

공 학 박 사 학 위 논 문

녹색도시 지역 온실가스와  
유해대기오염물질 배출특성과 배출량  
산정



2012년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

지구환경공학 학연합동과정

이 종 연

공 학 박사 학 위 논 문

녹색도시 지역 온실가스와  
유해대기오염물질 배출특성과 배출량  
산정



2012년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

지구환경공학 학연합동과정

이 종 연

# 이종연의 공학박사 학위논문을 인준함.

2012년 2월 24일



주	심	이학박사	김	영	섭
위	원	공학박사	김	재	진
위	원	공학박사	강	임	석
위	원	공학박사	김	승	도
위	원	공학박사	옥		곤



# 목 차

목 차 .....	i
List of Tables .....	v
List of Figures .....	vii
Abstract .....	x
<b>I. 서 론 .....</b>	<b>1</b>
1. 연구배경 .....	1
2. 연구목적 .....	4
<b>II. 이론적 고찰 .....</b>	<b>6</b>
1. 국내외 녹색도시 조성현황 .....	6
1.1. 우리나라 녹색도시 현황 .....	6
1.2. 국외 녹색도시 조성현황 .....	7
2. 국내외 온실가스 정책 및 연구현황 .....	9
2.1. 온실가스 정책동향 .....	9
2.1.1. 기후변화 대응을 위한 국제적 노력 .....	9
2.1.2. 온실가스로 인한 기후변화 .....	10
2.2. 온실가스 연구현황 .....	14
2.2.1. 국내 온실가스 연구현황 .....	14
2.2.2. 국외 온실가스 연구현황 .....	17
3. 국내외 유해대기오염물질 관리정책 .....	25
3.1. 국내의 HAPs 관련법규 .....	25
3.1.1. 대기환경보전법 .....	25
3.1.2. 악취방지법 .....	25

3.1.3. 잔류성유기오염물질관리법 .....	25
3.1.4. 유해화학물질관리법 .....	26
3.1.5. 산업안전보건법 .....	26
3.2. 외국의 HAPs 관리정책 .....	28
3.2.1. 미국의 HAPs 관리정책 .....	28
3.2.2. 일본의 HAPs 관리정책 .....	30
3.2.3. 유럽연합의 HAPs 관리정책 .....	32
3.2.4. 영국의 HAPs 관리정책 .....	34
3.2.5. 독일의 HAPs 관리정책 .....	35
3.2.6. 캐나다의 HAPs 관리정책 .....	36
4. PAHs의 물리화학적 특성 .....	38
5. 녹색시범도시 지역의 온실가스 배출특성 .....	41
5.1. 1인당 온실가스 배출특성 .....	41
5.1.1. 1인당 온실가스 배출량 .....	41
5.1.2. 광역지자체와의 배출량 비교(2006년 기준) .....	42
5.1.3. 기초지자체와의 배출량 비교(2006년) .....	43
5.2. 단위면적당 온실가스 배출량 .....	45
5.2.1. 강릉시 단위면적당 온실가스 배출량 .....	45
5.2.2. 광역지자체와의 온실가스 총 배출량 비교(2006년) .....	47
5.2.3. 기초지자체와의 배출량 비교(2006년) .....	49
<b>Ⅲ. 연구방법 및 내용 .....</b>	<b>50</b>
1. 실측대상 물질 및 업종 .....	50
1.1. 실측대상 물질 .....	50
1.2. 실측대상 업종 .....	50
2. 측정 및 분석 방법 .....	54
2.1. 온실가스 측정 및 분석방법 .....	54

2.1.1. 온실가스 시료채취 .....	54
2.1.2. 온실가스 분석방법 .....	57
2.2. HAPs 측정 및 분석방법 .....	61
2.2.1. 시료채취 방법 .....	61
2.2.2. HAPs 분석방법 .....	65
3. 배출원별 배출농도 .....	69
4. 온실가스 및 유해대기오염물질 배출량 산정절차 및 방법 .....	78
4.1. 배출량 산정절차 .....	78
4.2. 배출량 산정방법 .....	78
4.2.1. 온실가스 배출원별 배출량 산정방법 .....	81
4.2.2. 유해대기오염물질 배출원별 배출량 산정방법 .....	82
<b>IV. 연구결과 및 고찰 .....</b>	<b>83</b>
1. 부문별 온실가스 배출량 산정 .....	83
1.1. 에너지부문 .....	83
1.1.1. 에너지산업 .....	83
1.1.2. 제조업 및 건설업 .....	85
1.1.3. 기타연소 .....	87
1.1.4. 도로수송 .....	90
1.2. 산업부문 .....	93
1.3. 폐기물부문 .....	96
1.3.1. 매립 .....	96
1.3.2. 하수처리장 .....	102
1.3.3. 폐수처리장 .....	106
2. 주요 배출원에서의 HAPs 배출량 산정 .....	112
2.1. 시멘트 제조업 .....	112
2.2. 도로수송 .....	115

3. 온실가스 실측 배출량 비교 .....	119
3.1. 에너지 부문 .....	121
3.1.1. 에너지 산업 .....	121
3.1.2. 제조업 및 건설업 .....	122
3.1.3. 기타연소(가정난방) .....	124
3.1.4. 도로수송 .....	126
3.2. 산업부문 .....	129
3.3. 폐기물 부문 .....	132
3.3.1. 매립 .....	132
3.3.2. 하수처리장 .....	134
3.3.3. 폐수처리장 .....	136
4. 연구결과 고찰 .....	138
4.1. IPCC default value 배출계수 문제점 .....	138
4.2. 실측 배출계수의 보완 발전 방안 .....	139
4.3. 온실가스 배출계수의 대응방안 .....	139
4.3.1. 실측을 통한 배출량 산정 .....	139
4.3.2. 실측을 통한 배출계수의 신뢰도 향상 .....	140
<b>V. 요약 및 결론 .....</b>	<b>141</b>
1. 온실가스 및 HAPs 배출량 .....	141
2. 실측결과 요약 및 결론 .....	142
3. 온실가스와 HAPs의 연계 통합접근의 중요성 .....	144
<b>참고문헌 .....</b>	<b>146</b>
<b>감사의 글 .....</b>	<b>153</b>

## List of Tables

Table 2.1. Global Warming Potential of GHGs .....	13
Table 2.2. Practice of emissions estimation for GHG by international organization .....	17
Table 2.3. GHG inventory of 2006 IPCC Guideline .....	21
Table 2.4. Emissions estimation methodology by 2006 IPCC Guideline .....	23
Table 2.5. Criteria HAPs emission limits of Japan .....	31
Table 2.6. Physical and chemical properties of PAHs .....	40
Table 2.7. GHG emissions and absorption in Gangneung City .....	41
Table 2.8. GHG emissions per person of each city unit(based on 2006) ..	43
Table 2.9. GHG emissions and absorption of unit area in Kangneung .....	45
Table 2.10. GHG emissions per unit area of each city .....	47
Table 2.11. GHG emissions per unit area as similar city .....	49
Table 3.1. Sampling Conditions for GHG and HAPs .....	52
Table 3.2. Analysis condition of CO <sub>2</sub> .....	57
Table 3.3. Analysis condition of CH <sub>4</sub> .....	58
Table 3.4 . Analysis condition of N <sub>2</sub> O .....	58
Table 3.5. Pre-concentrator and GC/MS condition .....	65
Table 3.6. Thermo desorption system and GC/MS condition .....	67
Table 3.7. Analysis compounds of VOC .....	68
Table 3.8. Emission limits average of GHG each site .....	70
Table 3.9. HAPs concentration of vehicle run and cement manufacturing	73
Table 3.10. Procedure of emissions estimate methodology .....	80
Table 4.1. GHG emission factor and emissions at energy industry .....	84
Table 4.2. GHG emission factor and emissions at manufacturing and	

construction industry .....	86
Table 4.3. GHG emission factor and emissions at house heating .....	89
Table 4.4. GHG emission factor and emissions by vehicle run .....	92
Table 4.5. GHG emission factor and emissions at cement manufacturing	95
Table 4.6. Existing CH <sub>4</sub> data at landfill exhaust line in winter .....	99
Table 4.7. GHG emission factor and emissions at landfill site .....	101
Table 4.8. Existing CH <sub>4</sub> data at landfill exhaust line in winter .....	104
Table 4.9. GHG emission factor and emissions at SWT .....	105
Table 4.10. Existing CH <sub>4</sub> data at WWT in winter .....	109
Table 4.11. GHG emission factor and emissions at WWT .....	111
Table 4.12. HAPs emission factor and emissions at cement manufacturing · .....	114
Table 4.13. HAPs emission factor and emissions at LPG vehicle run ···	116
Table 4.14. HAPs emission factor and emissions at light oil vehicle running .....	117
Table 4.15. HAPs emission factor and emissions at gasoline vehicle running .....	118
Table 5.1. GHG emissions estimation result by actual value in Gangneung area .....	141
Table 5.2. HAPs emissions estimation result by actual value in Gangneung area .....	142

## List of Figures

Fig. 2.1. Global GHG emission scenario and projected surface temperature by 2000~2030 yrs .....	12
Fig. 2.2. System structure of GHG-CAPSS .....	16
Fig. 2.3. Development history of GHG Guideline .....	18
Fig. 2.4. Raw and fuel using mechanism for manufacturing industry .....	24
Fig. 2.5. National Atmospheric Emissions Inventory of UK .....	35
Fig. 2.6. Trend of GHG emission and absorption per person .....	42
Fig. 2.7. Trend of GHG emissions per person .....	44
Fig. 2.8. Trend of GHG emissions and absorption of unit area in Kangneung .....	46
Fig. 2.9. Trend of GHG emissions and absorption per unit area .....	48
Fig. 3.1. Sampling Position of GHG and HAPs .....	53
Fig. 3.2. Schematic diagram of sampling for GHG at SWT and WWT Plant .....	56
Fig. 3.3. Standard Chromatogram for GHG analysis .....	59
Fig. 3.4. Analysis Instrument for GHG .....	59
Fig. 3.5. Combination valve type of bag .....	62
Fig. 3.6. Carbotrap 300 multi-bed thermal desorption tube .....	64
Fig. 3.7. Dedorption trap pump for VOCs .....	64
Fig. 3.8. Pre-concentrator and GC/MS analysis apparatus .....	66
Fig. 3.9. Thermo desorption system and GC/MS apparatus .....	67
Fig. 4.1. Comparison between IPCC default value emissions and actual emissions at each site .....	120
Fig. 4.2. Comparison between default value emissions and actual emissions at power plant .....	121

Fig. 4.3. Comparison between default value emissions and actual emissions at energy industry .....	123
Fig. 4.4. Comparison between default value emissions and actual emissions at heating district(household) .....	124
Fig. 4.5. Comparison between default value emissions and actual emissions at heating district using LNG(household) .....	125
Fig. 4.6. Comparison between default value emissions and actual emissions at heating district using kerosene(household) .....	125
Fig. 4.7. Comparison between default value emissions and actual emissions at car running .....	127
Fig. 4.8. Comparison between default value emissions and actual emissions at gasoline car running .....	127
Fig. 4.9. Comparison between default value emissions and actual emissions at light oil car running .....	127
Fig. 4.10. Comparison between default value emissions and actual emissions at LPG car running .....	128
Fig. 4.11. Comparison between default value emissions and actual emissions at cement manufacturing .....	130
Fig. 4.12. Comparison between revision default value emissions and actual emissions at cement manufacturing .....	131
Fig. 4.13. Comparison between default value emissions and actual emissions at landfill site .....	133
Fig. 4.14. Comparison between default value emissions and revision actual emissions at landfill site .....	133
Fig. 4.15. Comparison between default value emissions and actual emissions at SWT plant .....	135
Fig. 4.16. Comparison between default value emissions and revision actual emissions at SWT plant .....	135

Fig. 4.17. Comparison between default value emissions and actual emissions  
at WWT plant ..... 137

Fig. 4.18. Comparison between default value emissions and revision actual  
emissions at WWT plant ..... 137



# Characteristics and emissions estimation of green house gas and hazardous air pollutants in a green city

Jong-Yeon Lee

*Interdisciplinary program of Earth Environmental Engineering,*

*The Graduate School*

*Pukyong National University*

## Abstract

After Kyoto Protocol was adopted for green house gas (GHG) reduction, each nation is stepping up efforts to reduce CO<sub>2</sub> of a typical green gas. And also, the management of GHG and hazardous air pollutants (HAPs) is becoming their matter of primary concern.

Therefore, it is very important to make the green city master plan which is minimizing GHG emissions and creating jobs through reorganization of the low-carbon type infrastructure and lifestyle.

So far, GHG has been designated as a "climate · ecosystem change-causing material" not a pollutant in Korea. But now, GHG will be managed as air pollutants because the gas has a harmful influence on national health and environment such as the death by scorching heat, malaria patient increase by a rise in temperature, and ecosystem destruction by a sudden change in habitat environment.

Above all, it is important to emissions estimation correctly to manage the GHG and HAPs.

The estimation method of GHG emissions is based on the type, structure and mechanism of the emissions. Basically, the method should be different by the emissions and are classified into two categories by estimation principle. One is a method of measurement for direct confirm of the GHG emissions. Another is a method of calculation applying emission factor which is a standard number by correlation analysis between activity and amount of the GHG emissions.

The method of measurement has high confidence in accuracy and transparency of the data because of actual measurement using equipment, but it needs comparatively high cost and is dependent on good equipment performance.

On the other hand, the method of calculation is an estimated figure which uses the emission factor converted into activity and amount of the GHG emissions, and the emissions accuracy can be decided on the emission factor.

In actual estimation of emissions, it might be proper that each nation decides application method taking into account conditions of the nation, purpose and cost of the estimation. For example, EU prefers the method of calculation because of their accumulated data over the long term, while USA prefers the method of measurement.

To establish actual management plan of GHG and HAPs, this study carried out direct measurement of the gases concentration and estimation of emissions at Gangneung green city. Also, the estimation of GHG emissions was compared to the emission result by IPCC default value.

As a result, the estimation of HAPs emissions in cement plants was 1,098.94 kg/yr. In road transport, the estimation of HAPs emissions was 1.11 kg/yr in case of LPG and 5,252.08 kg/yr in case of diesel and 765.38 kg/yr in case of gasoline.

The estimation of actual GHG emissions in power plants was 970,498

tonCO<sub>2</sub>eq/yr accounting for 55% of 1,758,503 tonCO<sub>2</sub>eq/yr by the default value.

Also, the estimation of actual GHG emissions in the manufacturing industry was 8,461 tonCO<sub>2</sub>eq/yr that is more than double compare to 4,102 tonCO<sub>2</sub>eq/yr by the default value.

In case of household heating, the estimation of actual GHG emissions was 173,448 tonCO<sub>2</sub>eq/yr that is more than 1.6 compare to 102,991 tonCO<sub>2</sub>eq/yr by the default value.

In case of road transport, the estimation of actual GHG emissions was 304,714 tonCO<sub>2</sub>eq/yr accounting for 55% of 549,335 tonCO<sub>2</sub>eq/yr by the default value.

In case of the cement manufacturing industry, the estimation of actual GHG emissions was 4,118,278 tonCO<sub>2</sub>eq/yr that is more than 1.38 compare to 2,957,895 tonCO<sub>2</sub>eq/yr by the default value. But the default value including fuel use was 3,861,085 tonCO<sub>2</sub>eq/yr accounting for 94% of the actual GHG emissions.

The estimation of actual GHG emissions in landfill was 70 tonCO<sub>2</sub>eq/yr accounting for 5% of 1,548 tonCO<sub>2</sub>eq/yr by the default value. But the actual GHG emissions including seasonal influence was 669 tonCO<sub>2</sub>eq/yr accounting for 43% of default value.

The estimation of actual GHG emissions in sewage treatment plants was 0.4 tonCO<sub>2</sub>eq/yr accounting for 0.03% of 1,188 tonCO<sub>2</sub>eq/yr by the default value. But the actual GHG emissions including seasonal influence was 15 tonCO<sub>2</sub>eq/yr accounting for 1% of default value.

In addition, the estimation of actual GHG emissions in waste water disposal plants was 88 tonCO<sub>2</sub>eq/yr that is more than 1.06 compare to 83 tonCO<sub>2</sub>eq/yr by the default value. But the actual GHG emissions including seasonal influence was 156 tonCO<sub>2</sub>eq/yr that is more than 1.88 compare to

default value.

It is clear from this study that the major factors for emissions estimation are the emission factor and activity of emissions. Also, the emissions activity can be used reliable data such as statistics of national agencies, while the emission factor can be used effect as a key factor by sampling site and analysis condition.



# I. 서 론

## 1. 연구배경

UNEP(제4차 지구환경전망보고서, 2007)에 의하면 세계 인구의 절반 이상이 도시에 거주하고 있으며 2025년에는 약 60%, 2050년에는 약 70%가 도시에 거주할 것으로 예측하고 있다. 이는 도시 생활환경의 안전성을 확보해 나가야 하는 필요성을 내포하고 있다. 인간의 생활환경에서 극복되어야 할 필수요소는 안전한 물, 양질의 공기 질 확보가 요구되고 있다. 특히, 도시 생활의 영위를 위하여 냉난방, 교통, 산업과 경제활동 등을 위한 에너지의 확보를 위한 연료의 사용 및 광범위하게 활용되는 합성화학물질 등은 최종적으로 대기 중으로 방출되어 호흡을 통한 인체에 폭로되어 유해성을 동반하게 된다. 또한, 광화학 대기오염 등의 지역적, 국가적이며, 지구온난화 및 오존층의 파괴 등의 지구환경적인 문제 발생의 원인으로 작용하게 된다. 이와 같이 온실가스와 유해대기오염물질에 대한 관심이 고조되고 있는 가운데 2008년 10월 베트남 하노이에서 개최된 제1차 동아시아 정상회의(EAS, Environment Asia Summit) 환경장관회의(EMM, Environment Minister Meeting)에서는 온실가스의 80% 이상이 도에서 발생되고 유해대기오염물질의 배출이 환경보건학적으로 문제를 야기한다는데 문제점을 인식하고 “환경적으로 지속가능한 도시(ESC, Environmentally Sustainable City)”를 EAS 환경협력 우선분야로 선정하였다(East Asia Summit, 2008).

2009년 8월 태국 후아헌에서 열린 EAS 환경장관회의 고위급회의에서는 일본이 EAS의 협력사업으로 “환경적으로 지속가능한 도시에 관한 고위급 세미나(HLS, EAS EMM High Level Seminar on ESC)”를 제안함으로써, 지역단위 차원에서 ESC에 관하여 진행 중이거나 제안된 활동에 관한 정보 교류 및 ESC를 위한 최고 의사결정자를 중심으로 국가적 정책지원과 EAS내 ESC를 위한 활동을 공고히 하기 위한 이해관계자의 협력을 도모하였다(East Asia Summit, 2009).

ASEAN ESC 실무그룹과 다른 역내 ESC관련 활동을 포함하여 역내 ESC 촉진을 위한 틀과 활동을 검토하며, 그 효과를 강화하고 시너지 효과 창출을 위한 권고 사항을

제안하고 있으며, EAS 환경장관회의에서는 기후변화에 대응하는 도시간 네트워크, 도시 자매결연 프로그램, 워크숍을 통한 정보교류, 역량강화와 기술이전 및 온실가스 감축을 위한 환경 교육 등의 실질적 활동과 계획을 제안해 나가고 있다.

우리나라는 2009년 온실가스 중기감축목표를 발표하게 되었는데 그것은 2020년까지 BAU 대비 30%감축한다는 목표로서 IPCC가 개도국에게 권고한 감축량의 최대치에 해당된다. 개도국으로서 자발적으로 우리가 세운 목표를 국제기준(MRV:Measurable, Reportable, Verifiable)에 맞추어 객관적이고 투명하게 이행하겠다는 약속을 한 것이다. 이 약속을 지키기 위해 우리나라의 온실가스 관리체계를 전반적으로 개편해야 할 필요성이 생겼으며 온실가스 감축 및 적응에 적극적인 검토를 포함한 도시계획이 수반되어야 한다. 이에 따라 정부는 저탄소 녹색성장기본법을 제정하고 5개년 계획을 세우는 등 조직과 체계를 정비한 바 있다.

또한 ESC HLS 대표단을 구성하여 2009년(인도네시아 자카르타)과 2010년(일본 키타큐슈) 국제 ESC 세미나에 참석하여 “한국의 녹색도시 조성을 위한 마스터플랜”을 발표함으로써 국제사회로부터 많은 관심을 받고 있다(ESC HLS chairman summary, 2009).

2011년에는 도시환경협약 광주정상회의가 개최되어 Green City, Better City라는 슬로건으로 전세계 도시들의 모범적인 녹색정책들을 발굴·공유하고 “도시환경지표”와 “도시 CDM”의 틀을 발표하여 국제적 적용에 대한 합의를 이끌어 냈다(UEA 도시환경협약 광주선언문, 2011).

이제 도시와 환경은 매우 밀접한 관계를 갖고 있으며 도시환경의 여러 가지 요소 중 무엇보다 중요한 것은 바로 온실가스이며, 이와 더불어 환경보건학적 측면에서 접근해왔던 유해대기오염물질에 대하여도 유해성과 함께 지구온난화에 기여할 수 있다는 우려와 온실가스도 유해대기오염물질로 규정하여 관리하여야 한다는 주장도 설득력을 얻어 가고 있으며, “온실가스-유해대기오염물질-POPs”의 연계 통합관리의 중요성을 제시하고 있다(옥곤, 제3차 유해대기오염물질 (HAPs) 포럼, 2011). 이와 같은 접근은 지자체와 중앙정부간의 연계통합 역할 분담의 관리체계를 구축할 필요가 있으며, 온실가스와 유해대기오염물질의 통합관리가 녹색도시의 여건에 중요한 인자라고 평가할 수 있다.

또한, 온실가스와 유해대기오염물질의 합리적인 관리가 도시환경의 지속가능성을 확보한다는 관점에서 기존의 획일적이고, 저개발국가 지원시스템을 위하여 국제기구에서 주어진 default value(기저치) 및 통계를 이용한 관리계획의 수립보다는 지역적 국가적 여건을 고려한 실측기반의 보다 적극적인 연구가 필요한 시점이다.



## 2. 연구목적

국내 온실가스에 대한 배출량 산정방법은 주로 물질수지를 이용하여 계산하는 방법의 국제기구 등으로부터 주어진 default value의 기저 치에 기반을 둔 Desk Work로서, 실제 오차범위가 5~200% 으로 높은 것으로 알려져 있다(한국환경공단, 온실가스 전문교육자료, 2009). 또한, 이와 같은 접근 방법은 국제기구에서 저개발국가의 자체적 해결능력이 부재한 국가에서 활용될 수 있도록 하기 위하여 제시된 방법이며, 각국의 여건을 충분히 반영하고 있지 못하는 문제점을 안고 있을 뿐만 아니라, 한 국가 내에서도 지자체의 특성을 충분히 반영하지 못하는 문제를 안고 있어, 한 국가 내에서 지자체별의 온실가스 및 유해대기오염물질에 대한 실질적인 배출원의 목록과 배출량 등의 현황 파악 및 삭감을 위한 대응전략의 수립에 효율성을 발휘하지 못하는 문제점을 안고 있다.

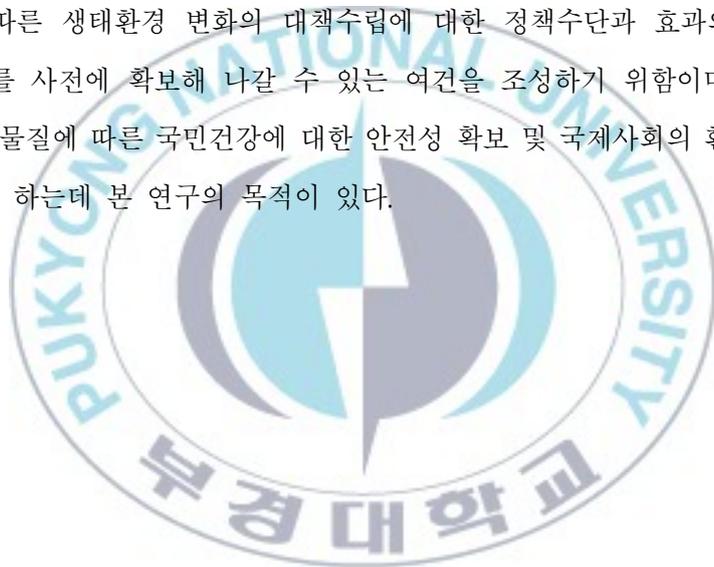
따라서 온실가스의 배출량 산정에 있어서 기존의 배출량 결정법을 보완하기 위해 실측에 기반을 둔 온실가스 배출량 산정 기반 구축이 필요하고, HAPs의 경우 대기중 체류 또는 성층권에 도달하여 오존층을 파괴하는 염소계의 Chloromethane, Chloroform, 1,1,1-Trichloroethane, 1,2-Dichloroethane, Carbon tetrachloride, Tetrachloroethylene과 소화재 및 난연재로 사용되는 브롬계열 Bromomethane, Bromodichloromethane, Dibromomethane, Chlorodibromomethane, Bromoform, Bromobenzene의 화합물을 포함함에 따라 지구 온난화에 대한 간접적 영향을 고려한 종합적인 접근 방안의 검토에 주목하여야 할 필요성이 있다.

또한, 실측자료에 의한 배출현황의 분석 및 배출전망 예상을 검토해나가기 위하여 온실가스 배출원 분류 및 배출계수의 확보와 분석을 통한 대응전략 수립이 필요하며, 온실가스와 유해대기 오염물질에 대한 통합적인 배출저감 방안 수립을 위하여 국가내의 지자체별의 배출목록의 우선순위의 선정, 지자체별의 고유 배출계수의 확보를 통한 국가 고유 평균 배출계수작성의 지원을 통한 배출량 산정 등의 제반 방법론에 대하여 고찰함으로써 실효성 있는 관리계획의 수립이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 우리나라 녹색시범도시 지역의 주요 온실가스 및 유해대기오염물질의 배출원에 대하여 지자체 레벨의 고유 배출계수를 확보할 수 있도록

검토하여 지자체 고유의 배출계수 및 배출량을 산출할 수 있도록 실측하고, 실측자료를 근간으로 하여 배출계수를 산정함으로써 온실가스 및 유해대기오염물질의 배출특성을 파악하고, 보다 실질적인 배출량 산정의 기초자료를 확보하여 인벤토리의 정확도와 신뢰도를 제고하고자 한다.

또한 온실가스 및 유해대기오염물질에 대한 지자체 특성을 고려한 실측 조사 연구를 통하여 대기환경 행정의 과학적 기초자료를 확보할 수 있도록 그 정보를 제공하기 위함이다. 이를 통하여 국가 온실가스 배출량 산정자료의 신뢰성 제고 및 합리적 관리방안을 도출하여 향후 온실가스 및 관련하여 관리수단으로서의 삭감(reduction), 회수(removal), 적응(adaptation) 등에 대한 온난화와 관련한 환경문제로서의 기후변화에 따른 생태환경 변화의 대책수립에 대한 정책수단과 효과의 평가를 위한 기술적 근거를 사전에 확보해 나갈 수 있는 여건을 조성하기 위함이며, 기후변화 및 유해대기오염물질에 따른 국민건강에 대한 안전성 확보 및 국제사회의 환경 관리정책에 부합시키고자 하는데 본 연구의 목적이 있다.



## Ⅱ. 이론적 고찰

### 1. 국내의 녹색도시 조성현황

#### 1.1. 우리나라 녹색도시 현황

녹색도시란 도시 인프라와 생활양식을 저탄소형으로 개편하여 환경오염과 온실가스를 최소화하면서도 일자리를 창출하여 녹색성장을 견인하는 도시로서 과거 친환경도시가 기존 도시계획상에 친환경적 요소를 첨가해 간헐적으로 녹색이 수급되는 도시라면 녹색 도시는 탄소관리 등의 환경적 요소를 우선적으로 고려하여 도시를 계획하는 적극적 의미의 친환경도시라 할 수 있다(환경부 저탄소 녹색도시 조성 추진방안, 2009).

녹색도시의 핵심요소는 물과 자원의 순환, 탄소감축 및 완화, 유해물질로부터의 안전성 확보, 환경피해의 최소화, 생태녹지 확보를 통한 건강한 삶의 질 향상 등을 들 수 있으나 궁극적으로는 기후변화에 대응하고 유해물질로부터 안전하며 지속가능한 발전을 목표로 하는 도시를 녹색도시라 할 수 있다.

이러한 녹색도시는 “저탄소 녹색성장”을 견인할 공간의 기본단위로서 우리나라에서는 강릉시를 녹색시범도시로 선정(환경부·국토해양부, 2009)하여 세부적인 개발계획을 수립하고 그 성과를 모델로 하여 국내 16개 시도를 대상으로 확산코자 추진 중에 있다(강릉시·한국환경공단, 2010).

녹색도시로 선정된 강릉시는 저탄소 녹색성장을 견인하는 명품도시라는 비전과 함께 탄소제로도시, 자연생태도시, 문화관광도시라는 세가지 추진목표와 함께 자연환경의 보전 및 복원을 통하여 청정 환경을 조성하고 첨단 녹색기술의 TEST-BED화와 교통·주택·에너지를 저탄소형으로 개편하여 탄소제로 도시로 거듭난다는 계획을 수립하여 추진 중에 있다. 아울러 주민과의 소통을 위한 홈페이지도 운영하고 있다([www.gangneung.go.kr](http://www.gangneung.go.kr)).

## 1.2. 국외 녹색도시 조성현황

영국의 베드제드(Bed Zed)는 런던 남부 왈링톤에 위치하고 있으며 면적 16,500m<sup>2</sup>, 인구 220명(100세대)이 거주하고 있다. 오물처리장의 재생사업을 추진하여 ‘제로에너지 주거단지’로 조성된 곳으로서, 단지내 열병합 발전소에서 산업폐기물(목재)을 소각하여 에너지를 생산하고 있으며, 지붕녹화와 태양광패널 설치 등의 신재생에너지를 활용하여 지역의 에너지를 자립화하였다. 랜터카 개념의 공동차량제도(City Car Club) 및 카풀제를 통한 차량이용 억제 및 커뮤니티 활성화로 이산화탄소와 유해물질의 배출을 근본적으로 저감하고 있다(강릉 저탄소녹색도시 종합계획, 2010).

독일 바덴뷔르템베르크 주(州)에 위치한 프라이부르크는 면적 153,060,000m<sup>2</sup>, 인구 20만명의 도시로 원전 건설계획에 대한 시민들의 반대운동과 석탄·석유 등의 에너지 절약운동에서 출발하여 ‘태양의 도시’ 조성된 곳이다. 기존주택에 태양전지판을 설치하고 태양을 따라 회전하는 헬리오트랩을 도입하였으며, 체육관을 반 지하로 건설하고 지붕을 잔디로 포장하였으며, 도시중심지는 자동차노선의 축소 및 진입제한등을 하고 있으며, 전차노선 및 자전거 도로망 확충, 외곽 무료 주차장 설치 및 Park & Ride(자동차↔전차) 시스템을 도입하여 온실가스와 유해물질을 최소화하고 있다. 특히 태양에너지 연구의 본고장에 걸맞게 태양물리 학연구소와 태양에너지 시스템 연구소 등을 유치하여 기술개발을 하고 있다(강릉 저탄소녹색도시 종합계획, 2010).

네덜란드 아메르스포르트는 위트레흐트 주(州)에 위치하고 있으며 면적 1,012,000m<sup>2</sup>, 인구 137,054명이 거주하고 있다. 재생에너지 보급정책의 일환으로 ‘태양광발전 주거단지’를 조성하였으며, 화석연료 사용이 전혀 없는 제로에너지 하우스를 건설하였다. 시내 어느 곳이나 자전거로 다닐 수 있는 자전거 친국으로 알려져 있으며 주택 지붕에 태양전지판을 부착하여 도시전체가 태양광 발전 시스템이 구축되어 있고 대부분의 주택 및 공공시설에도 태양에너지 시스템을 갖추고 있다(강릉 저탄소녹색도시 종합계획, 2010).

스웨덴 하마비(함마르비) 허스타드는 스웨덴 스톡홀름 인근에 위치하고 있으며 면적 2,000,000m<sup>2</sup>, 계획인구 25,000명이다. 오염된 공장지대에 호반여가 등이 강조된 생태적

계획도시를 건설하는 것으로 목표하여, 중앙녹지대, 실개천과 보행녹도를 연계한 친수 녹지망을 구성하고 있으며, 에너지 대부분을 바이오가스 등 재생에너지를 통해 조달하며 폐기물의 수송 및 운반에 따른 온실가스 및 유해대기오염물질의 발생을 차단하기 위하여 쓰레기 자동수거장치를 설치하였다. 그리고 주택 단지 내에는 차량진입 제한과 함께 노면전차(트램)를 운행하고 있으며, 수상보트 활용, 바이오연료를 사용한 차량은 시내 통행료를 무료로 하고 있다. 또한 단지내부에는 우수배출 하천조성과 함께 빗물 재활용 시스템을 도입하여 물순환체계를 구축하였다(강릉 저탄소녹색도시 종합계획, 2010).



## 2. 국내의 온실가스 정책 및 연구현황

### 2.1. 온실가스 정책동향

#### 2.1.1. 기후변화 대응을 위한 국제적 노력

온실가스 배출증가로부터 야기되는 지구온난화 문제는 1979년 이전까지는 주로 과학자들 사이에서만 논의되어 왔다. 1958년 하와이 관측소에서 대기 중 이산화탄소 농도 관측을 시작한 이래, 대기 중 이산화탄소 농도가 증가하고 있는 현상을 발견하였으며, 미국 프린스턴 대학의 마나베 박사는 과거 수백 년간의 대기 중 온실가스의 농도변화를 모델링으로 재현하여 20세기 기온상승과 대기 중 온실가스인 이산화탄소 농도 증가는 직접 연관이 있다는 것을 증명하였다. 그 이후 과학자들 사이에서 대기 중 온실가스 증가가 지구온난화와 관련이 있다는 많은 연구결과들이 보고되기 시작하였다(UN 미래환경보고서, 2011).

기후변화에 대한 국제적 차원의 공식적인 논의는 1979년 2월 개최된 1차 세계기후회의에서 처음 제기되어 인간의 활동에 의한 기후변화 가능성과 기후변화의 부정적 영향을 방지하기 위한 조치의 필요성이 인정된다는 점을 선언하였다. 1980년대 들어 세계적으로 이상기후에 의한 자연재해가 증가하면서 지구온난화의 논쟁이 가열되기 시작하였고 1985년 오스트리아에서는 기후변화와 온실가스 영향에 대한 회의가 개최되어 온실가스의 지속적인 농도증가는 중대한 기후변화를 일으킬 가능성이 크다고 결론지었다. 한편 1988년 지구온난화에 관한 미국상원 공청회에서 NASA 고다드(Goddard) 연구소의 한센 박사는 20세기 지구온난화는 인간의 활동에 의한 온실가스 농도증가가 그 확실한 원인을 주장하였다(온실가스 저감기술, 2003).

1988년 6월 캐나다 토론토에서 캐나다 정부, 유엔환경계획(UNEP) 및 세계기상기구(WMO) 공동 주최로 개최된 “대기변화에 관한 국제회의”에서 기후변화방지를 위한 국가별 대책마련을 촉구하면서 그 구체적인 조치로서 2005년까지 1990년 온실가스 배출량의 20% 감축, 대기보호를 위한 포괄적이고 전 지구적인 협약개발, 선진국에서 화석연료 소비에 부과되는 세금을 재원으로 세계 대기기금 조성 등을 제안하기도 하였다(대기변화에 관한 국제회의 보고서, 1998).

기후변화에 적극적으로 대처하기 위한 국제적인 노력은 1988년 UN 총회의 결의에 따라 UNEP와 WMO에 의하여 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)가 설치됨으로서 본격적으로 시작되었다. 1990년 IPCC는 전 세계 70여 개국 1,000여명의 전문가로 구성된 실무 작업반을 중심으로 기후변화에 대한 과학적인 분석, 기후변화에 의한 영향평가 및 지구온난화의 원인이 되는 온실가스 감축을 위한 대응 전략 등에 관한 기존의 연구를 종합평가하여 1차 평가보고서를 완성하였다(IPCC 1차 평가보고서, 1990).

IPCC 1차 평가보고서는 향후 기후변화에 대한 국제협상을 촉진하는데 과학적인 근거를 제시하였으며, 1990년 10~11월에는 제2차 세계기후회의가 스위스 제네바에서 과학기술회의와 더불어 각료급 회의도 함께 개최되어, IPCC 1차 보고서를 토대로 기후변화방지를 위한 세계기후협약의 제정을 촉구하기에 이르렀다.

한편 1990년 12월 UN 총회는 1992년 6월 유엔환경개발회의(UNCED)시 까지 기후변화협약(UNFCCC)을 채택하기로 결정하였으며, 이에 따라 협약문 작성을 위한 정부간협상위원회(INC)가 설치되었고 1991년 2월부터 1992년 5월까지 1년 3개월간 5차례의 INC 회의를 개최하여 협약문안이 합의되었다.

본 협약문은 1992년 6월 브라질 리우데자네이로에서 개최된 유엔환경개발회의에서 154개국이 서명하였고, 50개국 비준가입 후 90일이 경과된 후 발효되도록 한 규정에 따라 1994년 3월에 발효되었으며 2003년 6월 현재 188개국이 가입하였고 우리나라는 1993년 12월 세계 47번째로 가입하였다(기후변화협약 가입과 우리의 대응방안, 1994).

### 2.1.2. 온실가스로 인한 기후변화

지구온난화가 세계적 관심사가 되고 있는 이유는 온실가스 증가에 의한 지구온난화가 수천-수만 년의 기간에 걸쳐서 진행되는 변화가 아니라는 점, 인위적인 것일지 모른다는 점, 그 진행방향이 주기적이 아니라는 점, 그리고 그 진행속도가 과거의 대기 중 온실가스 변화보다 상당히 빠르다는 점 등에서 우리 모두에게 경각심을 불러일으키고 있기 때문이다. 21세기 말에는 대기 중의 온실가스 함유량이 현재의 두 배 이상 될 것이라 추정된다.

온실효과를 유발하여 지표온도를 상승시킬 수 있는 온실가스 중에는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 이외에도 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), CFCs 등의 미량기체(atmospheric trace gases)들을 꼽을 수 있다. 이들 대기 미량 기체들에 의한 지구온난화는 이산화탄소에 의한 온난화보다 아직은 심각하지 않다. 그러나 대기 중 미량기체들의 함유량 증가속도를 볼 때, 이들에 의한 온난화는 가까운 장래에 이산화탄소에 의한 온난화를 능가 할 것으로 보고되고 있다. 이는 남극의 보스톡 기지에서 채취한 빙하코어에서 추출한 과거 40만년간 기온과 이산화탄소 농도의 변화가 매우 흡사하다는 것으로 알 수 가 있다(Petit et al., 1999).

또한 기후변화가 현재의 추세대로 진행될 경우 향후 50년 이내에 기온이 2~3℃ 상승할 가능성이 75%에 달하고, 5℃ 상승할 가능성도 50%에 달한다는 연구결과가 보고되고 있다(Stern, 2006).

IPCC(기후변화에 관한 정부간 패널)는 제4차 보고서('07.2)는 인간활동이 지구표면의 온도를 상승시키는 주범으로 90% 이상이라고 보고하였다. IPCC는 4차보고서를 통해 지구의 평균기온 상승, 빙하 용해, 해수면 상승 등과 같은 기후변화의 현상이 점점 더 분명하게 나타나고 있으며, 그 주된 원인은 인위적인 온실가스 배출에서 비롯되고 있다는 분석결과를 제시하였다. 이산화탄소 농도를 안정화하기 위한 거시경제비용은 GDP의 0.5~5% 수준(안정화 수준 및 기간에 따라 상이)에 달할 것으로 전망하였다.

또한 향후 20년 동안 SRES(Special Report on Emission Scenarios) 배출 시나리오 범위에 대하여 약 0.2℃/10년 상승률로 온난화가 진행될 것으로 전망되며, 장기적으로 21세기 말 기온은 20세기 말 대비 최대 6.4℃ 상승이 전망된다(Stern, 2006).

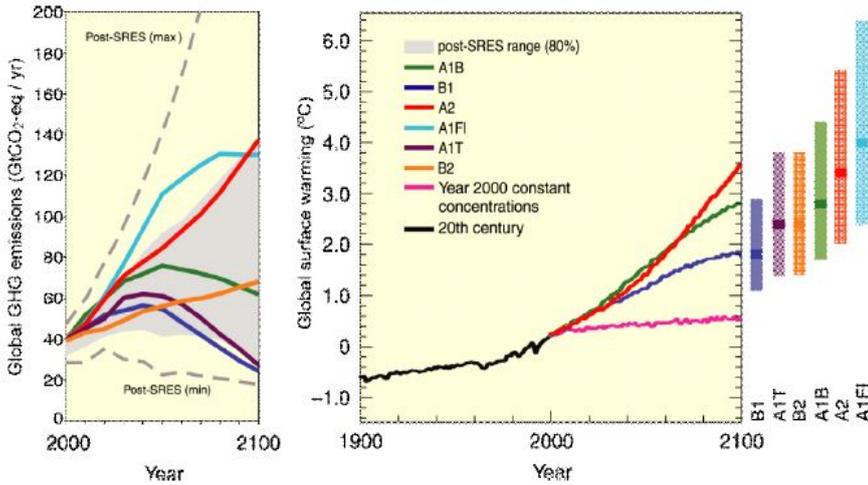


Fig. 2.1. Global GHG emission scenario and projected surface temperature by 2000~2030 yrs(Special Report on Emission Scenarios).

따라서 지구의 기후변화 완화 정책이 지금과 같이 진행된다면 온실가스 배출량은 수십 년 동안 계속해서 증가할 전망이다. 추가 정책이 없을 경우 온실가스 배출량은 2000년 대비 2030년까지 25~90% 증가할 전망이며, 에너지 사용으로 인한 CO<sub>2</sub>배출량은 동 기간 동안 45~110% 증가할 전망이다. 현재 수준 또는 그 이상의 GHG 배출이 유지된다면 21세기에는 온난화와 기후변화시스템에 나타난 변화가 20세기에 관측된 변화보다 더 심각할 가능성이 높다.

온실가스 기체의 특성에 따라 온실효과를 일으키는 잠재력이 다르므로 이를 단순화한 지수가 지구온난화 지수(GWP; Global Warming Potential)이다. 교토의정서에 따른 제1차 의무이행 기간 동안 CO<sub>2</sub> 배출량 산정 시 이용되는 GWP는 교토의정서 제5조 3항에 따라서 IPCC에서 채택하고 제 3차 당사국 총회에서 결정된 IPCC 제 2차 보고서의 지구온난화지수를 사용한다.

Table 2.1. Global Warming Potential of GHGs

Gas	GWP	Discharge	Characteristics
CO <sub>2</sub>	1	fuel using /industry process	over 80% of all GHG emission
CH <sub>4</sub>	21	waste/agriculture /farming	over 15~20% of all GHG emission
N <sub>2</sub> O	310	industry process/fertilizer using	exhaust from high temperature combustion
HFCs	140~11,700	semiconductor cleaning	ozone layer destruction
PFCs	6,500~9,200	semiconductor production	non decomposition cause by chemical stabilization
SF <sub>6</sub>	23,900	LCD/ semiconductor/ vehicle production	non decomposition cause by chemical stabilization

## 2.2. 온실가스 연구현황

### 2.2.1. 국내 온실가스 연구현황

#### 2.2.1.1. 업종별 온실가스 배출량 산정 Good Practice 가이드라인

기후변화협약에 대비한 기업들의 노력이 활발해지면서 기업들은 기업의 온실가스 배출량을 파악하고 배출원에 대한 관리체계를 만드는 ‘온실가스 인벤토리’를 구축하고 있는데, 그동안 기업체의 온실가스 인벤토리 개발에 대한 국제기준의 업종별 배출량 산정지침이 없어 기업의 비용 및 노력을 증가시키고, 신뢰성을 확보하는데도 문제가 있다는 지적이 있어왔다.

그에 따라 에너지관리공단은 2009년 기후변화 협약의 적극적 대응을 위하여 국내 기업들이 국제적 기준에 부합하는 기업 인벤토리를 구축하는데 손쉽게 적용할 수 있는 ‘업종별 온실가스 배출량 산정 가이드라인’을 개발하여 배포하였다.

본 지침에서는 IPCC, WRI/WBCSD 가이드라인을 기초로 13개 업종(석유화학, 정유, 시멘트, 제지, 유리, 비철금속, 도로, 철도, 항공, 해운, 반도체, 철강, 발전)에 대한 배출량 산정 방법론을 규정하고 있다. 본 지침에서는 해당 업체 및 사업장의 온실가스 배출량을 산정하기 위해서 경계 설정 방법, 산정하는 온실가스, 배출계수 및 배출량 산정 방법을 제시하고 있으며 총괄적으로 실제 예시를 들어서 업종별 온실가스 배출량 산정을 위한 Good Practice를 제시하고 있다(업종별 온실가스 배출량 산정 Good Practice Guideline, 2009).

#### 2.2.1.2. 온실가스 배출량 산정을 위한 표준지침

2008년 우리나라는 자발적 온실가스 배출량 감축을 국제적으로 약속하였고, 이를 위해서 국가적인 차원에서 온실가스 배출량을 감축하기 위한 다각적인 방안을 검토·마련하기 시작하였다. 온실가스 감축 부담이 증가함에 따라 향후 지자체에 대해서도 온실가스 감축량이 할당될 것으로 예상되고 이를 대비하여 지자체의 부문별 온실가스 배출량과 감축량의 잠재력을 조사·평가할 필요성이 대두되었다.

그러나 지자체별로 배출원의 분류 및 온실가스 배출량 산정을 위한 기초 자료의 형태나 온실가스 배출량 산정 방법론이 상이하여 각 지자체별 비교가 불가능한

상태였다. 이에 따라 환경관리공단(現 한국환경공단)은 2008년 지자체의 실정에 부합하면서 향후 온실가스 감축에 대한 체계적이고 효율적인 정책수립 및 관리에 활용할 수 있도록 모든 지자체의 제반 여건에 부합하는 온실가스 배출량 산정을 위한 표준지침(SOP)을 개발하여 보급하였다.

본 지침에서는 IPCC, WRI/WBCSD 가이드라인을 기초로 부문별 배출량 산정 방법론을 제시하였다. 다만, 지자체의 온실가스 배출량 산정 방법론 제시를 목적으로 하고 있기 때문에 실질적으로 지자체에서 온실가스 배출량을 산정할 수 있도록 온실가스 배출량 산정을 위한 기준 연도 활동량 및 배출계수를 제시하였다. 또한 지자체 온실가스 배출량 산정을 위한 국가 및 지자체 DB의 문제점을 제시하고 이에 대한 보완 방법을 제시하여 신뢰도 제고를 위한 방법을 모색하였다(온실가스 배출량 산정을 위한 지침, 2010).

#### 2.2.1.3. GHG-CAPSS 자료를 이용한 지자체 온실가스 배출량산정

2009년 11월 국립환경과학원은 GHG-CAPSS(온실가스 및 대기오염물질 통합 관리시스템)을 이용하여 시군별 온실가스 배출량 D/B를 구축하였다. 전라북도는 시군별 기후변화 정책수립을 위하여 GHG-CAPSS 자료를 기반으로 전라북도 14개 시군별 온실가스 배출 특성을 분석하여 기후변화 대응을 위한 기본 방향 제시가 필요한 실정이었으며 효율적인 온실가스 배출량 모니터링 및 감축 정책 평가를 위해 GIS 기반의 온실가스 배출 지도 D/B 작성이 필요하였다.

이에 기후변화 정책 수립을 위하여 전라북도 14개 시군별 온실가스 배출특성을 분석하여 기후변화 대응을 위한 기본 방향을 제시하였으며 효율적인 온실가스 인벤토리 활용, 감축 정책 수립 및 모니터링을 위하여 지리정보 시스템(GIS)을 이용하여 전라북도 온실가스 배출량 지도를 작성하고 그 활용 방안을 제안하고 있다(온실가스 배출량 산정지침, 2010).

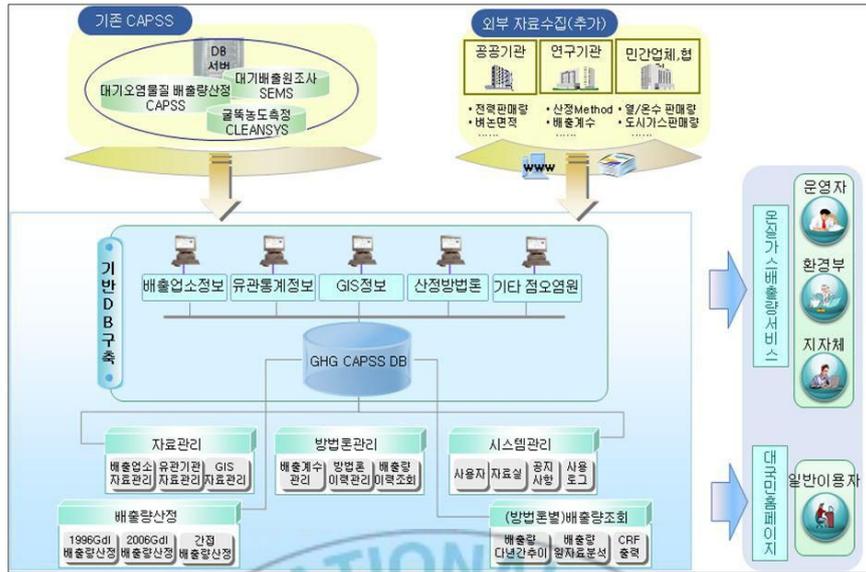


Fig. 2.2. System structure of GHG-CAPSS.

해당 연구에서는 전라북도 시군별 온실가스 배출 특성을 분석하기 위하여 GHG-CAPSS 결과를 비교 분석하여 전라북도의 시군별 배출 특성을 파악하며, 또한 온실가스 감축을 위한 기본 방향 제시를 위해 중점 배출원을 분석하고 배출원별 대응전략을 제시하고 있다. 이때 부문별/부문내 시군별 할당은 고려하지 않고 있다.

온실가스 모니터링을 위하여 전라북도의 배출량 지도 방법론을 확립하여 부문별 매핑을 통하여 배출량 지도를 작성하여 배출량 지도의 활용 방안을 제시하고 있다.

#### 2.2.1.4. 지자체 온실가스 배출량 산정지침

한국환경공단은 2009년부터 지자체 온실가스 인벤토리 구축을 위한 시범사업을 시행하고 있다. 이에 따라 각 지자체별 온실가스 배출량 산정의 정합성을 유지하기 위하여 한국환경공단은 2009년 『자자체 온실가스 배출량 산정 지침』을 발간하여 보급하였으며 2010년 9월에는 개정판을 발간하였다(지자체 온실가스 배출량 산정 지침, 2010).

지침은 기본적으로 하향식 기준에 의하여 온실가스 배출량을 산정하고 있으며 일부 상향식 방법을 적용하고 있다.

배출원의 분류는 기본적으로 2006 IPCC G/L 카테고리 체계를 따르고 있다. 다만

지자체의 특성을 반영하여 직접 배출량과 간접배출량을 구분하여 산정하도록 하고 있으며 관리대상(직·간접), 비관리대상의 구분도 두고 있다. 산정방법론은 직접배출량의 경우 IPCC G/L을 적용하고 있으며 간접배출량은 연도별/부문별 국가 간접배출계수를 적용하도록 하고 있다.

배출계수는 2006 IPCC G/L 배출계수를 기준으로 하여 일부는 국가 고유 계수를 개발하여 적용하였다. 배출량 산정 결과는 IPCC 카테고리 분류 및 관리 대상 구분에 따른 직접·간접 배출량을 산정할 수 있도록 하였다. 또한 일인당 배출량 및 지역 내 총생산(GRDP)당 배출량 산정 또한 가능하도록 하였다.

## 2.2.2. 국외 온실가스 연구현황

온실가스에 대하여 국제적으로 통용되고 있는 국제기관에 의해 개발된 지침서는 크게 IPCC Guideline, WRI/WBCSD Protocol, 국제표준화기구 (International Organization for Standardization)의 ISO 14064 등이 있다. 이들 지침서의 작성기관과 내용을 Table 2.2에 나타내었다.

Table 2.2. Practice of emissions estimation for GHG by international organization

Organizat ion	Guideline	Main Contents
UNFCCC /IPCC	1996, 2001, 2006 IPCC Guideline	- application of a national GHG emissions - present to Top-down methodology
WRI /WBCSD	GHG Protocola (2001)	- application of an each industry site GHG emissions - present to principle and procedure
ISO	ISO 14064(2007)	- documentation of principle and procedure - standard for emissions estimation

IPCC Guideline은 1996년의 개정판 이후 2001년에 방법론을 보완한 보고서를 공개하였으며 2006년 IPCC Guideline은 기존의 가이드라인을 종합하고 개선한

지침이다.

WRI/WBCSD GHG Protocol은 2001 IPCC Guideline을 바탕으로 개발되었으며, 업종별 국제협회 및 기관, 기업이 실제개발에 참여하여, 사업장 규모의 배출량 산정에 필요한 “조직경계설정”, “운영경계 설정” 등 일부 내용이 추가되었다. WRI/WBCSD GHG Protocol은 활용성과 현실성이 높다는 측면 때문에 선진 국가들의 활용이 높아지고 있으나, IPCC Guideline에서 제시한 배출계수를 준용하고 있어 배출계수에 대한 검증 및 개발이 필요한 실정이다.

선진국에서는 국제기관 지침을 바탕으로 자국의 배출특성을 반영한 온실가스배출량 산정 지침을 기 개발하였으며, 미국, 호주, 캐나다는 1996 IPCC Guideline에 따라 지침을 개발하였고, 영국, 일본, 중국, 프랑스는 WRI/WBCSD GHG Protocol에 따라 개발하였다.

2006 IPCC Guideline은 아래의 그림에서 보는바와 같이 기존의 가이드라인(1996, 2001)을 수용하면서, 온실가스를 발생하는 생산제품에 따른 공정별 배출량 산정방법에 대한 설명을 한층 더 세부적이며 구체적으로 제시하고 있다.

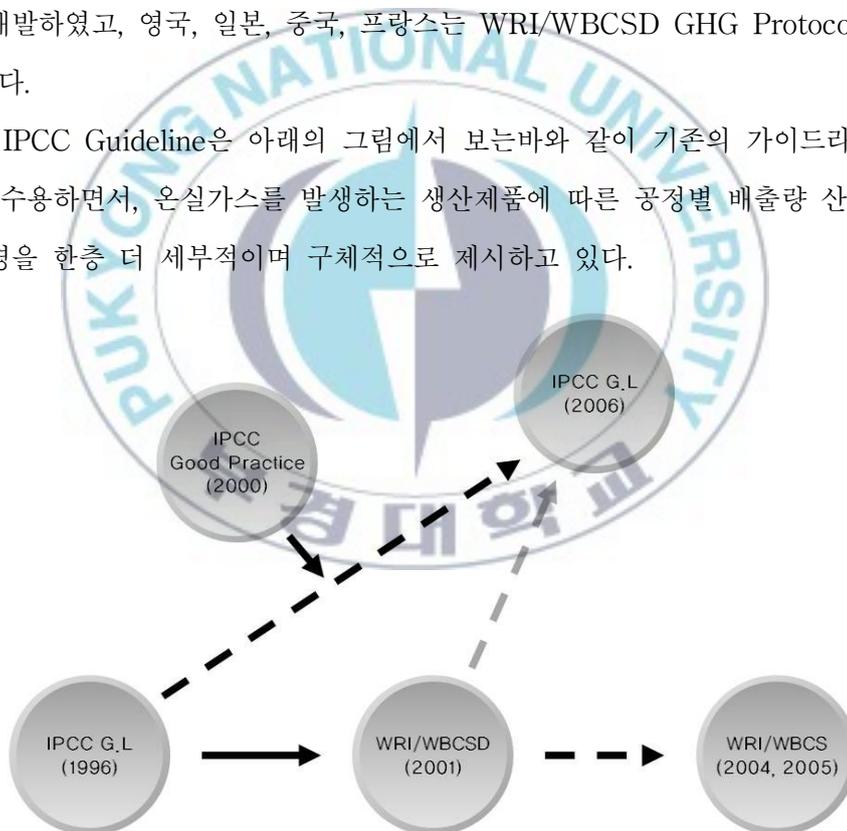


Fig. 2.3. Development history of GHG Guideline.

### 2.2.2.1. IPCC Guideline

IPCC Guideline은 IPCC/IEA/OECD가 공동으로 개발한 국가 온실가스 배출량 산정을 위한 지침서이다. 1994년 IPCC 총회에서 최초 지침서가 인정되었으며, 1996년 새로운 방법론과 내용을 추가하여 비부속국가를 위한 개정판이 출판되었다(IPCC Guideline, 1996). 그리고 당사국총회(COP) 2차 회의에서 지침서가 채택되었다.

IPCC 지침서는 하향식(Top-Down) 배출량 산정 접근 방법론을 이용하여 국가의 인벤토리 작성을 위하여 개발되었다. 그리고 각 산업별, 가스별 온실가스 배출량 산정 방법론을 제시하고 있으며, 국제적으로 표준이 되는 온실가스 종류 및 지구 온난화 지수(GWP : Global Warming Potential) 등을 포함하고 있다.

2006년에 개정된 IPCC 보고서는 탈루성 배출, 산업공정, 폐기물 등 세부배출원이 개정되었으며 토지이용변화 및 임업부문이 농업, 산림 및 기타 토지이용으로 변경되었다.

2006 IPCC Guideline은 다섯 권으로 되어 있으며 제1권은 인벤토리 개발의 기본적인 단계를 기술하고 국가 온실가스 인벤토리가 다수 등장하기 시작한 1980년대 후반 이후 기간 동안의 국가들의 축적된 경험에 관한 저자들의 이해에 기초하여 온실가스 배출 및 저감 산정의 일반적인 지침을 제공하고 있다. 제2권은 에너지 부문, 제3권은 산업공정 및 제품사용 부문, 제4권은 농업, 산림 및 기타 토지이용 부문, 제5권은 폐기물 부문에 대한 경제적으로 서로 다른 부문에서의 인벤토리 작성을 위한 지침을 제공하고 있다.

2006 IPCC Guideline은 온실가스배출원에 대한 오염원별 인위적 배출량과 제거에 의한 감축량의 국가목록 접근방법을 제시하고 있으며 UNFCCC회의의 방침에 대응하는 내용으로 되어있다. 각국의 배출량 산정과정 및 결과는 국제협약시 중요한 자료로 활용될 것이며 IPCC의 방침은 UNFCCC의 기준 아래 수행한 Inventory별 온실가스의 오염원에 의한 인위적 배출량과 소멸에 의한 제거량을 보고하면 그 부분에 따른 몬트리올 의정서에 의해 제약받지 않고 이행할 수 있도록 하고 있다.

### 2.2.2.2. WRI/WBCSD GHG Protocol

GHG Protocol Initiative는 170여 개의 다국적기업, 정부 WRI(World Resource Institute), NGO, WBCSD(World Business Council for Sustainable

Development)등이 공동 협력하여 개발한 기업에 적용하기 위한 온실가스 배출량 산정과 보고에 관한 표준 지침서이다(GHG Protocol Initiative, 2011).

WRI/WBCSD는 세계 각국의 다양한 기업들이 국제적으로 인정받을 수 있는 표준화된 온실가스 산정 및 보고 지침서의 개발을 위하여 1998년 공동 연구를 시작하였으며, 많은 산업체에 적용·의견수렴 과정을 통하여 2001년 초판을 개발하였다.

2004년 개정안은 경계설정, Scope 2의 조정 등 많은 부분에서 수정 개발 되었으며, 2005년 산업유형별 온실가스 산정 및 보고 양식(MS Excel File)을 포함하는 개정안이 개발되었으며, 현재 국제적으로 다수의 기업에서 본 지침을 활용하여 인벤토리를 작성하고 있다.

GHG Protocol Initiative은 세계 최초로 IPCC에 근거하여 개발된 기업 인벤토리 산정 지침서이며, 세계 각국 여러 기업(그리고 전문가, 단체)의 참여 및 시범적용과정을 거쳐 개발된 지침서이다. 따라서 본 지침서는 세계 각국의 기업 및 정부로부터 인정받아 광범위하게 적용되고 있으며, 본 지침서의 산정 및 보고 시스템을 근간으로 많은 각각의 온실가스 프로그램이 개발되고 있다.

#### 2.2.2.3. ISO 14064

ISO 14064는 ISO.에서 발표한 정부, 산업분야 등의 배출거래, 온실가스배출감축을 목표로 개발된 지침서이다.

ISO는 타당성평가 및 검증 프로토콜을 수용하지 않고 조직의 온실가스 배출 및 제거 수준을 측정하는 방식을 사용하는 정부, 기업 등의 제안에 의해 제기된 문제해결을 위해 개발하였으며, 조직(기업)과 온실가스배출감축 프로젝트 지원을 위해 명료하고 실증할 수 있는 요구사항 또는 세부지침을 제공하는데 목적을 두고 있다.

ISO 14064는 세 규격을 포함하고 있으며 각각 타당성평가 및 검증에 대한 세부 지침, 조직에 대한 지침, 프로젝트 수준으로 구성된다. ISO 14064 또는 기타 관련 규격, 지침에 사용되는 온실가스 타당성평가 또는 검증을 책임지는 인정/인증기관에 관련한 세부 요구사항인 ISO 14065가 2007년에 발표되었으며 제품의 탄소 발자국, 즉 탄소 이력을 측정하기 위한 ISO 14067이 현재 개발중에 있어 ISO 14064와 ISO 14065를

보완할 것이다.

#### 2.2.2.4 IPCC Guideline의 배출원 분류

IPCC Guideline은 국제적으로 통용되고 있는 온실가스 배출량 산정 지침으로 2006 IPCC Guideline에서는 다양한 활동에 의한 온실가스 배출원을 분류하고 산정하는 방법론을 제시하고 있다.

2006 IPCC Guideline은 아래의 표와 같이 에너지, 산업공정 및 제품사용, 농업과 임업 및 기타 토지이용, 폐기물, 기타부문의 5대 분류와 각각의 세부적 발생특성에 따른 단계별 분류가 되어 있으며, 분류의 세분화 정도나 물질의 특성 등에 따라 분류 단계가 여러 단계로 나뉘어져 있다.

Table 2.3. GHG inventory of 2006 IPCC Guideline

Inventory	Detail Classification
Energy	energy industry, manufacturing, construction, transportation, CO <sub>2</sub> transportation and storage
Industrial processes and product use	mining, chemical industry, metal industry, combustion of fuel using, sorbent using, electrical industry, alternative raw material for ozone destruction
Agriculture, Forestry and other land use	agriculture, forestry, farmland, swamp, cultivation, reclamation, disafforestation, etc
Waste	landfill and biological treatment for solid waste, incineration, waste water treatment and effluent, others indirect N <sub>2</sub> O emission
Others	indirect N <sub>2</sub> O emission from atmospheric deposition NO <sub>x</sub> and NH <sub>3</sub>

자료 : IPCC(2007), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

2006 IPCC Guideline의 대분류 체계에는 산업부문에 솔벤트 및 기타 생산부문이 포함되고, 농업 부문이 산림 및 토지이용부문으로 포함된 것을 제외하고는 1996 IPCC Guideline과 비교해볼 때 큰 변화가 없다. 그러나 세부물질별 산정방법론에서는 1996년의 경우 IPCC에서 제안하고 있는 초기배출계수를 이용하여 단계별 Worksheet작성에 따른 배출량 산정방법을 목적으로 하였고, 2006년의 경우 세분화된 Tier 1(Default Emission Factor), Tier 2(C물질수지), Tier 3(사용 연료를 세분화한 단위공정별 물질수지 또는 실측)방법을 적용하여 불확도가 낮은 배출량 산정방법을 선택하여 적용토록 권고하고 있다.

또한 2006 IPCC Guideline은 세부 생산공정별 해석과 배출량 산정 방법론(세분화된 Tier 1, 2, 3, 방법)의 정립, 초기 값 개선, 배출계수 선정 및 관리, 활동도 자료 선정 및 관리, 배출량의 중복성 검토, 공정별 세부 Data의 불확도 분석, QA/QC 등이 개선되어 국가배출량 산정시 국가적 특성에 맞는 방법을 적용하도록 권고하고 있다. 따라서 국제 온실가스 배출량 산정방법의 최근 추이는 각 나라의 배출특성 값을 이용하는 Tier 2와 3 방법을 IPCC의 Tier 1 방법보다 우선하여 적용하고 있다.

기존의 가이드라인(IPCC 1996, 2001)과 비교하여 2006 IPCC Guideline의 가장 크게 개선된 부분은 배출량 산정방법론 Tier 1, 2, 3로 세분화하여 정립하였다는 점이다. 2006 IPCC Guideline의 산정방법론은 아래 표에 정리한 것과 같이 Tier 1과 Tier 2, 3 method로 구분되며, 방법론은 기술형태별 배출자료의 유무로 구분되어진다. 산정방법별로 확인하면, Tier 1 방법은 1996년 IPCC Guideline과 마찬가지로 기술형태에 상관없이 일반적으로 에너지 수급통계자료 및 제품생산량을 활동도에 의해 산정된다. Tier 2 방법은 공정별 탄소물질 수지를 배출시설별로 배출량을 산정하는 방법이고, Tier 3 방법은 실제 투입연료의 물질별 탄소 물질수지 또는 실측을 통하여 더욱 구체적이고 상세한 배출자료를 산정하는 방법이다.

Table 2.4. Emissions estimation methodology by 2006 IPCC Guideline

Emissions estimation methodology			estimation methodology	characteristics
Approach	classification	Tier		
Approach method RA:X SA:O	RA (top-down)	Tier 1	일반적으로 에너지 공급 통계, 제품생산량을 기초로 기술형태에 상관없이 배출량 산정	가장 간단한 배출량 산정 방법으로, 비교적 통계자료가 자세하게 구축되지 않아도 배출량 산정이 가능
	SA (bottom-up)	Tier 2	탄소 물질수지와 저위 발열량 등의 현장 자료를 이용하여 배출량 산정	Tier 1과 비교하여 좀 더 자세한 업종별, 공정별 탄소함량, 발열량 등 국가 고유의 자료가 요구됨
		Tier 3	플랜트(혹은 기업)수준의 배출 자료 활용	Tier 2보다 더욱 자세한 자료를 요구하는 방법으로, 시설별 제조특성과 연료 등이 차이나는 것에 착안하여 플랜트 수준의 실측위주 자료가 요구됨

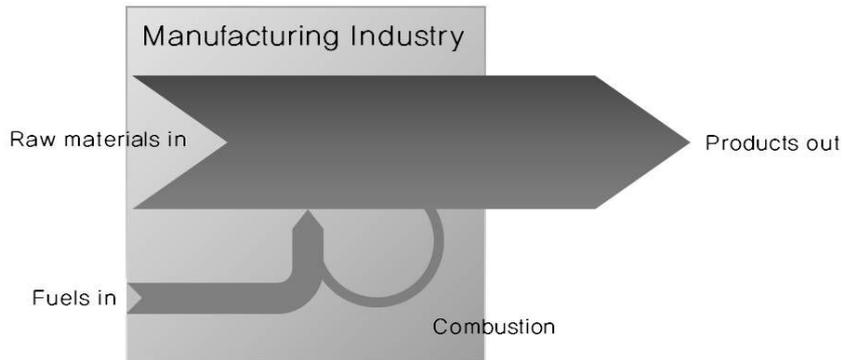
a) RA : Reference Approach

b) SA : Standard Approach or Sectoral Approach

자료 : 국립환경과학원(2007), 환경부문 온실가스 배출량 inventory 작성 및 배출계수 개발(II) - 2차년도 보고서.

국가 배출량 추계에 있어서 Tier 1 방법은 하향식 산정법으로 배출량 산정이 가장 간단하며, Tier 2, 3 방법론의 경우는 상향식 산정법으로 각 활동도 자료 혹은 공정별 배출량을 구한다음 이들을 전부 합산하여야 배출량 추정이 가능하지만 더 정확하다고 할 수 있다. 산정된 배출량의 불확도는 아래의 표에서 보는 것과 같이 Tier 3 방법론이 가장 적게 발생하며, Tier 1 방법으로 갈수록 불확도가 커지는 것을 확인할 수 있다.

2006 IPCC Guideline은 산업공정 분야 온실가스 배출원을 화석연료의 연소와 공정부산물의 연소, 제품의 생산공정 중 발생으로 구분하고 있다. 산업공정에서 온실가스 배출은 다음의 그림에서 보는 바와 같이 원료가 투입되고, 필요한 에너지만큼의 공정 부생연료 및 화석연료 사용에 따른 제품생산과정에서 발생한다.



**Fig. 2.4. Raw and fuel using mechanism for manufacturing industry.**

1996년 IPCC의 온실가스 산정방식은 평균치에 의한 Top-Down 방식으로 온실가스 배출량을 산정하게 되므로 각 국가나 지역, 개별 배출원에 대한 고려를 유기적으로 할 수 없는 단점이 제시되어 왔으며, 보다 정확한 온실가스 배출량 통계방법 및 통계자료를 구축하는 것이 필요할 것이다.

미국 등의 일부 선진국에서는 이미 온실가스 배출량을 체계적으로 조사·연구 중에 있으며 배출계수 개발은 배출량 사전의 가장 기본이 되는 자료로써, 각 공정별, 업종별, 주위여건 등에 따라 배출계수가 다변화 될 수 있으므로 적절한 배출계수의 확립이 무엇보다 시급하다.

### 3. 국내의 유해대기오염물질 관리정책

#### 3.1. 국내의 HAPs 관련법규

##### 3.1.1. 대기환경보전법

특정대기유해물질은 1978년 중금속 및 무기물류를 중심으로 16종이 지정되었고 1998년에는 유기성 물질까지 확대하여 25종으로 확대되었다.

2003년에는 환경부에서 대기로 배출되는 유해물질 관리의 우선순위를 조사하여 206종의 관리대상물질 및 48종의 우선관리물질을 도출하였다.

2006년에는 48종의 우선관리물질 중 PAHs, 에틸렌 옥사이드, 디클로로메탄, 히드라진, 스티렌, 테트라클로로에틸렌, 1,2-디클로로에탄, 에틸벤젠, 트리클로로에틸렌, 아크릴로니트릴의 10종을 특정대기 유해 물질군으로 편입하여, 현재의 35종 특정대기유해물질을 지정하고 있다.

특정대기유해물질은 그 위해성으로 인해 일반 대기오염물질보다 강화된 규제 하에 관리되고 있으며, 대기환경보전법에서는 카드뮴 및 그 화합물, 시안화수소, 납 및 그 화합물, 크롬화합물, 비소 및 그 화합물, 수은 및 그 화합물, 염소 및 염화수소, 불소화물, 니켈 및 그 화합물, 페놀 및 그 화합물, 벤젠, 포름알데히드, 염화비닐, 탄화수소의 14종의 특정대기유해물질에 대해 배출허용기준을 두고 있다(대기환경보전법, 2006).

##### 3.1.2. 악취방지법

악취방지법에서는 암모니아, 메틸메르캡탄, 황화수소와 같이 악취의 원인이 되는 물질로 22종을 악취물질로 지정하고 있으며, 악취관리지역 내 사업장에서 배출되는 악취의 배출허용기준을 설정하고 있다(악취방지법, 2005).

##### 3.1.3. 잔류성유기오염물질관리법

독성·잔류성·생물농축성 및 장거리이동성 등의 특성을 지니고 있어 사람과 생태계를 위협하게 하는 물질인 잔류성 유기오염물질에 관한 스톡홀름협약의 시행을 위하여 동

협약에서 규정하는 잔류성 유기오염물질의 관리에 필요한 사항을 규정함으로써 잔류성 유기오염물질의 위해로부터 국민의 건강과 환경을 보호하고 국제협력을 증진함을 목적으로 하고 있으며, 현재 HAPs 중에는 다이옥신에 대한 배출허용기준을 설정하고 있다(잔류성유기오염물질관리법, 2008).

#### 3.1.4. 유해화학물질관리법

화학물질로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하고 유해화학물질을 적절하게 관리함으로써 모든 국민이 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 수 있게 하고자 하는 유해화학물질관리법은 1990년에 ‘독물 및 극물에 대한 법률’로 제정되어 이후 2004년 12월, 2006년 2월 및 2007년 12월에 개정을 거쳐 현재의 유해화학물질관리법으로 존속되고 있다.

유해화학물질관리법에서는 유해화학물질을 제조, 수입, 판매, 보관, 저장, 운반 및 사용하는 사업장을 규정하고, 유해화학물질에 의해 국민건강 또는 환경상의 위해가 발생되지 않도록 시설·장비를 적정하게 유지하는 유해화학물질의 적정 관리에 대하여 규정하고 있다.

저장소·저장탱크 등 사고대비물질을 보관·저장하는 시설에서 최대로 보관·저장할 수 있는 수량에 관하여 총 56개 물질에 대하여 유해화학물질관리법 시행령 에서 제시하고 있다(유해화학물질관리법, 2007).

#### 3.1.5. 산업안전보건법

산업안전·보건에 관한 기준을 확립하고 그 책임의 소재를 명확하게 하여 산업재해를 예방하고 쾌적한 작업환경을 조성함으로써 근로자의 안전과 보건을 유지·증진하기 위하여 제정된 산업안전보건법은 특히, 작업장에서 발생되고 있는 ‘유해인자’에 근로자가 얼마나 노출되는지를 측정, 평가하여 유해한 작업장의 시설, 설비를 개선하는 등 쾌적한 작업환경을 조성하고 근로자의 건강을 보호하는데 초점이 맞추어져 있다. 유해인자란 노동부령이 정하는 분류기준에 따라 분류되고 있는 근로자의 건강장해를 유발하는 유기화합물 113종, 금속류 23종, 산 및 알칼리류 17종, 가스상 물질 15종, 령

30조에 의한 허가대상물질 14종(6가 크롬은 2005. 10월 삭제), 물리적 인자 2종, 분진 6종 및 그 밖에 노동부장관이 고시하는 유해물질로 규정하고 있다.

산업안전보건법은 크게 시설설비에 대한 안전기준과 작업장 내 근로자들의 보건을 위한 보건기준으로 분류할 수 있다. 안전기준에 대한 규칙은 사업장 내 시설설비로 인한 중·대재해의 예방을 목적으로, 화학설비의 구조 및 장치의 관리기준을 구체적으로 제시하여 산업안전기준에 관한 사항과 그 시행에 관하여 필요한 사항을 규정하고 있는 반면, 보건기준에 대한 규칙은 작업환경측정기준을 규정하고 있다(산업안전보건법, 2005).



## 3.2. 외국의 HAPs 관리정책

### 3.2.1. 미국의 HAPs 관리정책

미국의 경우 공해방지를 위한 환경법의 성격을 가진 법과 정책들은 제2차 세계대전 이후 지방정부, 주정부, 그리고 연방정부 차원에서 점진적으로 발전하기 시작하였다.

이중 대기에 관해서는 1955년에 대기오염에 대한 연구자금을 지원하는 제한된 프로그램을 실시하기 시작하였으며, 연방정부는 1963년에 CAA를 제정하여 연방정부의 지침 하에 주정부가 오염감소기준을 설정하고 이를 시행하기 위한 집행계획을 수립할 것을 권장하기 시작하였다. HAPs에 대한 미국의 CAA 관리정책은 1970년 이후 시작되어 1990년 이전과 이후의 정책으로 크게 양분 될 수 있다.

이에 대한 접근 시나리오로서 1990년 이전까지는 유해대기오염물질에 대한 규제는 건강기준으로서 인체의 건강에 충분히 안전하다고 하는 입장의 기준으로 제시되어 있었다. 이는 1963의 CAA의 시행에 기반을 두고 있었으며, 1970년 국가환경정책법(NEPA : The National Environmental Policy Act)의 시행으로 대기청정법의 개정을 추진하였다. 그 후 1977년에 이용 가능한 최선의 기술기준으로서의 BACT(Best Available Control Technology)에 근거한 배출기준 도입을 위하여 추가개정을 실시하였다(US EPA Clean air act, 1977).

따라서, 1970년 CAA 개정안의 HAPs 관리정책은 「Risk Only Approach」로 요약될 수 있다. EPA는 인체에 노출되는 각 오염물질들의 위해성을 평가하고 이를 기초로 HAPs를 관리하도록 하였으나 규제 물질에 관한 많은 법률적, 과학적, 정책적 논쟁으로 인해 HAPs의 효율적 관리가 이루어지지 않았다. 1990년 법이 재개정되기까지 20년간 EPA는 inorganic arsenic, asbestos, benzene, beryllium, mercury, radionuclides, vinyl chloride 등의 7개 물질에 대해서만 규제기준을 설정할 수 있었으며, 동기간 동안의 HAPs 감축량은 125,000톤에 불과한 것으로 평가된다.

이와 같이 관리를 위한 적용기준은 규모가 큰 신규발생원으로서 특정의 분류에서 100톤/년 이상, 기타 250톤/년 이상 배출하는 사업소를 대상으로 질소산화물(NOx), 황산화물(SO<sub>2</sub>), CO, VOCs, 납, PM 등 기준 오염물질(Criteria Pollutants) 6종을 대상으로 health-based standards로서 실시되었다. 여기서 휘발성유기오염물질은 대기

중 질소산화물과 반응에 의한 오존생성 전구체로서 간주되어 차량을 비롯한 화학공장 뿐만이 아니라 용제사용의 발생원도 대상이 되었다. 이에 대하여 USEPA-NEI(National Emission Inventory)는 기준오염물질 발생원 Inventory의 구분을 크게 다음과 같이 세 가지로 분류하였다.

첫째, Point sources; 발전소와 같은 고정발생원으로서 적어도 기준오염물질 중 하나 또는 그 이상을 threshold amount 이상 방출하는 Major발생원이 대상이 되었으며,

둘째, Area sources; 가정과 사무실 같은 작은 point sources 및 고정원으로서 확산의 소지를 가지는 경작에 의한 것을 포함하여 자연화재 등이 포함되었으며, 또한 드라이클리닝이 주요한 발생원으로서 포함되어있다.

셋째, Mobile sources; 가솔린 및 디젤을 사용하는 차량 및 항공기, 선박 등을 포함하여 분류하고 있다.

하지만, 1990년에 규제강화를 목적으로 대기청정법의 대폭적인 재개정을 추진하였으며, 이는 HAPs에 대하여 중점을 두고 있으며, 규제강화에서의 중요한 사항 중의 하나는 유해대기오염물질의 관리를 위하여 정책의 방향을 기술적인 기준인 MACT, 즉 유해대기오염 물질의 관리에 달성 가능한 최신 또는 최적의 기술을 도입한다는 취지에 따라 인체건강의 안전성뿐만이 아니라 기술적인 기준을 추가하여 사람의 건강보호에 대한 충분한 안전율을 감안하여 인체건강 측면에서 바라본 규제기준이 제정되었다.

이 개정에서 추진된 주요골자를 보면, 188종의 HAPs의 목록화, 발생원 카테고리를 분류제정, 발생원별의 배출기준과 기술적 근거의 MACT기준의 도입, 리스크가 잔존하는 경우 리스크에 근거한 기준을 책정, 먼 오염 발생원을 규제대상으로 추가 등의 중요사안을 개정하였다.

1990년에 개정된 CAA에 의하면, EPA는 다이옥신을 포함한 유해대기오염물질은 생태계를 비롯한 환경전반의 영향과 암 등과 같은 건강에 악영향을 유발하는 독성대기오염물질의 카테고리로 분류하고 있으며, 이러한 유해대기오염물질 제어를 위하여 기술적인 요구조건을 만족할 수 있는 조치를 취하도록 하고 있다.

US-EPA는 HAPs를 188종으로 정의하고 있으며, 이에 대한 법적근거(Clean Air

Act; CAA의 Section 112)를 통하여 1992년 7월에 최초로 166종의 Major Sources와 드라이클리닝, 주유소 등의 소규모 발생원을 포함한 Area Sources의 적용대상 174 배출원 목록 카테고리를 발표하였다.

이후, 1996년에 발생원 카테고리의 재정비를 실시하고 현재로서는 유해대기오염물질의 발생원분류 classes를 세 가지로 나누어 정의하고 있다.

첫째, Major sources; HAPs 목록 화학종이 10 tons/year 또는 그 이상을 방출하거나 방출의 잠재성을 가지고 있는 발생원 및 25 tons/year 또는 그 이상의 목록화 된 복합적인 화학종의 배출 또는 잠재성을 가지고 있는 시설,

둘째, Area and Other sources; 고정발생원에서 목록화 된 단일 화학종이 배출과 배출의 잠재성이 10 tons/year 이하와 전화학종이 25 tons/year 이하의 발생원이 대상이 되며, 이에 대하여 드라이 클리닝 및 주유소 주변이 대상으로 포함되고 있으며, 또한 노천의 화재 및 연소를 포함시켜 규정하고 있다.

셋째, Mobile sources; 이에 대해서는 on-road vehicles, non-road 2- 와 4-stroke 및 diesel engine등이 포함되며, off-road vehicles, aircraft, locomotives 와 commercial marine vessels를 포함시키고 있다.

### 3.2.2. 일본의 HAPs 관리정책

일본은 1968년 「대기오염방지법」을 제정하면서 대기오염관리를 시작하였으며, 1996년의 대기오염방지법 개정안을 통해 유해대기오염물질의 관리가 시작되었다. 243종의 유해대기오염물질 중 우선대책이 필요한 물질 22종을 우선취급물질로 선정하고, 우선취급물질 중에서도 미연의 방지 관점에서 배출억제가 시급한 물질 3종을 지정물질로 지정하여 Table 2.5의 배출기준을 설정, 관리하고 있다(일본 환경성 대기오염방지법, 1996).

Table 2.5. Criteria HAPs emission limits of Japan

No.	Compounds	Discharge	emission limits
1	Benzene	Dryer, etc	new: 50~600 mg/Nm <sup>3</sup> exist: 100~1500 mg/Nm <sup>3</sup>
2	Trichloroethylene	Cleaning facility using by trichloroethylene	new: 150~300 mg/Nm <sup>3</sup> exist: 300~500 mg/Nm <sup>3</sup>
3	Tetrachloroethylene	Dry cleaning facility by tetrachloroethylene	new: 150~300 mg/Nm <sup>3</sup> exist: 300~500 mg/Nm <sup>3</sup>

자료: www.env.go.jp

1996년 환경성과 경제산업성은 “사업자에 의한 유해대기오염물질의 자주 관리 촉진을 위한 지침”을 작성하여 사업자가 유해대기오염물질을 대기로 배출하는 것을 억제하도록 요구하고 관련업계에 대하여 “자주관리계획”의 수립을 요청한 바 있다. 이로 인해 벤젠 농도가 크게 저감된 바 있으며, 2003년에 기존의 틀을 유지하면서 벤젠 농도가 높은 지역에서 지역단위의 새로운 자주관리 노력을 요하는 개정판이 공포되었다.

새로운 자주관리계획을 통해 배출량원단위(휘발유 판매량 당 벤젠 배출량)는 1999년 대비 62% 삭감된 것으로 나타났으며, 2003년에 실시한 벤젠 배출억제 대책의 결과, 휘발유 판매량은 2002년 대비 약 3% 증가한 반면에 배출량원단위는 약 4% 감소된 것으로 조사되었다. 2004년 이후에는 휘발유 탱크의 부상덮개식 개조, 정유공장의 로리출하 및 벤젠 선박출하 설비의 증기회수장치 설치 등을 통하여 벤젠배출량을 감축하고 있으며, 이와 더불어 벤젠으로부터 시클로헥산을 생산하는 장치능력 증강 등을 통해 벤젠제품의 취급량 자체감소를 유도하고 있다.

일본의 개정 대기오염방지법에서 유해대기오염물질 대책의 국가적 정책의 방향을 살펴보면, 이 정책에서는 유해대기오염물질을 지속적으로 섭취되는 경우에는 사람의 건강을 손상시킬 우려가 있는 물질로서 대기오염의 원인이 되는 것에 대하여 시책의

실시지침을 다음과 같이 제시하고 있다.

우선, 과학적 지견을 충분히 검토하여 건강피해의 미연 방지를 목적으로 하고, 구체적인 대책에 대한 역할 분담을 정부, 지방공공단체, 사업자, 주민의 역할 분담을 제시하고 있다.

정부의 역할 분담을 보면 대기오염상황을 조사하고, 과학적 지견에 충실히 하여 건강리스크의 평가, 공표, 기술정보의 수집정리, 성과의 공표에 두고 있으며, 지방공공단체는 대기오염상황을 조사하여 사업자에게 정보를 제공하고, 사업자는 제공된 정보에 따라 실시지침에 대한 사업자의 책무로서 명시된 노력을 하고 주민은 보급된 지식에 따른 개선의 노력을 하도록 하고 있다.

또한 부칙에 따르면, 당면의 조치로서 지정물질에 대하여 빠른 시일 내에 대책을 강구할 수 있도록 하고, 지정물질 배출시설에 대하여 정령을 제정할 수 있도록 하고 있다. 그리고 규제기준에 대해서는 환경청 장관에 의한 지정물질 억제기준을 제정하도록 하고, 지방단체장은 지정물질 배출시설의 설치에 대하여 권고와 보고조치를 하도록 하고 있다.

검토 규정에 의하면, 정부는 법의 시행 후 3년마다 유해대기오염물질 대책 추진에 대한 제도를 검토하도록 하여 그 결과에 따라 후속 조치를 취하는 것으로 하고 있다.

2007년 일본 환경성은 유해대기오염물질과 관련하여 대기오염 방지법에 근거하여 VOCs를 중심으로 개정 인벤토리를 제시하고 있으며, 이에 대한 인벤토리의 착수를 시작한 2000년에 비교하여 30%의 배출삭감 효과를 달성한 것으로 평가하고 있다.

이러한 인벤토리의 대상물질 그룹을 보면, 탄화수소계(9), 알콜계(7), 케톤계(4), 에스테르계(3), 글리콜계(4), 에테르계 및 글리콜 에테르계(7), 글리콜 에스테르계(3), 할로젠계(6), 그 외의 다체 용체계(5), 석유계혼합용제(13), 불명(1)으로서 11개 그룹으로 분류하고 있다. 이들 물질 군에는 지정 물질 중 벤젠을 제외하고 VOCs 배출 목록에 포함된 물질이 집계되어 있다.

### 3.2.3. 유럽연합의 HAPs 관리정책

유럽연합의 대기배출목록의 정비 상황은 EMEP (Co-operative Programme for

Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe)에 근간을 두어 대기 중 배출인벤토리가 정비되어 있다.

EMEP는 2005년 시점에서 보면, 북미 및 중앙아시아 일부를 포함한 55개국을 대상으로 UNECE, WMO, UNEP의 협력 하에서 체결한 장거리월경대기오염협약 (LRTAP : Convention on Long Range Transboundary Air Pollution)에 공헌한다는 계획의 목표를 설정하여 두고 있다. 이에 대한 주된 계획의 내용을 보면, 대기오염의 침적과 농도에 대한 정보, 국경을 넘어 장거리이동에 의한 대기오염물질의 양에 대한 정보를 가맹국에 제공하는 것을 주목적으로 하여 이에 대한 배출목록의 기술적 가이드북으로서 제시되고 있는 것이 “EMEP /CORINAIR Emission Inventory Guidebook 2004, Technical report No 30”으로서 배출목록은 SNAP 97 (SNAP: Selected Nomenclature for sources of Air Pollution)이라고 하여 대기오염 배출원을 11개 카테고리로 분류하여 배출인벤토리의 작성수법을 제시하고 있다(EMEP /CORINAIR Emission Inventory Guidebook, 2004).

이외에 휘발성유기오염물질(VOCs)에 대하여 유럽연합 내의 각국이 주안점을 두고 있으며, 이는 대기광화학의 관점에서 접근하고 있다. 유럽연합의 법적 근거를 보면, 가솔린의 저장에서 수송, 가솔린판매 유통에 대한 VOCs배출 억제에 관한 이사회 지령(94/63/EC)이 있고, 특정의 활동 및 설비에 대해서 유기용제의 사용에 의한 VOCs의 배출억제를 위하여 이사회 지령으로서 Gothenburg 의정서(1999/13/EC)에 근거한 시행 채택이 각각 1994년과 1999년에 이루어졌다.

이들의 목적은 대기질 관리에 있어 오존의 관리에 초점을 맞추고 있으며, 대상 시설은 주로 주유소 및 급유소가 대상이 되고 있다. 또한, 1994년의 의정서에서는 자동차 제조업을 비롯한 도료, 접착제 및 합성 고무 제품 등 제품생산에 따른 휘발성 유기오염물질의배출이 대상이 되고 있다.

한편 영국의 경우는 Environmental Protection Act(1990)를 오존관리를 위한 목적으로 시작하였으며, 주요 대상 배출원으로는 화학공업, 금속공업, 자동차도장, 금속도장, 가전도장, 인쇄 공업 등이 주요 대상으로 하여 2010년까지 1999년에 비교하여 30%의 삭감 목표를 설정하여 두고 있다.

또한 독일의 경우도 마찬가지로 Bundlet Immissionsschutzgesetz, Technische

Anleitung zum Reinhaltung der Luft (TA-Luft) 정령 31조에 기반을 두어, 인쇄공정을 비롯하여 세정공정, 자동차제조업, 금속표면가공업, 와이어 표면가공업, 플라스틱표면가공업, 고무제조업, 약품제조업 등 산업부분에서의 배출원으로 부터 2010년까지 1990년에 비교하여 70%의 삭감목표를 설정하여 두고 있다(TA-Luft, 1993).

유럽연합의 대기배출원은 point, area 그리고 line으로 크게 세 가지 타입으로 구분을 하고 있다. 점오염원은 주로 산업 플랜트가 주를 이루고 있으며, 면오염원의 경우는 소규모고정 발생원 및 시설로부터의 확산되는 것을 대상으로 하고 있으며, 선 오염원은 자동차 등을 비롯한 수송과 관련한 배출원으로 정의하고 있다.

#### 3.2.4. 영국의 HAPs 관리정책

영국의 UK National Atmospheric Emissions Inventory(NAEI)는 National Environmental Technology Centre에 의하여 추진되고 있다. 2003년에 제시된 영국의 대기 배출 인벤토리는 44종의 오염물질에 10그룹의 오염 물질군(NMVOC, Particulate Matter, PCDD/F, PAH, PCB, HFC, PFC, SCCP, PCN and PBDE)을 포함하고 있다. 또한, particulate matter 및 약 500 NMVOCs, oxidation 상태의 Hg, Ni 그리고, Cr, 11종의 PAHs 와 209종의 PCBs를 포함하고 있다(UK Emissions of Air Pollutants 1970 to 2003, 2005).

또한, 영국은 NAEI의 배출원의 배출량 산정과 관리의 연간 계획을 다음의 Fig. 2.5와 같이 추진하고 있다.

## NAEI Compilation Cycle

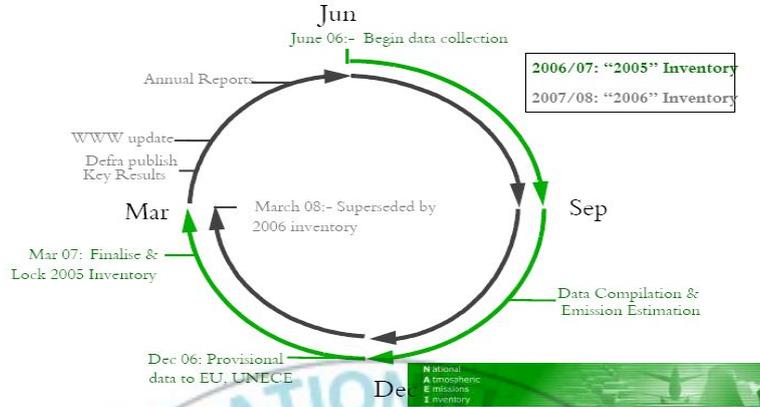


Fig. 2.5. National Atmospheric Emissions Inventory of UK.

### 3.2.5. 독일의 HAPs 관리정책

독일은 HAPs 관리를 위해 발암성 물질, 입자상 및 가스상 무기물질, 유기물질 등으로 구분된 배출기준을 준수토록 하고 있으며, 최근 2001년 개정을 통해 관리기준을 강화한 바 있다. 2001년 개정된 기준에서는 유해물질의 배출허용기준이 전반적으로 강화되었는데, 발암성 III 등급의 경우 이전의 25 g/h에서 1/10 수준인 2.5 g/h로 대폭 강화되었으며, 배출기준을 준수해야 할 유해한 유기화학물질의 범위를 기존 103종에서 185종으로 확대한 바 있다.

독일의 HAPs 관리는 수용체 중심으로, 인간이나 생태계의 피해를 최소화하는 정책을 시행하고 있으며, 배출허용기준은 독성학, 생체축적성, 역학적 측면을 고려하고 BAT(Best Available Technology)를 근거로 하여 매우 엄격한 기준을 적용하고 있다(환경부, 유해대기오염물질 인벤토리구축사업, 2008).

이러한 TA-Luft의 기준은 허가를 위한 최소한의 기준이며 실제 허가과정에서 이보다 더욱 엄격한 기준을 적용받는 경우가 많다. 사업자는 시설입주지역의 대기질을

측정하고 대기모델링을 통해 배출시설로 인한 대기질 환경영향평가를 수행하여야 하며, 이 결과를 토대로 추가 조치를 취해야 한다. 이 때 배출시설이 배출한계치를 만족하더라도 심각한 환경영향이 예상될 경우에는 허가를 불허하고 있다. 허가 대상 시설의 규모가 법으로 정해져는 있으나, 대상 시설이 아닌 경우에도 허가심의를 요청할 수 있기도 하다.

### 3.2.6. 캐나다의 HAPs 관리정책

오대호(The Great Lakes)에서의 Regional Air Toxic Emissions Inventory 는 toxic air(HAPs) emission에 의한 오대호의 수질영향과 주변 환경 관리를 위한 목적이었으며, 이를 위하여 오대호 주변의 8개의 주(Illinois, Indiana, Michigan, Minnesota, New York, Ohio, Pennsylvania와 Wisconsin, 그리고 Ontario주)가 참여하여 1989년에 HAPs관리에 조인을 하고, 1989년 이후에 공동대응을 위하여 Great Lakes Commission (GLC)을 설치하여, 그 지역의 point와 area sources에 대한 지역대기오염인벤토리 개발시스템 (Regional Air Pollutant Inventory Development System; RAPIDS)이 개발되었다.

이를 위하여 최초 4년의 준비 과정은 미국 환경보호청과 오대호 관리기관에 의하여 개발 지원이 이루어졌으며, 이에 대한 테스트는 1994년에 Southwest Lake Michigan Air Toxics Pilot Inventory project로 이루어 졌다. 이 pilot inventory는 small point 와 area sources에 대하여 49 compound에 초점을 맞추어 추진되었다.

미시간호에 대한 인벤토리에 대하여 보면, 1993년, 1996년, 1997년, 1998년, 1999년 과 2001년에 발표되었다.<Great Lakes Regional Air Toxic Emissions Inventory Report Initial Inventory Using 1993 Data March 1999. U.S. Environmental Protection Agency Under the Clean Air Act, Sections 112(c), 112(k), and 112(m)U.>

1993년에 검토된 inventory에서는 point와 area sources에서 49 pollutants 가 대상이 되었으며, 주요 배출원은 U.S. Clean Air Act.에 근거하여 오대호 관련 주(Great Lakes States)들에 대한 HAPs Inventory protocol이 1994년 6월에

제시되었다.

HAPs Inventory를 개발함에 있어 두 가지의 중요한 사항은 effort are the appropriate level of detail 와 the use of facility versus area approach for calculating emissions 이었다.

HAPs Inventory에 있어서 protocol은 프로젝트의 목적에 부합하기 위하여 대상화확종의 포함 여부(Emitters included), 공간적 해상도(Spatial resolution), 시간적 해상도(Temporal resolution), 발생원 분류와 구분의 과정(Source/device/process categorization)을 검토하고 있다.

Protocol의 배출량 산정 접근방법 중 Facility source approach는 각각의 발생원에 대하여 공정을 확인하여 시설을 point sources 로 취급하며, Area source approach는 활동도 자료를 기반으로 공정의 유사성을 인정하여 직접적인 총 배출량으로 산정하는 두 가지 접근방식을 채택하고 있다.



## 4. PAHs의 물리화학적 특성

Hydrocarbon은 순수하게 탄소와 수소로 구성된 물질이지만, polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs)은 질소, 황, 산소 등 다른 원소를 포함한 PAH 환상구조의 물질들을 포괄적으로 포함하고 있다.

PAHs는 수소와 산소원자가 두 개 또는 그 이상 벤젠링과 선형, 다각형 또는 군집형태의 배열에 의한 분자형태를 구성하고 있다. PAHs의 대표적인 형태는 alkylated naphthalenes, phenanthrene과 benzo(a)pyrene과 같이 융합된 환상화합물과 biphenyls와 같이 연결된 화합물의 형태를 가지고 있다.

또한, 연결된 벤젠환수가 증가됨에 따라 환경오염에 대한 가중성이 높아진다고 보고되어 있다(Wijayarathne et al., 1984). 환경 중에서의 PAHs의 전이와 분배는 다른 UPOPs 물질과 같이 수용해성, 증기압, 헨리상수, 옥탄올 분배계수, 유기탄소분배계수와 같은 물리, 화학적 특성에 크게 좌우된다. 헨리상수는 화학물의 잠재 휘발지표로 사용되며 대기과 수계에서의 화학적 농도 평형의 비를 표현하는 분배계수로 사용되고 있다.

유기탄소분배계수는 토양과 침전물 내의 유기탄소에 의한 잠재결합에 대한 지표로, 옥탄올 분배계수는 수질 생태계에서의 생물농축에 상관성이 있는 유기화합물이 수계에서 지방질로의 이동추정에 사용되고 있다(Mackay et al., 1992; Wey et al., 1998).

실온에서 PAHs는 고체상태이며, 이런 부류의 화합물은 비점과 융점이 높으나 증기압이 낮고 분자량 증가에 따라 극히 낮은 수용해도를 나타내는 일반적인 성질을 가지고 있다. PAHs는 방향족 고리가 2-4개인 경우 기체 또는 고체에 흡착된 형태로 분포하지만 5개 이상이 되면 주로 고체에 흡착된 상태로 존재한다. 배출된 대기중의 PAHs는 오존에 의해 변화되며 이산화질소와 같은 화합물이 존재할 경우 nitro-PAHs 등이 생성된다(Mackay et al., 1992; Wey et al., 1998)

PAHs는 DNA 변형물과 발암과 같은 독성영향이 발견된 후 생태독성학적으로 매우 중요시 되었다. 유기물에 있어서의 발암성과 돌연변이성에 대한 잠재력으로 인하여 PAHs는 큰 과학적 관심을 유발하였으며 모든 PAHs가 잠재적 발암성과 돌연변이성을

가진 것은 아니지만 이들 중 일부는 신진대사 활동 후에 발암성과 돌연변이성을 유발한다(Yan, 1985 ; Mix, 1986 ; Lehr and Jerina, 1977 ; White, 1986).

환경중으로 직접적으로 배출되는 대부분의 PAHs는 자연상태와 인위적인 상태로 대기중으로 배출되며 대부분 인간활동에 따른 배출이 지배적이다. 대기중 PAHs는 대부분 입자상 물질과 결합되어 있지만 가스상 형태로도 존재한다(Yang et al., 1991).

발생원으로부터 배출된 PAHs의 환경오염의 관심이 증대되고 있으며, 환경배출의 발생원 중의 하나로서 국내의 하수처리장에서 배출량 산정이 보고되고 있다.(김동환 등, 2003)

또한, 대기, 토양, 저질 등 환경중에서의 잔류 및 거동에 대한 연구의 결과 입자 및 가스상의 분배의 존재특성을 보이고 있는 것으로 밝혀지고 있으며, 토양을 비롯한 저질에서의 잔류수준은 높은 것으로 알려져 있다. 특히, 대기 중 PM 10의 농도와 PAHs의 상관성이 높고, 발암성이 높은 화합물의 잔류농도가 높은 것으로 밝혀져 환경에서의 잔류거동의 중요성이 높은 것으로 지적되고 있다.(Kim and Ok, 2002)

주거지에서의 목재연소 및 연소시설의 불완전 연소는 배출가스가 처리되지 않고 배출되는 PAHs의 가장 큰 발생원 중의 하나이다(Ramdahl et al., 1982 ; Freemam and Cattell, 1990 ; NRC, 1983 ; Tan et al., 1992).

실내에서 담배연기, 난방시 미환기, 등유의 난방열 사용, 요리 및 난방에 사용되는 가스 등이 중요한 PAHs의 배출원으로 추정하고 있으며(Chuang et al., 1991 ; Hoffman, 1993 ; Mumford et al., 1991) 압축 포장된 쓰레기를 연소할 경우 및 아파트 화재 후 표면에서도 PAHs가 배출된다(Nammari et al., 2004 ; Wobst et al., 1998).

Tang(2005)은 PAHs의 농도와 TOC가 강한 양의 상관관계를 가진다고 보고하고 있으며, Jones(1989)은 TOC와 PAHs 농도 사이에 약한 양의 상관관계를 가진다고 보고하고 있다(Zhang et al., 2005).

Table 2.6. Physical and chemical properties of PAHs ( Wey et al., 1998; EPA method No. 610)

Compound	Abbreviation	Chemical Formula	Molecular Weight	Melting Point (°C)	Boiling Point (°C)	Vapor Pressure (mmHg, 25°C)	Structure
Naphthalene	NAP	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128.16	80	218	7.1×10 <sup>-2</sup>	
Acenaphthylene	ACY	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>	152.20	93	275	6.7×10 <sup>-3</sup>	
Acenaphthene	ACE	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	154.21	96	279	2.2×10 <sup>-3</sup>	
Fluorene	FLU	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	166.22	117	295	6.0×10 <sup>-4</sup>	
Phenanthrene	PHE	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178.22	100	340	1.2×10 <sup>-4</sup>	
Anthracene	ANT	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178.22	218	342	6.0×10 <sup>-6</sup>	
Fluoranthene	FTH	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202.26	110	393	9.2×10 <sup>-6</sup>	
Pyrene	PYR	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202.26	156	404	4.5×10 <sup>-6</sup>	
Benzo(a)anthracene	BaA	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228.29	159	435	2.1×10 <sup>-7</sup>	
Chrysene	CHR	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228.29	256	448	6.4×10 <sup>-9</sup>	
Benzo(b)fluoranthene	BbF	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252.32	168	393	N.R.	
Benzo(k)fluoranthene	BkF	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252.32	217	480	9.6×10 <sup>-11</sup>	
Benzo(a)pyrene	BaP	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252.32	177	496	5.6×10 <sup>-9</sup>	
Indeno(1,2,3-c,d)pyrene	IcdP	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276.34	162	534	N.R.	
Dibenzo(a,h)anthracene	DahA	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	278.35	262	535	N.R.	
Benzo(g,h,i)perylene	BghiP	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276.34	273	542	1.01×10 <sup>-10</sup>	

N.R. : Not reported.

## 5. 녹색시범도시 지역의 온실가스 배출특성

### 5.1. 1인당 온실가스 배출특성

#### 5.1.1. 1인당 온실가스 배출량

2000년부터 2007년까지 산정된 녹색도시(강릉시)의 온실가스 총 배출량, 흡수량, 순배출량, 혼합배출량을 각 연도별 강릉시 인구로 나누어 강릉시 1인당 온실가스 배출량/흡수량을 산정하였다. 강릉시의 인구는 매년 강릉시청에서 발행하는 강릉시 통계연보를 통해 획득하였다.

강릉시의 1인당 총배출량, 흡수량, 순배출량 및 혼합배출량은 큰 변화 없이 증감을 반복하는 것으로 나타났다.

Table 2.7. GHG emissions and absorption in Gangneung City

unit : 1000person, tCO<sub>2</sub>eq/person

구 분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Ave
population	234	233	231	230	228	226	223	222	228
total emissions	31.06	31.97	31.79	33.57	30.89	32.08	31.79	33.81	32.12
absorption emissions	-1.30	-1.62	-2.05	-1.87	-1.67	-1.90	-2.04	-2.83	-1.91
pure emissions	29.76	30.35	29.74	31.70	29.22	30.18	29.75	30.98	30.21
mixed emissions	28.63	29.92	29.67	31.43	29.35	30.78	30.39	31.54	30.21

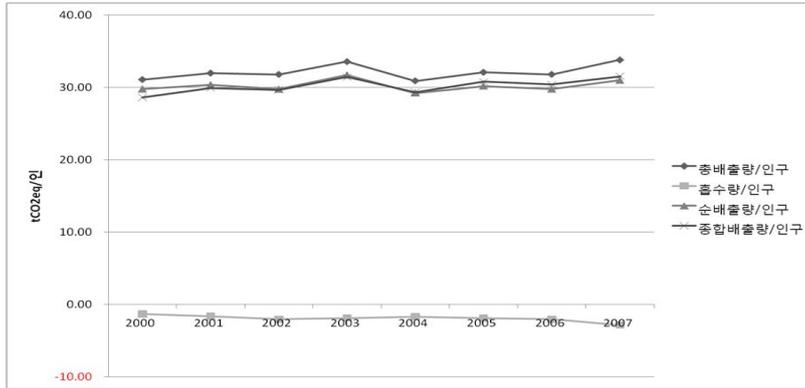


Fig. 2.6. Trend of GHG emission and absorption per person.

### 5.1.2. 광역지자체와의 배출량 비교(2006년 기준)

강릉시의 1인당 온실가스 배출량/흡수량의 상대적 비교를 통해 강릉시의 상대적인 배출량 추이를 분석할 수 있을 것이다. 하지만, 국내에서는 IPCC 2006 G/L을 이용하여 기초지자체의 온실가스 배출량 산정을 하는 과정에 있기에 현재는 지자체의 온실가스 배출량 산정 결과 값을 획득할 수 없다.

현재 공식적인 자료로 공표된 지식경제부의 2009년 7월 30일 ‘지자체별 온실가스 배출량 및 배출특성 분석결과’ 보도자료가 있다. 하지만, 해당 보도자료는 전국 광역지자체의 에너지 부문, 산업 공정 부문의 온실가스 배출량만 산정하여 발표하였기에, 강릉시 온실가스 배출량과 비교하는 것에 한계가 있으므로 제외하였다.

다만, 국립환경과학원의 GHG-CAPSS 자료를 이용할 경우 전국 지자체의 온실가스 배출량의 추정치를 얻을 수 있으므로 타 지자체와의 비교를 위하여 국립환경과학원의 GHG-CPASS 자료를 이용하여 2006년 기준으로 온실가스 배출량 비교 가능하다.

16개 광역지자체 온실가스 배출량 산출 자료와 국가통계포털의 2006년 인구통계를 이용하여 1인당 온실가스 배출량 원단위를 산출하였다.

1인당 온실가스를 가장 많이 배출하는 광역지자체는 울산(49.2 tCO<sub>2</sub>eq/인), 가장 적은 온실가스 배출지역은 서울(5.06 tCO<sub>2</sub>eq/인)로 나타났으며, 2006년 기준 강릉시 인구당 배출량은 28.7tCO<sub>2</sub>eq/인으로써 전국 평균인 12.0tCO<sub>2</sub>eq/인보다 높으며, 울산,

전남에 이어 일인당 배출량이 높은 지역으로 나타났다.

Table 2.8. GHG emissions per person of each city unit(based on 2006)

unit : tCO<sub>2</sub>eq/person

City	Population	GHG emission per person
Seoul	10,181,166	5.2
Busan	3,611,992	7.2
Daegu	2,496,115	6.6
Incheon	2,624,391	11.7
Gwangju	1,407,798	5.6
Deajeon	1,466,158	6.7
Ulsan	1,092,494	49.7
Kyunggi	10,906,033	8.0
Kangwon	1,505,420	26.4
Cheungbuk	1,494,559	19.7
Cheungnam	1,974,433	19.4
Junbuk	1,868,365	11.2
Junnam	1,942,925	37.6
Kyungbuk	2,688,577	24.1
Kyungnam	3,172,857	10.2
Jeju	558,496	8.3
Total	48,991,779	12.0
Kangneung	222,016	28.7

### 5.1.3. 기초지자체와의 배출량 비교(2006년)

앞 절과 마찬가지로 본 절에서도 국립환경과학원의 GHG-CAPSS(2006년 기준) 결과를 이용해 1인당 온실가스 총 배출량 분석을 하였다.

강릉시의 1인당 온실가스 배출량은 28.7tCO<sub>2</sub>eq/인으로 전국 232개 기초지자체 중에서 14위로 나타났다. 유사 인구를 가진 기초지자체인 김포시(10.1tCO<sub>2</sub>eq/인)는 111위, 경기도 광주시(11.3tCO<sub>2</sub>eq/인)는 83위로 나타났다.

이는 온실가스 다량 배출업종인 시멘트 업종과 발전소가 위치함에 따르는 결과이다.

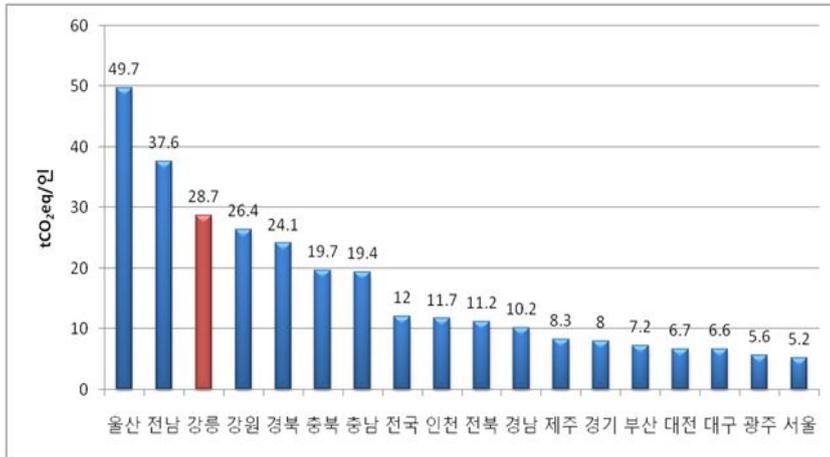


Fig. 2.7. Trend of GHG emissions per person.



## 5.2. 단위면적당 온실가스 배출량

### 5.2.1. 강릉시 단위면적당 온실가스 배출량

2000년부터 2007년까지 산정된 강릉시의 온실가스 총 배출량, 흡수량, 순 배출량, 혼합배출량을 각 연도별 강릉시 면적으로 나누어 강릉시 단위면적당 온실가스 배출량 및 흡수량을 산정하였다. 강릉시의 면적은 매년 강릉시청에서 발행하는 강릉시 통계연보를 통해 획득하였다.

강릉시의 단위면적당 온실가스 총 배출량, 순 배출량은 지속적인 증감현상을 보이지 않고 6~7천tCO<sub>2</sub>eq을 보이며 반복적인 증감현상을 반복하고 있다.

Table 2.9. GHG emissions and absorption of unit area in Kangneung

unit : km<sup>2</sup>, tCO<sub>2</sub>eq/km<sup>2</sup>

구 분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Ave
area	1,040.1	1,040.3	1,040.2	1,040.2	1,040.2	1,040.1	1,040.1	1,039.8	1,040.1
total emissions	6982.3	7149.7	7050.0	7425.7	6779.5	6,958.74	6832.2	7222.1	6638.2
absorption emissions	-292.5	-362.3	-454.0	-413.8	-366.5	-412.96	-438.9	-605.0	-418.2
pure emissions	6689.8	6787.5	6596.1	7011.8	6413.0	6,545.79	6393.3	6617.2	6220.0
mixed emissions	6435.1	6691.6	6581.0	6950.7	6441.9	6,675.93	6530.3	6736.6	6218.6

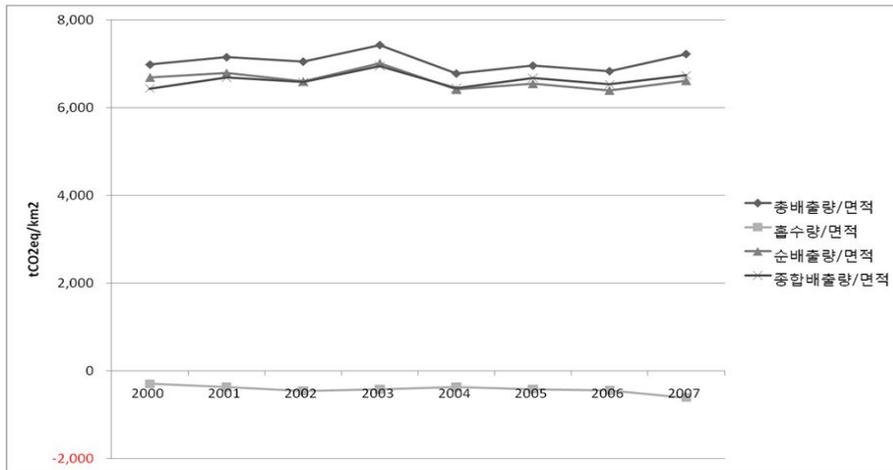


Fig. 2.8. Trend of GHG emissions and absorption of unit area in Kangneung.



## 5.2.2. 광역지자체와의 온실가스 총 배출량 비교(2006년)

단위면적당 광역지자체에서 온실가스를 가장 많이 배출하는 지역은 서울(86,604 tCO<sub>2</sub>eq/km<sup>2</sup>)이며, 가장 적은 온실가스 배출지역은 강원(2,352 tCO<sub>2</sub>eq/km<sup>2</sup>)으로 나타났다. 강릉시는 6,832tCO<sub>2</sub>eq/km<sup>2</sup>으로서 전국 평균보다 약간 웃돌고 있다. 이는 온실가스 다배출업종인 시멘트 업종과 발전소가 위치함에 따르는 결과이다.

Table 2.10. GHG emissions per unit area of each city

unit : tCO<sub>2</sub>eq/km<sup>2</sup>

City	area(km <sup>2</sup> )	emissions per unit area
Seoul	99,678	526
Busan	765	34,111
Daegu	884	18,524
Incheon	1,002	30,680
Gwangju	501	15,676
Deajeon	540	18,079
Ulsan	1,057	51,346
Kyunggi	10,132	8,620
Kangwon	16,613	2,389
Cheungbuk	7,432	3,969
Cheungnam	8,600	4,452
Junbuk	8,055	2,598
Junnam	12,095	6,041
Kyungbuk	19,026	3,407
Kyungnam	10,522	3,061
Jeju	1,848	2,509
Total	99,678	5,899
Kangneung	1,040	6,138



Fig. 2.9. Trend of GHG emissions and absorption per unit area.



### 5.2.3. 기초지자체와의 배출량 비교(2006년)

강릉시의 단위면적당 온실가스 배출량은 6,138tCO<sub>2</sub>eq/km<sup>2</sup>으로 전국 232개 기초지자체 중에서 112위로 나타났다. 유사 면적이지만 황성군(2,126tCO<sub>2</sub>eq/km<sup>2</sup>)은 199위, 춘천시(1,488tCO<sub>2</sub>eq/km<sup>2</sup>)는 164위로 나타났다.

Table 2.11. GHG emissions per unit area as similar city

unit : tCO<sub>2</sub>eq/km<sup>2</sup>

Province	City (Gun)	Total emissions	Total area	emissions per unit area	ranking
Chungbuk	Chungju	2,036,742	983.76	2,070	151
Jeonnam	Haenam	762,751	987.64	772	194
Kyungbuk	Ulsin	419,547	989.05	424	226
Kangwon	Hyingsung	721,492	997.71	723	199
Kyungbuk	Kimcheon	2,144,767	1,008.99	2,126	149
Kangwon	Kangneung	6,382,848	1,039.82	6,138	112
Kangwon	Chuncheon	1,661,408	1,116.64	1,488	164
Kangwon	Youngwol	6,066,643	1,127.46	5,381	118
Kyungbuk	Pohang	34,839,294	1,128.08	30,884	64
Chungbuk	Eusung	656,896	1,175.78	559	215
Kangwon	Samchek	7,896,174	1,186.05	6,658	110

### Ⅲ. 연구방법 및 내용

#### 1. 실측대상 물질 및 업종

##### 1.1. 실측대상 물질

온실가스 대상물질의 경우, 「지자체 온실가스 배출량 산정지침」(2010. 9)에서는 이산화탄소(Carbon Dioxide, CO<sub>2</sub>), 메탄(Methane, CH<sub>4</sub>), 아산화질소(Nitrous oxide, N<sub>2</sub>O), 수소불화탄소(Hydrofluorocarbons, HFCs), 과불화탄소(Perfluorocarbons, PFCs), 육불화황(Sulphur hexafluoride, SF<sub>6</sub>), 삼불화질소(Nitrogen trifluoride, NF<sub>3</sub>), 삼불화메틸오불화황(Trifluoromethyl sulphur pentafluoride, SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>), 할로겐화에테르(Halogenated ethers, e.g., C<sub>4</sub>F<sub>9</sub>OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>), 기타 몬트리올 의정서에 포함되지 않은 Halocarbons 등을 대상으로 하고 있다.

교토의정서의 경우는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub> 등의 6대 온실가스로 규정하고 있다(기후변화 협약 제3차 당사국 회의, 1997).

본 연구에서는 교토의정서 상에 정하는 6대 온실가스만을 1차적으로 선정하였으나, 기존의 IPCC계수에 의한 강릉지역 온실가스 배출량에 대한 검토결과, 전기장비 분류에서의 SF<sub>6</sub>와 냉장 및 냉방 분류에서의 HFCs가 극소량 배출되고, PFCs의 배출량은 전무한 것으로 조사됨에 따라, 실측을 통한 온실가스 배출량 산정을 위한 본 연구에서는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O을 대상 물질로 선정하였다.

##### 1.2. 실측대상 업종

강릉지역에서의 온실가스 배출목록을 온실가스 배출순으로 재정리하면, 시멘트 생산에서 전체 온실가스 배출량의 39 %이상이 배출되는 것으로 조사되었으며, 에너지산업(발전), 제조업 및 건설업, 도로수송의 배출원에서 강릉시 전체 온실가스 배출량의 90% 이상을 배출하는 것으로 조사되었다.

그 외의 배출원으로는 석유 및 천연가스의 탈루와 기타(가정용 난방), 매립의 순으로 조사되었으며, 배출량에 있어서 전체 배출량에 대한 비율에 있어서 매우 적은 량으로

배출되는 것으로 조사되었다.

따라서, 실측을 통한 배출업종의 접근에 있어서는 우선적으로 배출량의 우선순위, 배출원에 대한 접근성, 배출원의 규모(토지 및 사업장의 크기)에 비례하는 배출량 및 향후 저감방안의 적용성 등을 고려하여 대상 업종을 선정하였다.

실측을 위한 배출업종은 시멘트생산, 에너지산업(발전), 제조업 및 건설업, 도로수송, 기타(가정용), 매립, 하수, 폐수 및 소각의 9개 분야에 대하여 선정하였으나, 강릉시의 경우 생활폐기물에 대한 소각이 2010년을 기준으로 하여 폐쇄조치됨에 따라 소각시설은 실측대상 업종에서 제외하였다.

따라서, 총 8개 배출원에서의 온실가스 배출량은 강릉전체의 온실가스 배출량의 94.06 %를 차지하는 것으로 나타나 실측 대상시설에 대한 대표성을 나타내는 것으로 사료된다.

또한 유해대기오염물질은 강릉지역의 주요 배출원 중에서 가장 많은 업종인 시멘트 제조업과 이동오염원인 도로연소에서 HAPs를 측정·분석하여 배출량을 산정하였다. 온실가스와 유해대기오염물질의 실측대상 업종은 Table 3.1에 나타냈으며 시료채취 장소는 Fig 3.1에 나타내었다.

Table 3.1. Sampling Conditions for GHG and HAPs

No	Category	Site name	Remarks (Address)
1	Vehicle	Gasoline, diesel, LPG	30, 60, 80km/hr
2	cement production	Lapas HALLA Cement	280-1 okkeymeon
3	energy industry	Youngdong Power plant	kangdongmeon
4	manufacturing	Dusan BG	81 hwasandong
5	others	Boiler-LNG	household boiler
		Boiler-diesel	
6	landfill	landfill site	25 imkogri
7	sewage water	Kangneung SWT site	228-1 byungsandong
		Jumoonjin SWT site	367-14 youngjinri
8	waste water	Jumoonjin WWT site	1207 kohwangri

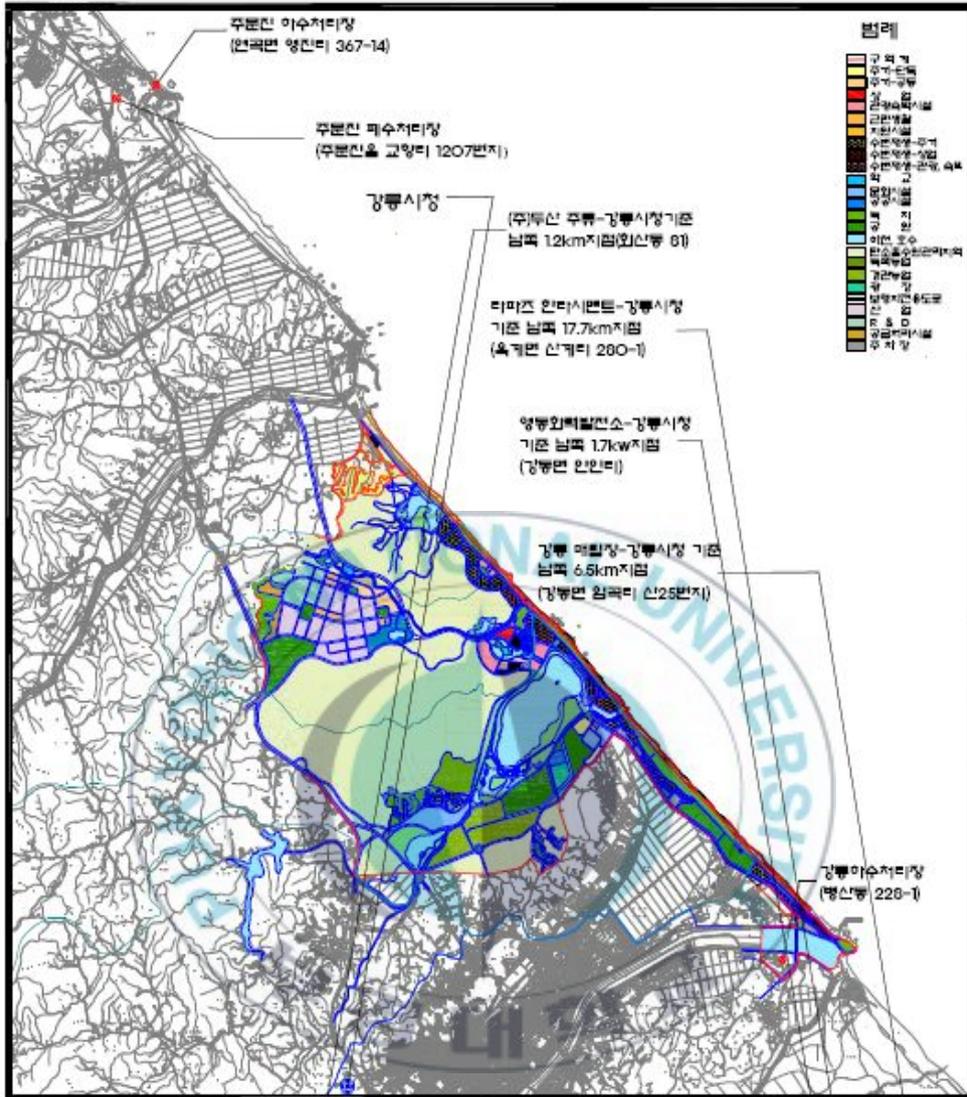


Fig. 3.1. Sampling Position of GHG and HAPs.

## 2. 측정 및 분석 방법

### 2.1. 온실가스 측정 및 분석방법

#### 2.1.1. 온실가스 시료채취

##### 2.1.1.1. 점오염원 시료채취

사업장에서의 시료채취는 방지시설 후단의 연돌 최종배출구에서 이루어졌으며 가정 보일러의 시료채취는 보일러의 최종 배출구에서 이루어졌다. 배출구에서의 채취관은 테프론 재질의 관을 사용하였으며, 시료의 포집은 간접진공방식을 이용하여 펌프를 순환하지 않고, 배출구에서 채취관으로 직접 포집이 가능하도록 하였다. 이는 펌프를 순환하여 직접 가스를 포집할 경우 발생하는 오염의 문제를 최소화하기 위함이다.

백 포집법으로 사용된 백은 Blank test를 수행한 테들러백이 사용되었으며, 포집 후 목적성분의 소실이 발생하지 않도록 차광하였다. 또한,  $N_2O$ 는 수분과의 친화력이 강하므로 시료채취 시 테들러백 전단에 수분제거를 목적으로 임핀저 2세트와 수분 응축관을 설치하여 목적성분의 소실이 일어나지 않도록 하였으며,  $CO_2$ 의 경우 Greenline Gas analyzer를 이용하여 시료채취 시간동안 연속으로 측정하였다(국립환경과학원, 유해대기오염물질 인벤토리 구축사업 V, 2010).

##### 2.1.1.2. 이동오염원 시료채취

이동오염원의 대표적인 배출원인 도로수송에서의 온실가스 실측을 위하여 사용연료와 강릉시의 보유차종을 비교하여 가장 높은 비율을 차지하는 자동차를 위주로 하여 측정을 수행하였다.

자동차는 연료의 연소과정에서 발생하는 가스가 최종배출구(muffler)를 통해 별도의 배출가스 처리시설이 없이 대기로 전량 배출된다. 따라서 자체 제작한 채취도구를 이용하여 muffler에 외부공기의 유입 영향을 받지 않는 범위의 muffler 깊이로 테프론 재질의 흡착관을 고정시켜 시료를 채취하였다.

흡착관은 배출가스의 정확한 측정을 위하여 muffler의 벽면에 닿지 않도록 하였으며, 수분 응축관을 장착하였다.

시료는 차량이 정속으로 30km/hr, 60km/hr, 80km/hr 실제 도로를 주행조건으로 하여 시료를 측정하였으며, 측정시의 각 속도구간별 주행거리는 3km, 6km, 8km로 주행하였다.

시료채취는 ‘대기오염공정시험방법(환경부, 2007)’ 중 배출가스 휘발성유기화합물(VOCs) 시료채취방법 및 배출가스 유속·유량 측정방법을 기본으로 사용하였으며, CO<sub>2</sub>의 경우에는 주행 시에 Greenline Gas analyzer를 이용하여 측정하였다(김동환, 2005).

### 2.1.1.3 반구형 도구 시료채취

매립장에서의 시료채취는 매립장 표면과 가스 배제공을 통하여 이루어 졌다. 매립장 표면에 면적이 0.04712m<sup>2</sup>이며, 부피가 0.004m<sup>3</sup>의 자체 제작한 반구형 채취도구를 사용하여 시료를 채취하였다. 측정장비는 사전모의 실험을 통하여 시료채취 시 외부공기의 유입이 배제된 것을 확인 후 실측에 사용하였다.

매립장 표면의 경우 매립장에 운행 중인 차량의 배출가스 영향이 배제될 수 있도록 풍향을 고려한 9개 지점을 선별하여 측정을 수행하였다. 장비를 설치한 후 Gastight syringe로 즉시 바탕공기를 채취하였으며, 이 후 총 1시간 30분 동안 매 30분에 간격으로 테들러백에 시료를 채취하였다.

가스 배제공 시료는 주변 풍향 풍속의 영향이 피할 수 있도록 측정관을 배제공 하부로 삽입하여 시료 가스를 채취하였다. 이때 풍향, 풍속계를 이용하여 배제공에서의 유속을 동시에 측정하였다.

가스 배제공 시료는 주변 풍향 풍속의 영향을 피할 수 있도록 테프론 재질의 측정관을 배제공 하부로 삽입하여 GS-1 가스 샘플러(Gas Sampler, GERSTEL社)를 이용하여, 1L/min의 유량으로 10분씩 3개 지점에서 시료 가스를 테들러백에 포집하였다. 이때, 풍향, 풍속계(ANEMOMASTER MODEL 6162, KANOMAX社)를 이용하여 배제공에서의 유속을 동시에 측정하였다.

하수처리장의 경우에는 반구 모양의 샘플링 기구를 수면에 띄워놓은 후, 하수처리장 각 처리조의 수면에서 가능한 유동이 없도록 고정시킨 후, Gastight syringe로 즉시 바탕공기를 채취하였으며, 이 후 총 1시간 30분 동안 매 30분에 간격으로 테들러백에

시료를 채취하였다.

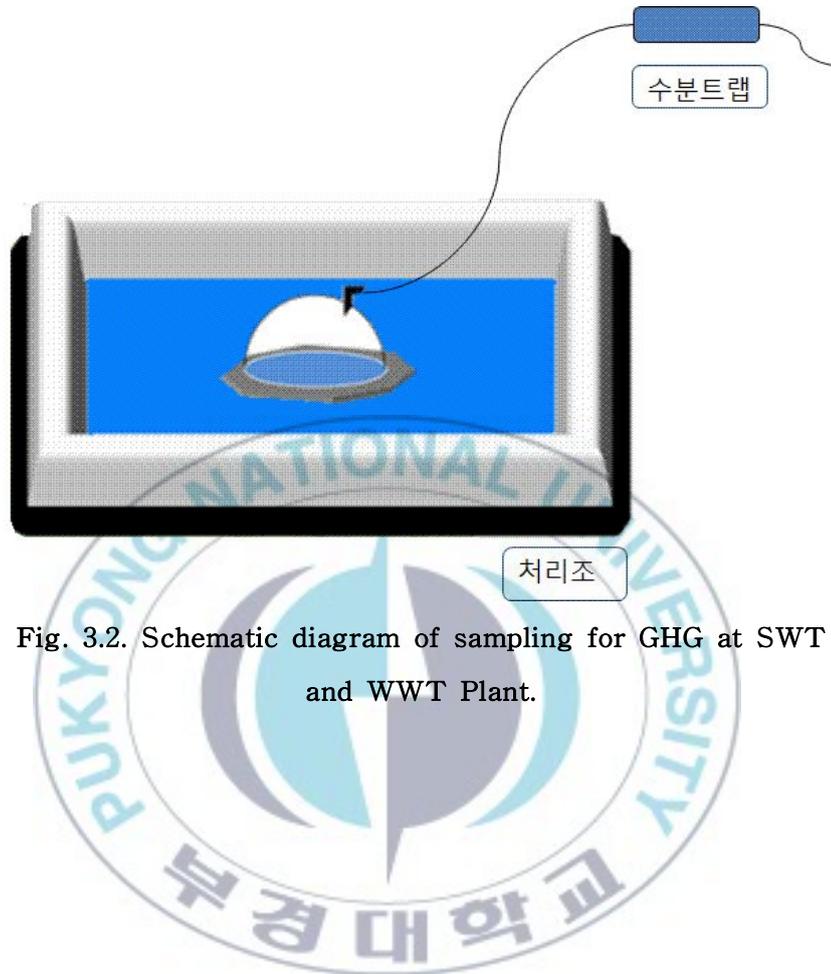


Fig. 3.2. Schematic diagram of sampling for GHG at SWT and WWT Plant.

### 2.1.2. 온실가스 분석방법

본 연구 사업에서의 시료 중 온실가스(Greenhouse, GHGs)는 현재 우리나라의 법령으로 제정되어 있는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF<sub>6</sub>) (「저탄소 녹색성장 기본법」 제2조제9호) 중 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O)를 대상으로 분석하였으며 각각의 온실가스별 분석 조건은 Table 3.2, Table 3.3, Table 3.4와 같다.

기기의 사진과 대상 화합물의 Chromatogram을 Fig. 3.2과 Fig. 3.3 에 나타내었다. 여기서, CO<sub>2</sub>는 연소과정이 포함된 최종배출구가 연돌인 경우에는 CGT-7000 Infrared Gas analyzer (SIMADZU 社) 및 EUROTRON Greenline MK2를 이용하여 분석하였다.

Table 3.2. Analysis condition of CO<sub>2</sub>

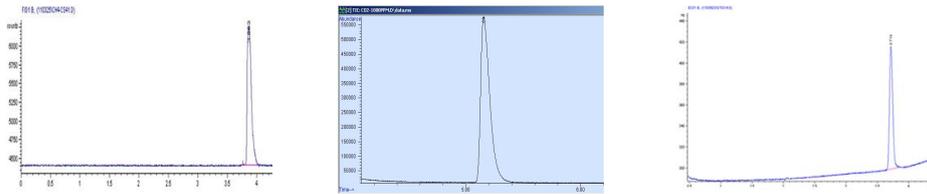
Items	CO <sub>2</sub> ysis	
Instrument	Agilent 6890N/5973 MSD	
Column	GS-CARBONPLOT 60m(L), 0.32mm(I.D.), 1.5µm(Film thickness)	CGT-7000 Infrared Gas analyzer  EUROTRON Greenline MK2
Carrier gas	He (1.2ml/min)	
Injector temp.	230°C	
Injection Volume	1cc	
Column temp.	35°C (6min)->200°C 3min)	

Table 3.3. Analysis condition of CH<sub>4</sub>

Items	CH <sub>4</sub>
Instrument	Hewlette Packard 5890/FID
Column	GS-GASPRO 60m(L), 0.32mm(I.D.)
Carrier gas	N <sub>2</sub> (1.5ml/min)
Injector temp.	230 °C
Detector temp.	260 °C
Injection Volume	1cc
Column temp.	35 °C (5min)->20 °C min-> 200 °C 2min)

Table 3.4 . Analysis condition of N<sub>2</sub>O

Items	N <sub>2</sub> O
Instrument	Agilent 6890N/ECD
Column	HP-MOLSIV 15m(L), 0.53mm(I.D.), 25µm(Film thickness)
Carrier gas	He (8.0ml/min)
Injector temp.	230 °C
Injection Volume	1cc
Column temp.	100 °C (1min)->15 °C min-> 200 °C (1min)



CH<sub>4</sub>

CO<sub>2</sub>

N<sub>2</sub>O

**Fig. 3.3. Standard Chromatogram for GHG analysis.**



Hewlett Packard 5890/FID



Agilent 6890N/ECD



CGT-7000 Infrared Gas analyzer



Agilent 6890N/5973 MSD



EUROTRON Greenline MK2

**Fig. 3.4. Analysis Instrument for GHG.**

분석용 시료와 표준물질의 분석 시 얻어진 크로마토그램의 체류시간 (Retention time)이 같고, Detector가 MSD인 경우에는 2개의 선택이온의 피크 면적비가  $\pm 15\%$  이내의 것을 선택하였으며, 모든 시료는 절대 검량선법으로 정량하였다(김영수 등, 2011).



## 2.2. HAPs 측정 및 분석방법

### 2.2.1. 시료채취 방법

#### 2.2.1.1. 대상 오염원에서의 시료 채취

연구대상 지역에서의 시멘트 소성로 최종배출구와 같이 명확한 최종배출구를 가지는 점오염원의 경우는 이미 국내 공정시험법등에 이와 관련된 상세한 시료채취 방법이 명시되어 있으므로 이에 따라 시료 채취를 수행하였다.

시멘트 소성로의 최종배출구와 같이 특정 배출구를 통하여 배출이 이루어지는 점오염원에서의 시료 채취는 ‘대기오염공정시험방법(환경부, 2007)’ 중 배출가스 중 휘발성유기화합물(VOC) 시료채취방법 및 배출가스 중 유속·유량 측정방법을 기본으로 사용하였다.

또한, 이동오염원인 자동차의 경우 연료에 의한 차종별(경유, 휘발유, LPG), 속도별(30 km/hr, 60 km/hr, 80 km/hr)에 대하여 주행중 강휘발성유기화합물(VVOCs)과 휘발성유기화합물(VOCs)에 대하여 측정을 실시하였다.

#### 2.2.1.2. 강휘발성유기화합물(VVOCs)의 시료 채취

강휘발성유기화합물의 경우 강한 휘발성으로 인하여 상온에서의 흡착제를 이용한 포집이 불가능하며 유기용매를 이용한 포집의 경우 목적 성분과 비교하여 상당히 많은 유기용매가 사용되는 문제점으로 인한 목적 성분의 희석 및 방해의 영향으로 기기 분석에서의 검출한계가 나빠지는 문제점이 있으며 또한, 유기용매의 높은 Blank 값으로 인하여 검출이 불가능하거나 검출될 경우 과대평가되는 문제점이 자주 발생한다. 따라서 일반적인 방법으로써의 백 포집법을 이용한 시료 채취방법을 사용하였다(김지훈 등, 2011).

백 포집방법으로는 기 제작된 진공 상자를 이용하여 백을 진공 상자내에 장착하고 가스유입라인을 백에 연결시킨 뒤 백 내부를 진공펌프를 이용하여 진공을 거는 방식으로 채취하였다. 이러한 방법은 시료유입라인 및 시료가 이동하는 유로상에서의 오염 및 흡착을 최소화하기 위한 방법으로 적용되었다.

백 포집법에 사용되는 백의 종류로는 테들러 백, 테프론 백, 폴리에틸렌 백 등이

있으며 기 수행된 연구자료 ‘유해대기오염물질 배출원 조사기술 개발(환경기술진흥원, 2005)’에서 테들러 백의 효율성이 가장 양호한 것으로 조사되었으므로 백 포집법에 사용되는 백은 테들러 백을 사용하였다.

시료채취시 사용되는 테들러 백은 Fig. 3.4 과 같이 시료 채취시 내부표준물질의 주입을 통한 테스트 실험 및 회석을 위한 가스 분취가 용이한 Combination valve type의 5L 용기와 10L 용기 백을 사용하였다.



Fig. 3.5. Combination valve type of bag.

#### 2.2.1.3. 휘발성유기화합물(VOCs)의 시료 채취

대표적인 휘발성유기화합물에 해당하는 BTEX를 비롯한 이와 유사한 휘발성을 갖는 유기화합물의 경우, 현재 흡착제(Sorbents)를 이용한 포집법이 가장 널리 사용되고 있는데, 국내에서는 실내공기질 관리법, 악취방지법 등에서 주시험법으로 채택되어 있으며, 채취 목적 성분에 따라 다양한 흡착제가 사용되어지고 있다.

따라서 BTEX 등의 일반적인 휘발성유기화합물 채취 방법으로는 흡착제를 이용한 흡착관법을 사용하였다. 흡착제는 시료 포집시 유속에 저항을 주지 않고 원활하게 시료를 포집하기 위하여 입자크기가 0.18~0.25mm(60~80 mesh)인 흡착제를 사용하였다. 흡착제는 충전 후 사용전 비활성 기체를 퍼지하며 300℃

정도의 온도에서 4시간 정도 가열하여 크리닝을 한 후 사용하였다(김지훈 등, 2011).

흡착제는 일반적으로 Tenax, Carbosieve, Carbotrap 등이 많이 사용되고 있으며, 분석 성분에 따라 흡착제를 충전하는 용기는 스테인리스 튜브나 유리 튜브가 사용되어 진다. 흡착제 충전 용기에 있어서 특히, 황화합물 계통의 화학종 등은 스테인리스 튜브 내부에서 흡착이 일어나므로 유리 튜브의 사용이 적절한 것으로 알려져 있으며, 또한 유리 튜브는 충전물의 충전상태를 항상 눈으로 확인 할 수 있으므로 흡착제의 충전 상태에 대한 성능 파악이 용이한 장점이 있어 유리 튜브를 사용하였다.

Tenax 흡착제의 경우 물에 대한 친화력이 작아 수분으로 인한 영향을 줄일 수 있다는 장점으로 인하여 일반적으로 가장 많이 사용되는 흡착제 중 하나이지만, 단일 흡착제의 한계점으로 인하여 흡착 화학종 범위에는 한계성을 가지고 있다.

따라서 가능한 넓은 범위의 휘발성유기화합물을 효율적으로 포집할 수 있는 3단 흡착제(Carbotrap, Carbopack B, Carbosieve S III)를 충전하여 사용하였다.

사용된 3단 흡착트랩은 Tenax 흡착트랩과는 달리 수분에 대한 친화력이 있으므로 수분에 의한 영향을 최대한 배제하기 위하여 수분함량이 높은 배출가스 시료의 채취시에는 수분제거를 위한 수분 응축관을 3단 흡착트랩 전단에 장착한 후 시료를 채취하였다.

흡착효율을 최대화하기 위하여 제작된 3단 흡착트랩을 Fig. 3.6에 나타내었다. 흡착트랩에 가스를 포집하기 위한 휴대용 펌프는 채취 유속을 0.1~2L/min 범위에서 설정이 가능하고 적산 유량이 기록 가능한 펌프를 사용하였으며, 사용된 펌프 중 일부를 Fig. 3.7에 나타내었다.

### Carbotrap 300 Multi-Bed Thermal Desorption Tube

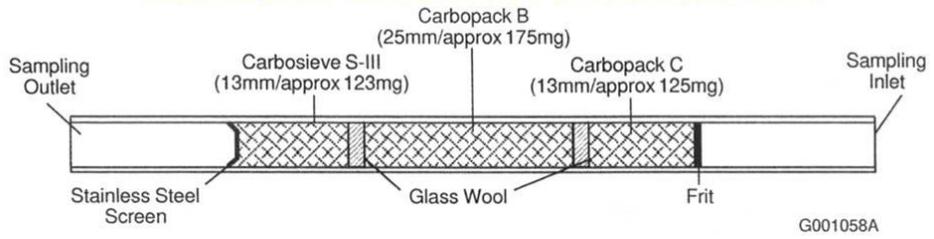


Fig. 3.6. Carbotrap 300 multi-bed thermal desorption tube.



Fig. 3.7. Dedorption trap pump for VOCs.

## 2.2.2. HAPs 분석방법

### 2.2.2.1. 강휘발성 유기화합물 그룹 분석

강휘발성 유기화합물은 수분, CO<sub>2</sub> 제거 및 2단 저온 농축 시스템 기능을 갖춘 전처리 장비가 장착된 가스크로마토그래피/질량분석기를 이용하여 분석을 수행하였다. 저온농축시스템 및 가스크로마토그래피/질량분석기의 분석조건을 Table 3.5에 나타내었고 사용된 분석기기를 Fig. 3.7에 나타내었다.

**Table 3.5. Pre-concentrator and GC/MS condition**

Pre-concentrator	
Maker and model	Entech社 7100 Preconcentrator
Module 1 Temp.	-10℃ (water remove)
Module 2 Temp.	-50℃ (CO <sub>2</sub> remove)
Module 3 Temp.	-180℃ (final concentration)
Gas Chromatograph	
Maker and model	Agilent社 6890 GC
Column	SUPELCO VOCOL (60m X 320μm X 1.8μm)
Oven Temp.	35℃ (5min)→3℃/min→60℃→5℃/min→150℃→2℃/min→200℃ (Post Run 200℃ 3min)
Injection mode	Split 3:1
Carrier Gas	Helium 1.2 ml/min
Flow Mode	Constant flow
Mass Spectrometer	
Maker and model	Agilent社 5973 MSD
Mode	EI mode, Scan
Mass Range	35-300 (amu)



Fig. 3.8. Pre-concentrator and GC/MS analysis apparatus.

#### 2.2.2.2. 휘발성 유기화합물 그룹 분석

휘발성 유기화합물은 2단 열탈착 시스템 및 가스크로마토그래피/질량분석기를 이용하여 분석을 수행하였다. 열탈착 시스템 및 가스크로마토그래피/질량분석기의 분석조건을 Table 3.6에 나타내었고 사용된 열탈착 시스템 및 가스크로마토그래피/질량분석기를 Fig. 3.8에 나타내었다.

또한 81종의 분석대상 VOC 물질을 Table 3.7에 나타내었다.

**Table 3.6. Thermo desorption system and GC/MS condition**

Thermo Desorption System	
Maker and model	Gerstel社 TDS 3
TDS Temp.	30°C (0.5min)→60°C/min→240°C (5min)
TDS Transfer line Temp.	250°C
Gas Chromnditionatograph	
Maker and model	Agilent社 6890 GC
Column	SUPELCO VOCOL (60m X 320µm X 1.8µm)
CIS Temp.	-100°C (until TDS final Temp.)→12°C/sec→220°C (10min)
CIS mode	Splitless (2min)
CIS Packing material	Deactivated glass wool
Oven Temp.	35°C (5min)→3°C/min→60°C→5°C/min→150°C→2°C/min→200°C (Post Run 200°C 3min)
Carrier Gas	Helium 1.2 ml/min
Flow Mode	Constant flow
Mass Spectrometer	
Maker and model	Agilent社 5973 MSD
Mode	EI mode, Scan
Mass Range	35-300 (amu)



**Fig. 3.9. Thermo desorption system and GC/MS apparatus.**

Table 3.7. Analysis compounds of VOC

No	Compounds	No	Compounds
1	1,1,1,2-Tetrachloroethane	42	Chloroform
2	1,1,1-Trichloroethane	43	Chloromethane
3	1,1,2,2-Tetrachloroethane	44	cis-1,2-Dichloroethylene
4	1,1,2-Trichloroethane	45	cis-1,3-Dichloropropene
5	1,1-Dichloroethane	46	Dibromomethane
6	1,1-Dichloroethylene	47	Dichlorodifluoromethane
7	1,1-Dichloropropene	48	Epichlorohydrin
8	1,2,3-Trichlorobenzene	49	Ethyl ether
9	1,2,3-Trichloropropane	50	Ethyl methacrylate
10	1,2,4-Trichlorobenzene	51	Ethylbenzene
11	1,2,4-Trimethylbenzene	52	Hexachlorobutadiene
12	1,2-Dibromo-3-chloropropene	53	Hexachloroethane
13	1,2-Dibromoethane	54	Isopropylbenzene
14	1,2-Dichlorobenzene	55	Methylene chloride
15	1,2-Dichloroethane	56	Methacrylonitrile
16	1,2-Dichloropropane	57	Methyl acrylate
17	1,3,5-Trimethylbenzene	58	Methyl methacrylate
18	1,3-Butadiene	59	Methyl tert-butyl ether
19	1,3-Dichlorobenzene	60	m-p-Xylene
20	1,3-Dichloropropane	61	Naphthalene
21	1,4-Dichlorobenzene	62	n-Butylbenzene
22	2,2-Dichloropropane	63	Nitrobenzene
23	2-Chlorotoluene	64	n-Propylbenzene
24	2-Ethoxyethanol	65	o-Xylene
25	2-Ethoxyethyl acetate	66	Pentachloroethane
26	2-Nitropropane	67	p-Isopropyltoluene
27	4-Chlorotoluene	68	Propionitrile
28	Acrylonitrile	69	sec-Butylbenzene
29	Benzene	70	Styrene
30	Bromobenzene	71	tert-Butylbenzene
31	Bromochloromethane	72	Tetrachloroethylene
32	Bromodichloromethane	73	Tetrahydrofuran
33	Bromoform	74	Toluene
34	Bromomethane	75	trans-1,2-Dichloroethylene
35	Butyl chloride	76	trans-1,3-Dichloropropene
36	Carbon disulfide	77	Trans-1,4-dichloro-2-butene
37	Carbon tetrachloride	78	Trichloroethylene
38	Chloroacetonitrile	79	Trichlorofluoromethane
39	Chlorobenzene	80	Vinyl acetate
40	Chlorodibromomethane	81	Vinyl chloride
41	Chloroethane		

### 3. 배출원별 배출농도

본 연구에서 수행된 배출원별 온실가스의 평균농도를 살펴보면, 에너지 발전, 제조업 연소, 가정 난방, 시멘트 생산 등의 배출원이 매립, 하수처리장, 폐수처리장의 폐기물 분야에 비하여 상대적으로 높은 온실가스 배출농도를 보이는 것으로 조사되었다.

CO<sub>2</sub> 배출량에 있어서, 가장 높은 배출농도를 보이는 배출원으로는 325,959.47 mg/m<sup>3</sup> 으로 시멘트 소성로(1호기)에서 가장 높게 나타났다.

이동연소의 연료별 속도별 CO<sub>2</sub> 발생 pattern을 보면, 상대적으로 휘발유가 LPG가 경유에 비하여 높은 CO<sub>2</sub> 배출농도를 보이는 것으로 보였다. 특히, 속도별 배출경향을 보면, 가솔린의 경우 저속인 30km/hr에서 가장 높은 배출농도를 보였고, 경유는 60 km/hr의 중속에서 가장 높은 배출농도를 나타낸 반면, LPG차량의 경우 저속인 30km/hr와 고속인 80 km/hr에서 CO<sub>2</sub> 배출농도가 높게 나타나는 것으로 조사되었다.

CH<sub>4</sub>의 경우 가장 높은 배출농도를 보이는 배출원으로는 3,633.84 mg/m<sup>3</sup> 으로 매립장에서의 가스배제공에서 가장 높은 배출농도를 보였으며, 하수처리장의 슬러지조에서도 상대적으로 높은 배출량을 보이는 것으로 나타났다.

이동연소의 가솔린과 경유에서는 CH<sub>4</sub>가 상대적으로 낮은 배출농도를 나타낸 반면, LPG차량의 경우 다른 연료의 차량에 비하여 약 10배 이상의 배출농도를 보이는 것으로 나타났다. 이는 연료의 특성상 단일결합의 구조를 가지는 알케인계 연료의 특성에 기인하여 일부 연소되지 않은 연료들이 배출되는 경향을 보이는 것으로 판단된다.

N<sub>2</sub>O의 경우 가장 높은 배출농도를 보이는 배출원으로는 8.10 mg/m<sup>3</sup> 으로 시멘트 소성로(3호기)에서 가장 높은 배출농도를 보였다. 이는 시멘트 소성에서 연료의 일환으로 혼소되는 폐기물 등에 의한 영향인 것으로 판단된다.

본 연구에서 수행된 배출원별 온실가스의 평균농도를 Table 3.8 에 나타내었다.

Table 3.8. Emission limits average of GHG each site

unit:mg/m<sup>3</sup>

Description				CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O			
Energy	Fixed-combustion	Energy power generation		A Site #1	228,958.62	0.48	0.87		
				A Site #2	222,141.10	0.81	0.51		
		House heating		Manufacturing		B Site	128,114.33	1.94	0.12
				C- Boiler1		C- Boiler2	274,133.96	0.00	0.08
						D-Boiler	109,469.12	0.00	0.15
		Mobile combustion	Transportation	Gasoline		G-30km/hr	186,680.89	1.33	0.00
	G-60km/hr					178,444.97	0.40	0.12	
	G-80km/hr					170,209.04	0.74	0.14	
	Diesel			D-30km/hr		81,444.11	1.05	2.31	
				D-60km/hr		90,595.14	0.49	1.45	
				D-80km/hr		89,680.03	0.00	0.55	
	LPG			L-30km/hr		188,511.09	8.52	0.16	
				L-60km/hr		186,680.89	31.66	1.84	
				L-80km/hr		191,256.40	8.16	0.01	
	Industry	Mining	Cement production		E Site #1	325,959.47	3.30	0.57	
E Site #3					298,445.39	26.51	0.78		
E Site #4					127,906.43	75.27	8.10		
Waste	Landfill			EI(Surface)	0.50	1.43	0.03		
				Ep(Pipe)	0.00	3633.84	0.00		
	Sewage, waste water	Sewage water		G Site Aerator	2.83	0.02	0.00		
				G Site Settling	16.44	0.65	0.01		
				H Site Settling	2.20	6.89	0.03		
				H Site Aerator	0.00	3.43	0.01		
				H Site Sludge	3.34	135.75	0.02		
		Waste water		I Site Anaerator	0.00	12.19	0.00		
				I Site Deaerator	0.02	5.26	0.02		
				I Site Digester	21.27	28.07	0.00		
				I Site Aerator	21.16	1.43	0.09		
				I Site Flare stack	506.65	12.88	0.83		

이동연소의 도로수송과 시멘트제조업에서의 실측이 수행된 HAPs 배출농도에 대하여 살펴보면, 시멘트 제조업의 경우 가장 많은 배출농도를 보이는 HAPs 물질은 Toluene이 53.48 ng/L으로 가장 높은 농도를 보이는 것으로 조사되었으며, 다음으로 PAHs가 53.52 ng/L으로 조사되었다.

53종 HAPs 중 검출되는 물질은 Benzene, Ethylbenzene, Styrene, PAHs의 4개의 HAPs 물질이 검출되었으며, 배출농도가 검출되는 물질은 그 외 VOCs 물질로 Chloromethane, Bromomethane, Toluene, Chlorobenzene, m-p-Xylene, o-Xylene, isopropylbenzene, n-Propylbenzene, Naphthalene, 1,3,5-Trimethylbenzene, 1,2,4-Trimethylbenzene, 1,3-Dichlorobenzene, 1,2,4-Trichlorobenzene의 물질들이 검출되는 것으로 조사되었다.

이동연소의 도로수송에서 가장 높은 배출농도를 보이는 HAPs 물질은 연료별, 속도별 약간의 차이를 보이고 있으나, 전체적으로는 Ethylbenzene이 1281.38 ng/L으로 가장 높은 농도를 보이는 것으로 조사되었으며, 다음으로 m-p-Xylene이 1227.71 ng/L으로 조사되었다.

53종 HAPs 중 검출되는 물질은 2-Ethoxyethyl acetate, Benzene, PAHs만 검출되었으며, 배출농도가 검출되는 그 외 VOCs 물질은 Ethylbenzene, Isopropylbenzene, m-p-Xylene, o-Xylene, Tetrahydrofuran, Toluene의 물질들이 검출되는 것으로 조사되었다.

연료별 HAPs 배출경향을 살펴보면, 2-Ethoxyethyl acetate의 경우 경유자동차에서 모든 조건(30 km/hr, 60 km/hr, 80 km/hr)에서 모두 검출되었으며, 가솔린과 LPG 차량에서는 검출되지 않는 것으로 조사되었다. 반면, Isopropylbenzene의 경우 LPG 차량에서만 모두 조건(30 km/hr, 60 km/hr, 80 km/hr)에서 검출되었으며, 경유와 가솔린 차량에서는 검출되지 않는 것으로 조사되었다.

도로수송에 있어서 차량의 연료 및 속도별 HAPs 배출특성을 살펴보면 LPG차량의 경우 저속인 30 km/hr에서 가장 높은 배출농도를 보였고, 60 km/hr에서 가장 낮은 HAPs 배출농도를 보였다. 반면, 경유 차량의 경우는 속도가 높아질수록 HAPs 배출농도가 높아지는 경향을 보였고, 가솔린 차량의 경우 속도가 낮을수록 HAPs

배출농도가 높아지는 배출특성을 보이는 것으로 조사되었다.

본 연구에서 수행된 배출원별 HAPs의 배출농도를 Table 3.9에 나타내었다.



Table 3.9. HAPs concentration of vehicle run and cement manufacturing

(ng/L)

Compounds	LPG			Diesel			Gasoline			시멘트
	30km/hr	60km/hr	80km/hr	30km/hr	60km/hr	80km/hr	30km/hr	60km/hr	80km/hr	
1,1,1,2-Tetrachloroethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,1,1-Trichloroethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,1,2,2-Tetrachloroethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,1,2-Trichloroethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,1-Dichloroethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,1-Dichloroethylene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,1-Dichloropropene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,2,3-Trichlorobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,2,3-Trichloropropane	N.D.	N.D.	N.D.	0.14						
1,2,4-Trichlorobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	1.28						
1,2,4-Trimethylbenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,2-Dibromo-3-chloropropene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,2-Dibromoethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
<b>1,2-Dichlorobenzene*</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,2-Dichloroethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,2-Dichloropropane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						

Table 3.9. HAPs concentration of vehicle run and cement manufacturing

(ng/L)

Compounds	LPG			Diesel			Gasoline			시멘트
	30km/hr	60km/hr	80km/hr	30km/hr	60km/hr	80km/hr	30km/hr	60km/hr	80km/hr	
1,3,5-Trimethylbenzene	N.D.	N.D.	N.D.	0.48						
<b>1,3-Butadiene*</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,3-Dichlorobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	3.47						
1,3-Dichloropropane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
1,4-Dichlorobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
2,2-Dichloropropane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
2-Chlorotoluene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
<b>2-Ethoxyethanol*</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
<b>2-Ethoxyethylacetate*</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	435.59	957.20	420.80	N.D.
2-Nitropropane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
4-Chlorotoluene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
<b>Acrylonitrile*</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
<b>Benzene*</b>	7.86	5.46	7.97	82.69	28.87	43.06	109.65	11.35	11.95	2.08
Bromobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Bromochloromethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Bromodichloromethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
Bromoform	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						

Table 3.9. HAPs concentration of vehicle run and cement manufacturing

(ng/L)

Compounds	LPG			Diesel			Gasoline			시멘트
	30km/hr	60km/hr	80km/hr	30km/hr	60km/hr	80km/hr	30km/hr	60km/hr	80km/hr	
Bromomethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.51
Butyl chloride	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Carbendisulfide*</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Carbontetrachloride*</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Chloroacetonitrile	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Chlorobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.22
Chlorodibromomethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Chloroethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Chloroform*</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Chloromethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	21.09
cis-1,2-Dichloroethylene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
cis-1,3-Dichloropropene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Dibromomethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Dichlorodifluoromethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Epichlorohydrin*</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ethyl ether	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Ethyl methacrylate	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Ethylbenzene*</b>	644.63	219.30	370.10	829.82	1,881.98	7,538.04	17.41	10.92	20.25	1.22

Table 3.9. HAPs concentration of vehicle run and cement manufacturing

(ng/L)

Compounds	LPG			Diesel			Gasoline			시멘트
	30km/hr	60km/hr	80km/hr	30km/hr	60km/hr	80km/hr	30km/hr	60km/hr	80km/hr	
Hexachlorobutadiene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Hexachloroethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Isopropylbenzene	N.D.	N.D.	N.D.	2.46	1.69	14.14	N.D.	N.D.	N.D.	0.16
<b>Mathylenechloride*</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Methacrylonitrile	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Methyl acrylate	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Methyl methacrylate	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Methyl tert-butyl ether	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
m-p-Xylene	661.28	221.32	384.78	773.60	1,866.43	7,093.11	19.70	10.81	18.34	1.06
Naphthalene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.32
n-Butylbenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
<b>Nitrobenzene*</b>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
n-Propylbenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.32
o-Xylene	464.47	163.19	268.80	502.94	1,223.49	4,820.45	16.26	10.04	15.77	1.03
Pentachloroethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
p-Isopropyltoluene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Propionitrile	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
sec-Butylbenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

Table 3.9. HAPs concentration of vehicle run and cement manufacturing

(ng/L)

Compounds	LPG			Diesel			Gasoline			시멘트
	30km/hr	60km/hr	80km/hr	30km/hr	60km/hr	80km/hr	30km/hr	60km/hr	80km/hr	
Styrene*	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.11
tert-Butylbenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tetrachloroethylene*	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tetrahydrofuran	33.02	14.90	16.05	40.88	30.07	16.05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Toluene	638.63	551.90	535.04	787.24	692.06	1,208.21	517.30	492.90	432.15	53.48
trans-1,2-Dichloroethylene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
trans-1,3-Dichloropropene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Trans-1,4-dichloro-2-butene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Trichloroethylene*	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Trichlorofluoromethane	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Vinylacetate*	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Vinylchloride*	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
PAHs*	2.56 <sup>1</sup>	1.13 <sup>1</sup>	0.62 <sup>1</sup>	190.84 <sup>1</sup>	6,907.36 <sup>1</sup>	155.02 <sup>1</sup>	1059.92 <sup>1</sup>	899.46 <sup>1</sup>	47.71 <sup>1</sup>	53.52

\* 53종 HAPs

<sup>1</sup> 김동환 (2005).

## 4. 온실가스 및 유해대기오염물질 배출량 산정절차 및 방법

### 4.1. 배출량 산정절차

배출량 산정을 위한 절차를 온실가스의 주요 배출원 분류에서 최종 보고서 작성까지 총 5단계로 요약하면, 제1단계(주요 배출원 분류 및 배출경로 확인)는 목적물질의 주요 배출원을 목록화한 후 이들 배출원으로부터 대기 중으로 배출되는 경로를 확인한다. 제2단계(세부 분류 확인)는 주요 배출원에 따른 세부 배출원을 분류하고 배출경로를 파악한다. 제3단계(정보수집)는 각각 분류한 배출원 별로 활동도의 크기를 결정할 수 있는 기본적인 자료를 수집하는 절차로 국가 통계자료를 이용하거나 조사표를 이용하여 산업체의 각종 데이터를 수집한다. 제4단계(배출계수 및 배출량 산출)는 수집된 데이터를 근거로 적절한 배출 계수 및 배출량을 산출한다. 마지막으로 제5단계(배출 보고서 작성)는 각 세부 분류별로 배출량을 합산하여 연간 배출량을 계산하고 최종 보고서를 작성한다.

즉 온실가스 및 유해대기오염물질을 배출하는 시설인지를 먼저 판단하여 배출원을 분류하고 분류된 각 배출원별로 배출량 산정에 필요한 대상물질의 실측 데이터, 제품생산량, 원료사용량, 배출가스량 등 관련 정보를 수집 후 이를 근거로 적절한 배출계수를 산출하고 배출량을 산정하는 방법이다.

### 4.2. 배출량 산정방법

배출목록작성(Inventory)이란 먼저 확인된 배출원에 대해 분류하고, 분류된 배출원으로부터 대기, 수질, 토양, 잔재물(소각재 등), 생산품 등의 매체를 통해 환경으로 배출되는 양을 목록화하는 것을 말한다.

배출목록을 만드는 중요한 목적중의 하나는 정부가 여러 배출원에 대한 기여정도를 평가하고 제어가 필요한 곳을 확인하여 저감대책을 마련하는데 있다.

일반적으로 온실가스를 포함한 오염물질의 배출평가에 이용되는 방법은 대기과

수계에 들어가는 물질의 총량에 초점을 맞추는 『The Load Orientated Approach』 방법과 배출원에서 대기과 수계로 배출되는 것에 초점을 맞추는 『The Source Orientated Approach』 방법으로 크게 분류할 수 있다(김 동환, 2005).

배출원 접근방식은 배출점(the point of emission)에서의 배출 혹은 누출을 정량하는 것과 관련이 있으며 일반적으로 직접측정에 기초하고 이를 통하여 가장 큰 점배출원으로부터 배출을 평가한다. 배출계수는 유명한 문헌, 측정데이터의 통계적 처리 혹은 모델들을 통해 결정되며 배출계수는 활동도를 곱하여 배출량을 정량한다.

배출량 계산을 위한 『Source orientated approaches』는 여러 형태의 데이터(예를 들면 직접측정이나 추정치)에 근거를 둘 수 있다. 일반적으로 유해물질의 환경에 대한 배출량계산을 위한 여러 방법들은 『top-down approach』 혹은 『bottom-up approach』 중 하나의 방법을 사용하며, 온실가스 배출량 산정방법도 역시 『Bottom up Approach』와 『Top down Approach』로 대별할 수 있다. 『Bottom up Approach』는 개별 시설의 배출량을 산출한 후 이를 합하여 국가 총 배출량을 산출하는 방법이며 주로 대형 배출업체에 적용되는 방법이다. 『Top down Approach』 방법은 배출시설이 많고 밀집되어 있어 전 시설의 배출량을 조사하는 것이 불가능한 경우 배출계수와 활동도를 이용하여 배출량을 산출하는 방법으로, 적용하기 쉬운 장점이 있는 반면 각 배출원의 경향만을 파악할 수 있다는 단점이 있다. 반면 『Bottom up Approach』 방법은 각 시설에 대한 정확한 배출량을 파악할 수 있으나 시간적, 경제적으로 많은 제약사항이 있어, 실제로는 두 접근방법을 결합하여 대형 배출원은 『Bottom up Approach』, 소형이나 배출시설이 밀집된 경우 『Top down Approach』를 결합하여 주로 사용되고 있는데 이 두 방법을 이용한 배출량 산정절차를 Table 3.10 에 나타내었다.

Table 3.10. Procedure of emissions estimate methodology

Description	Bottom up Approach	Top down Approach
case	all facility sampling	random sampling, when cannot using data
statistical data	individual activity	category activity
actual data	individual concentration	adapting emission factor
calculation	individual emissions estimate	emission factor×activity
emissions estimation	· each site emissions · total emissions	total emissions estimate

일반적으로 배출량을 산출하기 위한 기본식은 시설별 실측에 의한 방법과 배출계수에 의한 방법으로 구분할 수 있으며 각 배출량 산정식은

- 1) 시설별 실측에 의한 방법 : 배출농도( $\text{mg}/\text{Sm}^3$ , L)×연간배출량( $\text{Sm}^3/\text{yr}$ , L/yr)
- 2) 배출계수에 의한 방법 : 배출계수( $\text{mg}/\text{단위활동도}$ ) ×연간활동도(활동도/yr) 과 같다.

강릉지역 온실가스 및 유해대기오염물질의 배출량 산정에 있어서는 일부 단일 배출원에 대해서는 해당 시설의 배출계수를 기준으로 활동도와 곱하여 배출량을 산정하는 “Bottom up approach” 을 적용하였으며, 배출원이 다량 존재하는 배출원에 대해서는 “Top down Approach”로 배출량을 산정하였다.

#### 4.2.1. 온실가스 배출원별 배출량 산정방법

온실가스의 배출량 산정을 위해서는 다음과 같은 조건들이 모든 배출량 산정방식에 사용된다. 기본조건은 다음과 같다.

온실가스 배출목록에서 제시하고 있는 각각의 배출원에 대하여 배출량을 산정하여 합산한 배출량을 강릉지역의 온실가스 배출량으로 추정하였다.

강릉지역의 온실가스 배출량산정의 식은 다음과 같다.

$$E = \sum_{i=1}^n Ee_i$$

여기서,  $E$  : 강릉지역 배출원에서의 온실가스의 배출량

$Ee_i$  : 각 배출원별 온실가스의 배출량

$i$  : 각 배출원

나아가서, 각각의 배출원에서의 배출량은 배출원의 각 공정별 온실가스의 배출량의 합이다.

$$Ee = \sum_{i=1}^n (EF \times A)$$

여기서,  $Ee$  : 개별 배출원의 온실가스 배출량

$EF$  : 배출원의 각 공정별 온실가스별 Emission Factor(배출계수)

$A$  : Activity(활동도)

$i$  : 각각의 온실가스

따라서 세부공정별 온실가스에 대하여 각각의 배출계수를 도출한 후 활동도를 적용하여 세부공정별 배출량을 추정·합산하여 업종의 배출량을 산정하는 것을 기본적인 배출량 산정방식으로 정하고 있다.

또한, 본 연구에서의 온실가스 배출량을 산정하기 위하여 실측을 기반으로하여 “Bottom up approach” 와 “top down approach”방식을 병행하여 배출량을 산정하였다. 산정을 위한 기본 식은 상위의 식들을 적용하였지만, 각 배출원별 배출계수를 도출하기 위해서는 더 많은 세부 과정을 수행하여 배출계수를 도출할 수

있었다.

이때, 각각의 온실가스는 CO<sub>2</sub>를 기준으로 하는 지구 온난화 지수(GWP)를 사용하여 배출량을 통일하였다. 지구온난화지수(GWP)의 경우 2006 IPCC G/L에서는 IPCC 3차 평가보고서를 적용하도록 하고 있으나, 기존 인벤토리와 비교시 지구온난화 지수에 의한 배출량 차이를 해소하고 현재 우리나라 인벤토리에 적용된 지구온난화지수를 반영하여 IPCC 2차 평가보고서를 적용하였다.

#### 4.2.2. 유해대기오염물질 배출원별 배출량 산정방법

유해대기오염물질의 배출량 산정을 위해서는 다음과 같은 조건들이 모든 배출량 산정방식에 사용된다. 기본조건은 다음과 같다.

강릉지역에서 가장 많은 온실가스 배출량이 추정되는 시멘트제조업과 도로이동오염원에 대하여 유해대기오염물질의 배출량을 산정하여 합산한 배출량을 해당 배출원에서의 유해대기오염물질 배출량으로 추정하였다.

강릉지역의 유해대기오염물질 배출량산정의 식은 다음과 같다.

$$E_{HAPs} = \sum_{i=1}^n Ee_{HAPs_i}$$

여기서,  $E_{HAPs}$  : 강릉지역 배출원에서의 유해대기오염물질의 배출량

$Ee_{HAPs_i}$  : 각 배출원별 유해대기오염물질의 배출량

$i$  : 각 배출원

나아가서, 각각의 배출원에서의 배출량은 배출원의 각 공정별 온실가스의 배출량의 합이다.

$$Ee_{HAPs} = \sum_{i=1}^n (EF_{HAPs} \times A)$$

여기서,  $Ee_{HAPs}$  : 개별 배출원의 배출량

$EF_{HAPs}$  : 배출원의 각 공정별 유해대기오염물질 Emission Factor(배출계수)

$A$  : Activity(활동도)

$i$  : 각각의 유해대기오염물질

## IV. 연구결과 및 고찰

### 1. 부문별 온실가스 배출량 산정

#### 1.1. 에너지부문

##### 1.1.1. 에너지산업

에너지발전에서의 대기로의 온실가스 배출은 주요 배출공정인 보일러를 대상으로 하여 온실가스의 배출농도를 도출해 내었다. 각각 온실가스의 배출농도와 현장조사를 통하여 획득된 자료를 기준으로 보일러별 연료사용량을 기준으로 각각의 온실가스 배출계수를 산정해 내고, 업체의 연간 에너지 사용량을 활동도로 하여 배출량을 산정하였다.

에너지발전에서의 온실가스 배출계수 도출은 아래의 식을 근거로 하여 도출하였다.

$$Ee = (EF_p \times A \div 1,000)$$

여기서,  $Ee$  : 배출원에서의 온실가스( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) 배출량 (ton  $\text{CO}_2$  eq. /yr)

$EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg  $\text{CO}_2$  eq./ton)

$A$  : 연간 활동도(연료사용량, ton/yr)

1,000 : 배출량의 단위 변환(kg  $\rightarrow$  ton)

$$EF_p = \sum_{i=1}^n (Efp_i) / n$$

여기서,  $EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg  $\text{CO}_2$  eq./ton)

$Efp_i$  : 지점별 온실가스( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) 배출계수(kg  $\text{CO}_2$  eq./ton)

$n$  : 실측 배출계수 개수(온실가스별)

$$Efp_i = Cp \times GWP \times M \times V \times 3,600 \div Fb \div 1,000,000$$

여기서,  $Cp$  : 측정지점에서 각각의 온실가스( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) 농도( $\text{mg}/\text{Sm}^3$ )

GWP: 온실가스별 지구온난화지수

M : 측정지점 단면적(m<sup>2</sup>)

V : 측정가스 유속(m/sec)

Fb : 시간당 연료사용량(ton/hr)

3,600 : 시간을 초로 환산(3,600sec/hr)

1,000,000 : 농도의 단위 변환(mg→ kg)

화력발전소에서 온실가스 배출계수는 1호기에서 CO<sub>2</sub>는 740.94 kg CO<sub>2</sub> eq./ton, CH<sub>4</sub>는 0.03 kg CO<sub>2</sub> eq./ton, N<sub>2</sub>O는 0.87 kg CO<sub>2</sub> eq./ton으로 조사되었으며, 2호기에의 온실가스 배출계수는 CO<sub>2</sub> 808.25 kg CO<sub>2</sub> eq./ton, CH<sub>4</sub>는 0.06 kg CO<sub>2</sub> eq./ton, N<sub>2</sub>O는 0.58 kg CO<sub>2</sub> eq./ton으로 조사되었다. 1, 2호기의 연간 활동도는 연료사용량은 각각 ton으로 환산한 자료로 사용하였으며, 1호기의 활동도는 492,750 ton/yr, 2호기의 활동도는 747,885 ton/yr으로 화력발전소에서의 온실가스 총 배출량은 970,498 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로 추정되었다.

강릉지역의 에너지부문의 에너지산업중 화력발전소에서의 온실가스 배출계수와 활동도 및 배출량을 Table 4.1에 나타내었다.

Table 4.1. GHG emission factor and emissions at energy industry

Description		Emission factor (kg CO <sub>2</sub> eq./ton)	Activity* (ton/yr)	Emissions (ton CO <sub>2</sub> eq./yr)
#1	CO <sub>2</sub>	740.94	492,750	970,498
	CH <sub>4</sub>	0.03		
	N <sub>2</sub> O	0.87		
#2	CO <sub>2</sub>	808.25	747,885	
	CH <sub>4</sub>	0.06		
	N <sub>2</sub> O	0.58		

\* 강릉시 내부자료(2007년 사용량).

### 1.1.2. 제조업 및 건설업

에너지부문에 있어서 고정연소에 해당하는 배출원 중 에너지 발전을 제외한 제조업과 건설업 분야에서 대기로의 주요 배출공정인 보일러를 대상으로 하여 온실가스의 배출농도를 측정 분석하였다.

각각의 농도와 현장조사를 통하여 획득된 자료를 기준으로 보일러별 연료사용량을 기준으로 각각의 온실가스 배출계수를 산정해 내고, 업체의 연간 에너지 사용량을 활동도로 하여 배출량을 산정하였다.

제조업에서의 온실가스 배출계수 도출은 아래의 식을 근거로 하여 도출하였다.

$$Ee = (EF_p \times A \div 1,000)$$

여기서,  $Ee$  : 배출원에서의 온실가스( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) 배출량 (ton  $CO_2$  eq. /yr)

$EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg  $CO_2$  eq./ $m^3$ )

$A$  : 연간 활동도(연료사용량,  $m^3$ /yr)

1,000 : 배출량의 단위 변환(kg  $\rightarrow$  ton)

$$EF_p = \sum_{i=1}^n (Efp_i) / n$$

여기서,  $EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg  $CO_2$  eq./ton)

$Efp_i$  : 지점별 온실가스( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) 배출계수(kg  $CO_2$  eq./ton)

$n$  : 실측 배출계수 개수(온실가스별)

$$Efp_i = Cp \times GWP \times M \times V \times 3,600 \div Fb \div 1,000,000$$

여기서,  $Cp$  : 측정지점에서 각각의 온실가스( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) 농도(mg/ $Sm^3$ )

$GWP$ : 온실가스별 지구온난화지수

$M$  : 측정지점 단면적( $m^2$ )

$V$  : 측정가스 유속(m/sec)

$Fb$  : 시간당 연료사용량( $m^3$ /hr)

3,600 : 시간을 초로 환산(3,600sec/hr)

1,000,000 : 농도의 단위 변환(mg→ kg)

강릉지역의 제조업 및 건설업에서중 시멘트 생산을 제외하고 가장 많은 연료를 사용하는 업체에 대한 배출량을 산정하였다. 이때 업체가 사용하는 연료는 LPG로 전체 제조업을 대표할 수 없는 관계로 해당 업체의 활동도만을 작성하여 온실가스 배출계수와 활동도 및 배출량을 산정하였다.

실측 제조업에서의 온실가스 배출계수는 CO<sub>2</sub>는 7.52 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>3</sup>, CH<sub>4</sub>는 0.0024 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>3</sup>, N<sub>2</sub>O는 0.0022 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>3</sup>으로 조사되었다. 대상업체에서의 연간 활동도인 LPG 연료사용량은 1,123,800 m<sup>3</sup>/yr으로 해당 제조업체에서의 온실가스 총 배출량은 8,461 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로 추정되었다.

측정 대상업체에서의 온실가스의 배출계수 및 활동도는 Table 4.2에 나타내었다.

Table 4.2. GHG emission factor and emissions at manufacturing and construction industry

Description	Emission factor (kg CO <sub>2</sub> eq./m <sup>3</sup> )	Activity* (m <sup>3</sup> /yr)	Emissions (ton CO <sub>2</sub> eq./yr)
CO <sub>2</sub>	7.52	1,123,800	8,461
CH <sub>4</sub>	0.0024		
N <sub>2</sub> O	0.0022		

\* 강릉시 내부자료(2007년 사용량).

### 1.1.3. 기타연소

기타연소의 경우 가정, 상업, 공공분야가 있는데 본 연구에서는 기타연소 중 가장 많은 에너지를 소모하고 있는 가정용 난방에 대한 실측과 온실가스 배출량을 평가하였다.

가정용난방의 경우 도시가스와 난방용 등유에 대하여 배출량을 산정하였다. 대기로 배출공정인 배기구에서 실측을 통하여 온실가스의 배출농도를 도출해 내었다. 그리고 보일러 가동상황과 연료사용량을 계산하여 온실가스 배출계수를 산정해 내었으며, 강릉지역의 연간 가정용 난방 연료의 사용량을 활동도로 하여 배출량을 산정하였다.

가정용 난방에서의 온실가스 배출계수 도출은 아래의 식을 근거로 하여 도출하였다.

$$Ee = (EF_p \times A \div 1,000)$$

여기서,  $Ee$  : 배출원에서의 온실가스( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) 배출량 (ton  $CO_2$  eq. /yr)

$EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg  $CO_2$  eq./L or  $m^3$ )

$A$  : 연간 활동도(연료사용량, L or  $m^3$ /yr)

1,000 : 배출량의 단위 변환(kg → ton)

$$EF_p = \sum_{i=1}^n (Efp_i) / n$$

여기서,  $EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg  $CO_2$  eq./L or  $m^3$ )

$Efp_i$  : 지점별 온실가스( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) 배출계수(kg  $CO_2$  eq./L or  $m^3$ )

$n$  : 실측 배출계수 개수(온실가스별)

$$Efp_i = Cp \times GWP \times M \times V \times 3,600 \div Fb \div 1,000,000$$

여기서,  $Cp$  : 측정지점에서 각각의 온실가스( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) 농도(mg/ $Sm^3$ )

$GWP$ : 온실가스별 지구온난화지수

$M$  : 측정지점 단면적( $m^2$ )

$V$  : 측정가스 유속(m/sec)

$Fb$  : 시간당 보일러 연료사용량(L or  $m^3$ /hr)

3,600 : 시간을 초로 환산(3,600sec/hr)

1,000,000 : 농도의 단위 변환(mg→ kg)

강릉지역의 가정용 난방에서 가장 많은 비중으로 사용되고 있는 도시가스화 보일러 등유에 대하여 조사하였으며, 보일러 등유의 경우 중형과 소형으로 나누어 각각 실측하여 배출계수를 산정하여 내었다.

가정용 난방에서의 온실가스 배출계수는 보일러 등유를 사용하는 중형의 경우, CO<sub>2</sub>는 18.49 kg CO<sub>2</sub> eq./L, N<sub>2</sub>O는 0.0008 kg CO<sub>2</sub> eq./L으로 조사되었으며, CH<sub>4</sub>는 검출되지 않았고, 보일러 등유의 소형 보일러의 경우는 CO<sub>2</sub>가 16.11 kg CO<sub>2</sub> eq./L, N<sub>2</sub>O는 0.0015 kg CO<sub>2</sub> eq./L으로 조사되었다. CH<sub>4</sub>는 중형 보일러에서와 같이 검출되지 않았다.

가정용 난방의 도시가스의 경우는 CO<sub>2</sub>는 0.0046 kg CO<sub>2</sub> eq./L, N<sub>2</sub>O는 0.000002 kg CO<sub>2</sub> eq./L으로 조사되었으며, CH<sub>4</sub>는 다른 보일러에서와 같이 검출되지 않는 것으로 조사되었다.

가정용 등유 보일러의 강릉지역 6,925,000 L/yr의 등유 사용량을 사용하였으며, 도시가스의 경우는 강릉시 내부자료와 석유정보시스템의 자료로 사용량을 L로 환산한 11,706,000,000 L를 연료 사용량을 연간 활동도는 사용하여 배출량을 추정하였다. 강릉지역에서의 가정 난방에서의 연간 온실가스 총 배출량은 가정용 등유의 경우 119,801 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로 추정되었으며, 도시가스 보일러의 경우 53,647 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로 추정되었다.

강릉시에서의 기타연소중 가정용난방에서의 온실가스 배출계수와 활동도 및 배출량을 Table 4.3에 나타내었다.

Table 4.3. GHG emission factor and emissions at house heating

Description		Emission factor (kg CO <sub>2</sub> eq./L)	Activity* (L/yr)	Emissions(ton CO <sub>2</sub> eq./yr)	
Diesel	medium size	CO <sub>2</sub>	18.49	6,925,000	119,801
		CH <sub>4</sub>	N.D.		
		N <sub>2</sub> O	0.0008		
	small size	CO <sub>2</sub>	16.11		
		CH <sub>4</sub>	N.D.		
		N <sub>2</sub> O	0.0015		
LNG	CO <sub>2</sub>	0.0046	11,706,000,000	53,647	
	CH <sub>4</sub>	N.D.			
	N <sub>2</sub> O	0.000002			

\* 강릉시 내부자료(2007년 사용량)  
석유정보시스템(PEDSIS)자료, 2007년 사용.



#### 1.1.4. 도로수송

도로수송에서의 대기로의 주요 배출공정인 배기구에서 실측을 통하여 온실가스의 배출농도를 도출해 내었다. 그리고 각각의 농도와 주행상황에서 획득한 자료들을 기준으로 연료사용량에 대한 온실가스 배출계수를 산정해 내었으며, 강릉지역의 연간 도로수송 분야에서의 에너지 사용량을 활동도로 하여 배출량을 산정하였다.

도로수송에서의 온실가스 배출계수 도출은 아래의 식을 근거로 하여 도출하였다.

$$Ee = (EF_p \times A \div 1,000)$$

여기서,  $Ee$  : 배출원에서의 온실가스( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) 배출량 (ton  $\text{CO}_2$  eq. /yr)

$EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg  $\text{CO}_2$  eq./L or  $\text{m}^3$ )

$A$  : 연간 활동도(연료사용량, L or  $\text{m}^3/\text{yr}$ )

1,000 : 배출량의 단위 변환(kg  $\rightarrow$  ton)

$$EF_p = \sum_{i=1}^n (Efp_i) / n$$

여기서,  $EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg  $\text{CO}_2$  eq./L or  $\text{m}^3$ )

$Efp_i$  : 차량별 속도별 온실가스( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) 배출계수(kg  $\text{CO}_2$  eq./L or  $\text{m}^3$ )

$n$  : 차량별 속도별 배출계수 개수(온실가스별)

$$Efp_i = Cp \times GWP \times M \times V \times t \times mi \div R \div 1,000,000$$

여기서,  $Cp$  : 측정지점에서 각각의 온실가스( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) 농도( $\text{mg}/\text{Sm}^3$ )

$GWP$ : 온실가스별 지구온난화지수

$M$  : 측정지점 단면적( $\text{m}^2$ )

$V$  : 측정가스 유속( $\text{m}/\text{sec}$ )

$mi$  : 주행연비( $\text{km}/\text{L}$ )

$t$  : 측정시간( $\text{min}/1\text{회}$ )

$R$  : 주행거리(km/1회)

60 : 분을 초로 환산(60 sec/min)

1,000,000 : 농도의 단위 변환(mg→ kg)

강릉지역의 이동연소중 도로수송에서의 온실가스 배출량은 주로 사용되고 있는 연료인 휘발유, 경유, LPG에 대하여 조사하였으며, 각 차량은 30 km/hr, 60 km/hr, 80 km/hr의 속도에서 각각 실험하였다.

각각의 차량은 현재 운행이 주로 되고 있는 배기량과 연식을 적용하여 선정하였다.

가솔린 차량의 경우, CO<sub>2</sub> 배출계수는 30km/hr 일때 2.01 kg CO<sub>2</sub> eq./L, 60km/hr 1.50 kg CO<sub>2</sub> eq./L, 80km/hr일때 1.47 kg CO<sub>2</sub> eq./L으로 저속에서 배출계수가 높은 것으로 조사되었으며, CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O는 상대적으로 매우 낮은 배출계수를 가짐에 따라, 가솔린 차량의 경우 저속일때 온실가스 배출량이 높아 질 수 있는 것으로 추론된다.

경유차량의 경우, CO<sub>2</sub> 배출계수는 30km/hr 일때 1.07 kg CO<sub>2</sub> eq./L, 60km/hr 1.64 kg CO<sub>2</sub> eq./L, 80km/hr일때 1.66 kg CO<sub>2</sub> eq./L으로 고속에서 배출계수가 높은 것으로 조사되었으며, CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O는 상대적으로 매우 낮은 배출계수를 가짐에 따라, 경유차량의 경우 고속일때 온실가스 배출량이 높아 질 수 있는 것으로 판단된다.

LPG차량의 경우, CO<sub>2</sub> 배출계수는 30km/hr 일때 0.50 kg CO<sub>2</sub> eq./L, 60km/hr 0.62 kg CO<sub>2</sub> eq./L, 80km/hr일때 0.39 kg CO<sub>2</sub> eq./L으로 저속(30km/hr)과 고속(80km/hr)일 때 보다 상대적으로 중속(60km/hr)에서 배출계수가 높은 것으로 조사되었다.

전체적으로 온실가스의 배출계수는 가솔린과 경유의 차량이 배출계수가 높았던 반면, LPG 차량의 배출계수는 다른 연료의 차량보다 상대적으로 낮은 것으로 평가된다.

도로수송에서의 가솔린의 연간 사용량은 61,881,584 L/yr의 등유 사용량을 사용하였으며, 경유의 연간 사용량은 121,041,481 L/yr 도시가스의 경우는 강릉시 내부자료와 석유정보시스템의 자료를 기초로 49,674,351 L의 연료 사용량을 연간 활동도는 사용하여 배출량을 추정하였다.

강릉지역에서의 도로수송에서의 연간 온실가스 총 배출량은 가솔린 차량의 경우

102,632 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로 추정되었으며, 경유 차량은 176,910 ton CO<sub>2</sub> eq./yr, LPG차량은 25,172 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 으로 추정되었다.

강릉시에서의 도로수송에서의 배출계수와 활동도 및 배출량을 Table 4.4에 나타내었다.

Table 4.4. GHG emission factor and emissions by vehicle run

Description			Emission factor (kg CO <sub>2</sub> eq./L)	Activity* (L/yr)	Emissions (ton CO <sub>2</sub> eq./yr)
Gasoline	30 km/h	CO <sub>2</sub>	2.01	61,881,584	102,632
		CH <sub>4</sub>	0.00030		
		N <sub>2</sub> O	N.D.		
	60 km/h	CO <sub>2</sub>	1.50		
		CH <sub>4</sub>	0.00007		
		N <sub>2</sub> O	0.00031		
	80 km/h	CO <sub>2</sub>	1.47		
		CH <sub>4</sub>	0.00013		
		N <sub>2</sub> O	0.00037		
Diesel	30 km/h	CO <sub>2</sub>	1.07	121,041,481	176,910
		CH <sub>4</sub>	0.00029		
		N <sub>2</sub> O	0.00942		
	60 km/h	CO <sub>2</sub>	1.64		
		CH <sub>4</sub>	0.00019		
		N <sub>2</sub> O	0.00811		
	80 km/h	CO <sub>2</sub>	1.66		
		CH <sub>4</sub>	N.D.		
		N <sub>2</sub> O	0.00315		
LPG	30 km/h	CO <sub>2</sub>	0.50	49,674,351	25,172
		CH <sub>4</sub>	0.00048		
		N <sub>2</sub> O	0.00013		
	60 km/h	CO <sub>2</sub>	0.62		
		CH <sub>4</sub>	0.00223		
		N <sub>2</sub> O	0.00191		
	80 km/h	CO <sub>2</sub>	0.39		
		CH <sub>4</sub>	0.00035		
		N <sub>2</sub> O	0.00001		

\* 강릉시 내부자료(2007년 사용량)

- N.D.: not detected.

## 1.2. 산업부문

강릉시의 산업부문에서의 온실가스 배출원은 광물산업, 오존과피물질의 대체물질로서 제품사용(냉장 및 냉방), 기타 제품 제조 및 사용(전기장비, 제품사용으로부터 N<sub>2</sub>O 발생)으로 조사되고 있다.

이중 산업공정 배출량의 99% 이상 가장 많은 비율을 차지하고 있는 배출원은 광물산업중 시멘트 생산에 기인 한 것으로 보고되고 있다.

따라서, 시멘트 제조업에서의 대기로의 주요 배출공정인 소성로를 대상으로 하여 온실가스의 배출농도를 도출해 내고, 각각의 농도와 현장조사를 통하여 획득된 자료를 기준으로 소성로별 클링커 생산량을 기준으로 각각의 온실가스 배출계수를 산정해 내고, 업체의 클링커 생산량을 활동도로 하여 배출량을 산정하였다.

시멘트 제조업에서의 배출계수 도출은 아래의 식을 근거로 하여 도출하였다.

$$Ee = (EF_p \times A \div 1,000)$$

여기서,  $Ee$  : 배출원에서의 온실가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) 배출량 (ton CO<sub>2</sub> eq. /yr)

$EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg CO<sub>2</sub> eq./ton)

$A$  : 연간 활동도(클링커 생산량, ton/yr)

$1,000$  : 배출량의 단위 변환(kg → ton)

$$EF_p = \sum_{i=1}^n (Efp_i) / n$$

여기서,  $EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg CO<sub>2</sub> eq./ton)

$Efp_i$  : 지점별 온실가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) 배출계수(kg CO<sub>2</sub> eq./ton)

$n$  : 실측 배출계수 개수(온실가스별)

$$Efp_i = Cp \times GWP \times M \times V \times 3,600 \div P \div 1,000,000$$

여기서,  $Cp$  : 측정지점에서 각각의 온실가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) 농도(mg/Sm<sup>3</sup>)

$GWP$ : 온실가스별 지구온난화지수

$M$  : 측정지점 단면적( $m^2$ )

$V$  : 측정가스 유속( $m/sec$ )

$P$  : 시간당 클링커 생산량( $ton/hr$ )

3,600 : 시간을 초로 환산( $3,600sec/hr$ )

1,000,000 : 농도의 단위 변환( $mg \rightarrow kg$ )

강릉지역의 산업부문중 99% 이상을 배출하는 시멘트생산에 대하여 온실가스 배출조사를 실시하였다. 총 4호기가 운행 중에 있으며, 이중 3개 호기에 대하여 실측을 수행하였다.

시멘트 소성로에서의  $CO_2$  배출계수는 1호기에서  $907.91 \text{ kg } CO_2 \text{ eq./ton}$ 으로 2호기, 3호기의  $748.63 \text{ kg } CO_2 \text{ eq./ton}$ ,  $400.06 \text{ kg } CO_2 \text{ eq./ton}$ 보다 높은 배출계수를 보였으며,  $CH_4$ 와  $N_2O$ 는 4호기에서의 배출계수가 각각  $4.94 \text{ kg } CO_2 \text{ eq./ton}$ 와  $7.86 \text{ kg } CO_2 \text{ eq./ton}$ 으로  $0.16 \text{ kg } CO_2 \text{ eq./ton}$ ,  $0.49 \text{ kg } CO_2 \text{ eq./ton}$ 을 보인 1호기와  $1.40 \text{ kg } CO_2 \text{ eq./ton}$ ,  $0.61 \text{ kg } CO_2 \text{ eq./ton}$ 을 보인 2호기에 비하여 상대적으로 높은 배출계수를 보이는 것으로 조사되었다. 이는 소성로에서 연소되고 있는 폐기물을 함유하고 있는 4호기에 다른 호기에 비하여 낮은  $CO_2$  농도와 함께  $CH_4$ 와  $N_2O$ 는 상대적으로 높은 배출계수를 보이는데 이는 상대적으로 불완전연소되는 비율이 1,2호기에 비하여 높은것에 기인하는 것으로 판단된다.

해당업체에서 생산되는 클링커의 생산량인  $5,962,523 \text{ ton/yr}$ 을 활동도로 시멘트 제조업에서 발생하는 온실가스 총량은  $4,118,278 \text{ ton } CO_2 \text{ eq./yr}$ 으로 추정되어 강릉지역에서 가장 높은 배출량을 나타내는 것으로 조사되었다.

시멘트 제조업에서의 온실가스 배출계수와 활동도 및 배출량을 Table 4.5 에 나타내었다.

Table 4.5. GHG emission factor and emissions at cement manufacturing

Description		Emission factor (kg CO <sub>2</sub> eq./ton)	Activity* (ton/yr)	Emissions (ton CO <sub>2</sub> eq./yr)
Line 1	CO <sub>2</sub>	907.91	5,962,523	4,118,278
	CH <sub>4</sub>	0.19		
	N <sub>2</sub> O	0.49		
Line 2	CO <sub>2</sub>	748.63		
	CH <sub>4</sub>	1.40		
	N <sub>2</sub> O	0.61		
Line 4	CO <sub>2</sub>	400.06		
	CH <sub>4</sub>	4.94		
	N <sub>2</sub> O	7.86		

\* 강릉시 내부자료(2007년 사용량) 및 현장조사자료

### 1.3. 폐기물부문

#### 1.3.1. 매립

강릉시의 존재하는 매립장은 총 18개로써 이중 16개는 1999년 을 종료시점으로 현재 매립이 이루어지고 있지 않으며, 영동화력발전소에서 발생하는 사업장 폐기물을 자가 처리하는 매립장과 강릉시 생활폐기물을 매립하는 매립장 2곳만이 운영되고 있는 실정이다. 따라서 생활폐기물을 매립하고 있는 매립지를 대상으로 표면과 가스 배제공에서 온실가스 배출량을 산정하였다.

이때 활동도는 2007년 당해 연도 매립량에 대하여 적용하였으며, 매립장에서의 온실가스 배출량은 매립장 표면과 배제공에 대하여 각각 도출하여 합산 하였다.

##### 1.3.1.1. 매립장 표면

$$Ee = (EF_p \times A \div 1,000)$$

여기서,  $Ee$  : 배출원에서의 온실가스( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) 배출량 (ton  $CO_2$  eq. /yr)

$EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg  $CO_2$  eq./ton)

$A$  : 해당년도 매립량(ton/yr)

1,000 : 배출량의 단위 변환(kg → ton)

$$EF_p = \sum_{i=1}^n (Efp_i) / n$$

여기서,  $EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg  $CO_2$  eq./ton)

$Efp_i$  : 지점별 온실가스( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) 배출계수(kg  $CO_2$  eq./ton)

$n$  : 실측 배출계수 개수(온실가스별)

$$Efp_i = Cp \times GWP \times v \times a \div t \times A \div Q \div 1,000,000$$

여기서,  $Cp$  : 측정지점에서 각각의 온실가스( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) 농도(mg/ $Sm^3$ )

*GWP*: 온실가스별 지구온난화지수

*v* : 측정 반구의 부피(m<sup>3</sup>)

*a* : 측정 반구의 측정부의 면적(m<sup>2</sup>)

*t* : 측정시간(hr)

*A* : 매립장 표면적(m<sup>2</sup>)

*Q* : 매립량(m<sup>3</sup>)

1,000,000 : 농도의 단위 변환(mg→ kg)

매립장에서 단순 배출농도에 대한 배출량으로 배출량을 추정하면 간단하나 배출계수를 만들어서 향후 다른 곳에서 배출량을 산정할 수 있는 자료로 만들기 위하여 매립장 표면과 매립량을 계수화 하여 작업하였다.

### 1.3.1.2. 가스배제공

$$Ee = (EF_p \times A \div 1,000)$$

여기서, *Ee* : 배출원에서의 온실가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) 배출량 (ton CO<sub>2</sub> eq. /yr)

*EF<sub>p</sub>* : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg CO<sub>2</sub> eq./ton)

*A* : 해당년도 매립량(ton/yr)

1,000 : 배출량의 단위 변환(kg→ ton)

$$EF_p = \sum_{i=1}^n (Efp_i) / n$$

여기서, *EF<sub>p</sub>* : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg CO<sub>2</sub> eq./ton)

*Efp<sub>i</sub>* : 지점별 온실가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) 배출계수(kg CO<sub>2</sub> eq./ton)

*n* : 실측 배출계수 개수(온실가스별)

$$Efp_i = Cp \times GWP \times M \times V \times 3,600 \times 24 \times 365 \div P \div 1,000,000$$

여기서, *C<sub>p</sub>* : 측정지점에서 각각의 온실가스(CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) 농도(mg/Sm<sup>3</sup>)

*GWP*: 온실가스별 지구온난화지수

*M* : 가스배제공 단면적(m<sup>2</sup>/개)

*V* : 측정가스 유속(m/sec)

$P$  : 단위 배제공당 연간 매립량( $m^3/(ea.yr)$ )

3,600 : 시간을 초로 환산(3,600sec/hr)

1,000,000 : 농도의 단위 변환( $mg \rightarrow kg$ )

매립장의 경우 주된 배출량은 가스 배제공에서의 온실가스가 배출되는 것으로 조사되었다. 또한, 매립장에서의 온실가스 배출은 온도와 기상현상에 의한 영향을 배제할 수 없을 것으로 판단된다. 측정당시 강릉지역은 대설로 인하여 많은 강설량과 함께 낮은 기온으로 인하여 지면이 얼어 있는 경우가 많았으므로 이에 대한 보정이 필요한 것으로 판단되었다. 따라서 환경관리공단의 환경부분의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축(2003)에서 수행되었던 매립장 가스 배제공에 대한 기존자료를 기준으로 사계절 평균값에 대한 겨울철 배출비율을 적용하여 배출량을 재산정 하였다.

Table 4.6에 기존 8개 매립장 21개 가스배제공에서의 사계절 메탄의 평균 배출농도와 겨울철 배출농도 그리고 평균값과 겨울철 농도의 비율을 나타내었다. 이때 사용된 값은 사계절의 농도가 모두 있는 매립장의 배제공에 대하여서만 적용하였다.

연간 평균 배출농도는 겨울철 배출량에 비하여 최대 101.67배에서 최소 0.84배 배출되는 것으로 조사되었으며, 평균은 9.51배 높게 배출되는 경향을 보였다.

Table 4.6. Existing CH<sub>4</sub> data at landfill exhaust line in winter

Description		CH <sub>4</sub> Conc.(L/min)		4season average /winter
Site	line	4season average	Winter	
A	1	1,410.39	1,331.43	1.06
	2	793.13	496.14	1.60
	3	841.01	913.79	0.92
B	1	40.23	50.59	0.80
	2	0.08	0.02	4.00
C	1	0.10	0.02	4.76
	2	3.99	4.65	0.86
D	1	164.71	78.94	2.09
	2	183.54	37.68	4.87
E	1	217.65	108.19	2.01
	2	40.48	48.38	0.84
	3	1,541.23	39.63	38.89
	4	38.26	35.95	1.06
	5	50.95	19.63	2.60
F	1	32.78	28.98	1.13
	2	0.81	0.55	1.47
	3	0.17	0.03	5.67
G	1	0.01	0.00	101.67
	2	0.06	0.00	14.25
H	1	0.12	0.06	1.92
	2	0.07	0.01	7.25
Average				9.51

매립장에서의 온실가스 배출경로는 매립장 표면과 함께 가스배제공에서 주로 배출되는 것으로 조사되어졌다. 특히, 온실가스의 배출경향에 있어서는 가스배제공이 주요 배출 경로인 것으로 조사되었다.

배출농도에 있어서 매립표면에서는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O가 모두 배출되는 것으로 조사되었는데, 배제공에서는 CH<sub>4</sub>만 배출되는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 CO<sub>2</sub>의 경우 극히 미량임에 따라 지표 시료 채취시 극미량이 실험 반구안으로의 유입을 의심해 볼 수 있다. N<sub>2</sub>O의 경우는 지표의 경우 미생물의 소화에 필요한 충분한 시간이 지나지 않은 반면, 배제공의 경우 미생물의 소화에 의하여 질소성분의 상당부분이 미생물에 의해 분해된 것의 영향인 것으로 판단된다.

따라서, 배제공과 매립지 지표에서의 배출계수를 해당 사업장만의 지표와 배제공의 수를 배출계수로 하여 해당 매립지에서의 연간 배출량을 추정할 수 있지만, 매립량을 활동도로 하여 배출계수를 도출하기 위하여 전년도 72,000 ton/yr 매립량을 모단위로 하는 배출계수를 추정하였다. 따라서, 해당 매립장에서의 온실가스 배출량은 총 70.29 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로 추정하였으며, 측정 당시 겨울철인 계절적 비율을 고려하여 668.50 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로 온실가스 배출량을 최종 추정하였다.

따라서, 매립장에서의 온실가스 배출량은 계절적 실측 및 매립에 의한 발효가스의 생성 및 배출을 고려하였을때, 해당 매립장에서 고유의 배출계수를 산정하거나, bottom up 방식으로 배출량을 추정하는 것이 보다 정확성이 높을 것으로 판단된다.

본 연구의 실측에 의한 배출량과 결과와 함께 계절별 특성을 고려하려 보정된 온실가스 배출결과를 표 4.7에 나타내었다.

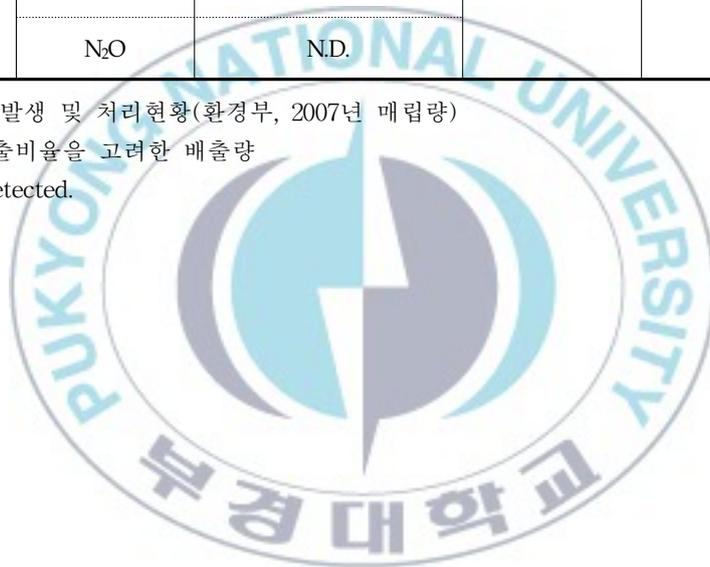
Table 4.7. GHG emission factor and emissions at landfill site

Description		Emission factor (kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>3</sup> )	Activity (m <sup>3</sup> /yr)	Emissions (ton CO <sub>2</sub> eq/yr)
Surface	CO <sub>2</sub>	0.0000001	<b>72,000</b> *	70.29 668.50 <sup>**</sup>
	CH <sub>4</sub>	0.0000037		
	N <sub>2</sub> O	0.0099896		
Exhaust line	CO <sub>2</sub>	N.D.		
	CH <sub>4</sub>	0.93		
	N <sub>2</sub> O	N.D.		

\* 전국폐기물 발생 및 처리현황(환경부, 2007년 매립량)

\*\* 계절별 배출비율을 고려한 배출량

- N.D.: not detected.



### 1.3.2. 하수처리장

하수처리장은 각 해당 하수처리장에서 대기중으로 온실가스가 배출되는 공정에 대하여서만 배출량을 산정하였다.

따라서, 각각의 공정에서의 실측농도와 현장조사를 통하여 획득된 자료를 기준으로 하수처리량을 기준으로 각각의 온실가스 배출계수를 산정해 내고, 업체의 연간 하수처리량을 활동도로 하여 배출량을 산정하였다.

하수처리장에서의 온실가스 배출계수 도출은 아래의 식을 근거로 하여 도출하였다.

$$Ee = (EF_p \times A \div 1,000)$$

여기서,  $Ee$  : 배출원에서의 온실가스( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) 배출량 (ton  $CO_2$  eq. /yr)

$EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg  $CO_2$  eq./ton)

$A$  : 하수처리량(ton/yr)

1,000 : 배출량의 단위 변환(kg  $\rightarrow$  ton)

$$EF_p = \sum_{i=1}^n (Efp_i) / n$$

여기서,  $EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg  $CO_2$  eq./ton)

$Efp_i$  : 지점별 온실가스( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) 배출계수(kg  $CO_2$  eq./ton)

$n$  : 실측 배출계수 개수(온실가스별)

$$Efp_i = Cp \times GWP \times v \times a \div t \times A \div Q \times 24 \times 365 \div 1,000,000$$

여기서,  $Cp$  : 측정지점에서 각각의 온실가스( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ) 농도(mg/ $Sm^3$ )

$GWP$ : 온실가스별 지구온난화지수

$v$  : 측정 반구의 부피( $m^3$ )

$a$  : 측정 반구의 측정부의 면적( $m^2$ )

$t$  : 측정시간(hr)

$A$  : 해당공정의 표면적( $m^2$ )

$Q$  : 단위시간당 하수처리량( $m^3/hr$ )

1,000,000 : 농도의 단위 변환(mg  $\rightarrow$  kg)

하수처리장의 경우 온실가스의 배출공정은 주로 대기과 접해있는 처리공정의 각 수조들에서 온실가스가 배출되는 것으로 조사되었다.

하수처리장에서의 온실가스 배출은 온도와 기상현상에 의한 영향을 배제할 수 없을 것으로 판단된다. 측정당시 강릉지역은 대설로 인하여 많은 강설량과 함께 낮은 기온으로 인하여 하수처리장의 각 수조에서 대기로의 배출량이 타계절에 비하여 상대적으로 매우 낮을 것으로 판단되었다. 따라서 환경관리공단의 환경부분의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축(2003)에서 수행되었던 하수처리장 각 처리공정에서 대기중으로 배출되는 메탄의 사계절 평균값에 대한 겨울철 배출비율을 적용하여 배출량을 재산정 하였다.

Table 4.8에 분뇨와 하수를 처리하는 처리장의 각 공정에서의 사계절 메탄의 평균 배출농도와 겨울철 배출농도 그리고 평균값과 겨울철 농도의 비율을 나타내었다. 이때 사용된 사계절의 값들이 각각 존재하는 하수처리장과 공정에 대하여서만 적용하였다.

연간 평균 배출농도는 겨울철 배출량에 비하여 최대 250.1배에서 최소 0.4배 배출되는 것으로 조사되었으며, 평균은 40.5배 높게 배출되는 경향을 보였다.

Table 4.8. Existing CH<sub>4</sub> data at landfill exhaust line in winter

Description		CH <sub>4</sub> Conc.(ppm)		4season average /winter
Site	Sampling point	4season average	Winter	
A	Equalization basin	1,544.33	106	14.6
	Manhole	975.53	3.9	250.1
B	Grit Chamber	4,995.38	518.7	9.6
	1st Clarifier	873.60	2237.6	0.4
	Thickener	1,992.13	529.6	3.8
	Sludge Digester	36,057.30	36057.3	1.0
C	2nd Clarifier	68.98	34.8	2.0
	Thickener	3,654.98	86.7	42.2
Average				40.5

강릉지역의 하수처리장에서의 온실가스 배출 경향을 살펴보면, 대규모의 A 처리장과, 상대적으로 소규모의 B처리장에서의 CO<sub>2</sub>, 배출계수는 거의 유사한 것으로 조사되었으나, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O의 배출량은 소규모의 B 처리장이 CH<sub>4</sub>의 경우 15배 이상 높게 나타나는 것으로 조사되었다.

이러한 원인으로는 A처리장의 경우 하수처리장 전체에서 외기로 배출되는 소화가스인 CH<sub>4</sub>를 포집하여 차량의 연료로 사용하거나 일부 대기중으로 연소시키는 공정을 사용함으로써 인하여 CH<sub>4</sub>의 대기 중 발생량이 매우 적게 나타나는 것으로 판단된다.

따라서, 대규모 처리시설인 A처리장에서의 연간 온실가스 배출량은 하수처리량이 8배 이상더 큰 규모임에도 불구하고 B처리장의 0.20 ton CO<sub>2</sub> eq./yr보다

낮은 0.18 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로 조사되었다.

하수처리장에서 대기로의 온실기체의 배출은 계절적 영향에 의한 많은 영향을 받는 것으로 판단됨에 따라 계절적 영향에 대한 상관성을 고려하여 평균은 40.5배를 적용하여 온실가스 배출량을 재산정 한 결과 A처리장은 7.39 ton CO<sub>2</sub> eq./yr, B처리장은 8.06 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로 각각 조사되었다.

따라서 본 연구의 실측에 의한 배출량과 결과와 함께 계절별 특성을 고려하려 보정된 온실가스 배출결과를 Table 4.9에 나타내었다.

**Table 4.9. GHG emission factor and emissions at SWT**

Description		Emission factor (kg CO <sub>2</sub> eq./m <sup>3</sup> )	Activity* (m <sup>3</sup> /yr)	Emissions (ton CO <sub>2</sub> eq./yr)	
A	Sedimentation tank	CO <sub>2</sub>	0.0000009	26,889,185	0.18 7.39**
		CH <sub>4</sub>	0.0000008		
		N <sub>2</sub> O	0.0000002		
	Aeration tank	CO <sub>2</sub>	0.0000042		
		CH <sub>4</sub>	0.0000006		
		N <sub>2</sub> O	N.D.		
B	Sedimentation tank	CO <sub>2</sub>	0.0000002	3,233,900	0.20 8.06**
		CH <sub>4</sub>	0.0000126		
		N <sub>2</sub> O	0.0000008		
	Aeration tank	CO <sub>2</sub>	N.D.		
		CH <sub>4</sub>	0.0000107		
		N <sub>2</sub> O	0.0000005		
	Sludge tank	CO <sub>2</sub>	0.0000000		
		CH <sub>4</sub>	0.0000367		
		N <sub>2</sub> O	0.0000001		

\* 하수도 통계연보(환경부, 2007년 하수처리량)

\*\* 계절별 배출비율을 고려한 배출량

- N.D.: not detected.

### 1.3.3. 폐수처리장

강릉시내에 폐수처리장은 1개의 시설이 있으며, 폐수처리장에서 배출되는 공정은 무산소조, 탈기조, 혐기조, 호기조이며, 이 외에 탈취스택에서 대기중으로 온실가스가 배출되는 것으로 조사되었다.

따라서, 각각의 공정에서의 실측농도와 현장조사를 통하여 획득된 자료를 기준으로 폐수처리량을 기준으로 폐수처리공정과 탈취스택에 대하여 온실가스 배출계수를 산정해 내고, 업체의 연간 폐수처리량을 활동도로 하여 배출량을 산정하였다.

#### 1.3.3.1 폐수처리공정

$$Ee = (EF_p \times A \div 1,000)$$

여기서,  $Ee$  : 배출원에서의 온실가스( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) 배출량 (ton  $\text{CO}_2$  eq. /yr)

$EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg  $\text{CO}_2$  eq./ton)

$A$  : 폐수처리량(ton/yr)

1,000 : 배출량의 단위 변환(kg  $\rightarrow$  ton)

$$EF_p = \sum_{i=1}^n (Efp_i) / n$$

여기서,  $EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수(kg  $\text{CO}_2$  eq./ton)

$Efp_i$  : 지점별 온실가스( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) 배출계수(kg  $\text{CO}_2$  eq./ton)

$n$  : 실측 배출계수 개수(온실가스별)

$$Efp_i = Cp \times GWP \times v \times a \div t \times A \div Q \times 24 \times 365 \div 1,000,000$$

여기서,  $Cp$  : 측정지점에서 각각의 온실가스( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) 농도( $\text{mg}/\text{Sm}^3$ )

$GWP$ : 온실가스별 지구온난화지수

$v$  : 측정 반구의 부피( $\text{m}^3$ )

$a$  : 측정 반구의 측정부의 면적( $\text{m}^2$ )

$t$  : 측정시간(hr)

$A$  : 해당공정의 표면적( $\text{m}^2$ )

$Q$  : 단위시간당 하수처리량( $m^3/hr$ )

$1,000,000$  : 농도의 단위 변환( $mg \rightarrow kg$ )

### 1.3.3.2 탈취스택

$$Ee = (EF_p \times A \div 1,000)$$

여기서,  $Ee$  : 배출원에서의 온실가스( $CO_2, CH_4, N_2O$ ) 배출량 ( $ton CO_2 eq. /yr$ )

$EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수( $kg CO_2 eq./m^3$ )

$A$  : 연간 활동도(폐수처리량,  $m^3/yr$ )

$1,000$  : 배출량의 단위 변환( $kg \rightarrow ton$ )

$$EF_p = \sum_{i=1}^n (Efp_i) / n$$

여기서,  $EF_p$  : 배출원에서의 온실가스 평균배출계수( $kg CO_2 eq./ton$ )

$f_{p_i}$  : 지점별 온실가스( $CO_2, CH_4, N_2O$ ) 배출계수( $kg CO_2 eq./ton$ )

$n$  : 실측 배출계수 개수(온실가스별)

$$Efp_i = Cp \times GWP \times M \times V \times 60 \times 24 \times 365 \div V \div 1,000,000$$

여기서,  $C_p$  : 측정지점에서 각각의 온실가스( $CO_2, CH_4, N_2O$ ) 농도( $mg/Sm^3$ )

$GWP$ : 온실가스별 지구온난화지수

$V_g$  : 탈취스택 가스배출유량( $m^3/min$ )

$V$  : 연간 폐수처리량( $m^3/yr$ )

$60 \times 24 \times 365$  : 연을 분단위로 환산

$1,000,000$  : 농도의 단위 변환( $mg \rightarrow kg$ )

폐수처리장의 경우 온실가스의 배출공정은 주로 대기과 접해있는 처리공정의 각 수조들에서 온실가스가 배출되는 것으로 조사되었다.

하수처리장에 비하여 상대적으로 대기와의 접촉은 작은 편이지만, 모든 공정이 덮개형식으로 개방되어 있음에 따라서 대기중으로의 배출이 되는

것으로 예상되었다. 또한, 하수처리장과 마찬가지로 온실가스 배출은 온도와 기상현상에 의한 영향을 배제할 수 없을 것으로 판단된다. 측정당시 강릉지역은 대설로 인하여 많은 강설량과 함께 낮은 기온으로 인하여 폐수처리장의 각 수조에서 대기로의 배출량이 타계절에 비하여 상대적으로 매우 낮은 것으로 판단되었다. 따라서 환경관리공단의 환경부분의 온실가스 배출량 조사 및 통계구축(2003)에서 수행되었던 폐수처리장 각 처리공정에서 대기중으로 배출되는 메탄의 사계절 평균값에 대한 겨울철 배출비율을 적용하여 배출량을 재산정 하였다.

Table 4.10에 폐수 처리장의 각 공정에서의 사계절 메탄의 평균 배출농도와 겨울철 배출농도 그리고 평균값과 겨울철 농도의 비율을 나타내었다. 이때 사용된 사계절의 값들이 각각 존재하는 폐수처리장과 공정에 대하여서만 적용하였다.

연간 평균 배출농도는 겨울철 배출량에 비하여 최대 245.1배에서 최소 0.3배 배출되는 것으로 조사되었으며, 평균은 56.2배 높게 배출되는 경향을 보였다. 그러나, 폐수처리장의 경우 원수의 특성이 매우 다양함에 따라 유사한 식품업체의 폐수를 처리하는 D처리장에서의 계절별 평균 변화율인 11.7배를 적용하였다.

Table 4.10. Existing CH<sub>4</sub> data at WWT in winter

Description		CH (ppm)		4season average /winter
Site	Sampling point	4season average	Winter	
A	Grit Chamber	524.93	1875	0.3
	2nd Clarifier	0.60	0.6	1.0
	Thickener	942.03	2101.3	0.4
B	1st Clarifier	1,924.25	1307.2	1.5
	2nd Clarifier	49.03	0.2	245.1
	Thickener	1,604.95	103.3	15.5
C	2nd Clarifier	102.75	407	0.3
	Thickener	7,301.03	2976	2.5
D	1st Clarifier	89.58	68.4	1.3
	2nd Clarifier	14.00	0.5	28.0
	Thickener	27.13	4.8	5.7
E	Aeration Basion	71.88	91.8	0.8
	2nd Clarifier	18.25	2	9.1
	Thickener	634.90	341.3	1.9
F	Equalization basin	3.23	0.2	16.1
	Pressure flotation	2.65	0.3	8.8
	Clarifier	1.00	0.5	2.0
G	Equalization basin	0.35	0.1	3.5
	Clarifier	228.85	0.3	762.8
	Thickener	8.53	0.5	17.1
Average				56.2
D				11.7

강릉지역의 폐수처리장에서의 온실가스 배출은 매우 낮은 경향을 보이는 것으로 조사되었다.

폐수처리장에서 대기로의 온실가스 배출량은 6.38 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로 추정되었으나, 주변의 폐수 유입이 계절별로 유동이 크고, 계절별로 폐수에서 대기중으로 유입되는 양이 큼에 따라, 계절 변동성을 고려하여 유사한 식품업체의 겨울철/년평균 변화율인 11.7배를 적용하여 74.59 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 온실가스가 대기중으로 배출되는 것으로 추정하였다.

또한, 당 폐수처리장의 특이한 처리공정의 하나인 포집가스를 flare stack에서 연소하여 배출됨으로 본 처리장에서 배출되는 온실가스의 배출량으로 81.55 ton CO<sub>2</sub> eq./yr을 합산하여 배출량을 추정하였다. 그러나, 타 폐수처리장의 배출량을 산정할 경우에는 flare stack에서 배출되는 배출량은 제외하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

본 연구의 실측에 의한 배출량 및 계절별 특성을 고려하려 보정된 온실가스 배출결과와 함께 탈취스택에서의 온실가스 배출량을 Table 4.11에 나타내었다.

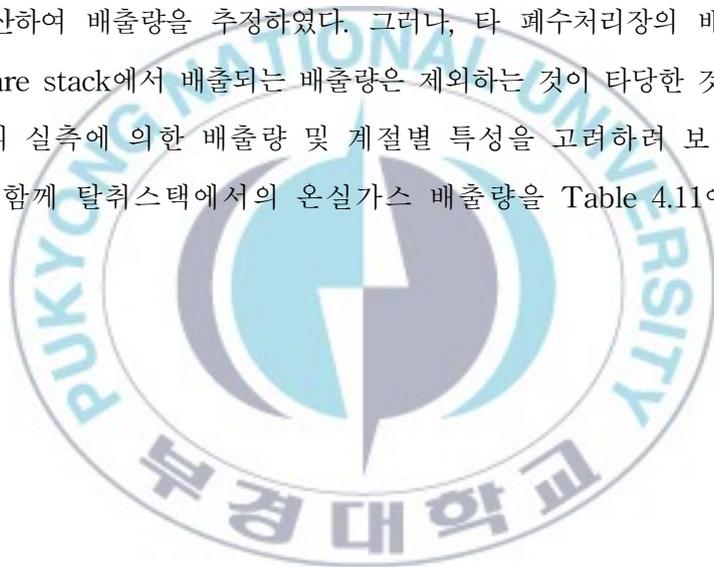


Table 4.11. GHG emission factor and emissions at WWT

Description		Emission factor (kg CO <sub>2</sub> eq./m <sup>3</sup> )	Activity* (m <sup>3</sup> /yr)	Emissions (ton CO <sub>2</sub> eq./yr)
Non aerobic basin	CO <sub>2</sub>	N.D.	949,000	6.38 74.59**
	CH <sub>4</sub>	0.00005		
	N <sub>2</sub> O	N.D.		
Deaerator	CO <sub>2</sub>	0.000000001		
	CH <sub>4</sub>	0.00000312		
	N <sub>2</sub> O	0.00000017		
Anaerobic basin	CO <sub>2</sub>	0.000001		
	CH <sub>4</sub>	0.000037		
	N <sub>2</sub> O	N.D.		
Aerobic basin	CO <sub>2</sub>	0.000011		
	CH <sub>4</sub>	0.000016		
	N <sub>2</sub> O	0.000014		
Flare stack	CO <sub>2</sub>	0.04	81.55	
	CH <sub>4</sub>	0.02		
	N <sub>2</sub> O	0.02		

\* 하수도 통계연보(환경부, 2007년 폐수처리량)

\*\* 계절별 배출비율을 고려한 배출량

- N.D.: not detected.

## 2. 주요 배출원에서의 HAPs 배출량 산정

강릉지역의 주요 HAPs 배출원 중에서 가장 배출량이 많은 업종인 시멘트 제조업과 이동오염원인 도로연소에서 HAPs 물질에 측정 및 분석을 수행하였으며, 배출량을 추정하였다.

### 2.1. 시멘트 제조업

강릉시의 산업부문에 온실가스 배출량의 99% 이상 가장 많은 비율을 차지하고 있는 배출원은 광물산업중 시멘트 생산에 기인 한 것으로 보고되고 있다.

따라서, 시멘트 제조업에서의 대기로의 주요 배출공정인 소성로를 대상으로 하여 HAPs의 배출농도를 도출해 내고, 각각의 농도와 현장조사를 통하여 획득된 자료를 기준으로 HAPs 배출계수를 산정해 내고, 업체의 클링커 생산량을 활동도로 하여 배출량을 산정하였다.

시멘트 제조업에서의 배출계수 도출은 아래의 식을 근거로 하여 도출하였다.

$$Ee = (EF_p \times A \div 1,000,000)$$

여기서,  $Ee$  : 배출원에서의 HAPs 배출량 (kg/yr)

$EF_p$  : 배출원에서의 HAPs 평균배출계수(mg/ton)

$A$  : 연간 활동도(클링커 생산량, ton/yr)

$1,000,000$  : 배출량의 단위 변환(mg→ kg)

$$EF_p = \sum_{i=1}^n (Efp_i) / n$$

여기서,  $EF_p$  : 배출원에서의 HAPs 평균배출계수(mg/ton)

$Efp_i$  : 지점별 HAPs 배출계수(mg/ton)

$n$  : 실측 배출계수 개수

$$Efp_i = Cp \times M \times V \times 3,600 \div P \div 1,000$$

여기서,  $Cp$  : 측정지점에서 각각의 HAPs 농도( $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ )

$M$  : 측정지점 단면적( $\text{m}^2$ )

$V$  : 측정가스 유속( $\text{m}/\text{sec}$ )

$P$  : 시간당 클링커 생산량( $\text{ton}/\text{hr}$ )

$3,600$  : 시간을 초로 환산( $3,600\text{sec}/\text{hr}$ )

$1,000$  : 농도의 단위 변환( $\mu\text{g} \rightarrow \text{mg}$ )

강릉지역의 산업부문중 99% 이상을 배출하는 시멘트생산에 대하여 HAPs 배출조사를 실시하였다. 총 4호기가 운행 중에 있으며, 이중 1개 호기(4호기)에 HAPs에 대하여 실측을 수행하였다. 시멘트 제조업에서의 HAPs 배출계수와 활동도 및 배출량을 Table 4.12 에 나타내었다.



Table 4.12. HAPs emission factor and emissions at cement manufacturing

Compounds	Emission factor (mg/ton)	Activity* (ton/yr)	Emissions (kg/yr)
1,2-Dichloroethane	N.D.	5,962,523	0.00
1,3-Butadien	N.D.		0.00
2-Ethoxyethanol	N.D.		0.00
2-Ethoxyethyl acetate	N.D.		0.00
Acrylonitrile	N.D.		0.00
Benzene	6.51		38.79
Carbon Disulfide	N.D.		0.00
Carbon tetrachloride	N.D.		0.00
Chloroform	N.D.		0.00
Epichlorohydrin	N.D.		0.00
Ethybenzene	3.80		22.66
Methylene chloride	N.D.		0.00
Nitrobenzene	N.D.		0.00
Styrene	6.60		39.35
Tetrachloroethylene	N.D.		0.00
Trichloroethylene	N.D.		0.00
Vinyl acetate	N.D.		0.00
Vinyl chloride	N.D.		0.00
PAHs	167.40	998.14	

\* 강릉시 내부자료(2007년 사용량) 및 현장조사자료

- N.D.: not detected.

## 2.2. 도로수송

도로수송에서의 대기로의 주요 배출공정인 배기구에서 실측을 통하여 HAPs의 배출농도를 도출해 내었다. 그리고 각각의 농도와 주행상황에서 획득한 자료들을 기준으로 연료사용량에 대한 HAPs 배출계수를 산정해 내었으며, 강릉지역의 연간 도로수송 분야에서의 에너지 사용량을 활동도로 하여 배출량을 산정하였다.

도로수송에서의 HAPs 배출계수 도출은 아래의 식을 근거로 하여 도출하였다.

$$Ee = (EF_p \times A \div 1,000,000)$$

여기서,  $Ee$  : 배출원에서의 HAPs 배출량 (kg/yr)

$EF_p$  : 배출원에서의 HAPs 평균배출계수(mg/L)

$A$  : 연간 활동도(연료사용량, L)

$1,000,000$  : 배출량의 단위 변환(mg→ kg)

$$EF_p = \sum_{i=1}^n (Efp_i) / n$$

여기서,  $EF_p$  : 배출원에서의 HAPs 평균배출계수(mg/L)

$Efp_i$  : 차량별 속도별 HAPs 배출계수(mg/L)

$n$  : 차량별 속도별 실측 배출계수 개수

$$Efp_i = Cp \times M \times V \times t \times mi \div R \div 1,000$$

여기서,  $Cp$  : 측정지점에서 각각의 HAPs 농도(ng/L)

$M$  : 측정지점 단면적( $m^2$ )

$V$  : 측정가스 유속(m/sec)

$mi$  : 주행연비(km/L)

$t$  : 측정시간(min/1회)

$R$  : 주행거리(km/1회)

$60$  : 분을 초로 환산(60 sec/min)

1,000 : 농도의 단위 변환( $\text{ng/L} \rightarrow \text{g/m}^3$ )

강릉지역의 이동연소중 도로수송에서의 HAPs 배출량은 주로 사용되고 있는 연료인 휘발유, 경유, LPG에 대하여 조사하였으며, 각각의 차량은 현재 운행이 주로 되고 있는 배기량과 연식을 적용하여 선정하였다.

각 차량은 30 km/hr, 60 km/hr, 80 km/hr의 속도에서 각각 실험하였으며, 강릉시에서의 도로수송에서의 HAPs 배출계수와 활동도 및 배출량을 차종별(LPG, 경유, 휘발유)로 Table 4.13~Table 4.15에 각각 나타내었다.

**Table 4.13. HAPs emission factor and emissions at LPG vehicle run**

Compounds	Emission factor(mg/L)				Activity (L/yr)	Emissions (kg/yr)
	30km/hr	60km/hr	80km/hr	Aver.		
1,2-Dichlorobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	49,674,351*	0.00
1,3-Butadiene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
2-Ethoxyethanol	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
2-Ethoxyethyl acetate	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Acrylonitrile	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Benzene	0.021	0.018	0.016	0.018		0.92
Carbon disulfide	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Carbon tetrachloride	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Chloroform	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Epichlorohydrin	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Mathylene chloride	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Nitrobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Styrene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Tetrachloroethylene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Trichloroethylene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Vinyl acetate	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Vinyl chloride	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
PAHs**	0.007	0.004	0.001	0.004		0.20
<b>Total</b>						<b>1.11</b>

\* 강릉시 내부자료(2007년 사용량)

\*\* 김동환(2005)

- N.D.: not detected.

Table 4.14. HAPs emission factor and emissions at light oil vehicle running

Compounds	Emission factor(mg/L)				Activity (L/yr)	Emissions(kg/yr)
	30km/hr	60km/hr	80km/hr	Aver.		
1,2-Dichlorobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	121,041,481*	0.00
1,3-Butadiene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
2-Ethoxyethanol	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
2-Ethoxyethyl acetate	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Acrylonitrile	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Benzene	1.09	0.52	0.30	0.64		76.95
Carbon disulfide	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Carbon tetrachloride	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Chloroform	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Epichlorohydrin	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Methylene chloride	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Nitrobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Styrene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Tetrachloroethylene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Trichloroethylene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Vinyl acetate	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Vinyl chloride	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
PAHs	2.51	124.68	1.07	42.75		5,175.12
<b>Total</b>						<b>5,252.08</b>

\* 강릉시 내부자료(2007년 사용량)

\*\* 김동환(2005)

- N.D.: not detected.

Table 4.15. HAPs emission factor and emissions at gasoline vehicle running

Compounds	Emissionfactor(mg/L)				Activity (L/yr)	Emissions (kg/yr)
	30km/hr	60km/hr	80km/hr	Aver.		
1,2-Dichlorobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	61,881,584*	0.00
1,3-Butadiene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
2-Ethoxyethanol	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
2-Ethoxyethyl acetate	4.70	8.02	3.62	5.45		337.11
Acrylonitrile	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Benzene	1.18	0.10	0.10	0.46		28.48
Carbon disulfide	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Carbon tetrachloride	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Chloroform	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Epichlorohydrin	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Methylene chloride	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Nitrobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Styrene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Tetrachloroethylene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Trichloroethylene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Vinyl acetate	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
Vinyl chloride	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.		0.00
PAHs	11.43	7.54	0.41	6.46		399.80
<b>Total</b>						<b>765.38</b>

\* 강릉시 내부자료(2007년 사용량)  
 석유정보시스템(PEDSIS)자료, 2007년 사용량  
 - N.D.: not detected.

### 3. 온실가스 실측 배출량 비교

실측에 의한 온실가스의 신뢰도와 기존 default value에 의한 배출량의 평가를 위하여 본 연구에서는 IPCC(2006)의 배출계수를 적용하여 강릉지역의 온실가스 배출량을 산정한 강릉 저탄소 녹색시범도시 온실가스 배출관리계획(한국환경공단, 2010)을 기초로 하여 온실가스 배출량을 비교하였다. 활동도는 측정을 수행한 동일한 업종의 현장조사시 획득한 생산량 및 강릉시 통계연보를 기초로 하는 에너지 사용량, 제품생산량 등의 자료를 활동도로 실측과 default치에 동일하게 적용하였다.

실측과 default value에 대한 온실가스 배출량은 Fig 4.1에서 보는바와 같이 실측을 통한 배출량이 전반적으로 default value에 의한 배출량 보다 낮게 배출되는 결과를 보였다. 제조업, 가정난방 부분과 시멘트 생산에서의 온실가스 배출량에 있어서는 default value 보다 실측에서의 배출량이 높게 나타나는 것으로 조사되었다. 그러나 제조업의 경우 다양한 에너지원으로 인한 절대평가가 불가능하여 LPG를 사용하는 해당업체만 국한 값으로 제조업 전반에 대한 실질적인 평가로 보기는 어려우며, 시멘트 생산의 경우 IPCC default value는 광물산업에 해당되는 부분과 연료에 기인하여 배출되는 온실가스는 에너지부문으로 따로 산정하고 있기 때문에 실질적으로는 default value에 의한 배출량과 유사하거나 또는 더 높을 수도 있을 것으로 판단된다.

IPCC 배출계수와 실측에서 획득한 각각의 배출계수에 2007년의 활동도를 토대로 하여 산정된 강릉지역의 부문별 온실가스 배출량을 Fig. 4.1에 나타내었다.

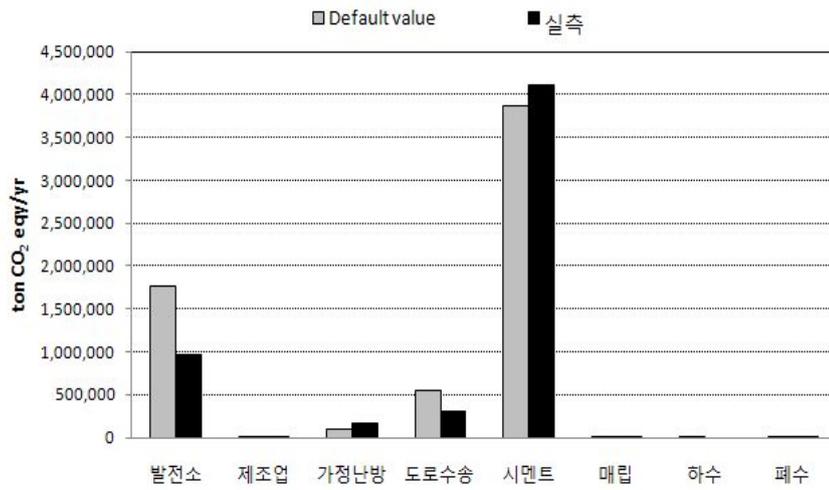
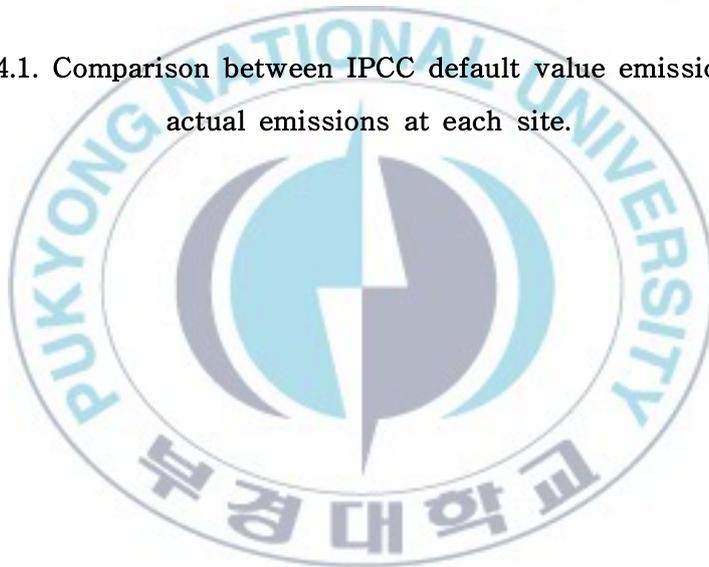


Fig. 4.1. Comparison between IPCC default value emissions and actual emissions at each site.



### 3.1. 에너지 부문

#### 3.1.1. 에너지 산업

강릉지역의 에너지 부문 2000-2007년 평균 배출량은 4,307천tCO<sub>2</sub>eq로 부문별 배출 비중을 살펴보면, 고정연소와 이동연소, 탈루배출 부문이 각각 85.51%, 14.48%, 0.00%로 고정연소에서 가장 많은 온실가스가 배출되고 있다.

고정연소 배출량 중에서, 에너지 산업이 52.34%로 가장 많은 배출량 비중을 차지하고 있으며, 강릉지역에 위치하고 에너지 산업에 해당하는 사업체가 화력발전소 1개 업체임에 따라 화력발전소에서 배출되는 온실가스에 대하여 실측을 수행하였다.

화력발전소에서 실측을 통하여 배출되는 온실가스의 량은 970,498 ton CO<sub>2</sub> eq./yr로써 이는 default value에 의한 배출량인 1,758,503 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 약 55 %에 해당하는 것으로 평가되었다.

온실가스별 배출에 있어서도 default value와 실측에서 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O의 온실가스가 모두 배출되는 것으로 조사되었으며, 배출경향에 있어서도 CO<sub>2</sub>에 의한 배출량이 지배적이며 다음으로 N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> 순으로 배출경향도 유사한 것으로 조사되었다.

화력발전소에서의 default value와 실측을 통한 배출량의 비교를 Fig. 4.2에 나타내었다.

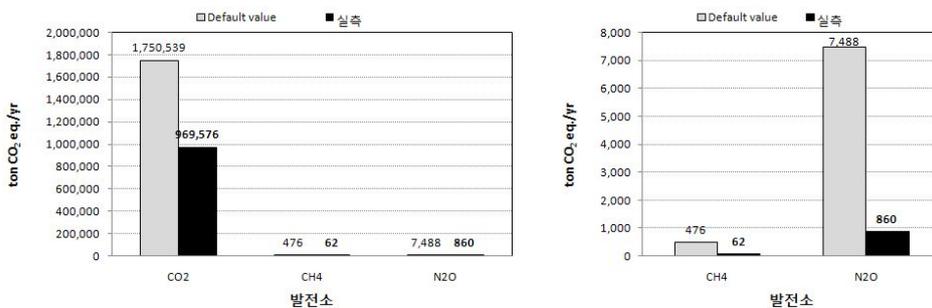


Fig. 4.2. Comparison between default value emissions and actual emissions at power plant.

### 3.1.2. 제조업 및 건설업

에너지연소 제조업에서 대기 중으로 배출되는 온실가스 배출량에 대하여 기존의 IPCC의 Default value와 실측에 의한 배출계수로 산정된 배출량을 비교 평가하였다.

고정연소 배출량 중에서 제조업 및 건설업에서의 2007년 배출량은 1,454,400 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로 매우 높은 배출량을 보이고 있다. 제조업중 가장 높은 배출량을 보이는 업체는 강릉에 위치한 시멘트 업체로 석탄(연료탄-시멘트용)과 시멘트 킬른 보조연료 사용으로 온실가스가 제조업체 중 가장 높은 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 산업부문의 광물산업분야에서 시멘트업체를 측정함에 따라 시멘트업체를 제외한 업체중 가장 에너지 사용량이 많은 업체를 선택하여 온실가스의 실측을 수행하였다.

배출 물질에 있어서는 default value와 실측에서 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O의 온실가스가 모두 배출되는 것으로 조사되었으며, 배출량에 있어서는 실측에 의한 배출량이 8,461 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로, default value에 의한 배출량 4,102 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 보다 2배 높게 나타나는 것으로 조사되었다.

온실가스별로 살펴보면 CO<sub>2</sub>를 비롯한 CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O 모두 실측에 의한 배출량이 default value에 의한 배출량보다 우세한 경향을 보이는 것으로 조사되었다.

실측대상 시설의 경우 강릉지역에서 시멘트제조업체를 제외하고 가장 큰 제조업체로서 실측대상 업체로 선정하였으나, 실측이 수행된 기간 중에 제조업의 주 사용연료인 BC유에서 LPG로 전량 전환함에 따라 강릉지역 제조업 전체에 대한 대표성을 가지기는 어려운 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 해당업체의 연료사용량을 활동도로 하여 IPCC의 default value에 의한 배출량과 실측에 의한 온실가스 배출량을 비교 평가하였다.

제조업에서의 default value와 실측을 통한 배출량의 비교를 Fig. 4.3 에 나타내었다.

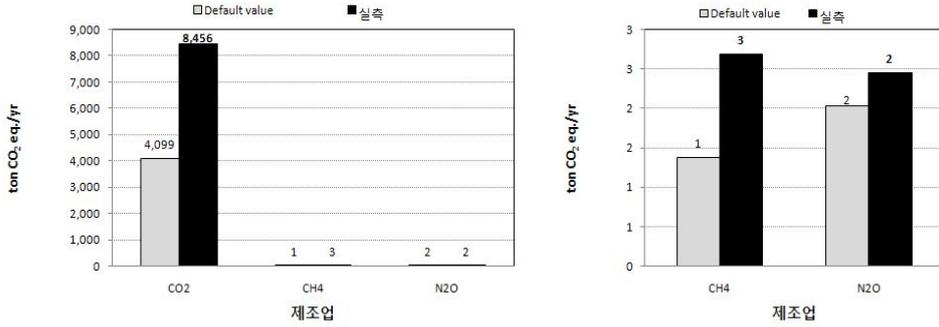


Fig. 4.3. Comparison between default value emissions and actual emissions at energy industry.



### 3.1.3. 기타연소(가정난방)

에너지연소-기타에 해당하는 분야는 일반적으로 가정용 난방에 해당되며, 여기에서 배출되는 온실가스를 기존의 IPCC의 Default value와 실측을 통해 산정한 배출계수를 통하여 배출량을 비교 평가하였다.

강릉지역에서의 가정난방에 사용되는 연료는 도시가스와 보일러등유가 가장 많이 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 도시가스와 보일러 등유에 대한 실험을 분리하여 수행하였다.

가정난방에서 배출되는 온실가스 배출량은 default value의 경우 102,991 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 이고, 실측에 의한 배출량은 173,448 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 으로 실측에 의한 배출량이 약 1.6배 이상 높게 나타나는 것으로 조사되었다.

배출 물질에 있어서는 default value에서는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O의 온실가스가 모두 배출되는 것으로 조사되었으며, 실측에서 CH<sub>4</sub>는 검출되지 않는 것으로 나타났다.

가정난방 중 가장 많이 사용되고 있는 도시가스의 경우 default value에 의한 배출량은 35,254 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 이고, 실측에 의한 배출량은 119,801 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 으로 default value에 의한 배출량의 약 3.4배 수준으로 나타났다.

가정난방에서의 default value와 실측을 통한 배출량의 비교를 Fig. 4.4에 나타내었으며, 가정난방에서의 도시가스에 대한 비교와 보일러 등유에 대한 비교는 Fig. 4.5와 Fig. 4.6에 각각 나타내었다.

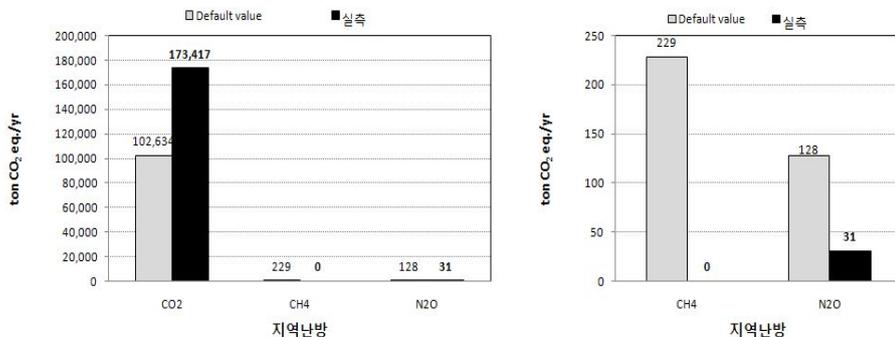


Fig. 4.4. Comparison between default value emissions and actual emissions at heating district(household).

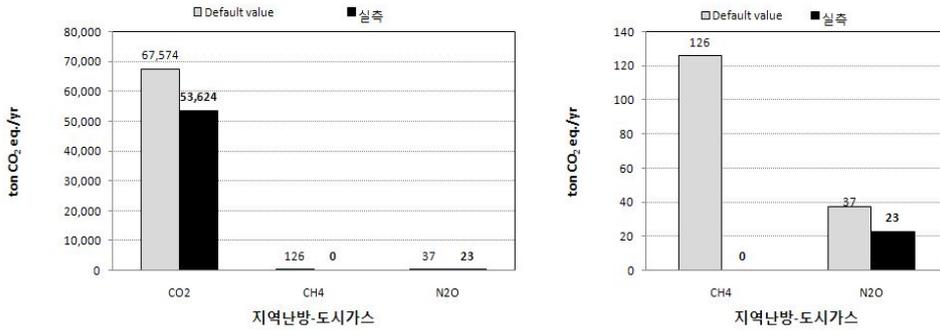


Fig. 4.5. Comparison between default value emissions and actual emissions at heating district using LNG(household).

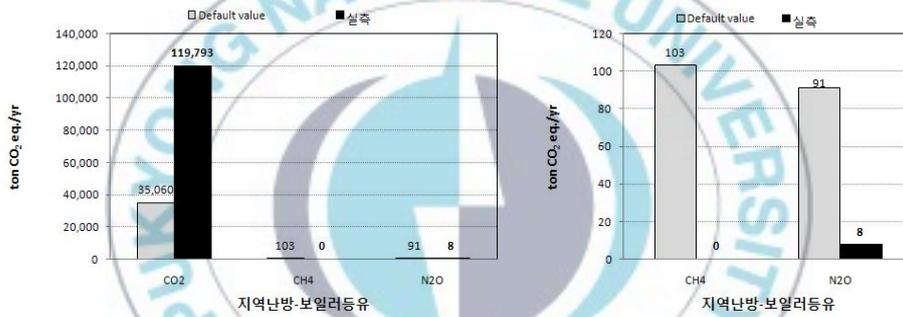


Fig. 4.6. Comparison between default value emissions and actual emissions at heating district using kerosene(household).

### 3.1.4. 도로수송

도로수송에서 대기 중으로 배출되는 온실가스 배출량에 대하여 기존의 IPCC의 Default value와 실측에 의한 배출계수로 산정된 배출량을 비교 평가하였다.

도로수송에 사용되는 연료는 휘발유, 경유와 LPG가 거의 전량에 해당된다. 따라서 본 연구에서는 강릉시의 각 연료별 배기량별 자동차의 보유대수를 평가하여 상대적으로 높은 자동차를 실험대상으로 하여 차량의 속도를 30 km/hr, 60 km/hr, 80 km/hr로 구분하여 수행한 실측으로부터 배출계수를 도출하였다.

도로수송에서 실측에 의해 배출되는 온실가스 배출량은 304,714 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 으로 이는 default value에 의한 배출량인 549,335 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 약 55%에 해당하는 것으로 평가되었다.

온실가스별 배출에 있어서도 default value와 실측에서 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O의 온실가스가 모두 배출되는 것으로 조사되었으며, 배출경향에 있어서도 CO<sub>2</sub>에 의한 배출량이 지배적이며 다음으로 N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> 순으로 배출경향도 유사한 것으로 조사되었다. 또한 각 연료별에 있어서도 배출경향은 유사한 것으로 나타났다.

도로연소에서의 default value와 실측을 통한 배출량의 비교를 Fig. 4.7에 나타내었으며, 휘발유, 경유와 LPG의 각각의 연료에 대한 배출특성은 Fig. 4.8, Fig. 4.9와 Fig. 4.10에 각각 나타내었다.

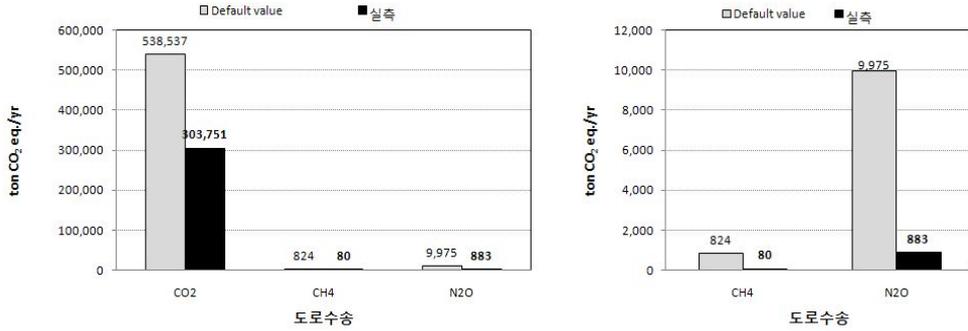


Fig. 4.7. Comparison between default value emissions and actual emissions at car running.

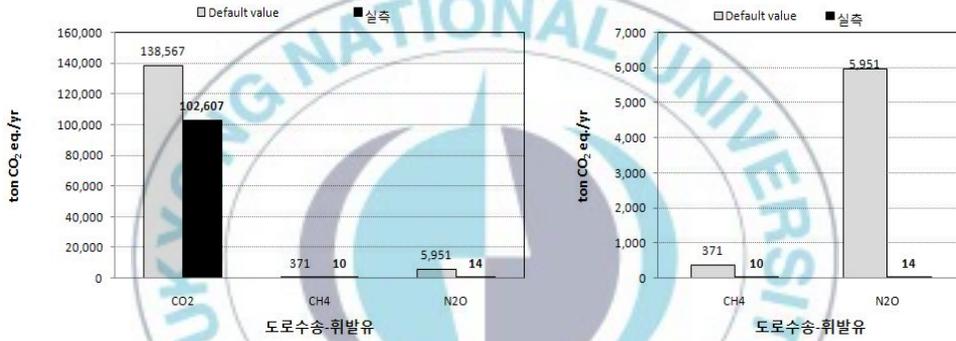


Fig. 4.8. Comparison between default value emissions and actual emissions at gasoline car running.

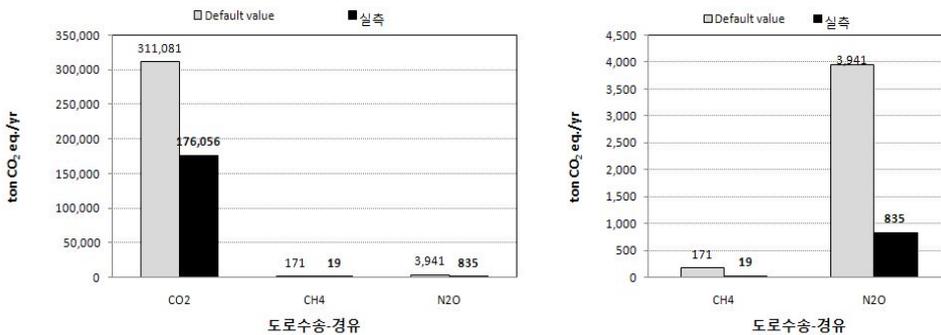


Fig. 4.9. Comparison between default value emissions and actual emissions at light oil car running.

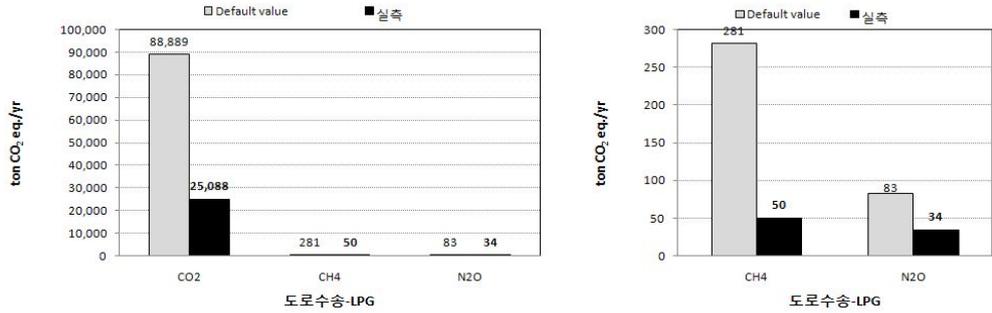


Fig. 4.10. Comparison between default value emissions and actual emissions at LPG car running.



## 3.2. 산업부문

시멘트 제조업에서 대기 중으로 배출되는 온실가스 배출량에 대하여 기존의 IPCC의 Default value와 실측에 의한 배출계수로 산정된 배출량을 비교 평가하였다.

시멘트 제조업에서 실측에 의해 배출되는 온실가스 배출량은 4,118,278 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 으로 이는 default value에 의한 배출량인 2,957,895 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 약 1.38배에 해당하는 것으로 평가되었다.

온실가스별 배출에 있어서 default value에서는 CO<sub>2</sub>만 배출되는 반면, 실측에서는 CH<sub>4</sub> 과 함께 아주 미량이지만, N<sub>2</sub>O 온실가스도 배출되는 것으로 조사되었다.

실측의 배출경향에 있어서도 CO<sub>2</sub>에 의한 배출량이 지배적이며 다음으로 N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> 순으로 배출경향도 유사한 것으로 조사되었다.

이러한 원인으로는 시멘트 제조업에서의 IPCC의 default value에 의한 배출계수는 산업부문의 광물생산 분야와 에너지부문의 제조업 및 건설업중 기타의 비금속광물분야로 이원화 되어 배출량을 추정된 결과로 예측된다. 강릉시 온실가스에 대한 한국환경공단의 보고서에 따르면 고정연소 배출량 중에서, 에너지 산업이 약 1,737,200 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 으로 52.34%로 가장 많은 배출량 비중을 차지하고 있으며, 다음으로는 제조업 및 건설업이 약 1,259,900 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 으로 38.02%의 배출비중을 차지하는 것으로 보고하고 있다. 그러나, 제조업 및 건설업 부문에서 강릉에 위치한 시멘트 업체(1A2f)로 인해 석탄(연료탄-시멘트용)과 시멘트 킬른 보조연료 사용으로 온실가스가 과대 배출되는 것으로 나타나는 것으로 보고함에 따라 IPCC의 default value에의 석탄과 시멘트 킬른 보조연료에 대한 부분을 따로 적용할 경우 default value에 의한 온실가스 배출량은 3,861,085 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로 실측을 통한 배출량의 약 94% 정도에 해당하는 것으로 조사되었다.

그러나, 사용연료에 대한 고려가 석탄, 석유코크스, 멩커C유만 적용됨에 따라, SSW와 슬러지 및 기타유류에 대한 IPCC의 배출계수가 존재하지

않음으로 사용연료에 대한 실제값을 적용할 경우 실측의 배출량과 거의 유사하거나 오히려 높아질 수 있을 것으로 판단된다.

광물산업에서의 시멘트 제조업에서의 default value와 실측을 통한 배출량의 비교를 Fig. 4.11 에 나타내었으며, IPCC의 default value에 대한 시멘트 산업의 광물부분과 에너지연소 부분을 포함한 배출량을 Fig. 4.12 에 나타내었다.

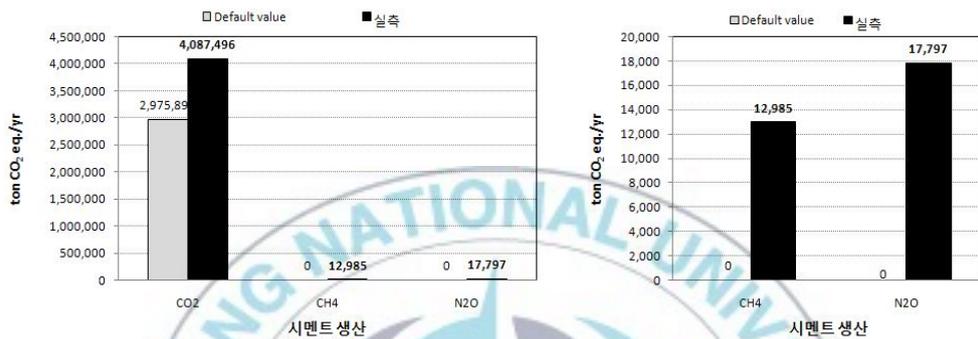


Fig. 4.11. Comparison between default value emissions and actual emissions at cement manufacturing.

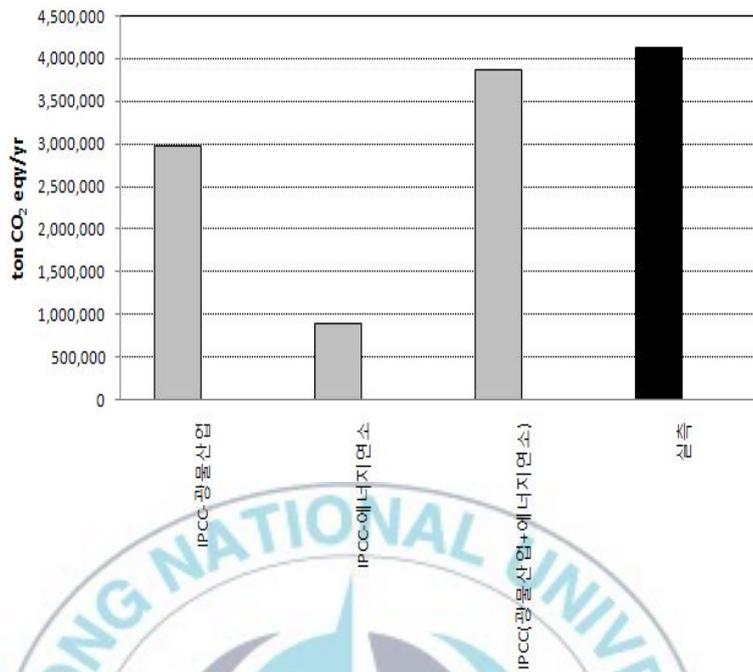


Fig. 4.12. Comparison between revision default value emissions and actual emissions at cement manufacturing.

### 3.3. 폐기물 부문

#### 3.3.1. 매립

폐기물부문 중 매립에서 대기 중으로 배출되는 온실가스 배출량에 대하여 기존의 IPCC의 Default value와 실측에 의한 배출계수로 산정된 배출량을 비교 평가하였다.

매립에서의 실측의 배출량은 매립지 표면에서의 배출량과, 가스배제공을 통하여 배출되는 온실가스에 대하여 산정하였다.

매립에서 실측에 의해 추정되는 온실가스 배출량은 70 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 으로 이는 default value에 의한 배출량인 1,548 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 약 5 %에 해당하는 것으로 평가되었다.

이러한 원인으로 측정당시 강릉지역은 대설로 인하여 많은 강설량과 함께 낮은 기온으로 인하여 매립장 표면이 얼어 있는 곳이 상당수 존재하였다. 따라서 매립장의 경우 대기로의 온실가스 배출은 온도와 기상현상에 밀접한 상관 관계가 있는 것으로 판단된다. 이에 앞장에서 제시하였던 8개 매립장 21개 가스배제공에서의 사계절 메탄의 평균 배출농도와 겨울철 배출농도의 9.51배의 평균 비율을 고려하여 매립장에서의 온실가스 배출량을 재산정하였다.

매립에서 실측에 의해 추정되는 온실가스 배출량을 재산정한 결과 669 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 으로 이는 default value에 의한 배출량인 1,548 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 약 43 %에 해당하는 것으로 평가되었다.

온실가스별 배출에 있어서 default value는 CH<sub>4</sub> 만이 배출되는 것으로 보고되고 있으나, 실측에서는 CH<sub>4</sub> 과 함께 아주 미량이지만, N<sub>2</sub>O 온실가스도 배출되는 것으로 조사되었다.

매립에서의 default value와 실측을 통한 배출량의 비교를 Fig. 4.13에 나타내었으며, 계절별 배출특성을 고려하려 보정된 실측온실가스 배출량과 default value에 의한 배출량 결과를 Fig. 4.14에 나타내었다.

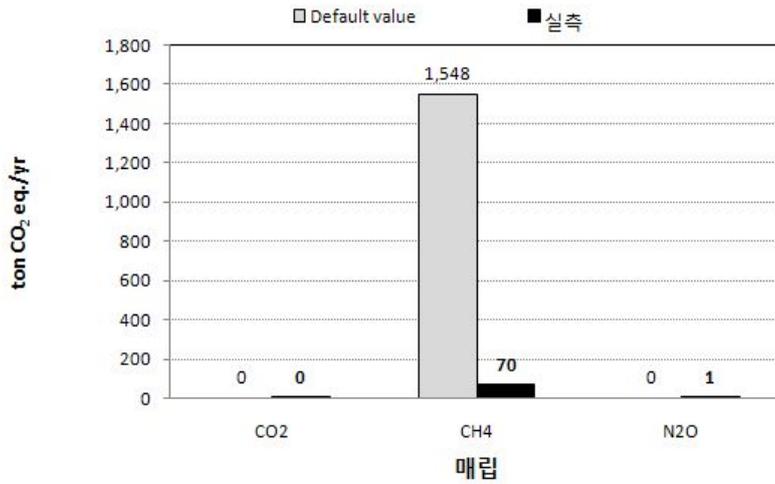


Fig. 4.13. Comparison between default value emissions and actual emissions at landfill site.

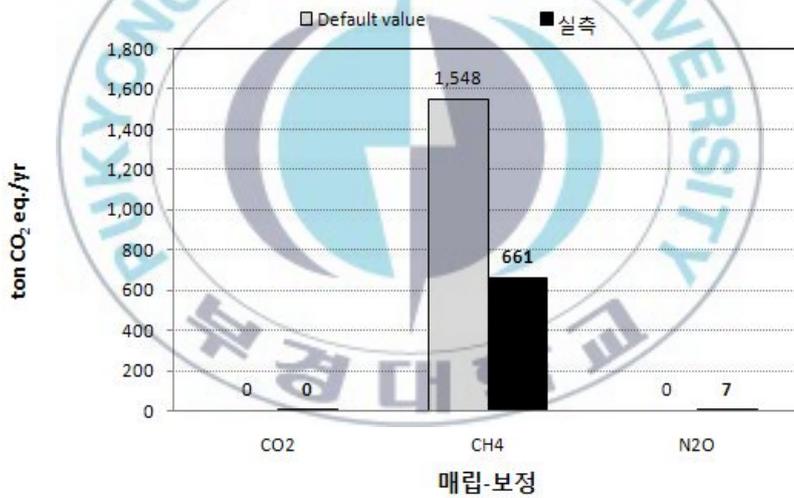


Fig. 4.14. Comparison between default value emissions and revision actual emissions at landfill site.

### 3.3.2. 하수처리장

폐기물부문 중 하수처리장에서 대기 중으로 배출되는 온실가스 배출량에 대하여 기존의 IPCC의 Default value와 실측에 의한 배출계수로 산정된 배출량을 비교 평가하였다.

하수처리장에서의 실측의 배출량은 처리공정이 대기와 접하여 있는 공정에 대하여서만 실측을 수행하였고, 이에 따른 온실가스 배출량을 산정하였다.

하수처리장에서 실측에 의해 추정되는 온실가스 배출량은 0.4 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로 이는 default value에 의한 배출량인 1,188 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 약 0.03 %에 해당하는 것으로 평가되었다.

이러한 원인으로 측정당시 강릉지역은 대설로 인하여 많은 적설량이 녹으면서 유입된 영향과 함께 낮은 기온의 영향이 있을 것으로 판단된다. 이에 앞장에서 제시되었던 3개 하수처리장 8개 공정에서의 사계절 메탄의 평균 배출농도와 겨울철 배출농도의 40.5배의 평균 비율을 고려하여 하수처리장에서의 온실가스 배출량을 재산정하였다.

하수처리장에서 실측에 의해 추정되는 온실가스 배출량을 재산정한 결과 15 ton CO<sub>2</sub> eq./yr으로 이는 default value에 의한 배출량인 1,188 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 약 1 %에 해당하는 것으로 평가되었다. 사계절별 변동 추이를 적용하였음에도 큰 배출량의 차이를 보이는 이유로 강릉시에 존재하는 두 개의 하수처리중 거의 대부분의 처리량을 차지하고 있는 강릉하수처리장의 경우 두 개의 공정을 제외한 나머지 공정이 배출갯개가 이루어져 있고 배출되는 CH<sub>4</sub>을 포집하여 자동차 연료로 사용함에 따라 IPCC의 default value의 경우 이러한 하수처리장의 특수한 상황에 대한 고려가 이루어 지지 않은 것으로 판단된다.

하수처리장에서의 default value와 실측을 통한 배출량의 비교를 Fig. 4.15에 나타내었으며, 계절별 배출특성을 고려하려 보정된 실측온실가스 배출량과 default value에 의한 배출량 결과를 Fig. 4.16에 나타내었다.

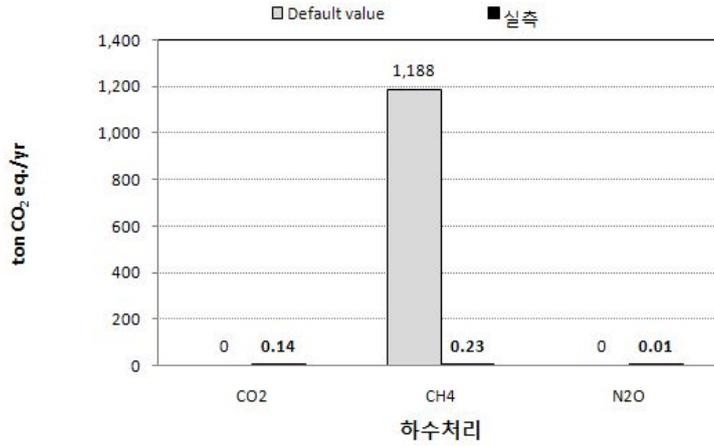


Fig. 4.15. Comparison between default value emissions and actual emissions at SWT plant.

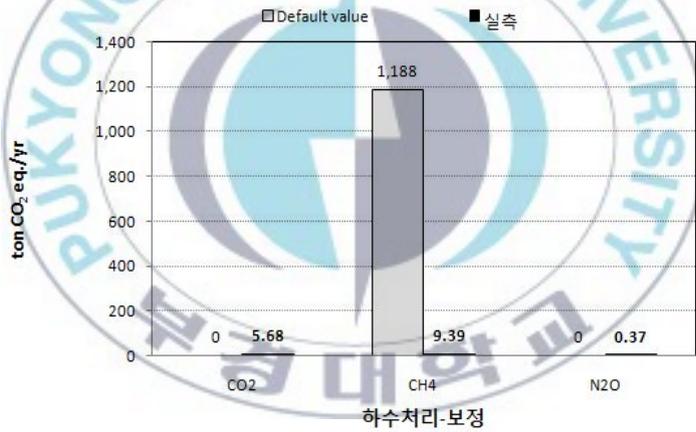


Fig. 4.16. Comparison between default value emissions and revision actual emissions at SWT plant.

### 3.3.3. 폐수처리장

폐기물부문 중 폐수처리장에서 대기 중으로 배출되는 온실가스 배출량에 대하여 기존의 IPCC의 Default value와 실측에 의한 배출계수로 산정된 배출량을 비교 평가하였다.

폐수처리장에서의 실측의 배출량은 처리공정이 대기와 접하여 있는 공정에 대하여서만 실측을 수행하였고, 이에 따른 온실가스 배출량을 산정하였다.

폐수처리장에서 실측에 의해 추정되는 온실가스 배출량은 88 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 으로 이는 default value에 의한 배출량인 83 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 약 1.06배에 해당하는 것으로 평가되었다.

이러한 원인으로 측정당시 겨울철의 낮은 기온의 영향이 있을 것으로 판단된다. 이에 앞장에서 제시되었던 7개 폐수처리장 20개 공정에서의 사계절 메탄의 평균 배출농도와 겨울철 배출농도의 비율을 조사하였으며, 이중 수산물의 취급에 의해 발생하는 강릉지역 폐수처리장과 유사한 식품에 의한 폐수처리장의 사계절과 겨울철의 발생비율인 11.7배를 적용하여 폐수처리장에서의 온실가스 배출량을 재산정하였다.

이때 폐수처리장의 경우 탈취스택이 존재하여 계절적 변화와 상관없이 배출량을 상관함에 따라, 탈취스택의 농도를 포함한 비교 데이터와 탈취스택을 포함하지 않은 계절적 변화를 고려한 배출량을 각각 비교 평가하였다.

실측에 의한 온실가스 배출에 대하여 탈취스택을 제외한 나머지 공정에서 계절변동계수를 적용한 후 탈취스택의 농도를 합산한 온실가스 배출량은 156 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 으로 이는 default value에 의한 배출량인 83 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 약 1.88배에 해당하며, 탈취스택의 농도를 제외한 온실가스 배출량은 75 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 으로 이는 default value에 의한 배출량인 83 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 약 0.9배에 해당하는 것으로 평가되었다.

온실가스별 배출에 있어서 default value는 CH<sub>4</sub> 만이 배출되는 것으로 보고되고 있으나, 실측에서는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 과 N<sub>2</sub>O 온실가스가 모두 배출되는 것으로 조사되었으며, 탈취스택을 제외한 폐수처리공정에서의 배출량에서는

CO<sub>2</sub>를 제외한 CH<sub>4</sub> 과 N<sub>2</sub>O가 배출되는 것으로 조사되었으며, N<sub>2</sub>O의 배출량도 상대적으로 높게 나타나는 것으로 조사되었다.

하수처리장에서의 default value와 실측을 통한 배출량의 비교를 Fig. 4.17에 나타내었으며, 탈취스택을 제외한 폐수처리공정에 계절별 특성을 고려하여 배출량을 추정하고 탈취스택 배출량을 포함한 배출량과 제외한 배출량을 default value에 의한 배출량과 비교한 결과를 Fig. 4.18에 각각 나타내었다.

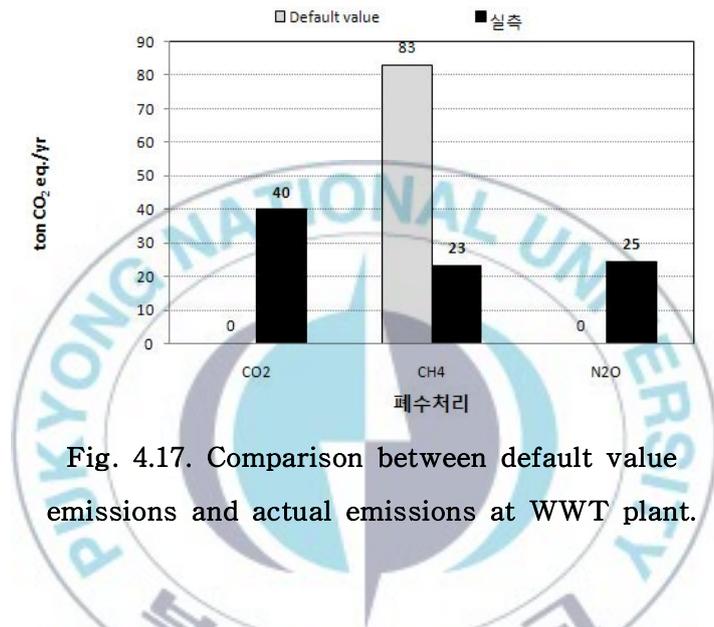


Fig. 4.17. Comparison between default value emissions and actual emissions at WWT plant.

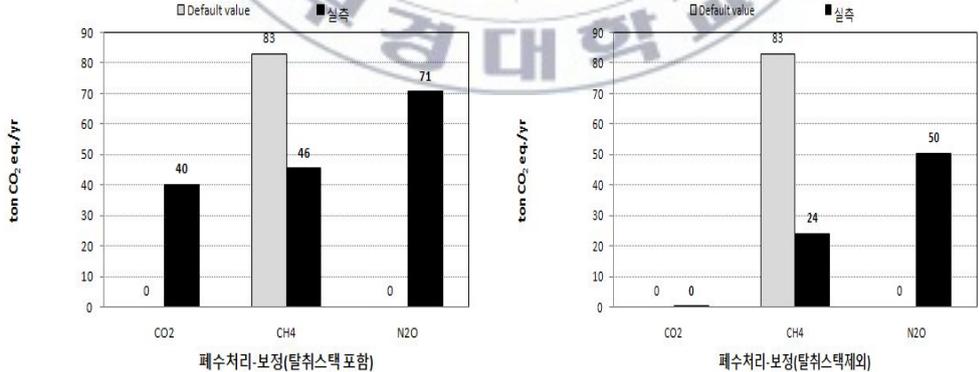


Fig. 4.18. Comparison between default value emissions and revision actual emissions at WWT plant.

## 4. 연구결과 고찰

### 4.1. IPCC default value 배출계수 문제점

IPCC의 default value에 의한 배출계수의 경우 매우 많은 자료의 축적으로 방대한 자료를 구축하고 있으나, 몇 가지 문제점을 내포하고 있는 것으로 파악되었다.

강릉시의 경우 가장 많은 온실가스 배출원은 산업부문 중 광물생산의 시멘트 제조업이다. 그러나 시멘트 제조업에서 사용되는 연료는 에너지부문의 고정연소중 제조업 및 건설업에 포함됨으로써 단일 업체의 온실가스 배출량이 양쪽으로 분산되어 있는 형태를 유지하고 있다. 따라서 실측과의 배출량을 비교함에 있어서도 광물생산에 의한 배출량과 에너지 연소에 의한 배출량을 합산해야 하는 번거로움과 함께, 원자재와 연료로서의 에너지가 고온반응을 통해 변화할 수 있는 화학적 변화에 대한 과정은 고려하지 못한 것으로 파악되었다. 또한, 실제적인 단일 업체의 배출량을 일목요연하게 파악하기 어려움으로 인해 향후, 업체별 온실가스 배출 저감량의 계획 수립 및 배출량 비교·평가 등에서 여러 가지 단계를 수행해야 하는 번거로움이 있는 것으로 파악되었다.

기존의 default value의 경우 지역적 특성이 배제되고 일반화된 배출계수를 산정함에 따라 고유의 배출계수의 특성을 반영하지 못하는 부분이 일부 존재한다.

본 연구를 통한 대표적인 예로는 하수처리장의 경우 일반 대기에 개방되어 있는 두 개의 공정을 제외한 나머지 공정이 배출갯개가 이루어져 있고, 나머지 공정에서 배출되는  $\text{CH}_4$  을 포집하여 자동차 연료로 사용함에 따라 IPCC의 default value의 경우 이러한 하수처리장의 특수한 상황에 대한 고려가 이루어지지 않음으로써 과다 산정 될 수 있는 소지가 있는 것으로 판단된다.

또 하나의 대표적인 예로 폐수처리장에서 다른 폐수처리장과 상이하게 악취문제의 해결을 위해 탈취스택을 가동하고 있는데 이러한 곳에서 발생하는

온실가스의 경우는 폐수처리장의 대표적인 배출량을 보기에는 대표성이 있다고 보기는 어렵기 때문에 해당 시설에 대한 배출량을 산정하기 위한 배출계수로의 필요성은 인정되지만, 타 폐수처리시설에서의 온실가스의 배출계수로 활용하기에는 적합하지 않은 부분이 있다. 또한 본 연구에서 생산된 폐수처리장의 온실가스 배출계수는 그 사업장이 처리하는 원수의 특이성으로 인하여 다른 산업폐수처리장의 배출계수로 활용하기에는 어려울 것으로 판단된다.

## 4.2. 실측 배출계수의 보완 발전 방안

일반 사업장 및 배출원에서는 계절적 변동의 원인이 적은 반면, 폐기물 부문의 매립, 하수처리장, 폐수처리장의 경우 계절적인 변동요인이 큰 것으로 파악되었다. 특히, 실측연구가 수행되는 시기에 영동지방의 폭설과 영하권의 기온으로 인하여 매립장 표면, 하수처리장의 여러 개방공정에서 대기로의 배출량이 상대적으로 격감한 것으로 평가되는 것으로 조사되었다.

따라서 계절적 주요 변동사항이 예상되는 배출업종에 대하여서는 향후 계절별 실측을 통한 신뢰성 높은 배출계수의 도출이 필요한 것으로 판단된다.

또한 계절적 변동에 대한 대처와 함께 작업조건의 변화, 연료와 원료의 성상 변화에 따른 여러 가지 변화조건에 대한 대응성이 낮은 것으로 판단된다. 따라서 공정에 대한 다수의 시료를 확보함으로써 배출계수의 신뢰도와 함께 대표성을 확보할 수 있도록 하여야 할 것으로 판단된다.

## 4.3. 온실가스 배출계수의 대응방안

### 4.3.1. 실측을 통한 배출량 산정

지구온난화로 CO<sub>2</sub>를 비롯한 온실가스 감축에 대한 국제적 규제가 강화되면서, 우리나라도 2012년 이후 의무감축국이 될 가능성이 높아지는 추세이며, 또한, 2009년 11월 정부가 발표한 국가 감축목표(BAU 대비 30%)에

대한 지자체 단위의 대응 방안 수립 및 조기행동에 대한 대책이 필요하게 되었다.

기존 온실가스에 대한 배출량 산정방법인 물질수지를 이용하여 계산하는 방법은 실제 오차범위가 5~200% 으로 높은 것으로 알려져 있다.

본 연구 결과도 대부분의 배출원이 실제 배출량 보다 배출량이 과다 산정되어 있는 것으로 확인되었다.

따라서 실측을 기반으로 한 온실가스 배출량 추정방법은 단기적으로는 실측으로 인한 경제적 부담이 증가할 수 있다. 하지만, 장기적인 경쟁력의 확보와 국가 고유치를 가진다는 것은 default value에 대하여 과대평가된 배출량을 고유의 배출계수로 인하여 실제배출량에 근접함으로써 오히려 경제적인 파급효과가 더 클 것으로 판단된다.

#### 4.3.2. 실측을 통한 배출계수의 신뢰도 향상

실측을 통한 배출계수에서의 가장 중요한 문제점은 본 연구 결과와 같이 다양한 조건에 있어서의 온실가스의 배출에 대한 정확도를 높여서 신뢰도를 극복하는 방법이다. 따라서 온실가스의 지역적 배출특성 및 계절적 변화에 대한 변동에 부합할 수 있도록 다수의 실측에 의한 고유의 배출계수 확보가 필요한 것으로 판단된다.

따라서, 강릉지역의 주요 온실가스 배출원과 함께 실측을 통해 다량의 온실가스 배출이 확인 되었으나 default value에서 저평가되고 있거나, 실측에서 낮게 배출량이 추정되었으나 default value에서 고평가 되고 있는 배출원에 대한 체계적이고 지속적인 모니터링을 수행함으로써 실측에 의한 배출계수의 신뢰도를 향상시켜야 할 것으로 판단된다.

## V. 요약 및 결론

### 1. 온실가스 및 HAPs 배출량

배출량 산정에서 중요한 변수는 배출계수와 활동도이다. 배출계수는 측정, 분석을 통한 배출농도와 현장조사 및 실측자료를 통하여 획득한 자료로부터 배출계수를 산출해 내었다.

활동도는 측정 대상 업체의 연간 제품생산량 또는 연료사용량 및 관련자료를 기초로 하여 해당 업종에서의 온실가스 및 HAPs 배출량을 추정하였다. 활동도에 사용된 자료는 기존의 IPCC보고서에서의 제시한 배출량과 비교할 수 있도록 가능한 2007년의 자료를 사용하였다. Table 5.1과 Table 5.2에 온실가스와 HAPs의 배출량을 각각 나타내었다.

Table 5.1. GHG emissions estimation result by actual value in Gangneung area

Description			Emissions estimation(ton CO <sub>2</sub> eq./yr)				
			CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Total	
Energy	Fixed Combustion	Energy Industry	969,576	62	860	970,498	
		Manufacturing		8,456	3	2	8,461
			House heating	kerosene	119,793	0	8
			LNG	53,624	0	23	53,647
	Mobile Combustion	Transportation	Gasoline	102,607	10	14	102,632
			Diesel	176,056	19	835	176,910
LPG			25,088	50	34	25,172	
Industry	Mining	Cement production	4,087,496	12,985	17,797	4,118,278	
Waste*		Landfill	0.04	69.53	0.72	70.29	
	Sewage waste water	Sewage water	0.14	0.23	0.01	0.38	
		Waste water	40	23	25	88**	

\* 폐기물 부분의 계절별 보정계수는 사용하지 않음

\*\* 폐수처리공정에서의 공정과 탈취스택에서의 배출량을 합산한 값.

Table 5.2. HAPs emissions estimation result by actual value in Gangneung area

Category		Emissions estimation(kg/yr)						
		2-Ethoxy ethylacetate	Benzene	Ethyl benzene	Styrene	others	PAHs	Total
Cement manufacturing		-	38.79	22.66	39.35		998.14	1098.94
Vehicle run	LPG	0.00	0.92	-	-		0.20	1.11
	Diesel	0.00	76.95	-	-		5,175.12	5,252.08
	Gasoline	337.11	28.48	-	-		399.80	765.38

현장에서의 측정, 분석을 통하여 배출농도를 구하고 실측을 통하여 획득한 자료를 이용하여 배출계수를 산정하고, 이를 토대로 활동도에 대한 값을 적용하여 온실가스 및 HAPs에 대한 배출량을 산정한 결과 온실가스의 경우 시멘트 산업분야가 가장 많은 4,118,278 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 이었으며 HAPs의 배출량은 시멘트 제조업에서 1098.94 kg/yr로 조사되었다. 도로수송에서 발생하는 HAPs의 배출량은 LPG 차량의 경우 1.11 kg/yr, 경유 차량의 경우 5,252.08 kg/yr, 휘발유 차량의 경우 765.38 kg/yr로 조사되었다.

## 2. 실측결과 요약 및 결론

본 연구를 통하여 도출된 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

발전소에서 실측을 통하여 배출되는 GHG의량은 970,498 ton CO<sub>2</sub> eq./yr로써 default value에 의한 배출량인 1,758,503 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 약 55%에 해당하는 것으로 평가되었다.

제조업에서 실측을 통하여 배출되는 GHG의량은 8,461 ton CO<sub>2</sub> eq./yr로써 default value에 의한 배출량인 4,102 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 보다 2배 높게 나타나는

것으로 평가되었다.

가정난방에서 실측을 통하여 배출되는 GHG의 량은 173,448 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 로써 default value에 의한 배출량인 102,991 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 보다 1.6배 높게 나타나는 것으로 평가되었다.

도로수송에서 실측을 통하여 배출되는 GHG의 량은 304,714 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 로써 default value에 의한 배출량인 549,335 ton CO<sub>2</sub> eq./yr의 약 55 %에 해당하는 것으로 평가되었다.

시멘트 제조업체에서 실측을 통하여 배출되는 GHG의 량은 4,118,278 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 로써 default value에 의한 배출량인 2,957,895 ton CO<sub>2</sub> eq./yr로써 1.38배 높게 나타나는 것으로 평가되었다. 그러나 default value에서 연료사용을 고려할 경우 3,861,085 CO<sub>2</sub> eq./yr로써 94%에 해당하는 것으로 평가되었다.

매립에서 실측을 통하여 배출되는 GHG의 량은 70 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 로써 default value에 의한 배출량인 1,548 ton CO<sub>2</sub> eq./yr로써 5%에 해당하는 것으로 평가되었다. 그러나 계절에 대한 영향을 고려할 경우 실측 량은 669 ton CO<sub>2</sub> eq./yr로써 43%에 해당하는 것으로 평가되었다.

하수처리장에서 실측을 통하여 배출되는 GHG의 량은 0.4 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 로써 default value에 의한 배출량인 1,188 ton CO<sub>2</sub> eq./yr로써 0.03%에 해당하는 것으로 평가되었다. 그러나 계절에 대한 영향을 고려할 경우 실측 량은 15 ton CO<sub>2</sub> eq./yr로써 1%에 해당하는 것으로 평가되었다.

폐수처리장에서 실측을 통하여 배출되는 GHG의 량은 88 ton CO<sub>2</sub> eq./yr 로써 default value에 의한 배출량인 83 ton CO<sub>2</sub> eq./yr로써 1.06배로 평가되었다. 그러나 계절에 대한 영향을 고려할 경우 실측 량은 156 ton CO<sub>2</sub> eq./yr로써 1.88배로 높게 평가되었다.

본 연구결과 배출량 산정에 있어서 중요한 요소는 배출계수와 활동도임을 알 수 있었다. 활동도에 대한 부분은 국가기관의 통계자료와 같이 신뢰도 높은 자료를 선택함으로써 해결 할 수 있지만, 배출계수는 시료채취 및 분석에 따라 매우 높은 변수로 작용할 수 있다는 것을 알게 되었다.

### 3. 온실가스와 HAPs의 연계 통합접근의 중요성

우리나라도 미국과 마찬가지로 온실가스를 대기오염물질로 명확하게 규정해서 관리하여야 한다는 주장이 설득력을 얻고 있다. 지금까지는 온실가스를 오염물질이 아닌 간접적인 오염물질로서 '기후·생태계 변화 유발물질'로 규정하고 있었으나, 온실가스는 지구대기 전체에 영향을 미쳐 폭염으로 인한 사망, 기온상승으로 인한 말라리아 환자 증가, 서식환경의 급격한 변화로 인한 생태계 파괴 등 국민건강이나 환경에 직·간접적인 경로로 위해를 끼치고 있는 상황으로 최근 미국과 호주 등의 국가에서는 온실가스를 오염물질에 포함시켜 규제하는 움직임이 확산되는 추세이다.

이에 우리나라도 온실가스를 대기오염물질에 직접 포함하여 관리함으로써 온실가스로 인한 국민건강이나 환경에 대한 위해를 예방하고 대기환경을 보전하여야 한다는 주장이 제기되어 왔었다(옥곤, 제3차 유해대기오염물질 (HAPs) 포럼, 2011).

본 연구의 결과 온실가스와 유해물질이 많이 발생하는 시멘트 제조업과 도로수송 분야에 대하여 실측한 결과 시멘트 제조업에서는 유해물질중 PAHs가 대부분을 차지하였으며, 자동차의 경우는 경유와 가솔린 차량은 PAHs가 많은 비율을 차지하였으며, LPG차량은 Benzene이 높은 비율을 차지하는 것으로 조사되었다 또한 가솔린 차량은 PAHs 뿐만아니라 2-Ethoxy ethylacetate도 높은 배출량을 보이는 것으로 조사되었다. 특히, 본 연구의 대상 지역의 녹색도시의 경우에서도 산업의 주요 발생원 중의 하나인 시멘트 제조산업의 발생원은 온실가스 주요 발생원이며, 유해대기오염물질의 주요 발생원 중의 하나로 확인되었지만, 특이하게 온실가스에서는 시멘트 제조업보다 낮은 배출량을 보인 도로수송에서 HAPs의 배출량이 오히려 시멘트제조업을 능가함에 따라, 배출물질별 주요 업종의 차이가 있는 것으로 판단된다.

본 연구결과 C-one 화학종 기반의 주요 온실가스 물질에 의한 직접적인 온실효과의 기후변화와 할로젠 계열의 발암을 동반한 유해대기오염물질에 의한 중층 대기의 오존층 파괴에 따른 잠재적 온실효과 뿐만아니라, PAHs 및

휘발성의 유기화합물질에 의한 대기 에어로졸의 형성에 따른 복사강제력의 영향에 따른 온실효과 및 기후 변화의 영향에 대한 검토의 필요성이 대두되었다.

특히, 주요 온실가스 화학종의 발생원은 유해대기오염물질(HAPs)의 주요 발생원으로 확인되었으며, 지자체의 주요 산업 및 도시에너지 활용의 면에서도 그 주요 발생원이 연계성을 가지는 것으로 확인되었다.

이는 온실가스와 유해대기오염물질의 환경적 측면 및 사람의 위해성의 건강적 측면에서 연계하여 통합적 관리의 통한 필요성이 확인되는 결과를 나타내었다.

따라서 본 연구를 통한 결과로부터 도시지역에서의 온실가스와 HAPs 관리에 대한 중요성과 함께 실측을 통하여 연계통합관리의 중요성이 제시되었다.



## 참고문헌

- 강릉시, 2008. 강릉시 도시기본계획.
- 강릉시, 2009. 강릉시 통계연보.
- 강릉시, 2010, 저탄소 녹색도시 종합계획.
- 강릉시청 홈페이지, <http://www.gangneung.go.kr>.
- 강원 통계정보, <http://stat.gwd.go.kr>.
- 국립환경과학원, 2007, 환경부문 온실가스 배출량 inventory 작성 및 배출계수 개발(Ⅱ) - 2차년도 보고서.
- 국립환경과학원, 2010.7. 지자체 기후변화대응종합계획 수립 지원을 위한 온실가스 감축계획 수립 가이드라인.
- 국제표준화기구, 2007, ISO 14064.
- 김동환, 2000. 서울시 토양중 다환방향족탄화수소(PAHs)의 농도수준 및 분포특성, 한양대학교 공학석사 학위논문.
- 김동환, 2005. 비의도적 잔류성 유기오염물질(UPOP<sub>s</sub> : PCDD<sub>s</sub> /DF<sub>s</sub>, PCB<sub>s</sub> PAH<sub>s</sub> HCB)의 자동차 배출특성 및 대기오염영향. 부경대학교 박사학위 논문.
- 김영수, 김지훈, 이석형, 옥곤, 2009. Emission estimate of hazardous air pollutants(HAPs) and greenhouse gases from Briquet Combustion by House Heating of Area Sources, 日韓環境化學シンポジウム, 第18回環境化學討論會, 講演要旨集 page 906-907.
- 김지훈, 김동환, 이석형, 박노진, 김영수, 옥곤, 박정민, 홍지형, 2011, 벨브 및 플랜지의 누출오염원 유해대기오염물질 모니터링방법 개발과 적용, 환경분석학회지 제14권(제4호).
- 노동부, 2005, 산업안전보건법.
- 도시가스협회 홈페이지, <http://www.citygas.or.kr>.
- 독일 환경부, 1993, TA Luft 정령 31조.
- 산업자원부, 2002. 기후변화협약 및 교토의정서 대응전략연구.

에너지관리공단, 2009, 업종별 온실가스 배출량 산정 Good Practice Guideline.

에너지 관리공단 홈페이지, <http://www.kemco.or.kr>.

영국 환경부, 1990, Environmental Protection Act.

영국 환경부, 2005, UK Emissions of Air Pollutants.

오진규, 1994. 기후변화협약과 우리의 대응방안.

옥곤, 2011. 국가유해대기오염물질 기본계획(KATOP) 수립을 위한 2011년 제3차  
유해대기오염물질 (HAPs) 포럼자료집.

유럽연합, 2005, 장거리월경대기오염협약(LRTAP).

유럽연합, 2004, Emission Inventory Guide Book.

일본 환경성 홈페이지, [www.env.go.jp](http://www.env.go.jp)

일본 환경성, 1996, 대기환경보전법.

캐나다 환경청, 1998, 대기변화에 관한 국제회의 보고서.

한국환경공단, 2010. 지자체 온실가스 배출량 산정지침.

한국전력거래소, 2004&2006. 가전기기 보급률 및 가정용 전력 소비행태 조사.

한국환경공단, 2010. 강릉 저탄소 녹색시범도시 온실가스 배출관리계획.

한국환경공단, 2010.2. 온실가스 배출권 거래제 시범사업 안내.

환경관리공단, 2009, 온실가스 전문교육자료

환경관리공단, 2003. 온실가스 저감기술.

환경부, 2001. 스톡홀름 협약의 채택과 우리나라 대응방안.

환경부, 2002. 다이옥신 배출량 산정기법 개발.

환경부, 2002a. 대기오염공정시험방법.

환경부, 2006, 대기환경보전법.

환경부, 2005, 악취방지법.

환경부, 2007, 유해화학물질관리법.

환경부, 2008, 잔류성유기오염물질관리법.

환경부, 2008a, 유해대기오염물질 인벤토리 구축사업

환경부, 2009, 저탄소 녹색도시 조성 추진방안.

Chuang, J.C., G.A. Mack, M.R. Kuhlman, et al., 1991. Polycyclic aromatic

hydrocarbons and their derivatives in indoor and outdoor air in an eight-home study. *Atmos. Environ.*, 25, 369-380.

East Asia Summit, 2008, 2009.

EMEP, 2004. CORINAIR Emission Inventory Guidebook, Technical report No 30

EPA. 1994 AIRS Database. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, NC.

EPA. 1992. Prescribed Burning Background Document and Technical Information Document for Prescribed Burning Best Available Control Measures. EPA-150/2-92-003. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, NC.

ESC HLS, 2009, chairman summary.

Freeman, D.J., C.R. Cattell, 1990. Woodburning as a source of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environ Sci. Technol.*, 24, 1581-1585.

Hoffmann, D., I. Hoffmann, 1993. Tobacco smoke as a respiratory carcinogen. In: Hirsch A, Goldberg M, Martin J-P, et al., eds. *Prevention of respiratory diseases*. New York, NY: Marcel Dekker, Inc., 497-532.

IARC., 1979. International Agency for Research on Cancer (IARC) monograph on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans: some halogenated hydrocarbons-Vol. 20. international Agency for Research on Cancer, World Health Organization, Lyon, France, 155-178.

I. Mantis, D. Voutsas and C. Samara et al., 2005. Assessment of the environmental hazard from municipal and industrial wastewater treatment sludge by employing chemical and biological methods.

Ecotoxicology and Environmental Safety, Volume 62, Issue 3, Pages 397-407.

- IPCC. 1994. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 3 volumes: Vol. 1, Reporting Instructions; Vol. 2, Workbook; Vol. 3, Reference Manual. Intergovernmental Panel on Climate Change, Organization for Economic Co-Operation and Development. Paris, France.
- IPCC, 1997, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories, Volume 3 Reference Manual, Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Tréanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France
- IPCC, 2000, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Penman, J., Kruger, D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Emmanuel, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K. and Tanabe, K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC /OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan
- IPCC, 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5 Waste, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- Kim, D.H., G. Ok, Y.K. Kim, S.J. Iim, J.H. Kim, S.H. Gong, 2001. Survey on contamination characteristics of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil in Seoul, Korea. Organohalogen compounds, 51, 150-153.
- Kim, D.H., J.S. Hwang, M. Lee and G. Ok, 2003. Estimation of polycyclic aromatic hydrocarbons emission from sewage sludge of sewerage

- treatment plants in Korea. *J. Environ. Sciences*, 12, 1167-1171.
- Lehr, R.F and D.M. Jerian, 1977. Metabolic activations of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Arch. Toxicol.*, 39, 1-6.
- Mackay, D., W.Y. Shiu and K.C. Ma, 1992. Chlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans. In illustrated handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals Vol. II. Polynuclear aromatic hydrocarbons, polychlorinated dioxins and dibenzofurans. Lewis Publisher, Boca Raton, Florida, USA.
- Mi, H.H., W.J. Lee, T.L. Wu, T.C. Lin, L.C. Wang, H.R. Chao, 1996. PAH emission from a gasoline-powered engine. *J. Environ. Sci. Health. Part A Environ. Sci. Eng.*, 31, 1981-2003.
- Mix, M.M., 1986. Cancerous diseases in aquatic animals and their association with environmental pollutions: A critical literature review. *Mar. Environ. Res.*, 20, 141.
- Mumford, J.L., R.W. Williams, D.B. Walsh, et al., 1991. Indoor air pollutants from unvented kerosene heater emissions in mobile homes: Studies on particles, semivolatile organics, carbon monoxide, and mutagenicity. *Environ. Sci. Technol.*, 25, 1732-1738.
- Petit, J.R., Jouxel, D. Raynaud, N.I. Barkov, J.M. Barnola, I. Basile, M. Bender, J. Chappellaz, J. David, G. Delaygue, M. Delmotte, V.M. Kotyakov, M. Legrand, V.Y. Lipenkov, C. Lorius, L. Pepin, C. Ritz, E. Saltzman and M. Stievenard, 1999. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399, 429-436
- Philip, J.M, P. Haglund and R.C.Y. Ong, 2003. A review of environmental toxicant analysis by using multidimensional gas chromatography and comprehensive GC. *Clinica Chimica Acta.*, 328, 1-19.
- Ramdahl, T., I. Alfheim, A. Bjorseth, 1982. Nitrated polycyclic

- aromatic-hydrocarbons in urban air particles. *Environ. Sci. Technol.*, 16, 861-865.
- Stern, N., 2006. *Stern Review on the Economics of Climate Change*.
- Tan, Y.L., J.F. Quanci, R.D. Borys, et al., 1992. Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoke particles from wood and duff burning. *Atmos. Environ.*, 26, 1177-1181.
- Tang L., Xiang-Yu Tang, Yong-Guan Zhu, Ming-Hui Zheng and Qi-Long Miao., 2005 Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban soils in Beijing, China. *Environment International*, Volume 31, Pages 822-828.
- UEA, 2011, Gwangju Cities Declaration, Gwangju Summit of Urban Environmental Accords.
- UNEP, 2007, GEO 4, Global Environment Outlook, Environment for Development.
- UNFCCC, <http://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>.
- US EPA, 1997, Clean Air Act.
- Wey, M.Y., C.Y. Chao, J.C. Chen and L.J. Yu, 1998, The relationship between the quantity of heavy metal and PAHs in fly ash, *air & waste manage. Assoc.* 48, 750-756.
- White, K.L., 1986. An overview of immunotoxicology and carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environ. Carcino. Rev.*, 2, 163-202.
- Wijayarathne, R.D and J.C. Means, 1984. Sorption of polycyclic aromatic hydrocarbons by natural estuarine colloids. *Mar. Environ. Res.*, 11, 72-79.
- Yan, L.S., 1985. Study of the carcinogenic mechanism for polycyclic aromatic hydrocarbons: Extent bay region theory and its quantitative model. *Carcinogenesis*, 6, 1-6.

Zhang H.B, Y. M. Luo, M. H. Wong, Q. G. Zhao and G. L. Zhang 2005;  
Distribution and concentration of PAHs in Hong Kong soils.  
Environ. Pollut. Pages 1-8



## 감사의 글

“Better late than never.” “늦었다고 생각할 때가 가장 빠르다!”며 학문의 길로 안내해주시고, 석·박사 과정 동안 아낌없는 격려와 가르침을 주신 지도교수 옥 곤 교수님께 먼저 깊은 감사를 드립니다. 또한 학위과정과 논문심사에 이르는 동안 여러 조언과 도움을 주신 김영섭 교수님, 김재진 교수님, 강임석 교수님, 김승도 교수님께 이 지면을 통해 진심으로 머리 숙여 감사의 말씀을 전합니다.

먼 거리로 학교를 찾으려면 늘 반갑게 맞이 해주며, 매년 연구결과에 대한 정리와 토론에 늦은 시간까지 할애하며 도와준 김동환 박사와 부경대 다이옥신 연구센터의 모든 식구들에게도 진심으로 감사드립니다.

지금은 후학양성에 힘쓰고 있는 82학번 환경공학 동기인 인하대 김창균 교수와 공주대 김동욱 교수, 환경산업 최진선에서 고군분투는 최성용 사장 등 모든 동기들과 우리나라 녹색도시 조성을 위하여 많은 연구를 하시며 가르침을 주신 서울대 김귀곤 교수님, 인하대 변병설 교수님께도 고마움을 전합니다.

아울러, 자신의 주어진 삶에 대하여 늘 생각하고 행동하며 하루하루를 항상 열심히 살아가라고 지도해 주신 유만식 본부장님과 권영석 처장님, 강종철 처장님, 에코스타 프로젝트 업무로 동고동락한 김상중 차장, 오승환 차장, 강석재 대리, 이기형 대리 등을 비롯한 직장 선배와 동료 및 후배들에게도 진심으로 고마움을 전합니다.

특히, 학위논문 마지막에 즈음하여 해외사업처가 신설되어 여러모로 바쁜 가운데에서도 마무리를 잘 할 수 있도록 배려해주신 박창규 처장님과 든든한 버팀목으로 나의 학업에 부담을 덜어준 강창국 과장, 송인범 과장, 이하영 대리, 제윤미 대리, 이창주 대리, 정해진 대리, 박민철 대리 그리고 우리 팀 막내 신미숙 사원과 해외협력팀 박현규 팀장님, 사업개발팀 백선재 팀장님 등 해외사업처 모든 직원들께 감사드립니다.

그리고 바이오가스를 이용한 연료전지 발전 시스템 개발에 선도적 역할을 하자고 기술적 의형제를 맺은 이종규 박사, 배민수 박사, 김영준 사장과 함께 개인적으로는 우리 동네 동생이며 가장 많이 인생의 희로애락을 이야기하는 문옥환 사장에게도

고마움과 함께 평생을 호형호제 하자고 약속합니다.

기술자는 기술이 근본이 되어야 한다며 아주 단순하지만 소중한 의미를 되새기도록 늘 친형처럼 대해주신 석형이 형님과 이협희 박사님, 그리고 업무로 만났지만 업무이상으로 인생의 많은 가르침을 주신 김무학 부사장님과 김남경 상무께도 감사의 말씀을 드립니다.

평생 교직을 천직으로 사시다 하늘로 가신 아버님과 자식 뒷바라지로 고생하시다 돌아가신 어머니, 군인 정신으로 항상 철저했던 작은 형님 영전에 이 논문을 바치며, 큰형님과 형수님 그리고 생전 어머니를 모시며 고생했던 동생 종일이와 항상 가까이서 우리 가족을 지켜봐주시는 장모님과 처가 식구들에게 이 기회를 통하여 고맙다는 말을 전합니다.

마지막으로 나의 유일한 분신이자 인생 최대의 희망인 아들 동기와 이제 고등학교를 졸업하여 새내기 대학생이 되는 내 딸 다송, 그리고 뒤에서 묵묵히 가족을 위해 헌신하고 내조한 아내에게 이 영광을 돌리며 평생을 더욱 더 감사하고 사랑한다는 말을 논문으로 대신합니다.

