.3%	8.2%	2.6%
Wood and printing	0.8%	3.3%	45.9%	7.0%	1.4%
Stone oil and Chemistry	22.9%	60.0%	103.5%	152.3%	31.2%
Nonmetallic minerals	64.2%	76.6%	144.4%	81.1%	69.0%
Primary metals	124.5%	111.2%	105.4%	109.5%	118.2%
Metal goods	37.8%	579.4%	126.3%	1155.2%	78.3%
Other manufacturing	14.9%	32.0%	141.7%	101.8%	20.2%
Other energy	27.9%	66.5%	47.4%	149.5%	35.5%
Construction	64.4%	429.2%	614.5%	410.1%	186.2%
Commercial	33.6%	157.6%	199.4%	1153.8%	82.4%
Transport	498.0%	701.0%	75.6%	319.5%	2319.5%
Public	1670.4%	706.3%	29.6%	1292.8%	1599.5%
Household and Service	60.5%	234.3%	186.4%	129.4%	113.7%

산업구조와 에너지 효율화에 의한 오염물질 배출변화(ΔCX₁)는 [Table 4-20]를 이용하여 기여율을 계산하였다[Table 4-23].

Table 4-23 Contribution of ΔCX₁ to Air Pollutants Emission Change

Industry	SO _x	NO _x	Dust	CO ₂	PM10*
Agriculture	-118.0%	-122.0%	-112.9%	-124.2%	-120.1%
Mine goods	-123.2%	-134.5%	-137.5%	-164.2%	-126.9%
Food and Beverage	-104.2%	-134.1%	7.2%	-178.5%	-110.7%
Textile and leather goods	-101.9%	-104.6%	-163.3%	-108.2%	-102.6%
Wood and printing	-100.8%	-103.3%	54.1%	-107.0%	-101.4%
Stone oil and Chemistry	-122.9%	-160.0%	-3.5%	-52.3%	-131.2%
Nonmetallic minerals	-164.2%	-176.6%	-44.4%	-181.1%	-169.0%
Primary metals	-24.5%	-11.2%	-5.4%	-9.5%	-18.2%
Metal goods	-137.8%	-679.4%	-26.3%	-1055.2%	-178.3%
Other manufacturing	-114.9%	-132.0%	-41.7%	-201.8%	-120.2%
Other energy	-127.9%	-166.5%	-147.4%	-49.5%	-135.5%
Construction	-164.4%	-329.2%	-514.5%	-310.1%	-286.2%
Commercial	-133.6%	-257.6%	-99.4%	-1253.8%	-182.4%
Transport	-598.0%	-601.0%	24.4%	-219.5%	-2419.5%
Public	-1770.4%	-606.3%	-129.6%	-1392.8%	-1499.5%
Household and Service	-160.5%	-334.3%	-86.4%	-229.4%	-213.7%

[Table 4-22]과 [Table 4-23]를 간단히 살펴보면 1차금속업의 황산화물 발생량 변화량을 각각 살펴보면 $C_2\Delta X$ 에 의한 기여도가 -24.5% 이었으며, ΔCX_1 에 의한 기여도가 124.5% 로 황산화물 발생량이 증가하였다. 공공부문의 황산화물 발생량 기여도를 각각 살펴보면 $C_2\Delta X$ 에 의한 기여도가 1670.4% 이었으며, ΔCX_1 에 의한 기여도가 -1770.4% 로 황산화물 발생량이 감소하였다. 총 산출액의 증가도 많았지만 기술의 발전이 많아 황산화물 발생량이 감소했다. 도소매서비스의 질소산화물 발생량 변화량을 각각 살펴보면 $C_2\Delta X$ 에 의한 기여도가 157.6% 이었으며, ΔCX_1 에 의한 기여도가 257.6% 로 전체적으로 질소산화물 발생량이 감소하였다. 공공부문의 질소산화물 발생량 기여도를 각각 살펴보면, $C_2\Delta X$ 에 의한 기여도가 706.3% 이었으며, ΔCX_1 에 의한 기여도가 -606.3% 로 전체적으로 질소산화물 발생량이 증가하였다. 기술의 발전이 많았지만 총 산출액의 증가도 많아 질소산화물 발생량이 증가했다. 목재 및 인쇄업의 먼지 발생량 변화를 각각 살펴보면 $C_2\Delta X$ 에 의한 기여도가 63.3% 이었으며, ΔCX_1 에 의한 기여도가 -163.3% 로 전체적으로 먼지 발생량이 감소하였다. 도매서비스의 이산화탄소 발생량 기여도를 각각 살펴보면 $C_2\Delta X$ 에 의한 기여도가 1153.8% 이었으며, ΔCX_1 에 의한 기여도가 -1253.8% 로 전체적으로 이산화탄소 발생량이 감소하였다. 도소매서비스의 황산화물과 질소산화물이 야기시키는 2차미세먼지 발생량 기여도를 각각 살펴보면 $C_2\Delta X$ 에 의한 기여도가 82.4% 이었으며, ΔCX_1 에 의한 기여도가 -182.4% 로 황산화물과 질소산화물이 야기시키는 2차미세먼지 발생량이 감소하였다.

ΔCX_1 에 의한 기여도가 증가하는 방향(+)이면서 $C_2\Delta X$ 에 의한 기여도가 증가하는 방향(+)의 경우와 $C_2\Delta X$ 에 의한 기여도가 감소하는 방향(+)의 경우 기술의 발전과 같은 대기오염 배출계수를 줄이려고 하는 정책을 수립하는 것이 대기오염물질 배출량을 줄일 수 있다고 판단된다. 또한 이런 경우 ΔCX_1 의 기여도보다 $C_2\Delta X$ 의 기여도가 더 높게 증가하는 경우 총 산출액에 대한 정책도 필요하다고 판단된다.

ΔCX_1 에 의한 기여도가 감소는 방향(-)이면서 $C_2\Delta X$ 에 의한 기여도가 증가하는 방향(+)의 경우와 $C_2\Delta X$ 에 의한 기여도가 감소하는 방향(+)의 경우 기술의 발전과 같은 대기오염 배출계수를 줄이려고 하는 방법보다는 총 산출액을 줄이는 정책을 내세우는 것이 더욱 빠르게 대기오염물질 배출량을 줄일 수 있다고 판단된다.

4.5 연구의 한계 및 추후 연구과제

본 연구의 한계점은 앞서 밝혔듯이 환경산업연관표를 작성하는 과정에서 산업연관표상의 업종수(2003년과 2008년 28개, 2013년 30개, 2017년 33개)와 에너지벨런스 업종수(21개)가 일치하지 않아, 산업분야를 주관적으로 통합하므로써, 산업분야의 객관적인 분류가 미흡한 부분이 있다.

또한, 대기오염 배출계수가 있는 에너지원 (이산화탄소의 경우 20개, 황산화물, 질소산화물, 먼지 그리고 황산화물과 질소산화물이 야기시키는 2차미세먼지의 경우 9개)에 대하여만 다루었기 때문에 모든 오염물질의 배출이 감안되지 못하였으며, 온실가스의 경우는 이산화탄소만을 대상으로 한 한계가 있다.

특히, 본 연구에서 오염물질 배출량은 배출계수에 기반을 두었으므로 본 연구에서의 배출량은 경제 산업활동 전반에 의한 오염물질과 이산화탄소 배출 추정량이라는 한계점을 가지고 있다.

이상과 같이 본 연구는 활용 가능한 데이터를 중심으로 산업연관표의 가정과 에너지사용량 및 에너지 사용에 의한 배출계수에 기반한 환경산업연관 분석을 하였기 때문에 대기오염물질과 온실가스에 대한 정확한 실측값과는 차이가 있는 한계를 가지고 있다.

하지만 연구의 결과는 앞으로 지자체가 기후변화협약과 미세먼지 저감 대책에 대비하여 정책을 입안하는데 있어서 경제전반에 걸친 수요와 공급의 측면에 검토할 필요성을 제시하였고, 궁극적으로 산업이 환경친화적으로 탈바꿈하는데 필요한 과학적 접근법으로 환경산업연관분석기법을 정책적 측면에서 기여할 것으로 판단된다.

그러나, 실질적인 정책제안을 위한 실효성있는 환경산업연관 분석을 위해서는 에너지분야, 경제분야 및 환경분야에서 사용하는 산업분야의 체계적인 조정과 통합을 통한 산업재분류, 모든 에너지원에 대한 오염배출계수 및 이산화탄소 배출계수 확보, 황산화물과 질소산화물의 미세먼지(PM2.5)에 대한 환산계수 등이 지속적으로 보완되어야 한다.

특히, 최근에 도시나 지역차원의 기후변화 및 미세먼지 대책에 대한 수요가 높아지고 있어, 지역의 기후변화 대응 및 대기오염대책 수립을 위한 환경산업연관분석에 대한 연구도 필요할 것으로 기대된다.

제 5 장 결론

본 연구는 산업연관분석 기법을 이용하여 2003~2017까지 경시적으로 산업별 이산화탄소와 오염물질 배출 특성을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

우리나라의 전체 에너지사용량은 2003년 164,550 TOE에서 2017년 34.6% 증가한 221,448 TOE였다. 총 산출액은 2003년 1,669조억원이었으며, 2017년에 149.7% 증가한 4,168조억원이었다. 황산화물(SO_x) 배출량은 2003년에 610,573.4ton 이었으며 2017년에는 18.1% 감소한 499,918.6ton 배출되었다. 질소산화물(NO_x) 배출량은 2003년에 379,513.0ton 이었으며 2017년에는 4.2% 증가한 396,301.1ton 배출되었다. 황산화물질과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지(PM10) 배출량은 2003년에 195,706.7ton이었으며 2017년에는 8.9% 감소한 178,207.8ton 배출되었다. 먼지(Dust) 배출량은 2003년에 424,023.2ton이었으며 2017년에는 49.0% 증가한 631,662.8ton 배출되었다. 이산화탄소 배출량(CO_2) 은 2003년에 389,622.1천ton 이었으며 2017년에는 25.4% 증가한 486,543.2천ton 배출되었다.

2003년과 2017년도 대기 오염물질 발생량을 비교해 보았을 때 2017년에는 황산화물(SO_x)의 경우 110,866.4ton이 감소되어 배출되었고 황산화물질과 질소산화물질이 야기시키는 2차미세먼지(PM10)의 배출은 17,529.4ton이 감소되었다. 그러나, 질소산화물(NO_x)의 경우 16,834.3ton이 증가되었으며 이산화탄소(CO_2)의 경우 100,190.8천ton이 증가되어 배출되었고 먼지(Dust)의 경우 208,489.3ton이 증가되었다. 따라서, 이산화탄소, 질소산화물 그리고 먼지의 실질적 감축을 위한 노력이 매우 필요함을 확인하였다. 그러나, 산업별 이산화탄소 및 오염물질 배출계수와 배출유발계수는 경제발전에 의한 총 산출량은 크게 증가하였음에도 불구하고, 이산화탄소와 오염물질 배출량이 상대적으로 적게 증가하여 전반적으로 감소하는 것으로 나타났다. 그러나, 산업별로 배출계수와 배출유발계수가 상당한 차이가 있으므로, 이산화탄소 및 오염물질 감축 대책 수립시 이를 고려한 경제적 감축의 수립이 필요하다.

특히, 이산화탄소와 오염물질 배출에 영향을 미치는 수요요인과 공급측 요인의 분석결과 경제발전에 의한 수요요인은 모두 배출증가에 기여를 하고, 산업구조 및 에너지 효율화 등에 의한 공급요인은 배출감소에 기여를 하는 것으로 나타났다. 따라서, 기후변화 및 미세먼지 대책 등을 수립시, 경제발전에 제한이 적도록 산업별 수요요인과 공급요인의 기여율을 고려한 정책수립이 필요함을 확인하였다.

참고문헌

1. 변장섭, 광주·전남지역의 산업별 CO₂ 배출 구조 분석, (2009).
2. 기후변화홍보포털, 2019.12.09.
URL: <https://www.gihoo.or.kr/portal/kr/measure/international.do>
3. 관계부처 합동, 2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안, (2018).
4. 정영선, 주거건물의 전과정에 따른 이산화탄소 배출량 예측모델에 관한 연구, (2010).
5. 주현수 · 이희선 · 고은영, 온실가스 감축을 위한 폐기물 관리방안 연구 - 폐기물 부문의 온실가스 전과정 평가-, 한국환경정책·평가연구원 제17-254호, (2010).
6. O'Hayre, Ryan P · Colella, Whitney · Prinz, F. B · 차석원, 연료전지개론(Third Edition), 한티미디어, (2017)..
7. 권순호, [환경문제 특집] ①국제 사회의 기후변화 대응, 어디까지 왔나?, 4차산업 시대의 글로벌 경제 미디어 데일리비즈온, 2020.01.07.
URL: www.dailybizon.com/news/articleView.html?idxno=11523
8. 대기환경보전법(법률 제 16266호), 2019.07.08.
9. 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법(법률 제 15718호), 2019.07.09.
10. 환경부, 바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭐까? (2016).
11. 서울대학교병원 건강칼럼, 미세먼지의 위험성과 예방법은?, 2019.08.12.
URL:<https://terms.naver.com/entry.nhn?docId=2108289&cid=63166&categoryId=51020>
12. 서울시 미세먼지정보센터, 2019.09.02,
URL: <https://bluesky.seoul.go.kr/finedust/common-sense/page/9?article=775.%20No%20Title>.
13. 위키백과, 파리 협정(2015년), 2020.01.04.
URL: <http://web.archive.org/web/20161104205748/http://abcnews.go.com/US/wireStory/web/20161104205748/http://abcnews.go.com/US/wireStory/paris-climate-agreement-international-law-43293508>
14. 국가온실가스 배출량 종합정보 시스템, 2019.12.01.
URL: <https://netis.kemco.or.kr/netis/main/main.aspx>

15. 김토일, '미세먼지 원인' 석탄 1인당 소비량 1.6TOE...OECD 국가 2위, 국가기간뉴스 통신사 연합뉴스, 2018.04.16송고,
URL: <https://lonlonglife.tistory.com/281>
16. 에너지관리공단, 2015 한국 에너지 핸드북 - 대한민국 에너지편람, (2015).
17. 국가 미세먼지 정보센터 국가 대기오염물질 배출량 서비스, 2020.01.04.
URL: <https://airemiss.nier.go.kr/mbshome/mbs/airemiss/index.do>
18. 한국은행 경제교육, 산업연관표는 산업간 상호 연관관계를 나타내는 표, 2019.03.07,
URL: [https://www.bok.or.kr/portal/bbs/B0000219/view.do?nttId=236192&menuNo=200148&pageIndex=.](https://www.bok.or.kr/portal/bbs/B0000219/view.do?nttId=236192&menuNo=200148&pageIndex=)
19. 한국은행, 산업연관분석해설, (2014).
20. 신창식, 산업연관표를 이용한 경제분석, 한국은행 경제통계국, (2004).
21. 한국은행, 2009년 산업연관표, (2011).
22. 이춘근, 지역산업연관분석론, 학문사(학문출판주식회사), (2006).
23. 한국은행, 2014 산업연관표, (2016)
24. 홍동표·정시연, 산업연관 분석을 이용한 정보통신산업의 국민경제적 기여도 분석(1985~1995) 주요 건축자재의 에너지소비와 이산화탄소 배출원단위 산정 연구, 정보통신정책 ISSUE 제10권 12호 통권 106호, (1998).
25. 박창귀, 하이브리드 산업연관표를 이용한 우리나라 CO₂ 배출 구조 분석. 환경정책연구 8권1호, 49-72, (2009).
26. Wassily Leontief, **Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach**, The MIT Press Stable, Vol. 52, No. 3(1970), 262-271,
URL: <http://www.jstor.org/stable/1926294>
27. 황성일·손병암·지혜명, 중국의 산업별 대기오염물질 배출량 변화에 대한 경제적 요인 분해: 환경 I-O모형 및 MRCI기법, 국제지역연구 제12권 제1호, 531-551, (2008).
28. Ronald E. Miller and Peter D. Blair Miller, **Input-Output Analysis Foundations and Extensions (Second Edition)**, National Academy of Sciences, Washington DC, (2009).
29. 김안제·이정전, 環境管理시스템開發에 關한 研究 實用化를 위한 模型: 「레온티프」 環境模型을 中心으로, 환경논총 Vol.12, 93-115, (1983).

30. 안홍기 · 임은선 · 김대중 · 김준기 · 김태영 · 최명섭, **국토정책 시뮬레이션 모형의 구축 연구**, 국토연구원, (2011).
31. 박재홍, **Leontief의 환경 투입-산출 모델을 이용한 지역경제 파급효과의 분석에 관한 연구**, 한국환경경제학회 · 한국자원경제학회 자원 · 환경경제연구 1권1호, 185-195, (1992).
32. 정병익, **産業聯關模型에 의한 環境汚染의 測定에 관한 研究 : 全北地域의 大氣汚染을 中心으로**, (1996).
33. 최한주, **産業聯關分析을 이용한 우리나라 産業의 CO₂ 排出 變化 要因 分析**, (2001).
34. 이기훈 · 최한주, **수출입상품에 체화된 이산화탄소 배출량 추정**, 한국환경경제학회, 자원·환경경제연구 제13권 제3호, 441-468, (2004).pdf.
35. 김윤경, **환경산업연관표 작성 및 분석방법에 관한 연구**, 한국은행 통계연구자료(계간 국민계정 2006년 제1호), 28-62, (2006).
36. 김윤경, **환경산업연관표 2005를 이용한 산업부문의 이산화탄소(CO₂) 배출 분석**, 한국환경경제학회 · 한국자원경제학회 자원 · 환경경제연구 20권1호, 1-33, (2011).
37. 권태현 · 이인규 · 유성욱, **2010년 산업연관표(실측표) 편제 방안**, 한국은행 경제일반 국민계정리뷰(2012년 제1호), 47-64, (2012).
38. 최정윤, **최근 우리나라의 산업별 온실가스 배출구조 분석**, 한국은행 통계연구자료(계간 국민계정 2008년 제3호), 121-147, (2003).
39. 표학길 · 김동구 · 박재환. **녹색성장회계와 구조분해분석**, 한국금융연구원 한국경제의 분석 16권2호, 1-78, (2010).
40. Dong, Liang, **Research on analytical methodology to plan and evaluate industrial symbiosis in steel plant industrial complex**, (2014).
41. 김준범, **국내 산업 및 시도별 대기오염물질 배출량자료를 이용한 미세먼지 형성 가능성 및 인체 호흡기 영향 평가추정**, 대한환경공학회지 제39권 제4호, 220-228, (2017).
42. 광주광역시, **광주광역시 환경보전계획(2018 ~ 2022)**, 제1권 현황 및 전망, (2018).
43. 장미란 · 강성원, **하향식 지역자치단체 배출량 산정방안: 지역온실가스 산업연관표 작성**, 한국환경정책평가연구원 환경정책 26권 1호, (2018).
44. 신재생에너지 데이터센터 용어사전, **에너지 밸런스**, 2019.07.01,

URL:http://kredc.kier.re.kr/kier/06_datacenter/dic.aspx?keyword=%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80%EB%B0%B8%EB%9F%B0%EC%8A%A4&flag=0

45. 지식경제부제출문, **국가에너지수급관리체계 구축을 위한 연구-최종보고서-**, (2009).
46. 에너지경제연구원, **2017 자주찾는 에너지통계**, (2017).
47. 국립환경과학원, **대기오염물질 배출계수 관리위원회 배출계수 자료집(I)**, 국립환경과학원 기후대기연구부. (2012).
48. Goedkoop, Mark · Heijungs, Reinout · Huijbregts, Mark · Schryver, An De · Struijs, Jaap · Zelm, Rosalie Van, **ReCiPe 2008 A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level(First edition)**, Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment (VROM), (2009).
49. 한국에너지공단 석유환산톤 자동계산, **탄소배출계수**, 2019.12.31 URL: tips.energy.or.kr/popup/toe.do
50. Liang Dong · Jingzheng Ren c · João F.D. Rodrigues · Arnold Tukker, **The socioeconomic and environmental impacts of fossil fuels subsidies reduction and renewable energy expansion in China**, Environmental and Economic Impacts of Decarbonization, 351-376, (2018).
51. 홍현정, **제3장 지역산업연관표 작성방법 연구**, 통계개발원 2009년 하반기 연구보고서 제IV권, 109-175, (2009).
52. 한경철 · 나성오 · 전기영 · 박세준 · 조철근, **2003년 산업연관표로 본 우리나라의 경제구조**, 한국은행 경제통계국, 98-147, (2007).
53. 한국은행, **2008년 산업연관표**, (2010).
54. 한국은행, **2013 산업연관표**, (2015).
55. 경인경제, **2017년 중 우리 경제의 총공급 4861조 원...7.2% 증가**, 경인지역 최초 경제일간, 2019.09.26승인,
URL: <http://www.gnewsbiz.com/news/articleView.html?idxno=9657>
56. 한국은행 보도자료, 「**2016-2017년 산업연관표(연장표)**」 작성 결과, 2019.11.10,
URL: <https://www.bok.or.kr/portal/bbs/P0000559/view.do?nttId=10054020&menuNo=200690>
57. 산업통계 분석시스템, 2019.12.04,

URL: <https://istans.or.kr/su/newSuTab.do?scode=S111>.

58. 김상효, 최문석, 조광일, 윤지현, 강교량구조물의 환경적합성에 관한 전과정평가, 대한토목학회논문집 제31권 제4 A호, 269-278, (2011).