

박사학위논문

생활폐기물소각시설의 온실가스 및
화석탄소함량 적정 측정주기 연구

Appropriate GHG and Fossil Carbon Fraction Measuring Cycle
in Flue Gas from Municipal Solid Waste Incinerator

2018년 2월

세종대학교 대학원
환경에너지융합학과
강 성 민

생활폐기물소각시설의 온실가스 및
화석탄소함량 적정 측정주기 연구

Appropriate GHG and Fossil Carbon Fraction Measuring Cycle
in Flue Gas from Municipal Solid Waste Incinerator

지도교수 전 의 찬

이 논문을 공학 박사학위논문으로 제출함

2018년 2월

세종대학교 대학원
환경에너지융합학과
강 성 민

강성민의 박사학위논문을 인준함

2018년 2월

심사위원장 이 남 훈 (인)

심 사 위 원 정 득 중 (인)

심 사 위 원 차 재 형 (인)

심 사 위 원 김 하 나 (인)

심 사 위 원 전 의 찬 (인)

국 문 초 록

생활폐기물소각시설의 온실가스 배출량을 산정하는 방법에는 고품폐기물 기반 산정방법과 배기가스 기반 산정방법이 있다. 폐기물 성상은 발생 장소, 계절 등에 따라 변하므로, 투입되는 폐기물 성상에 기반한 온실가스 배출량 산정보다 연소 후 배출되는 배기가스의 농도에 기반한 배출량 산정방법이 배출량의 신뢰성 면에서 우수하다고 판단된다.

배기가스 기반 온실가스 배출량 산정 시 CO₂ 농도 측정이 필수적이며, 이를 위해서는 대상시설의 선정, 시료 포집 및 분석 등과 관련된 비용이 소요된다. 화석탄소함량은 탄소중립에 따라 바이오매스 기원의 탄소 함량을 제외하기 위해 필요하며, 시료의 채취와 분석 과정이 까다롭고 비용도 많이 들어가게 된다. 따라서, 통계적으로 신뢰성을 확보할 수 있는 CO₂ 농도와 화석탄소함량의 적정 측정주기를 산정하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 배기가스 기반 온실가스 배출량 산정 시 필요한 CO₂ 농도와 화석탄소함량의 대표성을 가질 수 있는 적정 측정주기를 산정하고자 하였다. 또, 생활폐기물은 생활환경 및 계절적인 요인에 따라 영향을 받을 수 있으므로 계절성도 분석하였다.

생활폐기물소각시설과 관련된 계절성을 생활폐기물 성상과 CO₂ 농도 두 요인으로 분석하였다. 폐기물 성상자료 중 비닐/플라스틱류 폐기물과 기타폐기물을 제외하고는 계절적인 특성을 가지고 있는 것으로 분석되었다.

생활폐기물소각시설에서 배출되는 온실가스의 계절성은 봄, 여름, 가을, 겨울의 CO₂ 농도 평균분포가 모두 다른 것으로 나타나 계절적인 부분도 고려해야 할 것으로 판단하였다.

적정 측정주기를 산정하기 위한 사전연구로 연구대상 생활폐기물소각시설의 측정기간별 CO₂ 농도의 특성을 파악하고 정규성을 검정하였다.

측정 기간 별 CO₂ 농도의 정규성검정 결과, 비정규분포 하는 것으로 분석

되어 비모수 분석 방법으로 통계분석을 해야하는 것으로 나타났다.

화석탄소함량도 CO₂ 농도처럼 적정 측정주기를 산정하기 전에 측정 기간별 배출 특성을 분석하고 정규성을 검정하였다. 화석탄소함량의 측정기간별 정규성검정 결과, 1개이상의 자료가 비정규분포 하는 것으로 분석되어 비모수방법으로 통계분석을 해야하는 것으로 나타났다.

생활폐기물소각시설의 CO₂ 농도와 화석탄소함량의 정규성검정 결과에 따라 평균분포를 비교하였다.

CO₂ 농도 측정 자료는 대부분 비정규분포이기 때문에 적정 측정주기를 산정하기 위해 Kruskal-Wallis검정 방법으로 평균분포를 비교하였다.

Kruskal-Wallis검정 결과, A~C생활폐기물소각시설 모두 월, 분기, 계절, 반기, 년 자료의 평균분포가 다른 것으로 분석되었다. 측정기간별 평균분포 비교 결과, CO₂ 농도 측정은 측정 기간 중 가장 많은 자료를 확보할 수 있는 ‘월’ 주기로 하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

화석탄소함량도 CO₂ 농도 분석과 같이, 월, 분기, 계절, 반기, 년 기간의 정규성검정 결과를 기준으로 적정 측정주기를 산정하였다. 측정 기간별 화석탄소함량의 정규성검정 결과, 1개 이상 자료가 비정규분포이기 때문에 Kruskal-Wallis검정 방법으로 자료의 평균분포를 비교하였다.

측정기간별 화석탄소함량 자료의 Kruskal-Wallis검정 결과, A~C생활폐기물소각시설 모두 월, 분기, 계절, 반기, 년의 평균분포가 같게 나타났다. 측정기간별 평균분포 비교 결과, 화석탄소함량을 측정할 때 1년을 대표하는 자료를 얻기 위해 최소로 측정할 수 있는 ‘년’ 주기로 측정하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

연구의 결과를 종합하면, 배기가스 기반 생활폐기물소각시설의 온실가스 배출량 산정 적정 측정주기는 CO₂ 농도의 경우 한달 주기로, 화석탄소함량의 경우 ‘년’ 주기로 측정하는 것이 대표성을 가질 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 온실가스 인벤토리, 생활폐기물소각시설, 적정측정 주기, CO₂ 농도, 화석탄소함량

목 차

제1장 서 론

제1절 연구배경 및 필요성	1
제2절 연구의 목적	3
제3절 연구 내용 및 구성	4

제2장 이론적 고찰

제1절 우리나라의 폐기물 현황	6
1. 폐기물 발생 및 처리 현황	6
2. 폐기물 소각시설 현황	12
3. 생활폐기물소각시설의 폐기물 성상 현황	16
제2절 화석탄소함량 분석 표준시험법	21
1. 생물학적 탄소 함량 결정 방법	21
2. 바이오매스 기원 이산화탄소 함량 산정을 위한 시료 포집방법	22
3. 폐기물고형연료(SRF)의 바이오매스 함량 산정방법	24
4. 바이오매스 및 화석연료의 이산화탄소 비율 산정 방법	24
제3절 선행연구 분석	25
1. 생활폐기물의 계절적 특성 연구	25
2. 화석탄소함량 분석 연구	27
3. 측정주기 관련 연구	31

제3장 생활폐기물소각시설의 온실가스 배출 특성 연구

제1절 소각시설 선정 및 온실가스 측정	33
1. 대상 생활폐기물소각시설 선정	33
2. 생활폐기물소각시설의 온실가스 측정	34
제2절 생활폐기물 성상 및 온실가스의 계절성 분석	35
1. 생활폐기물 성상 및 온실가스의 계절성 분석 방법	35
2. 폐기물 성상별 계절요인 분석	49
3. 온실가스의 계절성 분석	69
4. 측정 기간별 CO ₂ 농도 특성	82

제4장 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 특성 연구

제1절 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 분석	90
1. 화석탄소함량 분석 방법	90
2. 대상시설의 화석탄소함량 분석 방법	94
제2절 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 특성	97
1. 화석탄소함량의 계절별 특성	97
2. 측정기간별 화석탄소함량 특성	105

제5장 생활폐기물소각시설의 온실가스 및 화석탄소함량 적정
측정주기

제1절 생활폐기물소각시설의 온실가스 적정 측정주기	115
1. 온실가스 적정 측정주기 산정방법	115
2. 온실가스 분석 자료의 기간별 특성	116
3. 온실가스 적정 측정주기 산정	120
제2절 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 적정 측정주기	123
1. 화석탄소함량 적정 측정주기 산정방법	123
2. 화석탄소함량 분석 자료의 기간별 특성	124
3. 화석탄소함량 적정 측정주기 산정	128

제6장 결 론

제1절 연구 요약	129
제2절 연구의 한계 및 시사점	132
참고문헌	134
부 록	141
Abstract	171

표 목차

<표 2-1> 우리나라 폐기물 발생 현황(2011~2015)	7
<표 2-2> 지역별 생활폐기물 발생 현황(2011~2015)	9
<표 2-3> 우리나라 폐기물 처리 현황(2011~2015)	11
<표 2-4> 폐기물 소각시설의 소각방식 현황(2014)	13
<표 2-5> 연간 폐기물 소각시설 현황	14
<표 2-6> 폐기물 소각시설 운영방식 현황(2014)	15
<표 2-7> 종이류 폐기물의 성상 비율 현황(2012~2014)	16
<표 2-8> 음식물류 폐기물의 성상 비율 현황(2012~2014)	17
<표 2-9> 나무, 짚류 폐기물의 성상 비율 현황(2012~2014)	17
<표 2-10> 섬유, 가죽류 폐기물의 성상 비율 현황(2012~2014)	18
<표 2-11> 비닐, 플라스틱류 폐기물의 성상 비율 현황(2012~2014)	19
<표 2-12> 불연물 폐기물의 성상 비율 현황(2012~2014)	19
<표 2-13> 기타 폐기물의 성상 비율 현황(2012~2014)	20
<표 2-14> 생활폐기물의 계절적 특성 국내·외 연구	27
<표 2-15> 폐기물의 화석탄소함량 관련 국내·외 연구	29
<표 2-16> 측정주기 관련 국내·외 연구	32
<표 3-1> 대상 생활폐기물소각시설의 특징	33
<표 3-2> 대상 생활폐기물소각시설 현황	36
<표 3-3> 지수평활모형의 종류 및 특징	39
<표 3-4> 종이류 폐기물의 모형 통계량(2003~2014)	50
<표 3-5> 종이류 폐기물에 대한 계절분해(2014)	51
<표 3-6> 음식물류 폐기물의 모형 통계량(2003~2014)	53

<표 3-7> 음식물류 폐기물에 대한 계절분해(2014)	54
<표 3-8> 나무/짚류 폐기물의 모형 통계량(2003~2014)	56
<표 3-9> 나무/짚류 폐기물에 대한 계절분해(2014)	57
<표 3-10> 섬유/가죽류 폐기물의 모형 통계량(2003~2014)	59
<표 3-11> 섬유/가죽류에 대한 계절분해(2014)	60
<표 3-12> 비닐/플라스틱류 폐기물의 모형 통계량(2003~2014)	62
<표 3-13> 비닐/플라스틱류 폐기물의 ARIMA 모형모수	63
<표 3-14> 불연물 폐기물의 모형 통계량(2003~2014)	64
<표 3-15> 불연물 폐기물에 대한 계절분해(2014)	65
<표 3-16> 기타 폐기물의 모형 통계량(2003~2014)	67
<표 3-17> 기타 폐기물의 ARIMA 모형모수	67
<표 3-18> 대상 생활폐기물소각시설의 봄철 CO ₂ 농도 배출 특성	70
<표 3-19> 대상 생활폐기물소각시설의 봄철 CO ₂ 농도 정규성검정 결과	70
<표 3-20> 대상 생활폐기물소각시설의 여름철 CO ₂ 농도 배출 특성	71
<표 3-21> 대상 생활폐기물소각시설의 여름철 CO ₂ 농도 정규성검정 결과	72
<표 3-22> 대상 생활폐기물소각시설의 가을철 CO ₂ 농도 배출 특성	73
<표 3-23> 대상 생활폐기물소각시설의 가을철 CO ₂ 농도 정규성검정 결과	73
<표 3-24> 대상 생활폐기물소각시설의 겨울철 CO ₂ 농도 배출 특성	74
<표 3-25> 대상 생활폐기물소각시설의 겨울철 CO ₂ 농도 정규성검정 결과	75
<표 3-26> 대상소각시설의 계절별 CO ₂ 농도 정규성검정 결과	76
<표 3-27> 대상소각시설의 계절별 CO ₂ 농도 Kruskal-Wallis검정 결과	77
<표 3-28> 대상소각시설의 계절별 CO ₂ 농도 대응비교 결과	79
<표 3-29> 대상생활폐기물소각시설별 계절 CO ₂ 농도의 배출 특성	81
<표 3-30> 대상 생활폐기물소각시설의 월별 CO ₂ 농도 배출 특성	82
<표 3-31> 대상 생활폐기물소각시설의 월별 CO ₂ 농도 정규성검정 결과	83

<표 3-32> 대상 생활폐기물소각시설의 분기별 CO ₂ 농도 배출 특성	84
<표 3-33> 대상 생활폐기물소각시설의 분기별 CO ₂ 농도 정규성검정 결과	84
<표 3-34> 대상 생활폐기물소각시설의 반기별 CO ₂ 농도 배출 특성	85
<표 3-35> 대상 생활폐기물소각시설의 반기별 CO ₂ 농도 정규성검정 결과	86
<표 3-36> 대상 생활폐기물소각시설의 년별 CO ₂ 농도 배출 특성	87
<표 3-37> 대상 생활폐기물소각시설의 년별 CO ₂ 농도 정규성검정 결과	87
<표 3-38> 대상생활폐기물소각시설별 측정 기간별 CO ₂ 농도의 배출 특성	89
<표 4-1> 육안선별법 내용	91
<표 4-2> 소각가스 포집장치의 QA/QC 결과	96
<표 4-3> 대상 생활폐기물소각시설의 봄철 화석탄소함량 배출 특성	98
<표 4-4> 대상 생활폐기물소각시설의 여름철 화석탄소함량 배출 특성	99
<표 4-5> 대상 생활폐기물소각시설의 여름철 화석탄소함량 정규성검정 결과	99
<표 4-6> 대상 생활폐기물소각시설의 가을철 화석탄소함량 배출 특성	100
<표 4-7> 대상 생활폐기물소각시설의 가을철 화석탄소함량 정규성검정 결과	101
<표 4-8> 대상 생활폐기물소각시설의 겨울철 화석탄소함량 배출 특성	102
<표 4-9> 대상생활폐기물소각시설별 화석탄소함량의 계절 특성	104
<표 4-10> 대상 생활폐기물소각시설의 월별 화석탄소함량 배출 특성	106
<표 4-11> 대상 생활폐기물소각시설의 월별 화석탄소함량 정규성검정 결과	106
<표 4-12> 대상 생활폐기물소각시설의 분기별 화석탄소함량 배출 특성	107
<표 4-13> 대상 생활폐기물소각시설의 분기별 화석탄소함량 정규성검정 결과	108
<표 4-14> 대상 생활폐기물소각시설의 반기별 화석탄소함량 배출 특성	109
<표 4-15> 대상 생활폐기물소각시설의 반기별 화석탄소함량 정규성검정 결과	110
<표 4-16> 대상 생활폐기물소각시설의 년별 화석탄소함량 배출 특성	111
<표 4-17> 대상 생활폐기물소각시설의 년별 화석탄소함량 정규성검정 결과	112
<표 4-18> 대상 생활폐기물소각시설의 기간별 화석탄소함량의 배출 특성	114

<표 5-1> 대상생활폐기물소각시설별 측정 기간별 CO ₂ 농도의 배출 특성	117
<표 5-2> 선행연구와의 CO ₂ 농도 비교 결과	118
<표 5-3> 생활폐기물소각시설의 CO ₂ 농도 측정 기간별 정규성검정 결과	119
<표 5-4> 생활폐기물소각시설의 CO ₂ 농도 측정 기간별 Kruskal-Wallis검정 결과	120
<표 5-5> 생활폐기물소각시설의 CO ₂ 농도 측정 기간별 대응비교 결과 ..	122
<표 5-6> 대상 생활폐기물소각시설의 기간별 화석탄소함량의 배출 특성	125
<표 5-7> 선행연구와의 화석탄소함량 비교 결과	126
<표 5-8> 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 측정 기간별 정규성검정 결과 ...	127
<표 5-9> 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 측정 기간별 Kruskal-Wallis검정 결과	128

그림 목차

<그림 1-1> 연구 모식도	5
<그림 2-1> 우리나라 폐기물 발생 현황(2015)	6
<그림 2-2> 전국 생활폐기물 발생 현황(2015)	8
<그림 2-3> 폐기물 처리방법별 처리현황(2015)	10
<그림 2-4> ASTM D 7459의 폐기물 소각가스 시료 채취 방법론	23
<그림 3-1> CO ₂ 농도 측정 모식도	34
<그림 3-2> 평균비교 통계 절차 모식도	48
<그림 3-3> 종이류 폐기물에 대한 시계열 그래프	49
<그림 3-4> 종이류 폐기물에 대한 계절요인	51
<그림 3-5> 음식물류 폐기물에 대한 시계열 그래프	52
<그림 3-6> 음식물 폐기물에 대한 계절요인	54
<그림 3-7> 나무/짚류 폐기물에 대한 시계열 그래프	55
<그림 3-8> 나무/짚류 폐기물에 대한 계절요인	57
<그림 3-9> 섬유/가죽류 폐기물에 대한 시계열 그래프	58
<그림 3-10> 섬유/가죽류 폐기물에 대한 계절요인	60
<그림 3-11> 비닐/플라스틱류 폐기물에 대한 시계열 그래프	61
<그림 3-12> 불연물 폐기물에 대한 시계열 그래프	63
<그림 3-13> 불연물 폐기물의 계절요인	65
<그림 3-14> 기타 폐기물에 대한 시계열 그래프	66
<그림 4-1> 용해선별법 실험 절차	92
<그림 4-2> AMS(Accelerator Mass Spectrometry)의 구조	93
<그림 4-3> 화석탄소함량 측정을 위한 시료포집 모식도	97
<그림 5-1> CO ₂ 농도의 평균비교 통계 절차 모식도	115
<그림 5-2> 화석탄소함량의 평균비교 통계 절차 모식도	123

제1장 서론

제1절 연구배경 및 필요성

지구온난화에 의한 기후변화에 대응하기 위해 세계 각국은 1992년 브라질 리우에서 ‘UN기후변화협약’을 채택하였으며, 1997년 ‘교토의정서’, 2015년 ‘파리협정’을 채택하였다.

2020년 이후 출범되는 ‘신기후체제’에서는 기후변화협약에 가입한 195개국이 자발적으로 온실가스를 감축하여야 한다. 신기후체제가 출범되면서 2023년부터 5년 단위로 국제이행점검(Global stocktaking)이 진행될 예정이며, 국가온실가스인벤토리와 온실가스 감축 목표 달성 경과 등을 의무적으로 보고해야 한다. 또, 국제이행점검에 대비하기 위해서는 온실가스 인벤토리의 신뢰성을 향상시켜야 하고, 주요 온실가스 배출원별 배출 특성 파악 및 배출량을 관리하는 것이 필요하다.

우리나라의 『2016년 국가온실가스인벤토리보고서』에 따르면, 폐기물 소각부문의 온실가스 배출량은 2014년 기준 6.3백만tCO₂eq로 전체 폐기물분야 온실가스 배출량의 41.1%를 차지하고 있다. 폐기물 소각부문은 폐기물 분야의 주요 온실가스 배출원으로, 파리협정의 이행점검에 대비하여 폐기물 소각부문의 온실가스 배출 특성을 정확히 파악하고 배출량을 관리하는 것이 필요하다.

우리나라를 포함한 대부분 국가는 생활폐기물소각시설의 온실가스(CO₂) 배출량을 산정할 때, 폐기물 성상과 특성값(건조물질 함량, 탄소함량, 화석탄소함량)을 이용하는 ‘고형폐기물 성상 기반’의 산정 방법을 이용한다.

다른 방법으로는 ‘배기가스 기반’의 온실가스 배출량 산정 방법이 있으며, 이 경우에는 CO₂ 농도와 배기가스 유량을 측정하고 화석탄소함량을 분석하여 산정한다.

폐기물 성상은 발생 장소, 계절 등에 따라 변하므로, 투입되는 폐기물 성상에 기반한 온실가스 배출량 산정보다 연소 후 배출되는 배기가스의 농도에 기반한 배출량 산정방법이 배출량의 신뢰도 면에서 우수하다고 판단된다.

배기가스 기반 온실가스 배출량 산정 시 CO₂ 농도 측정이 필수적이며, 이를 위해서는 대상시설의 선정, 시료 포집 및 분석 등과 관련된 비용이 소요된다. 따라서, 대표성을 가질 수 있는 적정 측정주기와 관련된 연구가 필요하다.

폐기물 소각시설에서 온실가스 배출량을 산정할 때, 바이오매스 기원 온실가스 배출량은 제외하여 산정하고 따로 보고하도록 되어 있다(IPCC, 2006). 화석탄소함량은 탄소중립에 의해 바이오매스 기원의 탄소 함량을 제외하기 위해 필요한 요인으로 시료의 채취와 분석 과정이 까다롭고 비용도 많이 들어가게 된다. 따라서, 통계적으로 신뢰성을 확보할 수 있는 CO₂ 농도와 화석탄소함량의 적정 측정주기를 산정하기 위한 연구가 필요하다.

생활폐기물소각시설에서 온실가스 배출량을 산정하기 위한 배기가스 분석, 화석탄소함량 분석 등과 관련된 연구는 미흡한 편이다. 생활폐기물소각시설의 배기가스 CO₂ 농도 및 화석탄소함량 분석 연구는 배기가스 기반 온실가스 배출량 산정방법을 적용하기 위해 필요하다.

제2절 연구의 목적

본 연구는 배기가스 기반 온실가스 배출량 산정방법에 필요한 CO₂와 화석탄소함량과 관련된 연구를 진행하고자 한다. 생활폐기물소각시설의 배출량산정 시 인벤토리 신뢰성을 높이기 위해 대표성 있는 CO₂ 농도와 화석탄소함량을 산정하여야 한다. 따라서, 통계적인 방법 중 평균분포 비교방법을 이용하여 CO₂ 농도와 화석탄소함량의 적정 측정주기를 산정하고자 한다.

적정 측정주기를 산정하기 위하여 CO₂ 농도와 화석탄소함량을 생활폐기물소각시설 3개소를 대상으로 분석하여 측정기간별 자료를 확보하고자 하였다. 또, 생활폐기물은 생활환경과 계절적인 요인에 영향을 받을 수 있기 때문에 계절적 특성을 분석하였다.

우리나라는 전체 생활폐기물소각시설 CO₂ 농도와 화석탄소함량 자료가 미비한 편이기 때문에 계절 특성을 파악하기 어려운 실정이다. 생활폐기물은 성상에 따라 탄소함량, 수분함량 등 물질별 특성이 다르므로 소각 될 때, CO₂ 농도와 화석탄소함량에도 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 폐기물 성상의 계절 특성도 CO₂ 농도와 화석탄소함량에도 영향을 미칠 수 있을 것이라 판단하였다. 우리나라 생활폐기물소각시설 전반적인 계절 특성 분석은 통계 자료 확보가 용이한 폐기물 성상 자료를 이용하여 계절성을 분석하였다.

평균분포 비교방법을 분석하기 전에 측정주기에 해당하는 측정기간별 자료의 정규성과 특성을 알아야한다. 따라서, 측정기간별 자료의 CO₂ 농도 및 화석탄소함량의 특성과 정규성을 검정하였다.

적정 측정주기는 1년 측정 자료를 기준으로 CO₂ 농도 및 화석탄소함량의 월, 반기, 분기 값을 비교하여 최소로 측정할 수 있는 주기를 찾고자 하였다.

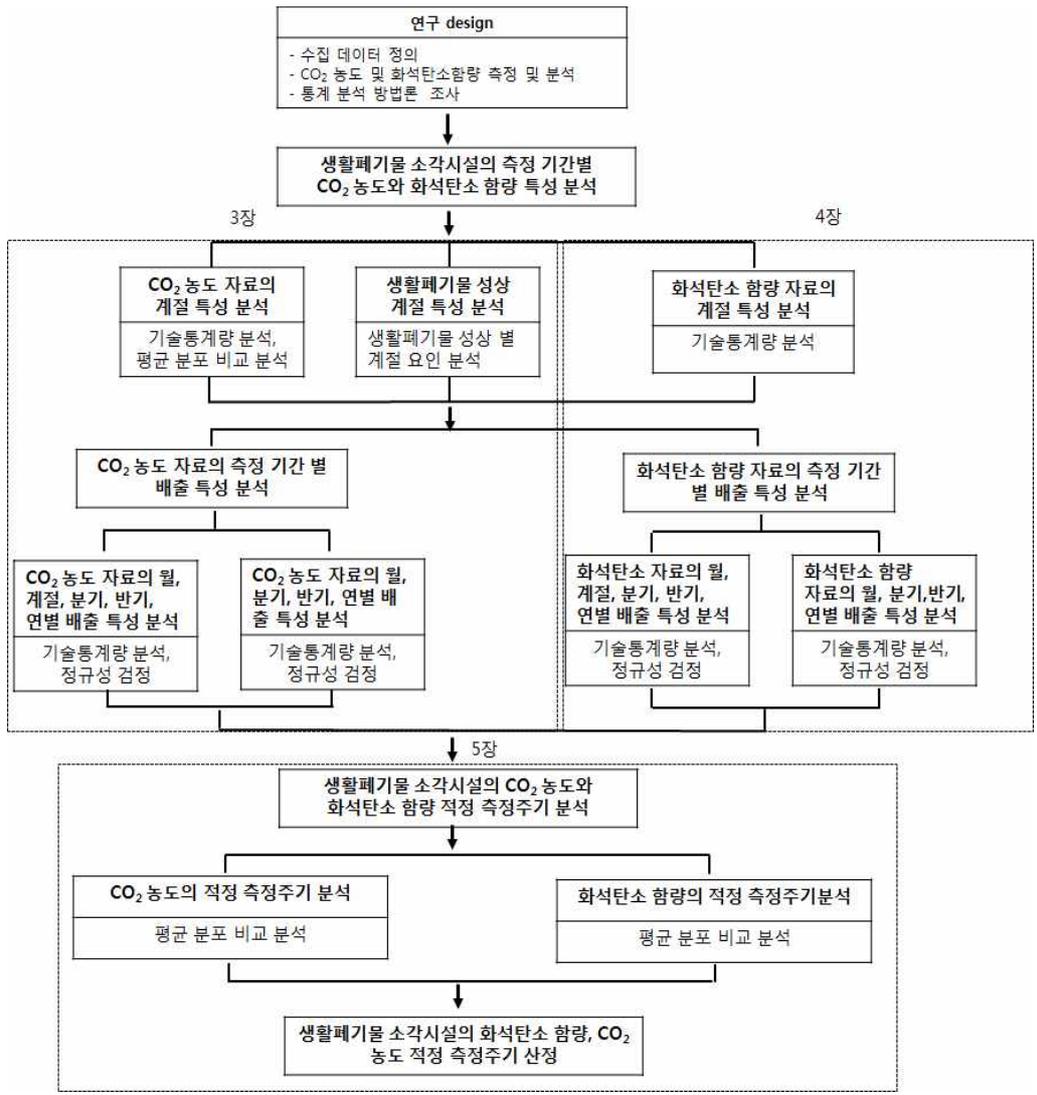
제3절 연구 내용 및 구성

본 연구는 온실가스 배출량 산정 시 고려해야 하는 CO₂ 농도와 화석탄소 함량의 적정 측정주기를 산정하기 위해 <그림 1-1>과 보는 바와 같이 연구를 진행하였다. 먼저 CO₂ 농도와 화석탄소함량을 측정하고 통계 분석 방법론을 조사하였다. 그 이후, 생활폐기물소각시설의 CO₂농도와 화석탄소함량의 측정기간별 특성을 분석하였다. 측정기간별 특성을 분석한 자료를 기반으로 평균분포 비교방법을 이용하여 적정 측정주기를 산정하였다.

3장에서는 생활폐기물소각시설의 배기가스 분석기반 배출량 산정시 필요한 CO₂ 농도의 측정기간별 특성에 대해 기술하였다. 측정기간은 월, 분기, 반기, 년을 기준으로 하였지만, 생활폐기물은 생활환경과 계절적인 요인에 영향을 받을 수 있기 때문에, 계절과 관련된 특성에 대해 먼저 조사하였다. 우리나라 전체 생활폐기물소각시설의 계절성을 알아보기 위하여 폐기물 성상의 특성도 함께 기술하였다. 계절 특성과 관련된 내용 이외에도 월, 분기, 반기, 년의 CO₂ 농도의 특성도 함께 기술하였다.

4장에서는 화석탄소함량의 측정기간별 특성에 대해 기술하였다. 화석탄소 함량도 CO₂ 농도와 같이 계절성에 대하여 기술하였으며, 월, 분기, 반기, 년의 화석탄소함량의 특성도 함께 기술하였다.

5장에서는 CO₂ 농도와 화석탄소함량의 적정 측정주기에 대해 기술하였다. 앞서 3장과 4장에서 분석한 내용들을 다시 정리하였으며, 그 자료를 기반으로 통계적 방법 중 하나인 평균분포 비교방법을 이용하여 적정 측정주기를 분석하였다.



<그림 1-1> 연구 모식도

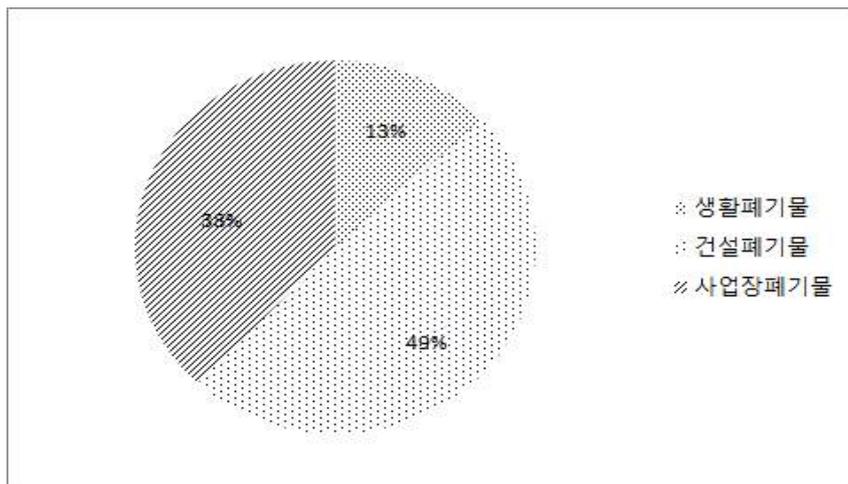
제2장 이론적 고찰

제1절 우리나라의 폐기물 현황

1. 폐기물 발생 및 처리 현황

가. 폐기물 발생 현황

우리나라 폐기물 종류별 발생량은 <그림 2-1>와 같이 건설폐기물이 49%로 가장 많은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 그다음으로는 사업장폐기물¹⁾ 38%, 생활폐기물²⁾ 13% 순으로 나타났다.



<그림 2-1> 우리나라 폐기물 발생 현황(2015)

참고자료 : 환경부, 2016 자료를 이용하여 재구성

1) 지정폐기물을 제외한 수치임.
2) 생활폐기물은 가정생활폐기물, 사업장생활폐기물, 공사장생활폐기물을 함께 포함한 수치임.

<표 2-1>과 같이 2010년부터 2015년까지 우리나라 폐기물 발생 현황을 살펴보면, 2015년의 생활폐기물 발생량은 51,247톤/일로 2012년 이후 감소하다가 2013년 이후 다시 증가하는 추세를 보였다.

2015년 우리나라의 폐기물 총발생량은 404,812톤/일로, 2011년 이후 증감을 반복하며 2011년 373,312톤/일보다 약 8% 증가하였다. 2015년 생활폐기물 발생량은 51,247톤/일로 2011년 (48,934톤/일)에 비해 약 5% 증가하였다. 2015년의 사업장폐기물 발생량은 155,305톤/일로 2011년 발생량(137,961톤/일)보다 13% 증가하였고, 2015년의 건설폐기물 발생량은 198,260톤/일로 2011년 발생량(186,417톤/일)보다 약 6% 증가한 것으로 조사되었다.

<표 2-1> 우리나라 폐기물 발생 현황(2011 ~ 2015)

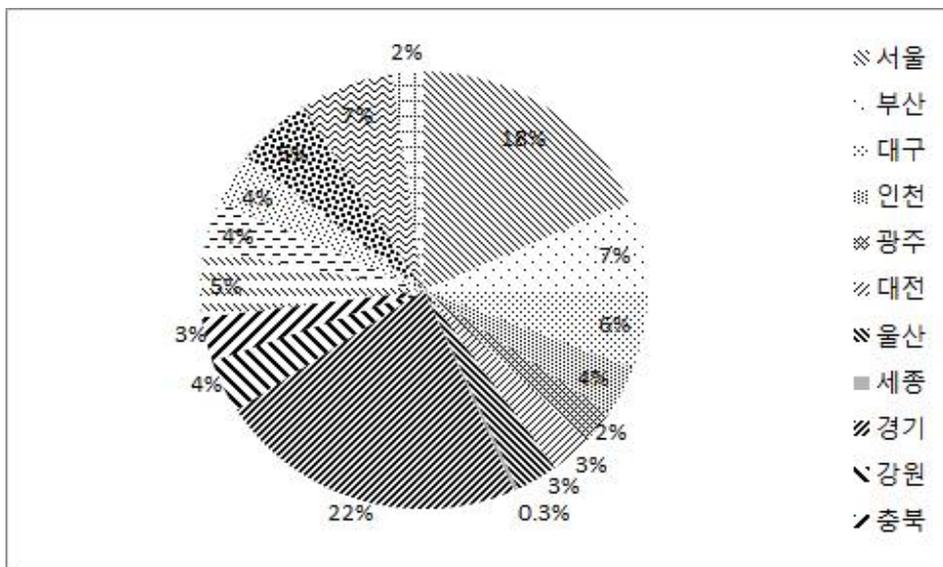
(단위 : 톤/일)

	생활폐기물	사업장폐기물	건설폐기물	계
2011년	48,934	137,961	186,417	373,312
2012년	48,990	146,390	186,629	382,009
2013년	48,728	148,443	183,538	380,709
2014년	49,915	153,189	185,382	388,486
2015년	51,247	155,305	198,260	404,812

참고자료 : 환경부, 2016 자료를 이용하여 재구성

나. 지역별 생활폐기물 발생 현황

<그림 2-2>와 같이 지역별 생활폐기물 발생량은 경기도에서 22%로 가장 많이 발생되고 있는 것으로 조사되었다. 다음으로는 서울 18%, 경남과 부산 7%, 강원도 6%로 조사되었다. 생활폐기물의 발생량은 서울과 경기도가 우리나라 전체의 40%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.



<그림 2-2> 전국 생활폐기물 발생 현황(2015)

참고자료 : 환경부, 2016 자료를 이용하여 재구성

<표 2-2>와 같이 2011년부터 2015년까지의 지역별 생활폐기물 발생 현황은 경기, 서울, 경남, 부산이 많은 생활폐기물 발생량을 보이는 것으로 나타났다. 세종시는 2012년부터 폐기물 발생량이 생기는 것으로 나타났다.

가장 많은 폐기물 발생량을 보인 경기도는 2011년부터 2013년까지 폐기물 처리량이 다소 감소하는 추세를 보이다가 2013년 이후로는 다시 증가추세를 보이는 것으로 나타났다.

<표 2-2> 지역별 생활폐기물 발생 현황(2011~2015)

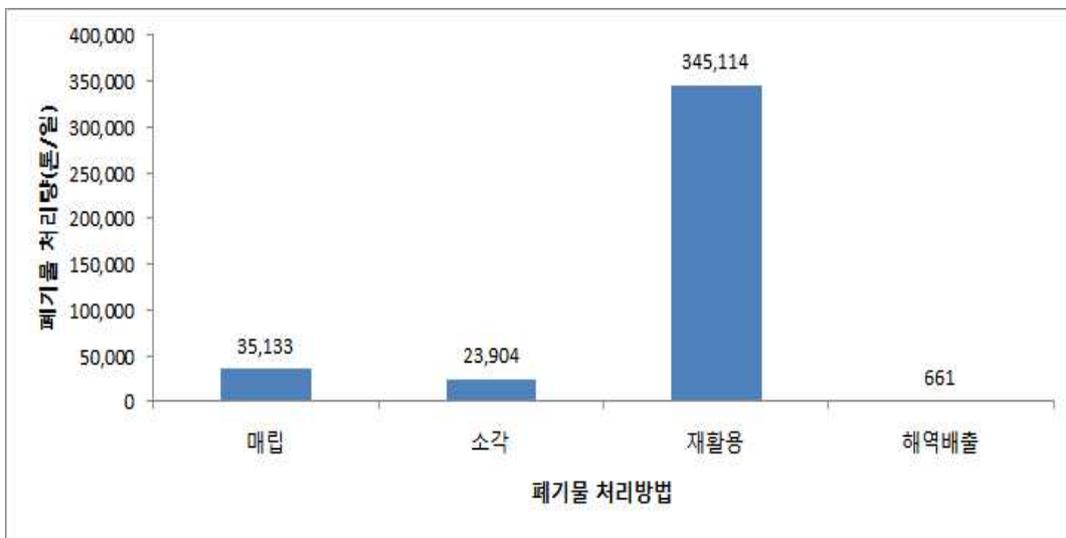
(단위 : 톤/일)

분	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년
서울	9,439	9189	8559	9,614	9,438
부산	3,190	3189	3174	3,398	3,366
대구	2,625	2684	2790	2,899	2,967
인천	2,178	2071	2413	1,746	1,898
광주	1,334	1329	1327	1,316	1,273
대전	1,519	1469	1473	1,451	1,590
울산	1,191	1280	1234	1,449	1,552
세종	-	74	724	120	162
경기	10,797	10428	9919	10,453	11,467
강원	2,209	2175	2101	2,104	2,031
충북	1,754	1773	1764	1,943	1,681
충남	2,404	2412	2583	2,483	2,579
전북	1,831	1796	1656	1,705	1,831
전남	1,829	2181	2047	2,010	1,949
경북	2,594	2624	2804	2,795	2,805
경남	3,275	3454	3176	3,453	3,496
제주	765	862	984	976	1,162
계	48,934	48,990	48,728	49,915	51,247

참고자료 : 환경부, 2016 자료를 이용하여 재구성

다. 폐기물 처리 현황

폐기물의 처리방법은 크게 매립, 소각, 재활용, 해양배출 등으로 구분할 수 있다. <그림 2-3>과 같이 우리나라 폐기물 처리방법 중 재활용이 345,114톤/일로 가장 처리량이 많은 것으로 나타났으며, 매립 35,133톤/일, 소각 23,904톤/일, 해양배출 661톤/일 순으로 나타났다.



<그림 2-3> 폐기물 처리방법별 처리현황(2015)

참고자료 : 환경부, 2016 자료를 이용하여 재구성

2010년부터 2015년까지 우리나라 폐기물 처리 현황을 <표 2-3>에 나타내었다. 2015년 기준, 매립에 의한 폐기물 처리량은 35,133톤/일로 2011년 34,026톤/일보다 3% 증가하였다. 폐기물 소각량은 23,904톤/일로 2011년 20,898톤/일보다 14% 증가한 것으로 나타났다. 폐기물 재활용량은 345,114톤/일로 2011년 312,521톤/일보다 10% 증가하였고, 폐기물 해양배출은 661톤/일로 2011년 5,867톤/일보다 89% 감소하였다.

2015년 소각에 의한 처리량은 2011년과 비교하였을 때 14% 증가하여 가장 큰 비율로 증가한 것으로 조사되었다. 재활용에 의한 처리량은 두 번째로 큰 비율로 증가한 것으로 조사되었다. 매립에 의한 처리량은 2011년과 유사한 처리량을 보이는 것으로 나타났다. 해양배출은 2011년 이후 감소 추세를 보인다. 이는 해양오염을 방지하기 위해 결성된 런던협약 '96 의정서'가 발효됨에 따라, 해양배출에 의한 처리량이 매년 감소하고 있는 것으로 판단된다.

<표 2-3> 우리나라 폐기물 처리 현황(2011 ~ 2015)

(단위 : 톤/일)

	매립	소각	재활용	해양배출	계
2011년	34,026	20,898	312,521	5,867	373,312
2012년	33,698	22,848	322,419	3,044	382,009
2013년	35,604	22,918	319,579	2,608	380,709
2014년	35,375	22,420	329,268	1,423	388,486
2015년	35,133	23,904	345,114	661	404,812

참고자료 : 환경부, 2016 자료를 이용하여 재구성

2. 폐기물 소각시설 현황

우리나라 폐기물 소각시설의 소각방식, 운영 주체, 운영방식 현황자료는 가장 최근 자료인 2014년 자료를 이용하였다.

가. 폐기물 소각시설의 소각방식 현황

폐기물 소각시설은 소각방식에 따라 일반적으로 스토커식, 유동상식, 로타리킬른식, 분무연소식, 고정상식, 열분해식 등으로 구분할 수 있다.

<표 2-4>와 같이 2014년 기준, 우리나라의 소각시설은 405개소이며, 스토커방식을 사용하는 소각시설이 201개소로 가장 많은 것으로 나타났다. 스토커 방식은 지방자치단체에서 운영하는 소각시설이 135개소로 전체 201개소 중 가장 많은 것으로 조사되었다. 그다음으로는 사업장 폐기물을 소각하는 자가업체가 65개소, 생활폐기물을 소각하는 자가업체가 1개소를 운영하는 것으로 나타났다.

스토커 소각방식을 제외한 소각방식으로는 고정상식 93개소, 상연소식 32개소, 기타 25개소, 유동상식 21개소, 열분해 용융식 20개소가 운영되고 있는 것으로 조사되었다.

〈표 2-4〉 폐기물 소각시설의 소각방식 현황(2014)

(단위 : 개소)

	지방자치단체	자가처리업체 (생활폐기물소 각시설)	자가처리업체 (사업장폐기물 소각시설)	계
스토커	135	1	65	201
유동상식	4	-	17	21
스토커+로타리킬른	1	-	2	3
분무연속	-	-	1	1
고정상	17	12	64	93
열분해 용융	17	1	2	20
가스화용융	1	-	-	1
상연소	6	1	25	32
직화식	-	4	4	8
기타	3	-	22	25
계	184	19	202	405

참고자료 : 환경부, 2015 자료를 이용하여 재구성

나. 폐기물 소각시설의 운영주체 현황

<표 2-5>와 같이 2011년 전국의 폐기물 소각시설은 536개소가 운영되고 있으나, 이후 151개소가 감소하여 2014년에는 총 405개소가 운영되고 있다.

폐기물 소각시설은 지방자치단체에서 184개소, 생활폐기물소각시설 자가처리업체에서 19개소, 사업장폐기물 소각시설 자가처리업체에서 202개소를 운영하고 있다. 폐기물 소각시설 중 자가처리업체에서 운영하는 사업장폐기물 소각시설이 2011년 이후 346개소에서 2014년 202개소로 점점 줄어들고 있는 것으로 나타났다. 이것은 2006년 1월 1일부터 시간당 소각능력 25kg 이상 200kg 미만의 소각시설도 다이옥신 배출허용기준 적용을 받게 되었기 때문이다.

<표 2-5> 연간 폐기물 소각시설 현황

(단위: 개소)

	지방자치단체	자가처리업체 (생활폐기물소각시설)	자가처리업체 (사업장폐기물소각시설)	계
2011년	173	17	346	536
2012년	184	7	289	480
2013년	182	14	238	434
2014년	184	19	202	405

참고자료 : 환경부, 2015 자료를 이용하여 재구성

다. 폐기물 소각시설의 운영방식 현황

폐기물 소각시설의 운영방식은 24시간 동안 가동되는 연속식, 16시간 동안 가동되는 준 연속식, 8시간 동안 가동되는 회분식으로 구분된다.

<표 2-6>에서 보는바와 같이, 2014년도 지방자치단체에서 운영되고 있는 184개소의 소각시설 중 연속식으로 운영하는 소각시설은 104개로 가장 많은 것으로 나타났으며, 준 연속식 15개소, 회분식 44개소 순으로 조사되었다. 생활폐기물소각시설 중 자가처리업체에서 운영하는 소각시설은 19개소이며, 그 중 회분식으로 운영하는 시설이 17개로 가장 많은 것으로 나타났다.

사업장폐기물을 소각하는 자가처리업체는 202개소이며, 그 중 회분식으로 운영하는 시설이 126개소로 가장 많은 것으로 나타났다. 전반적으로 지방자치단체에서 운영하는 소각시설은 주로 연속식으로 가동하는 것으로 나타났으며, 자가처리업체는 주로 회분식으로 가동하는 것으로 나타났다.

<표 2-6> 폐기물 소각시설 운영방식 현황(2014)

(단위 : 개소)

	연속식 (24시간/일 가동)	준연속식 (16시간/일 가동)	회분식 (8시간/일 가동)	위탁운영	직접운영	계
지방자치단체	104	15	44	15	6	184
자가처리업체 (생활폐기물소각 시설)	2	-	17	-	-	19
자가처리업체 (사업장폐기물 소각시설)	57	14	126	2	3	202
계	163	29	187	17	9	405

참고자료 : 환경부, 2015 자료를 이용하여 재구성

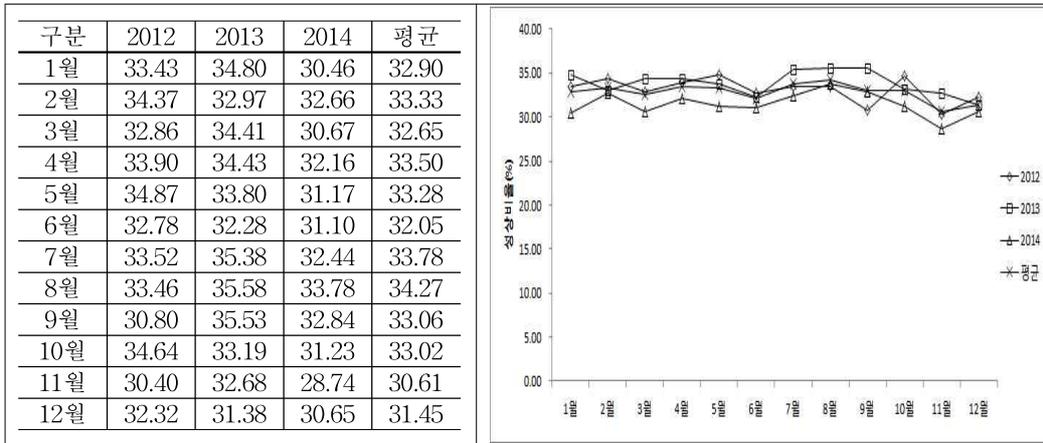
3. 생활폐기물소각시설의 폐기물 성상 현황

가. 종이류 폐기물

2012년~2014년 우리나라 생활폐기물소각시설의 종이류 성상 비율을 <표 2-7>에 나타내었다. 2012년~2014년 종이류 폐기물의 평균 성상 비율은 30.61~33.78%의 범위로 나타났다.

<표 2-7> 종이류 폐기물의 성상 비율 현황(2012~2014)

(단위: %)



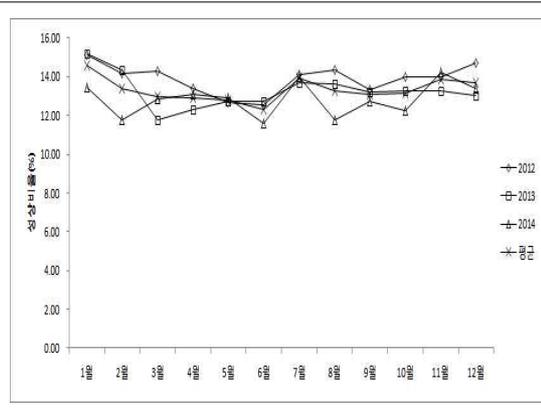
나. 음식물류 폐기물

2012년~2014년에 해당하는 생활폐기물소각시설 음식물 폐기물 비율을 <표 2-8>에 나타내었다. 2012년~2014년 음식물류 폐기물의 평균 성상 비율은 12.29~14.58%의 범위로 나타났다.

<표 2-8> 음식물류 폐기물의 성상 비율 현황(2012~2014)

(단위: %)

구분	2012	2013	2014	평균
1월	15.12	15.17	13.45	14.58
2월	14.15	14.32	11.77	13.41
3월	14.28	11.79	12.85	12.97
4월	13.37	12.34	13.09	12.93
5월	12.68	12.76	12.90	12.78
6월	12.58	12.71	11.59	12.29
7월	14.12	13.69	13.97	13.93
8월	14.32	13.61	11.80	13.24
9월	13.34	13.24	12.73	13.10
10월	13.98	13.26	12.25	13.16
11월	14.01	13.29	14.23	13.84
12월	14.73	13.03	13.38	13.71



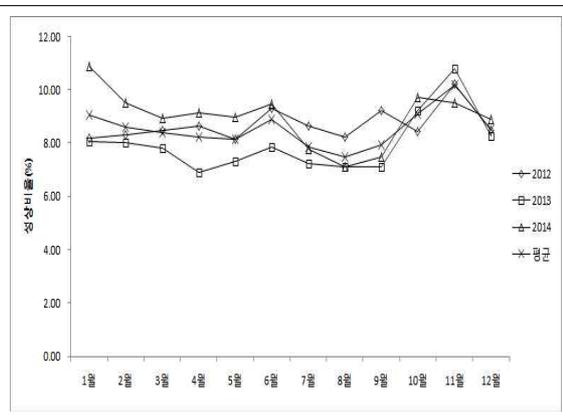
다. 나무/짚류 폐기물

2012년~2014년에 해당하는 생활폐기물소각시설 나무/짚류 폐기물의 비율을 <표 2-9>에 나타내었다. 2012년~2014년 나무/짚류 폐기물의 평균 성상 비율은 7.87~10.17%의 범위로 나타났다.

<표 2-9> 나무, 짚류 폐기물의 성상 비율 현황(2012~2014)

(단위: %)

구분	2012	2013	2014	평균
1월	8.20	8.04	10.86	9.03
2월	8.32	8.01	9.51	8.61
3월	8.46	7.81	8.92	8.40
4월	8.65	6.89	9.14	8.23
5월	8.13	7.33	8.96	8.14
6월	9.30	7.87	9.49	8.89
7월	8.65	7.22	7.75	7.87
8월	8.24	7.11	7.12	7.49
9월	9.21	7.12	7.49	7.94
10월	8.42	9.21	9.71	9.11
11월	10.20	10.78	9.52	10.17
12월	8.46	8.25	8.89	8.53

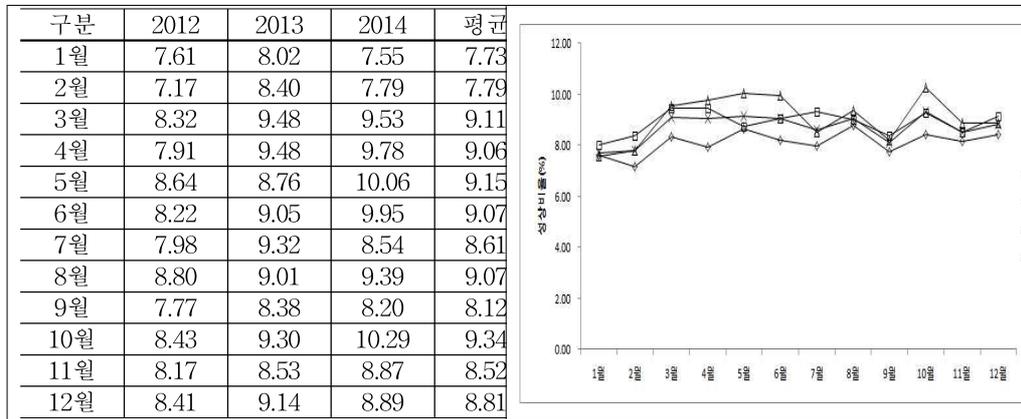


라. 섬유, 가죽류 폐기물

2012년~2014년의 생활폐기물소각시설 섬유, 가죽류 폐기물의 성장 비율을 <표 2-10>에 나타내었다. 2012년~2014년 섬유, 가죽류 폐기물의 평균 성장 비율은 7.73~9.34%의 범위로 나타났다.

<표 2-10> 섬유, 가죽류 폐기물의 성장 비율 현황(2012~2014)

(단위: %)



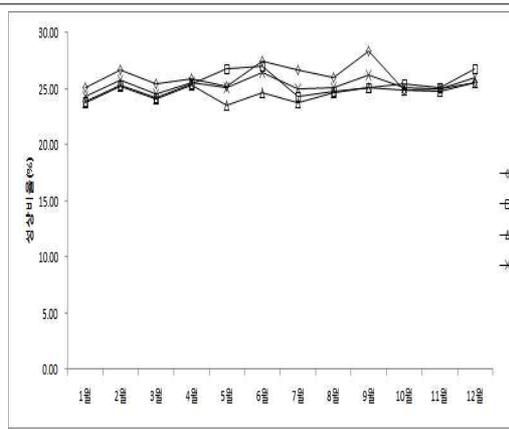
마. 비닐, 플라스틱류

2012년~2014년에 해당하는 생활폐기물소각시설 비닐, 플라스틱류 폐기물의 성장 비율을 <표 2-11>에 나타내었다. 2012년~2014년 비닐, 플라스틱류 폐기물의 평균 성장 비율은 24.27~26.41%의 범위로 나타났다.

<표 2-11> 비닐, 플라스틱류 폐기물의 성상 비율 현황(2012~2014)

(단위: %)

구분	2012	2013	2014	평균
1월	25.14	23.88	23.79	24.27
2월	26.63	25.37	25.24	25.75
3월	25.44	24.23	24.04	24.57
4월	25.90	25.50	25.37	25.59
5월	25.19	26.75	23.51	25.15
6월	27.49	27.07	24.67	26.41
7월	26.73	24.33	23.81	24.96
8월	26.03	24.79	24.61	25.14
9월	28.41	25.13	25.07	26.20
10월	24.87	25.42	24.87	25.05
11월	24.94	25.12	24.80	24.95
12월	25.55	26.77	25.55	25.96



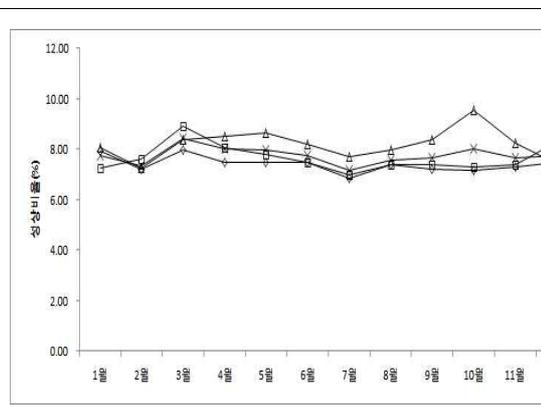
바. 불연물

2012년~2014년에 해당하는 생활폐기물소각시설 불연물 폐기물의 성상 비율을 <표 2-12>에 나타내었다. 2012년~2014년 불연물 폐기물의 평균 성상 비율은 7.17~8.41%의 범위로 나타났다.

<표 2-12> 불연물 폐기물의 성상 비율 현황(2012~2014)

(단위: %)

구분	2012	2013	2014	평균
1월	7.93	7.27	8.08	7.76
2월	7.20	7.61	7.26	7.36
3월	7.96	8.90	8.37	8.41
4월	7.50	8.06	8.50	8.02
5월	7.50	7.78	8.63	7.97
6월	7.49	7.48	8.22	7.73
7월	6.85	6.97	7.70	7.17
8월	7.38	7.37	7.99	7.58
9월	7.19	7.39	8.39	7.66
10월	7.17	7.30	9.55	8.01
11월	7.32	7.38	8.23	7.64
12월	7.49	8.30	7.45	7.75



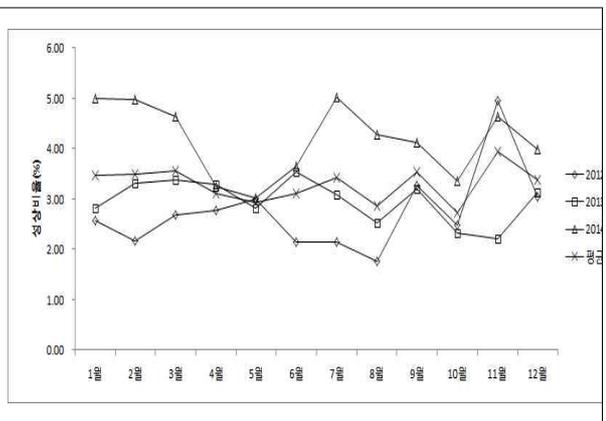
사. 기타 폐기물

2012년~2014년에 해당하는 생활폐기물소각시설 기타 폐기물의 성상 비율을 <표 2-13>에 나타내었다. 2012년부터 2014년 기타 폐기물의 평균 성상 비율은 2.72~3.94%로 나타났다. 기타 폐기물은 눈으로 식별되지 않는 폐기물을 모두 포함하기 때문에 월별로 성상 비율의 차이가 상당히 다르게 나타났다.

<표 2-13> 기타 폐기물의 성상 비율 현황(2012~2014)

(단위: %)

구분	2012	2013	2014	평균
1월	2.57	2.82	5.00	3.46
2월	2.16	3.32	4.97	3.48
3월	2.68	3.38	4.63	3.56
4월	2.77	3.30	3.24	3.10
5월	2.99	2.82	3.02	2.94
6월	2.14	3.54	3.66	3.11
7월	2.15	3.09	5.02	3.42
8월	1.77	2.53	4.29	2.86
9월	3.28	3.21	4.12	3.54
10월	2.49	2.32	3.35	2.72
11월	4.96	2.22	4.63	3.94
12월	3.04	3.13	4.00	3.39



제2절 화석탄소함량³⁾ 분석 표준시험법

IPCC에서는 바이오매스 함량에 의한 CO₂ 배출량을 국가 배출량에 포함하지 않고 화석연료에서 기인한 CO₂만을 배출량으로 산정하도록 권고하고 있다(IPCC, 2006). 바이오매스 함량 측정과 관련하여 측정법과 다양한 규격, 표준시험법 등을 제시되어 있어 본 절에서는 관련 표준시험법을 조사하였다.

1. 생물학적 탄소 함량 결정 방법

고체·액체·기체시료의 생물학적 탄소 함량을 결정하는 방법으로는 Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis(ASTM D 6866)이 있다. 이 시험 방법은 방사성탄소연대 측정법을 이용한 고체·액체·기체시료의 생물학적 탄소 함량을 결정하는 표준 시험법이다.

ASTM D 6866에 제시된 방사성탄소연대 측정법으로는 액체섬광계수기(LSC, Liquid Scintillation Counter), 가속기 질량 분석(AMS, Accelerator mass spectrometer), 동위 원소 질량 분석(IRMS, Isotope-Ratio Mass Spectrometry) 방법이 있다. 이 시험 방법은 2004년에 승인된 이후 ASTM D 6866-04, ASTM D 6866-04a, ASTM D 6866-05, ASTM D 6866-06, ASTM D 6866-06a, ASTM D 6866-08, ASTM D 6866-08 등과 같이 지속해서 개정되고 있다.

ASTM D 6866 시험 방법은 균질하지 않은 연료에 의해 배출되는 이산화탄소의 생물학적 탄소 함량 측정에 이용되고 있다. 미국, 호주, 유럽에서는 온실가스 배출량 산정 방법론으로도 활용되고 있다.

3) 화석연료 및 화석탄소 기반의 물질을 소각할 때 배출되는 배기가스 중 바이오매스 함량을 제외한 것을 말한다.

EU-ETS(EU Emissions Trading Scheme)에서는 다른 유형의 불균질한 연료를 연소하는 시설을 대상으로 모니터링 할 때, ASTM D 6866 시험 방법의 적용을 허가하고 있고, 호주 정부는 혼합 연료에 대해 ASTM D 6866 시험 방법의 이용을 같이 권장하고 있다. UN CDM(Clean Development Mechanism)방법론 Alternative waste treatment processes(AM0025)에도 폐기물처리에 관한 내용으로 이 시험법이 포함된 것으로 조사되었다.

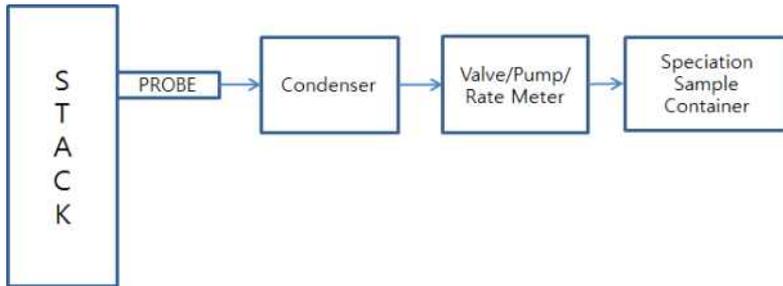
2. 바이오매스 기원 이산화탄소 함량 산정을 위한 시료 포집 방법

바이오매스 기원 이산화탄소 함량 산정을 위한 시료 포집 방법으로는 Standard Practice for Collection of Integrated Samples for the Speciation of Biomass (Biogenic) and Fossil-Derived Carbon Dioxide Emitted from Stationary Emissions Sources(ASTM D 7459)이 있다.

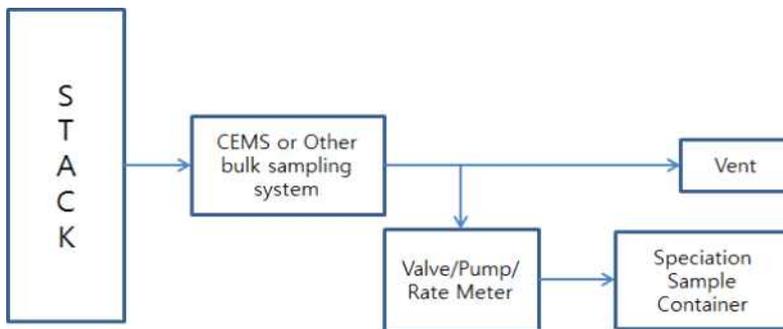
ASTM D 7459 시험 방법은 도시고형폐기물이나 화석연료의 혼합 물질, 바이오매스 연료 등의 고정연소 배출원에 적용되는 연소터빈, 소각로, 가마, 내연기관 및 기타 연소장치 등에 적용할 수 있다. 이 시험 방법은 배기가스의 시료 채취에 관한 내용을 주로 다루고 있다.

ASTM D 7459 시험 방법에 의한 시료 채취 시간은 총 시료 채취 시간에 따라 달라진다. 시료 채취시간이 총 6시간 이상이면 60분, 시료 채취 시간이 3, 4, 5시간이면 30분, 2시간이면 20분, 1시간이면 10분 간격으로 시료를 채취하도록 명시하고 있다. 이 방법에 따르면, 폐기물 소각시설에서의 소각가스 시료 채취 방법론은 CEMS(Continuous. Emission Monitoring System) 운영 방식에 따라 2가지로 구분되어 있으며 <그림 2-4>에 나타내었다.

시료 채취 장비는 크게 수분응축장치(Condenser), 유량조절장치(Valve/Pump/Rate Meter), 시료 보관장치(Sample Container)로 구성되어 있으며, CEMS를 운영하는 소각시설에서는 수분응축장치를 제외할 수 있다.



a) CEMS가 미설치된 소각시설에 적용하는 시료 채취 장비



b) CEMS가 설치된 소각시설에 적용하는 시료 채취 장비

<그림 2-4> ASTM D 7459의 폐기물 소각가스 시료 채취 방법론

참고자료: ASTM D 7459, 2008

3. 폐기물고형연료(SRF)의 바이오매스 함량 산정방법

유럽표준위원회 CEN(Comite Europeen de Normalisation : European Committee for Standardization)는 2006년에 폐기물고형연료(SRF, Solid Refuse Fuel) 중 바이오매스 기원 탄소 함량에 대한 표준시험법을 발표하였다.

폐기물고형연료(SRF)의 바이오매스 함량 산정과 관련된 표준시험법은 Solid recovered fuels. Methods for the determination of biomass content (EN15440)이다. 이 표준시험법에서는 SRF의 바이오매스 기원 탄소 함량 또는 생물학적 탄소 함량을 결정할 때 사용하는 시험 방법을 제시하고 있다. 그 중 ^{14}C 분석법으로 비례 형광법 (Proportional Scintillation Method: PSM), 베타 이온화 법(Beta Ionisation: BI), 가속기질량분석법(AMS)을 제시하고 있다. 또 다른 방법으로는 용해선별법(Selective Dissolution Method: SDM)을 제시하고 있다.

4. 바이오매스 및 화석연료의 이산화탄소 비율 산정 방법

바이오매스 및 화석연료의 이산화탄소 비율 산정 방법으로는 Stationary source emissions. Determination of the ratio of biomass (biogenic) and fossil-derived carbon dioxide. Radiocarbon sampling and determination (ISO 13833) 시험 방법이 있다. 이 방법은 방사성탄소 분석을 통해 고정배출원에서 배출되는 바이오매스와 화석연료에서 기인한 이산화탄소의 비율을 산정하는 방법이며, 시료 채취 방법을 포함하고 있다. ISO 13833 시험 방법은 2013년 3월에 탄소배출거래를 위하여 정확하고 신뢰할 수 있는 자료의 확보를 위해 개발되었다.

제3절 선행연구 분석

1. 생활폐기물의 계절적 특성 연구

생활폐기물을 대상으로 다수의 연구가 진행되었으나 폐기물의 성상과 관련해서는 주로 3성분 분석(수분, 회분, 가연분⁴⁾)과 열량 분석을 중심으로 연구가 진행되었다. 생활폐기물의 계절적 특성연구에 대한 내용은 <표 2-14>에 나타내었다. 생활폐기물 중 고형폐기물 성상의 계절적 특성과 관련된 연구가 일부 진행되었으나 온실가스 농도를 대상으로 계절적 특성을 분석한 연구는 많지 않는 것으로 조사되었다.

유기영 외(1997)는 강우, 기온 등과 같은 자연현상 및 인구이동, 산업생산, 도·소매 등 각종 사회활동의 변동과 폐기물 배출량의 변동 간의 관계 여부에 대하여 분석하였다. 이 논문은 시계열 분석을 이용하여 사회 활동에 따른 폐기물 성분의 계절변동 분석을 분석하였다. 유기영 외(1997)의 논문에서는 생활폐기물을 대상으로 계절성과 사회현상과의 상관관계를 파악하려고 하였으나, 폐기물 성상별로 자세하게 분석이 이루어지지 않았다.

현재혁 외(2007)는 아산시를 대상으로 주거형태, 생활 수준, 아산시의 생활폐기물 발생 특성을 고려하여 대표성을 가진 4개의 지역으로 나눈 후 물리적 분석, 3성분 분석을 진행하였으며, 계절에 따른 배출 특성을 분석하였다. 현재혁 외(2007)의 논문에서는 4개의 지역별로 계절 당 폐기물 발생량 위주로 분석이 진행되었다.

Gomez et al.(2009)는 멕시코의 chihuahua 지역을 대상으로 사회 경제적 수준을 고려해서 생활폐기물 성상의 특성에 대해 파악하였다. 폐기물 성상의 계절성은 4월과 8월, 1월을 중심으로 파악하였다. Gomez et al.(2009)

4) 전체 습윤 폐기물 중에서 회분과 수분을 제외한 성분을 말한다.

의 논문에 따르면, 저소득층의 생활폐기물 발생량이 가장 작은 것으로 나타났다. 폐기물 성상은 유기농계열(음식물 등)의 폐기물이 가장 많이 배출되는 것으로 나타났다. 이 논문은 1개 년도를 대상으로 폐기물 성상의 계절성을 분석하였기 때문에 시계열적인 측면에서 폐기물 성상별 변화를 파악하기 힘들었다.

Denafas(2014)는 동유럽지역의 폐기물 소각시설을 대상으로 통계자료를 이용하여 폐기물 성상 특성을 분석하였으며, 계절적 특성도 분석하였다. 리투아니아에서는 가을철에 음식물 폐기물이 많이 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 수확 활동에 의한 것이라고 분석하였다. 정원폐기물의 발생량은 10월과 11월에 많았는데, 이는 정원과 공원 청소가 이때 많이 진행되기 때문으로 설명하고 있다. 이 논문은 폐기물 성상에 대한 계절적인 특징 및 추이를 설명하고 있으나 1개 년도를 기준으로 분석되어 시계열적인 특징을 파악할 수 없었다.

생활폐기물의 성상과 관련된 연구로는 일부 논문들이 계절성에 대해 언급하고 있었지만 전반적으로 짧은 연도를 대상으로 하였거나 세부 폐기물별 계절별 특징들에 대해 많은 분석이 되어 있지 않았던 것을 파악할 수 있었다.

다른 분야의 논문 중 다년도의 통계자료를 이용하여 계절성을 파악한 논문이 있는 것으로 조사되었다. 주일엽 외(2012)는 살인, 강도, 절도, 강간, 폭력 등 주요 범죄의 계절적 주기, 월별 계절요인을 도출하여 범죄 발생의 계절적 추세를 분석하여 범죄에 대해 시계열적으로 분석하였다.

<표 2-14> 생활폐기물의 계절적 특성 국내·외 연구

	연구 내용
유기영 외(1997)	강우, 기온 등과 같은 자연현상 및 인구이동, 산업생산, 도소매 등 각종 사회활동의 변동과 폐기물 배출량의 변동간의 관계여부 분석.
현재혁 외(2007)	아산시를 대상으로 주거형태, 생활수준, 생활폐기물 발생특성을 고려하여 대표성을 띠는 4개의 지역으로 나눈 후 물리적 분석, 3성분 분석을 진행
Gomez et, al(2009)	멕시코의 chihuahua 지역을 대상으로 사회 경제적인 레벨을 고려해서 생활폐기물 성상의 특성에 대해 파악
Denafas(2014)	동유럽지역 폐기물 소각시설을 대상으로 통계자료를 이용하여 성상의 특성을 분석하였으며 계절성도 일부 분석.

2. 화석탄소함량 분석 연구

화석탄소함량 분석연구에 대한 내용은 <표 2-15>에 나타내었다.

Johann Fellner et, al(2009) 는 폐기물의 biomass와 SRF (Solid Recovered Fuels)의 ^{14}C 의 함량에 대해 연구하였다. 혼합 폐기물 및 SRF에서 생물기원 물질의 ^{14}C 함량을 평가하기 위해 폐기물의 생물기원 물질의 구성, 성장 기간, 계절 등에 $^{14}\text{CO}_2$ 함량⁵⁾에 대한 정보를 적용한 연구를 진행하였다.

Mohn et, al(2008)은 Waste-To-Energy (WTE) 발전소를 대상으로 ^{14}C Method와 Balance method를 사용하여 상호 비교하고 폐기물 소각 시 배출되는 생물기원의 화석탄소를 기반으로 한 CO_2 배출량을 산정하였다.

Reinhardt, Richers and Suchomel (2006)은 혼합연료의 바이오매스 함량을 산정하기 위해 ^{14}C 분석 방법을 이용하였으며, ^{14}C 분석 방법의 적절성 및 불확도 범위 등에 대해 연구하였다.

5) 1952 행해져 1962년 끝난 핵실험을 고려하여, 보정된 대기 중의 ^{14}C 값

Staber(2008)은 연료의 생물기원의 함량을 결정하기 위한 분석방법 Selective Dissolution Method, Balance Method, ^{14}C method에 대해 소개하고 방법론에 대한 리뷰를 하였다.

Reinhardt(2008)은 유해폐기물 소각에 따른 CO_2 배출량을 측정하는 연구를 진행하였으며, CO_2 배출량 측정 시 화석탄소함량도 함께 파악하는 연구를 진행하였다. 이 연구에서는 화석탄소함량을 파악하기 위해 ^{14}C 방법을 이용하였다.

Palstra(2010)은 폐기물 소각시설과 발전소를 대상으로 배출되는 가스를 포집하여 화석탄소함량을 산정하였으며, ^{14}C 방법을 이용하여 화석탄소함량을 산정하였다.

Hämäläinen et al.(2007)은 발전시설에서 배출되는 배기가스의 ^{14}C 함량을 측정하여 생물기원의 비율을 결정 하였다. 해외에서는 전반적으로 화석탄소함량 또는 바이오매스 함량을 산정하기 위하여 ^{14}C 방법을 많이 사용하여 연구를 진행하는 것으로 파악되었다.

우리나라에서는 김낙배(1992)는 방사선탄소 연대 측정에 이용되는 분석수단 중 AMS 방법의 실용성 및 활용방안에 대해 연구를 진행하였다.

박중현(2008)은 대전 시내지역 나뭇잎 시료를 AMS를 사용하여 ^{14}C 를 측정한 바 있으며, 대전 시내지역의 화석연료기원에서 발생한 이산화탄소의 분포를 파악하고자 하였다.

이기순(2010)은 바이오연료 및 화석연료와 혼합물로 생산된 유사 바이오매스제품 방지와 바이오매스 제품의 신뢰성을 확보하기 위해 AMS를 사용하여 ^{14}C 를 측정하는 방법을 제안한 바 있다.

Kim et, al(2016)은 우리나라 생활폐기물소각시설에서 화석탄소함량을 개발하고, 온실가스 배출량 산정방법에 따라 배출량을 비교하였다. 비교결과, 배기가스 분석을 기반의 온실가스 배출량 산정방법이 좀 더 신뢰성이 있을 것이라 분

석하였다.

Kang et al. (2017a)은 우리나라 생활폐기물소각시설 3개소를 대상으로 바이오매스 함량을 분석 하여 바이오매스 함량 분석의 필요성을 제안 하였다.

Kang et, al.(2017b)은 우리나라 하수슬러지 소각시설을 대상으로 바이오매스 함량을 분석하여 하수슬러지 소각시설에도 바이오매스 함량 분석의 필요성을 제안하였다.

<표 2-15> 폐기물의 화석탄소함량 관련 국내·외 연구

연구 및 지침	연구 내용
Fellner et al. (2009)	<ul style="list-style-type: none"> • 폐기물의 biomass와 SRF (Solid Recovered Fuels)의 ¹⁴C의 함량에 대해 연구하였음. • 혼합 폐기물 및 SRF에서 생물기원 물질의 ¹⁴C 함량을 평가하기 위해 폐기물의 생물기원 물질의 구성, 성장 기간, 계절 등에 ¹⁴CO₂ 함량 (1952년에 행해져 1962년 끝난 핵실험을 고려하여, 보정된 대기 중의 ¹⁴C값)에 대한 정보를 적용한 연구를 진행함.
Mohn et al. (2008)	<ul style="list-style-type: none"> • Waste-To-Energy (WTE) 발전소를 대상으로 ¹⁴C Method와 Balance method를 사용하여 상호 비교하고 폐기물 소각 시 배출되는 생물기원의 화석탄소를 기반으로 한 CO₂ 배출량을 산정하였음.
Renewable energy association (2006)	<ul style="list-style-type: none"> • 혼합연료의 바이오매스 함량을 산정하기 위해 ¹⁴C 분석 방법을 이용하였으며, ¹⁴C 분석 방법의 적절성 및 불확도 범위 등에 대해 연구하였음.
Staber (2008)	<ul style="list-style-type: none"> • 연료의 생물기원의 함량을 결정하기 위한 가장 일반적인 방법인 Selective Dissolution Method, Balance Method, ¹⁴C 방법을 소개하고 리뷰 하였음.
Reinhardt (2008)	<ul style="list-style-type: none"> • 유해 폐기물 소각에 따른 CO₂ 배출량을 측정하는 연구를 진행하였으며 CO₂ 배출량 측정 시 화석탄소함량도 함께 파악하는 연구를 진행하였음.

〈표 2-15〉 계속

연구 및 지침	연구 내용
Palstra (2010)	<ul style="list-style-type: none"> 폐기물 소각시설과 발전소를 대상으로 배출되는 가스를 포집하여 화석탄소함량을 산정하였으며, ^{14}C 방법을 이용하여 화석탄소함량을 산정하였음.
Hämäläinen et, al. (2007)	<ul style="list-style-type: none"> 발전시설에서 배출되는 배기가스의 ^{14}C 함량을 측정하여 생물기원의 비율을 결정하였음.
김낙배 (1992)	<ul style="list-style-type: none"> 방사선탄소 연대측정에 이용되는 분석수단 중 AMS 방법의 실용성 및 활용방안에 대해 연구를 진행하였음.
박중현 (2008)	<ul style="list-style-type: none"> 대전 시내 지역 나뭇잎 시료를 AMS를 사용하여 ^{14}C를 측정함바 있으며, 대전시내지역의 화석연료기원에서 발생된 이산화탄소의 분포를 파악하고자 하였음.
이기순 (2010)	<ul style="list-style-type: none"> 바이오연료 및 화석연료와 혼합물로 생산된 유사 바이오매스제품 방지와 바이오매스 제품의 신뢰성을 확보하기 위해 AMS를 사용하여 ^{14}C를 측정하는 방법을 제안한 바 있음.
Kim et, al (2016)	<ul style="list-style-type: none"> 우리나라의 생활폐기물소각시설에서 화석탄소함량을 개발하고 온실가스 배출량 산정방법에 따라 배출량을 비교하여 배기가스 분석을 통한 온실가스 배출량 산정방법이 좀 더 신뢰성이 있을 것이라 분석하였음.
Kang et, al (2017)	<ul style="list-style-type: none"> 우리나라 생활폐기물소각시설 3개소를 대상으로 바이오매스 함량을 분석 하여 바이오매스 함량 분석의 필요성을 제안함.
Kang et, al (2017)	<ul style="list-style-type: none"> 우리나라 하수슬러지 소각시설을 대상으로 바이오매스 함량을 분석하여 하수슬러지 소각시설에도 바이오매스 함량 분석이 필요하며, 화석연료 기반의 탄소 함량이 있으므로 CO_2 농도 분석도 필요하다고 제안함.

3. 측정주기 관련 연구

측정주기와 관련하여 언급된 보고서 및 일부 논문들을 위주로 조사해 보았으며 <표 2-16>에 나타내었다.

국립환경과학원(2007)에서는 환경측정기기의 검사방법과 관련된 정도 검사 주기에 대해 검토한 바 있다. 이 보고서에서는 측정기기별 장치에 대한 기술적인 내용 검토와 현행 법률 및 사용 규정, 정도 검사 주기 등에 대해 검토하였다. 측정기기별 정도 검사 주기에 대해서는 제시가 되어 있으나 정도 검사 주기에 대한 근거에 대해서는 언급되지 않았다.

배현균(2013)은 수질 모니터링 시스템에 따른 문제점을 고찰하였다. 이 논문에서는 5개월 동안 일단위로 수질 시료를 채취하여 분석하였다. 시료 채취 및 분석 주기와 관련해서는 현행 수질 모니터링 시스템 주기인 일주일 간격 자료와 일간 자료의 추이 변화를 통해 측정주기의 문제점을 고찰하였다.

이 논문에서는 일정 추이 변화를 보고 현행 측정주기의 문제점을 제시하였지만, 구체적인 측정주기에 대한 값은 제시되어 있지 않았다.

측정주기와 관련된 선행 연구들을 검토해본 결과, 관련 연구가 많이 진행되지 않았던 것을 파악할 수 있었다.

<표 2-16> 측정주기 관련 국내·외 연구

연구 및 지침	연구 내용
국립환경 과학원(2007)	<ul style="list-style-type: none"> • 정도 검사 주기의 과학적 근거 제시 부분에서 정도 검사 주기에 대해 검토한 바 있음. • 이 보고서에서는 측정기기별 장치에 대한 기술적인 내용 검토와 현행 법률 및 사용 규정, 정도 검사 주기 등에 대해 검토하였음.
배헌균(2013)	<ul style="list-style-type: none"> • 이 논문에서는 5개월 동안 일단위로 수질 시료를 채취하여 분석하였음. • 시료 채취 및 분석 주기와 관련해서는 현행 수질 모니터링 시스템 주기인 일주일 간격자료와 일간 자료의 추이 변화를 통해 측정주기의 문제점을 고찰하였음.

제3장 생활폐기물소각시설의 온실가스 배출 특성 연구

제1절 소각시설 선정 및 온실가스 측정

1. 대상 생활폐기물소각시설 선정

본 연구의 대상 생활폐기물소각시설은 2014년 우리나라 생활폐기물 발생량 중 약 19%로 폐기물 발생량이 가장 많은 경기도 지역으로 선정하였다. 대상 생활폐기물소각시설은 하루 평균 150ton 이상을 소각하는 3곳으로 선정하였다.

연구 대상 생활폐기물소각시설은 우리나라 소각시설에서 가장 많이 사용되는 소각 방식인 스토커 방식의 연소시설을 갖춘 곳으로 선정 하였다.

대상 생활폐기물 시설과 관련한 세부 사항은 <표 3-1>에 나타내었다.

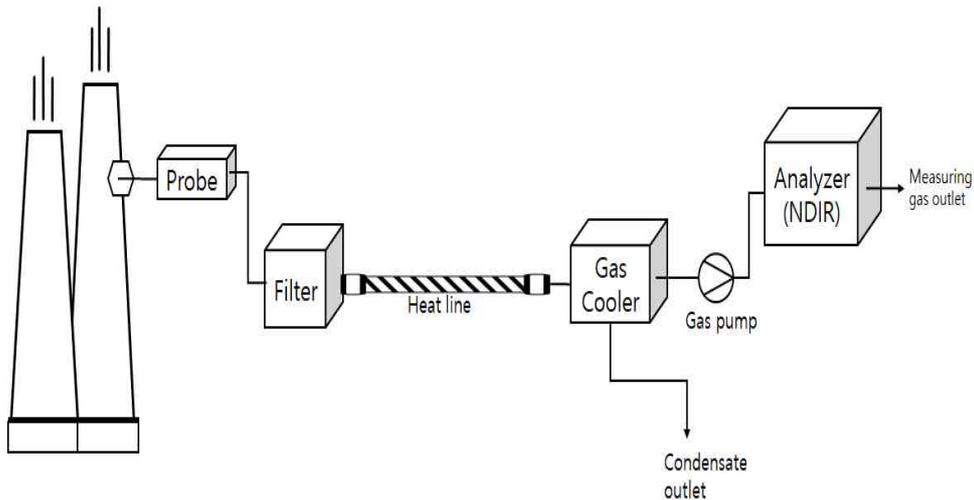
<표 3-1> 대상 생활폐기물소각시설의 특징

소각시설	소각량 (ton/day)	소각 방식
A생활폐기물소각시설	300	stoker
B생활폐기물소각시설	150	stoker
C생활폐기물소각시설	150	stoker

2. 생활폐기물소각시설의 온실가스 측정

1년을 대표할 수 있는 CO₂농도의 적정 측정주기를 산정하기 위해서는 1년간의 CO₂ 농도 자료가 필요하다. 본 연구에서는 많은 자료를 확보하기 위해 CO₂ 농도를 연속측정 하였다. CO₂ 농도 측정 방법은 EPA Method 3A에 해당하는 비분산적외선분석법(NDIR, Non-dispersive infrared analyzer)을 사용하였다.

분석기기는 MCS 100 E(SICK Mihak,USA)를 이용하여 측정하였다. CO₂ 농도 측정과 관련된 시스템 구성은 <그림 3-1>에 나타내었다. CO₂ 농도는 생활폐기물소각시설의 최종배출구에서 시료 채취관을 연결하여 측정하였으며, 측정 장치까지 배출되는 가스 온도를 유지하기 위해 Heat line을 이용하였다. 측정기 앞단에는 배기가스의 수분 제거를 위해 가스쿨러를 설치하였다. CO₂농도는 2014년 6월 ~ 2015년 5월(12개월)까지 측정하였다.



<그림 3-1> CO₂ 농도 측정 모식도

제2절 생활폐기물 성상 및 온실가스의 계절성 분석

1. 생활폐기물 성상 및 온실가스의 계절성 분석 방법

가. 폐기물 성상의 계절성 분석 방법

생활폐기물은 계절적인 요인과 생활하는 환경에 따라 영향을 받을 수 있는 것으로 알려져 있다. 생활폐기물은 이러한 특성이 있기 때문에 온실가스 및 화석탄소함량 측정 적정 주기 산정과 관련하여 계절 특성을 파악하는 것은 중요한 요인으로 적용될 수 있다.

우리나라 전체 생활폐기물소각시설의 CO₂ 농도와 화석탄소함량과 관련된 자료 및 연구가 미비한 편이기 때문에 전반적인 계절특성을 파악하기 어려운 실정이다. 이에 따른 대안으로 폐기물 성상을 대상으로 우리나라 생활폐기물소각시설의 계절성을 알아보고자 한다. 폐기물 성상은 폐기물 소각 시 투입되는 요인이기 때문에 CO₂ 농도와 화석탄소함량에도 영향을 미칠 수 있다. 생활폐기물소각시설의 성상자료는 국가 통계로 제공되고 있기 때문에 자료의 접근성도 좋은 편이다.

생활폐기물과 관련된 통계자료는 매년 정부에서 발표하는 ‘전국 폐기물 발생 및 처리현황’ 과 5년마다 발표하는 ‘전국 폐기물 통계조사’, ‘생활폐기물 자원회수시설 현황’ 등이 있다. 전국 폐기물 발생 및 처리현황과 전국 폐기물 통계조사는 폐기물 성상, 3성분, 폐기물 처리량 등 생활폐기물 전반에 대하여 다루고 있지만, 폐기물 소각시설의 성상과 관련된 세부자료에 대해서는 제시되어 있지 않은 것으로 나타났다.

본 연구에서는 생활폐기물소각시설의 전반적인 내용이 담겨있는 ‘2003-2014년 생활폐기물 자원회수시설 현황’ 자료를 이용하여 투입 생활

폐기물의 성상을 조사하였다. 해당 통계자료에서는 생활폐기물의 성상을 종이류, 섬유/가죽류, 음식물, 나무/짚류, 비닐/플라스틱류, 불연물, 기타 총 7개 항목으로 구분하고 있다. 본 연구에서는 생활폐기물 7종을 중심으로 성상별 계절성을 파악하였다. 계절성은 생활폐기물소각시설 40개소의 평균 폐기물 성상을 대상으로 분석하였으며, 대상시설의 일반적인 현황은 <표 3-2>에 나타내었다.

<표 3-2> 대상 생활폐기물소각시설 현황

No	시설	용량 (ton/day × 소각로 수)	No	시설	용량 (ton/day × 소각로 수)
1	A	300 × 1	21	U	17 × 2
2	B	170 × 1	22	V	200 × 1
3	C	75 × 2	23	W	200 × 1
4	D	35 × 2	24	X	200 × 1
5	E	100 × 3	25	Y	50 × 2
6	F	75 × 2	26	Z	100 × 2
7	G	80 × 1	27	AA	100 × 3
8	H	75 × 2	28	AB	100 × 2
9	I	50 × 2			250 × 1
10	J	200 × 1	29	AC	50 × 2
11	K	200 × 1	30	AD	75 × 2
12	L	200 × 2	31	AE	50 × 2
13	M	100 × 2	32	AF	100 × 2
14	N	200 × 1	33	AG	50 × 2
15	O	65 × 3	34	AH	100 × 2
16	P	85 × 2	35	AI	200 × 1
17	Q	80 × 2	36	AJ	105 × 2
18	R	150 × 2	37	AK	200 × 1
19	S	160 × 1	38	AL	50 × 2
		80 × 2	39	AM	170 × 1
20	T	105 × 2	40	AN	170 × 1

나. 시계열 분석 방법

2003년~2014년 동안의 생활폐기물 성장에 대한 계절성을 알아보기 위해서 통계적 방법 중 시계열분석 방법을 사용하였으며, 시계열 분석은 통계 패키지 SPSS 23을 이용하여 분석하였다.

일반적으로 시간과 더불어 관측된 자료를 ‘시계열 자료’ 라고 말한다. 자료들은 횡단면 자료와 종단면 자료 두 가지로 구분할 수 있다. 횡단면 자료는 고정된 시간에서 측정된 자료를 말하며, 종단면 자료는 시계열 자료와 같이 매 단위시간에 따라 측정되어 생성된 자료를 의미한다. 단위시간은 일, 월, 분기, 년 등 다양한 형태로 표시될 수 있는 자료를 말한다(박유성 · 김기환, 2002). 시계열 분석 자료는 횡단면 자료보다 상대적으로 적은 수의 변수로 구성되며, 관측값들 사이의 상호연관성이 정보획득을 위한 중요한 도구로 사용된다. Chatfield(1980)는 시계열 자료의 분석목적은 자료의 기술, 예측, 설명 제어 네 가지로 정리할 수 있다고 한다. 시계열 분석은 이러한 목적을 통계적인 분석을 통해 타당한 근거와 논리를 과학적으로 만족하게 해줄 수 있는 방법이다(Chatfield, 1980).

시계열은 일반적으로 지수평활법, ARIMA 모형을 이용하여 분석하며, 시계열 데이터의 변동에 영향을 주는 요인을 제거하기 위해 계절분해 분석도 함께 진행한다.

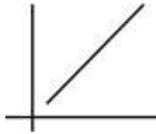
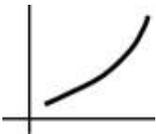
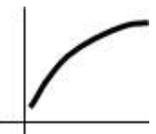
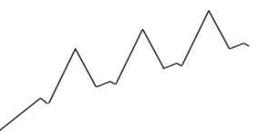
1) 지수평활법

시계열 분석 방법은 시간에 따라 시계열의 구성요인이 느리게 변동하는지 변동하는지에 따라 나누어질 수 있으며, 시계열의 변동이 빠르다는 것은 그만큼 예측모형을 만들기가 수월하지 않다는 것을 의미한다(박유성·김기환 2002).

이러한 시계열의 구성요인이 시간에 따라 느리게 변동하거나, 또는 변동이 느리지 않더라도 매우 규칙적인 형태를 보여줄 때 지수평활법을 사용한다.

지수평활법은 시계열의 구성요인을 점검하는 것만으로 적용 여부를 판단할 수 있으며, 복잡한 이론적 배경을 갖고 있는 것이 아니라 경험적인 분석 방법에 해당한다. 지수평활법은 크게 비계절모형과 계절모형으로 나눌 수 있다. 세부적으로는 단순지수평활법, 홀트선형추세, Brown선형추세, Winters가법모형, Winters승법모형 등으로 나타난다. 이와 관련된 설명 및 그래프를 <표 3-3>에 나타내었다. 이러한 방법은 추세와 계절요인의 형태에 따라 다르게 적용되기 때문에 시도표를 관찰하여 분석 방법을 선택하여야 한다(통계청, 2016).

<표 3-3> 지수평활모형의 종류 및 특징

구분	종류	특징	
비계절 모형	단순	<ul style="list-style-type: none"> • 선형추세와 계절성이 없는 시계열에 적합하다. • ARIMA(0,1,1) 모형과 유사하다. 	
	Holt 선형추세	<ul style="list-style-type: none"> • 선형추세이고, 계절성이 없는 시계열에 적합하다. • Holt의 지수평활화는 ARIMA의 (0,2,2)와 유사하다 	
	Brown 선형추세	<ul style="list-style-type: none"> • 선형추세이고, 계절성이 없는 시계열에 적합하다. • ARIMA의 (0,2,2)와 유사하며, Brown 모형은 Holt 모형의 특수한 케이스이다. 	
	진폭감소 추세	<ul style="list-style-type: none"> • 감소하는 선형추세이고, 계절성이 없는 시계열에 적합하다. 	
계절 모형	단순 계절모형	<ul style="list-style-type: none"> • 추세가 없고 시간에 관계없이 일정한 계절성이 있는 시계열(추세가 없고 시간에 관계없이 일정한 계절효과가 있는 시계열) • ARIMA(0,1,1)과 유사하다. 	
	Winters 가법모형	<ul style="list-style-type: none"> • 선형추세이고 계절성이 있는 시계열 • 시계열 변동의 폭이 시간이 경과함에 관계없이 일정하게 유지되므로 가법(Additive)인 계절적 변동이 존재한다. • ARIMA(0,1,1)과 유사하다. 	
	Winters 승법모형	<ul style="list-style-type: none"> • 선형추세이고 계절성이 있는 시계열 • 시간이 경과함에 따라 계절적 주기 내의 변동의 폭이 갈수록 증가하므로 승법(Multiplicative)인 계절적 변동이 존재한다 • ARIMA 모형에 없음 	

참고자료: 한광중, 2014

2) ARIMA 모형

시계열분석에서는 연속적인 시간에 대한 한 변수의 관측치에 대한 미래의 예측을 수행하게 된다. 이때 사용하는 방법으로는 Box and Jenkins의 자기회귀결합이동평균모형(ARIMA 모형: autoregressive integrated moving average model)을 주로 사용한다. 이 모형의 분석 및 적용은 시계열 자료가 확률적으로 생성되고 있다는 가정에 기초하고 있어야 하며, 확률적 가정에 의해서 생성된 모형을 확률적 모형이라고 한다(김동환, 2014). 확률적 시계열 모형으로는 자기회귀확률과정모형(AR process model), 이동평균확률과정모형(MA process model), 자기회귀이동평균모형(ARMA 모형: autoregressive moving average model)이 있다. 이 중 자기회귀이동평균 모형은 확률과정이 자기회귀과정과 이동평균과정을 동시에 지닌다.

ARIMA의 일반적 표현은 단일 시계열분석일 경우 $ARIMA(p, d, q)$, 계절변동을 포함할 때는 $ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)S$ 로 표현하게 된다. 이 중 (p, d, q) 는 모델의 비계절 부분을, (P, D, Q) 는 계절 부분을, S 는 계절주기를 나타낸다. 또한, p 와 P 는 비계절적 및 계절적 AR모델의 차수를, q 와 Q 는 비계절적 및 계절적 MA모델의 차수를, d 와 D 는 각각 비계절적 및 계절적 차분차수를 의미한다. ARIMA모델 추정은 시계열 패턴을 반영해 줄 수 있는 차수 p, d, q 혹은 P, D, Q 를 적절히 찾아내는 과정이라고 할 수 있다(최영문·감사헌, 1998). 이러한 개념식을 수학적으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$\phi(B)\Phi(B^s)(1-B^s)^D(1-B)^d\hat{y}_t = \theta(B)\Theta(B^s)e_t, \hat{y}_t = y_t - \mu \quad (1)$$

t =시차

y_t =종속변수 또는 차분변수

μ =종속변수의 평균,

d =비계절적 차분횟수

D =계절적 차분횟수

B =후향연산자

$BX_t = X_{t-1}$

3) 계절분해법

계절분해법은 시계열 데이터의 변동에 영향을 주는 요인별로 분석하는 방식으로 계절조정(seasonal adjustment)의 목적을 갖는다. 이 방법은 계절적 성분을 시계열에서 제거한 후 장기적인 추세를 분석하는 것이다(조신섭 · 손영숙, 1999).

계절분해에는 승법모형이 주로 이용된다. 승법모형은 추세와 순환성분을 정확하게 반영하기 위해서는 계절성분과 불규칙성분이 안정되어야 한다(황경후, 2014). 이러한 전제조건을 만족하지 못할 시 모형성립이 어렵다는 단점이 나타날 수 있다.

시계열자료의 변동에 영향을 주는 것으로는 계절요인, 순환요인, 불규칙요인 등이 있다. 이 중 추세요인은 시계열자료가 갖는 장기적인 변화의 추세 경향을 이야기하며, 순환요인은 일정한 기간을 주기로 변동하는 것을 말한다. 불규칙 요인은 규칙성 없이 예측 불가능하게 우연히 발생하는 변동

요인을 말한다. 계절요인은 계절을 주기로 발생하는 변동요인을 말하며, 계절에 따라 순환하는 특성을 지닌다(이해용, 2003). 계절지수는 추세의 퍼센트로 나타나게 되며, 계절지수를 파악하기 위해서는 일반적으로 이동평균비율법을 이용한다(주일엽 외, 2012).

다. 온실가스의 계절성 분석 방법

생활폐기물소각시설 CO₂ 농도의 계절 특성과 적정 측정주기 분석하기 위해 평균비교 방법을 적용하였으며, 자료의 통계 분석은 SPSS 23 프로그램을 이용하였다.

1) 통계 자료의 평균분포 비교

가) 모수적 검정과 비모수적 검정

우리가 통계 분석을 위해 활용하는 자료는 일반적으로 모집단에서 랜덤하게 추출된 표본이다. 자료에서 얻어지는 정보로 연구 목적에 맞게 모집단에 대해 추론을 하며, 이때 모집단 분포에 대해 가정이 필요하다.

모집단 분포의 형태는 대부분 정규분포를 따른다고 가정하며, 이를 확인하기 위하여 통계적 검정 절차를 진행한다.

통계적 검정 방법은 크게 모수와 비모수 검정으로 나눌 수 있다. 모수적 검정 방법은 모집단이 정규분포하며, 등분산을 가져야 하는 등 엄격한 수준의 기준을 적용하여 가정한다.

비모수적 검정 방법은 분포에 대한 제약을 받지 않으며, 모집단이 정규분포를 이루지 않거나 모집단의 분포를 알지 못할 때 주로 사용한다.

나) 모수적 방법에 의한 평균비교

① 독립표본 T- 검정

독립표본 T- 검정은 모집단의 표준편차를 알지 못하고, 표본 수가 작을 때, 독립인 두 표본 집단을 비교하기 위해 사용된다.

이 방법에서는 귀무가설을 “두 개의 모집단의 평균분포가 같다.” 라고 정의하며, 대립가설을 “두 개의 모집단의 평균분포가 같지 않다.” 라고 정의한다.

두 모집단의 평균분포를 비교할 때 t-검정이 요구하는 가정으로는 두 모집단이 각각 정규분포이며, 추출한 표본들이 서로 독립적이라는 것을 만족하게 해야 한다.

검정하고자 하는 두 모집단을 n_1, n_2 라고 할 때, 독립표본 T-검정에서 검정 통계량은 식 (2) 및 식 (3)와 같이 계산된다.

$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2)$$

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (3)$$

T= 검정통계량

\bar{X}, \bar{Y} = 집단별 표본 평균

s_1^2, s_2^2 = 집단별 표본 분산

s_p^2 = 공통분산의 합동추정량

② One way ANOVA 분석

One way ANOVA 분석은 t-검정을 확장한 개념이다. t-검정에서 두 개의 모집단의 평균분포가 같은지 검정하였던 것과 같이, One way ANOVA 분석은 세 개 이상의 모집단 평균분포가 같은지 검정하는 방법이다(김영주 외 2012).

이 방법에서는 귀무가설을 “세 개의 모집단의 평균분포가 같다.” 라고 정의하며, 대립가설을 “세 개의 모집단의 평균분포가 같지 않다.” 라고 정의한다.

귀무가설을 만족한다면 각 집단 내의 분산은 집단 간의 변동과 거의 같게 되고 모평균과 전체 평균과 같아지게 될 것이다. 집단의 모분산이 같다고 가정할 때 얻어진 각 집단 안 분산 추정치보다 집단 간 분산이 클수록, 모집단의 평균들이 같지 않다는 것을 의미한다.

집단 사이의 변동은 처리 평균제곱합(MSTr)으로 추정할 수 있다. 집단 사이의 변동은 무작위 측정오차에 기인한 것이며 오차 평균 제곱 합으로 추정할 수 있으며, 식 (4), 식 (5), 식 (6)과 같이 계산된다.

$$SSTr = \sum_{i=1}^m n_i (\bar{y}_{ji} - \bar{y})^2 \quad (4)$$

$$SSE = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} n_i (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (5)$$

$$SST = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} n_i (y_{ij} - \bar{y})^2 \quad (6)$$

SSTr= 처리제곱합

SSE= 오차제곱합

SST= 총제곱합

\bar{y}_{ji} = 측정값

\bar{y} = 총 평균

다) 비모수적 방법에 의한 평균 비교

① 윌콕슨순위합 검정

윌콕슨순위합 검정은 두 모집단으로부터 독립된 확률표본을 이용하여 자료의 평균분포가 같이 있는지 각각 다르게 있는지 여부를 검정하기 위해 사용하는 방법이다. 이때, 검정통계량으로 순위합을 이용하기 때문에 윌콕슨순위합 검정이라고 명명되었다.

윌콕슨순위합 검정은 두 개 확률표본의 관측치를 혼합한 다음 작은 것부터 크기 순서로 나열하고 순위를 부여한다. 두 개의 확률표본이 같은 분포로부터 나온 것이면, 표본들의 순위가 고르게 섞여 있어야 한다.

두 확률 표본 중 표본 크기가 작은 그룹의 확률표본에 대응되는 순위합을 검정통계량으로 볼 때, 통계량이 너무 크거나 작으면 두 모집단이 같다는 귀무가설을 기각하는 것이 이 방법론의 기본적인 개념이다.

n 을 두 확률표본 중 크기가 작은 그룹(X 표본 그룹)이라 정의하고 m (Y 표본 그룹)을 크기가 큰 그룹이라고 정의할 때, 윌콕슨순위합 통계량 W_X 는 아래 식 (7)과 같다.

$$W_X = \sum_{i=1}^n R_i \tag{7}$$

W_X = X와Y집단들의 혼합 표본에서 X_i 들의 순위합

R_i = 혼합표본에서 X_i 의 순위 (단, 동점순위인 경우에는 평균순위를 사용한다.)

윌콕슨순위합 통계량 W_Y 는 아래 식 (8)와 같다.

$$W_Y = \frac{(n+m)(n+m+1)}{2} - W_X \quad (8)$$

② 크루스칼-왈리스 (kruskal-wallis) 검정

크루스칼 왈리스 검정은 비모수 표본을 대상으로 사용하며, 세 집단 이상의 평균분포를 비교 할 때 사용한다(김영주 외, 2012). 이 방법은 k개의 독립표본에 대한 비모수 검정이므로 윌콕슨 순위합 검정의 확장 개념으로도 정의 할 수 있다.

모수표본의 평균 비교 방법인 one way ANOVA 검정과 같은 용도로 사용된다.

크루스칼 왈리스 검정에서 귀무가설(H_0)은 “K개 모집단의 분포는 동일하다.” 고 가정하며, 대립가설(H_1)은 “K개 모집단의 분포가 모두 같지 않으며, 오직 위치모수의 차이만 있다.” 라고 가정한다.

검정통계량에서 전체 N개의 자료를 크기 순으로 나열하여 순위를 부여할 때 가장 작은 것은 1, 가장 큰 것은 N, 동점이면 평균 순위를 이용한다. X_{ij} 에 해당하는 순위를 $R(X_{ij})$ 이라 정의할 때, j번째 표본의 순위합 순서 R_j 는 식 (10)과 같다.

$$R_j = \sum_i^{n_j} R(X_{ij}), j = 1, 2, \dots, k \quad (10)$$

크루스칼-왈리스 검정통계량 K는 아래 식(11)과 같다.

$$K = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{1}{n_j} \left[R_j - \frac{n_j(N+1)}{2} \right]^2 = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1) \quad (11)$$

라) 정규성검정

모수적 통계분석은 모집단의 분포를 알고 있다고 가정하고 진행되기 때문에, 분포를 모르는 상황에서 사용하는 비모수 통계분석보다 효율적이라 알려져 있다. 모집단이 정규분포일 때 사용하는 통계분석 방법은 신뢰성과 타당성을 갖는 것으로 알려져 있다.

정규성검정 방법으로는 Chi-square, X^2 검정, Kolmogorov-Smirnov검정, Q-Q plot(quantile-quantile plot), Shapiro-Wilk검정 등이 있다(Boes, 1974; Devor, 1995; Chang et al., 2008; Agrell et al., 2004; Blanco et al., 2003; Lampariello et al., 2000; Razali, 2011). 그 중 Shapiro-Wilk검정과 K-S검정은 모집단 수를 통해 방법이 결정된다. 정규성을 검정할 때, 모집단 수가 2,000개보다 클 때는 K-S검정을 이용하고 2,000개보다 작을 때는 Shapiro-Wilk 검정을 이용한다(Royston, J.P et al., 1982a, Royston, J.P et al., 1982b, Royston, J.P et al., 1982c). 이러한 검정 방법들은 모두 유의확률로 정규성과 비정규성을 검정한다.

정규성검정은 정규분포를 귀무가설로 가정하여 유의확률이 0.05보다 크면 정규분포 하는 것으로 판단하고, 유의확률이 0.05보다 작으면 귀무가설을 기각하여 비정규성으로 판단한다.

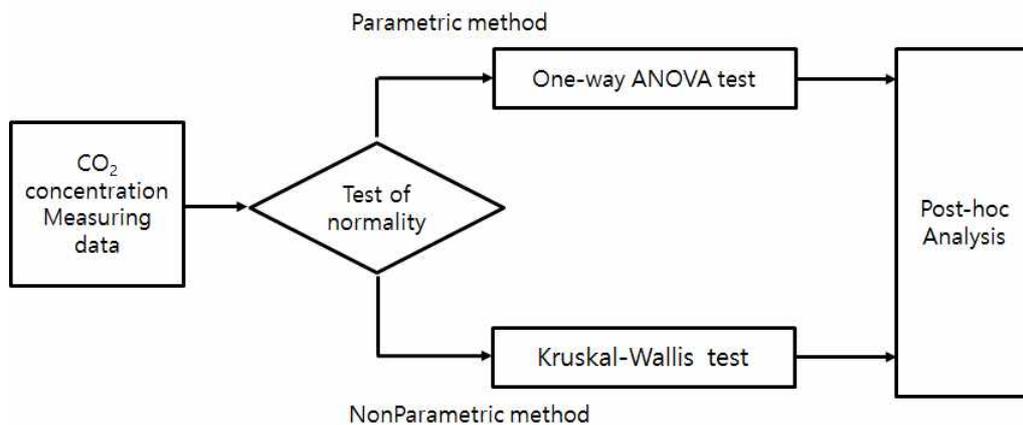
2) 생활폐기물소각시설의 계절 특성 분석방법

온실가스의 계절 특성을 알아보기 위하여 평균분포 비교방법을 사용하였다. CO₂ 농도의 계절 특성은 측정 자료를 봄철(3월 ~ 5월), 여름철(6월 ~ 8월), 가을철(9월 ~ 11월), 겨울철(12월 ~ 2월)로 나눈 후 계절별로 자료의 평균분포 차이를 확인하였다.

평균분포 비교방법은 정규성검정 결과에 따라 달라질 수 있다. CO₂ 농도 자료가 정규분포할 때는 one-way ANOVA 검정을 해야 한다(김영주 외, 2012). 자료가 정규분포하지 않을 때는 비모수 방법 중 세 집단 이상의 집단분포를 비교할 수 있는 Kruskal-Wallis검정을 이용한다(김영주 외, 2012).

본 연구는 계절별 차이에 대해 통계적으로 분석하기 위해 생활폐기물소각 시설 CO₂ 농도 측정 자료의 정규성을 검정하고, 검정 결과에 따라 평균분포 비교방법을 이용하였다.

통계적 접근 방법 절차는 <그림 3-2>에 나타내었다.



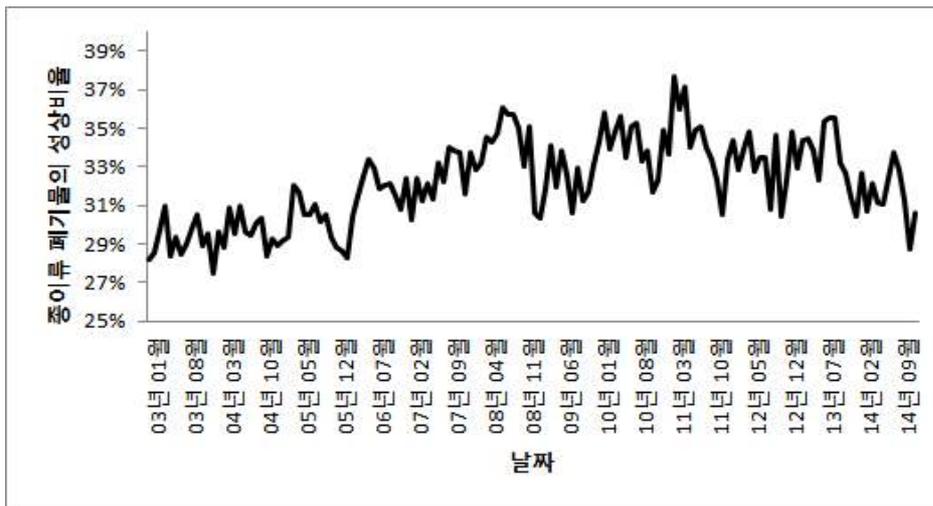
<그림 3-2> 평균비교 통계 절차 모식도

2. 폐기물 성상별 계절요인 분석

폐기물 성상의 계절성을 확인하기 위해 2003년부터 2014년까지 생활폐기물소각시설의 폐기물 성상 통계자료를 이용하였다. 생활폐기물의 계절성을 분석하기 위해 시계열 순차도표를 분석하고, 적합한 시계열 모형을 탐색하였다. 각 성상에 따른 월별 계절요인 분석은 시계열 방법 중 계절분해 방법을 이용하였다.

가. 종이류 폐기물의 계절요인 분석

2003년~2014년의 종이류 폐기물의 시계열 그래프를 <그림 3-3>에 나타내었다. 시계열 그래프는 변동추이가 보이는 것으로 나타났다. 종이류 폐기물은 주기를 가지고 변동성 있게 변하므로 계절성이 있는 것으로 추정하였다.



<그림 3-3> 종이류 폐기물에 대한 시계열 그래프

계절성에 대해 좀 더 명확하게 알아보기 위해, SPSS의 시계열 모형생성을 이용하여 적합모형을 탐색하였다. 시계열 모형생성은 지수평활과 ARIMA

모형 중 적합한 모형을 찾는 방법이다. 이 방법을 통해 선택된 종이류 폐기물의 최적 모형은 ‘단순계절모형’으로 나타났다. 지수평활법에서는 모형을 나타낼 때 비계절모형과 계절모형으로 구분하게 된다. 단순계절모형은 계절모형의 3가지 형태 중 추세가 없고 시간과 관계없이 일정한 계절성이 있는 시계열모형이다.

2003년부터 2014년의 종이류 폐기물 모형 통계량을 <표 3-4>에 나타내었다. 모형의 통계량 중 잔차에 관한 Ljung-Box검정은 유의확률이 0.359로 유의수준 0.05보다 크게 나타나 시계열 모형이 적합한 것을 알 수 있었다. 정상 R^2 값은 0.665로 이 모형에 대하여 66.5%의 설명력을 가지고 있음을 파악할 수 있었다.

<표 3-4> 종이류 폐기물의 모형 통계량(2003 ~ 2014)

통계량					
모형	모형적합 통계량	Ljung-Box Q			이상값 수
	정상 R^2	통계량	자유도	유의확률	
종이류	0.665	17.419	16	0.359	0

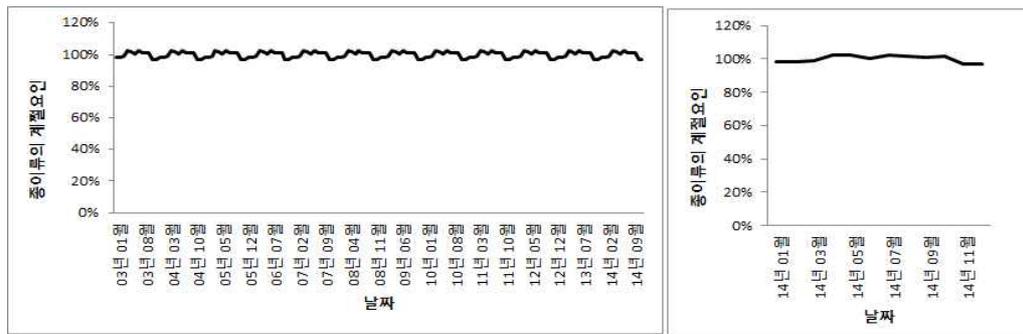
계절분해방법으로는 주로 승법모형이 이용되어 이 방법을 사용하였다. 2003년~2014년 종이류 폐기물의 2014년 계절분해 결과를 <표 3-5>에 나타내었다. 승법모형 검증은 추세요인, 순환요인, 불규칙요인을 곱하여 할 수 있다(주일엽, 2012). 승법모형 검증 결과, 계절분해를 하기 전 종이류의 성장 비율과 일치하였다.

종이류 폐기물의 계절적인 특징은 <그림 3-4>에 나타내었다. 이와 같은 결과를 종합해 볼 때 종이류의 계절요인은 $\pm 3\%$ 이내의 차이를 보였다.

<표 3-5> 종이류 폐기물에 대한 계절분해(2014)

(단위: %)

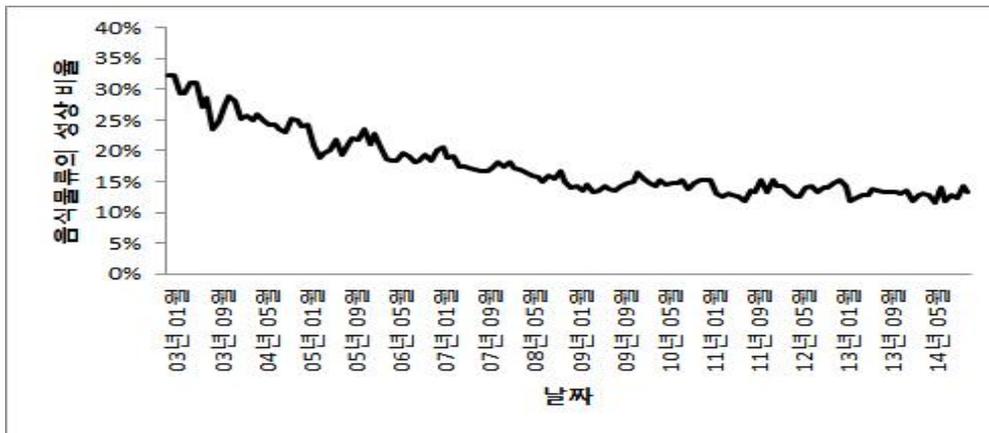
구 분	기존 성상 비율	계절 요인	계절조정 계열	추세순환 요인	불규칙 요인	승법모형 검증
2014년 1월	30.46	98.22	31.01	32.13	0.97	30.46
2014년 2월	32.66	98.06	33.30	31.95	1.04	32.66
2014년 3월	30.67	99.09	30.95	31.53	0.98	30.67
2014년 4월	32.16	102.56	31.36	31.26	1.00	32.16
2014년 5월	31.17	102.05	30.54	31.00	0.99	31.17
2014년 6월	31.10	100.35	30.99	31.35	0.99	31.10
2014년 7월	32.44	102.33	31.70	31.86	1.00	32.44
2014년 8월	33.78	101.36	33.33	32.24	1.03	33.78
2014년 9월	32.84	101.17	32.46	31.90	1.02	32.84
2014년 10월	31.23	101.31	30.83	31.32	0.98	31.23
2014년 11월	28.74	96.63	29.74	30.74	0.97	28.74
2014년 12월	30.65	96.87	31.64	30.45	1.04	30.65



<그림 3-4> 종이류 폐기물에 대한 계절요인

나. 음식물류 폐기물의 계절요인 분석

2003년~2014년 음식물류 폐기물의 시계열 그래프를 <그림 3-5>에 나타내었다. 음식물류 폐기물 시계열 그래프는 변동추이가 보이는 것으로 나타났다. 음식물류 폐기물은 주기를 가지고 변동성 있게 변하므로 계절성을 보이는 것으로 추정하였다. 음식물류 폐기물은 2003년 이후 점점 줄어듦다 2010년 이후 안정된 추세를 보이고 있다. 이는 폐기물관리법 시행규칙에 따라 2005년 이후 음식물류 폐기물에 대해 분리배출을 시작했기 때문인 것으로 판단된다.



<그림 3-5> 음식물류 폐기물에 대한 시계열 그래프

음식물류 폐기물의 계절성을 알아보기 위해 시계열 모형생성에 근거하여 적합모형을 탐색하였다. 적합모형 탐색 결과, 음식물 폐기물에 대한 최적 모형은 ‘Winters가법모형’으로 나타났다. Winters가법모형은 선형추세이고 계절성이 있는 시계열 모형으로 시계열 변동의 폭이 시간이 지남에 관계없이 일정하게 유지되는 특징이 있다.

2003년~2014년 음식물류 폐기물의 모형 통계량을 <표 3-6>에 나타내었다. 모형의 통계량으로 잔차에 관한 Ljung-Box검정은 유의확률 0.376으로 유의

수준 0.05보다 크게 나타나 시계열 모형이 적합한 것을 알 수 있었다. 정상 R^2 값은 0.670으로 해당 모형 설명력이 67.0%라는 것을 파악할 수 있었다.

<표 3-6> 음식물류 폐기물의 모형 통계량(2003 ~ 2014)

통계량					
모형	모형적합 통계량	Ljung-Box Q			이상값 수
	정상 R^2	통계량	자유도	유의확률	
음식물	0.670	16.094	15	0.376	0

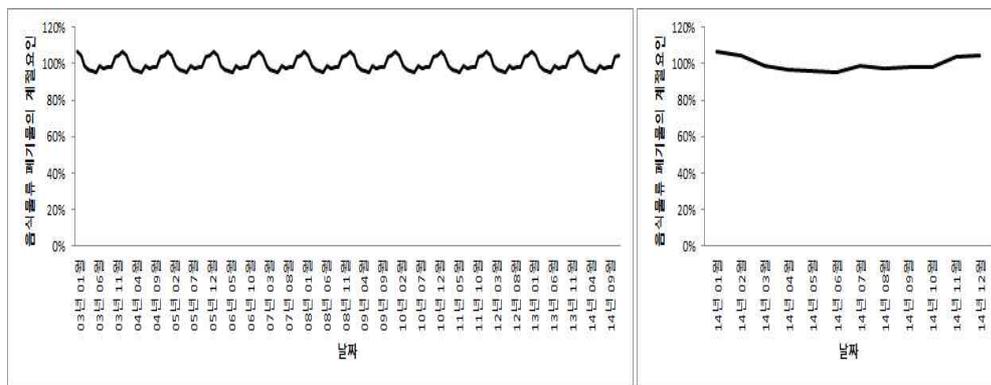
2003년~2014년의 음식물류 폐기물 자료를 계절분해 하고 그 중 2014년 결과를 <표 3-7>에 나타내었다. 승법모형 검증 결과, 계절분해를 하기 전 음식물류의 정상 비율과 일부 차이가 있는 것으로 나타났다. 음식물류 폐기물의 계절적 특징은 <그림 3-6>에 나타내었다.

이와 같은 결과를 종합해 볼 때, 음식물류 폐기물의 계절요인에 대한 전체적인 차이는 약 $\pm 7\%$ 이내로 나타났다.

<표 3-7> 음식물류 폐기물에 대한 계절분해(2014)

(단위: %)

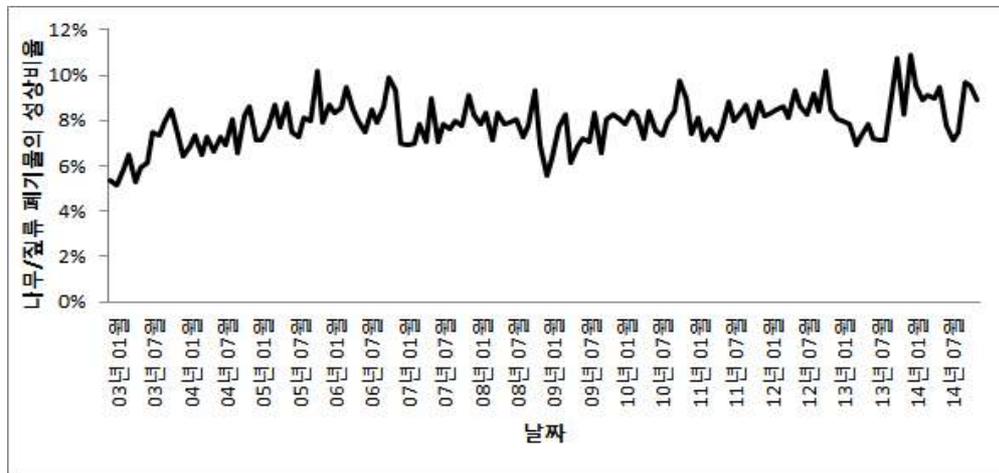
구 분	기존 정상 비율	계절 요인	계절조정 계열	추세순환 요인	불규칙 요인	승법모형 검증
2014년 1월	13.45	106.68	12.61	12.35	0.97	12.78
2014년 2월	11.77	104.91	11.22	12.33	1.01	13.06
2014년 3월	12.85	98.66	13.02	12.73	0.99	12.39
2014년 4월	13.09	96.89	13.51	12.98	1.03	12.97
2014년 5월	12.9	96.31	13.39	13.19	0.97	12.33
2014년 6월	11.59	95.06	12.19	13.01	1.01	12.43
2014년 7월	13.97	99.21	14.08	13.01	0.98	12.69
2014년 8월	11.80	97.71	12.08	12.77	1.01	12.54
2014년 9월	12.73	98.27	12.95	12.86	1.01	12.72
2014년10월	12.25	98.42	12.45	12.85	0.99	12.56
2014년11월	14.23	103.62	13.73	13.00	1.00	13.44
2014년12월	13.38	104.26	12.83	13.08	1.01	13.83



<그림 3-6> 음식물 폐기물에 대한 계절요인

다. 나무/짚류 폐기물의 계절요인 분석

2003년~2014년 나무/짚류 폐기물의 시계열 그래프를 <그림 3-7>에 나타내었다. 나무/짚류 폐기물 시계열 그래프는 변동추이가 보이는 것으로 나타났으며, 어느 정도 주기를 가지고 변동성 있게 변하므로 계절성을 보이는 것으로 추정하였다.



<그림 3-7> 나무/짚류 폐기물에 대한 시계열 그래프

나무/짚류 폐기물의 계절성을 알아보기 위해 시계열 모형생성에 근거하여 적합모형을 탐색하였다. 적합모형 탐색 결과, 나무/짚류 폐기물에 대한 최적 모형은 ‘단순계절모형’으로 나타났다.

2003년~2014년 나무/짚류 폐기물의 모형 통계량을 <표 3-8>에 나타내었다. 모형 통계량 중 잔차에 관한 Ljung-Box검정은 유의확률 0.589로 유의수준 0.05보다 크게 나타나 시계열 모형이 적합한 것을 알 수 있었다. 정상 R^2 값은 0.699로 해당 모형에 대한 설명력이 69.9%라는 것을 파악할 수 있었다.

<표 3-8> 나무/짚류 폐기물의 모형 통계량(2003 ~ 2014)

통계량					
모형	모형적합 통계량	Ljung-Box Q			이상값 수
	정상 R ²	통계량	자유도	유의확률	
나무/짚	0.699	14.130	16	0.589	0

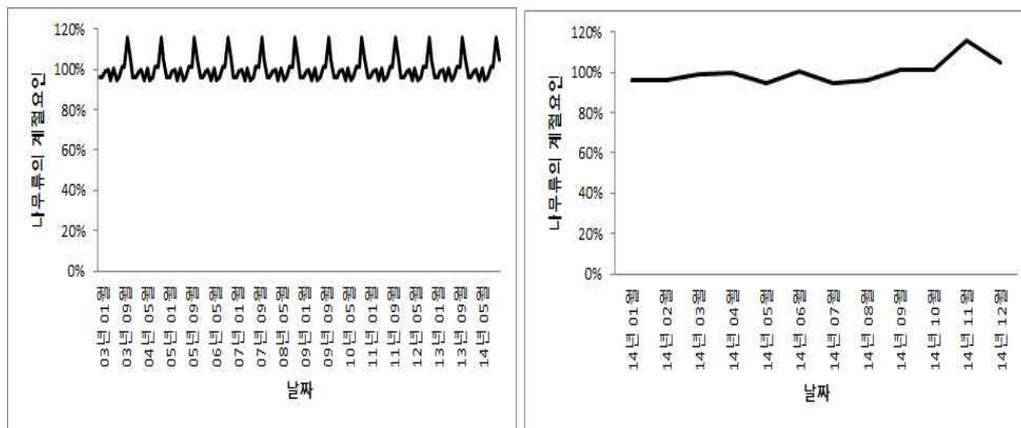
2003년~2014년 나무/짚류 폐기물 자료를 계절분해 하고 그 중 2014년 결과를 <표 3-9>에 나타내었다, 승법모형 검증 결과, 계절분해를 하기 전 나무/짚류의 성장 비율과 같은 것으로 나타났다. 나무/짚류 폐기물의 계절적인 특징은 <그림 3-8>에 나타내었다.

이와 같은 결과를 종합해 볼 때, 나무/짚류 폐기물의 계절요인은 11월(116.0%)이 가장 높게 나타났으며, 11월(16%)을 제외하고는 약 ±4% 이내의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 11월이 늦가을철에 해당하여 낙엽들이 많이 쌓여 있기 때문으로 판단된다.

<표 3-9> 나무/짚류 폐기물에 대한 계절분해(2014)

(단위: %)

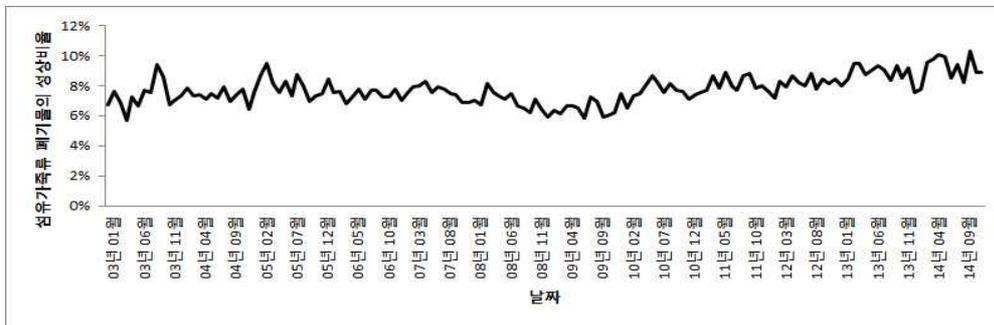
구 분	기존 정상 비율	계절 요인	계절조정 계열	추세순환 요인	불규칙 요인	승법모형 검증
2014년 1월	10.86	96.08	11.30	9.75	1.16	10.86
2014년 2월	9.51	96.37	9.87	9.69	1.02	9.51
2014년 3월	8.92	99.31	8.98	9.53	0.94	8.92
2014년 4월	9.14	99.99	9.14	9.30	0.98	9.14
2014년 5월	8.96	94.46	9.49	9.20	1.03	8.96
2014년 6월	9.49	100.53	9.44	8.91	1.06	9.49
2014년 7월	7.75	94.60	8.19	8.35	0.98	7.75
2014년 8월	7.12	96.28	7.39	8.05	0.92	7.12
2014년 9월	7.49	101.09	7.41	8.08	0.92	7.49
2014년10월	9.71	101.00	9.61	8.45	1.14	9.71
2014년11월	9.52	115.59	8.24	8.78	0.94	9.52
2014년12월	8.89	104.70	8.49	8.95	0.95	8.89



<그림 3-8> 나무/짚류 폐기물에 대한 계절요인

라. 섬유/가죽류 폐기물의 계절요인 분석

2003년~2014년 섬유/가죽류 폐기물의 시계열 그래프를 <그림 3-9>에 나타내었다. 시계열 그래프는 변동추이가 보이는 것으로 나타났다. 섬유/가죽류 폐기물의 어느 정도 주기를 가지고 변동성 있게 변하므로 계절성을 보이는 것으로 추정할 수 있었다.



<그림 3-9> 섬유/가죽류 폐기물에 대한 시계열 그래프

섬유/가죽류 폐기물의 계절성을 알아보기 위해 시계열 모형생성에 근거하여 적합모형을 탐색하였다. 적합모형 탐색 결과, 섬유/가죽류 폐기물에 대한 최적 모형은 ‘단순계절모형’으로 나타났다.

2003년~2014년 섬유/가죽류 폐기물의 모형 통계량을 <표 3-10>에 나타내었다. 모형의 통계량 중 잔차에 관한 Ljung-Box검정은 유의확률이 0.612로 유의수준 0.05보다 크게 나타나 시계열 모형이 적합한 것을 알 수 있었다.

정상 R^2 값은 0.665로 해당 모형에 대한 설명력이 66.5%라는 것을 파악할 수 있었다.

<표 3-10> 섬유/가죽류 폐기물의 모형 통계량(2003 ~ 2014)

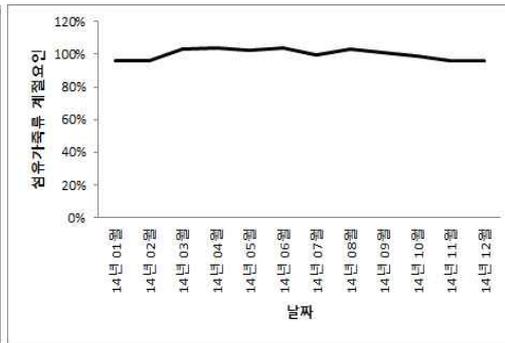
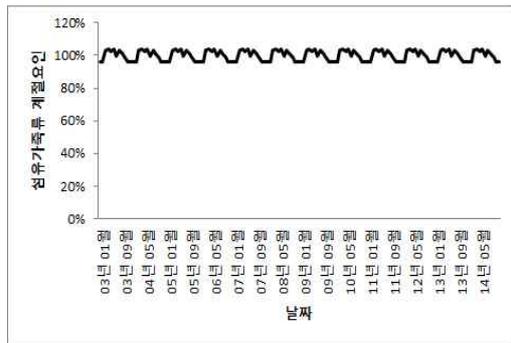
통계량					
모형	모형적합 통계량	Ljung-Box Q			이상값 수
	정상 R ²	통계량	자유도	유의확률	
섬유/가죽	0.665	13.828	16	0.612	0

2003년~2014년 섬유/가죽류 폐기물 자료를 계절분해하고 그 중 2014년의 결과를 <표 3-11>에 나타내었다. 승법모형 검증 결과, 계절분해를 하기 전 섬유/가죽류의 성장 비율과 같은 것으로 나타났다. 섬유/가죽류 폐기물의 계절적인 특징은 <그림 3-10>에 나타내었다. 이와 같은 결과를 종합해 볼 때 계절요인에 대한 전체적인 차이는 약 ±4% 이내로 나타났다.

<표 3-11> 섬유/가죽류에 대한 계절분해(2014)

(단위: %)

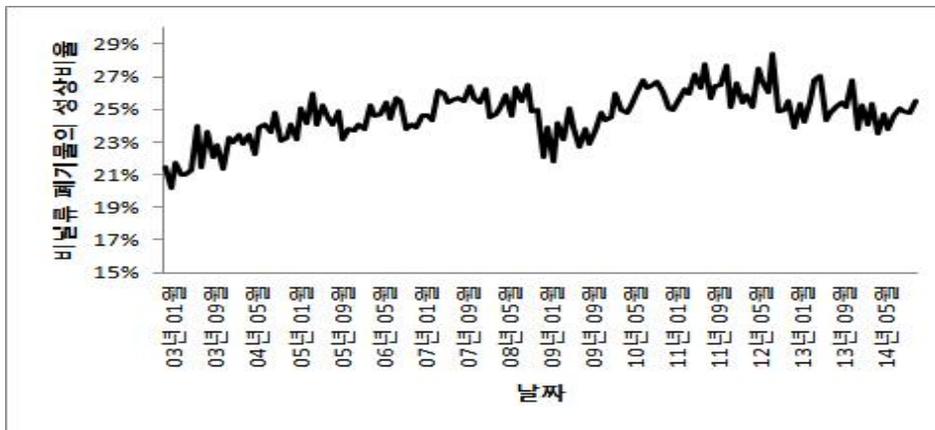
구 분	기존 성장 비율	계절 요인	계절조정 계열	추세순환 요인	불규칙 요인	승법모형 검증
2014년 1월	7.55	95.74	7.89	8.56	0.92	7.55
2014년 2월	7.79	96.11	8.11	8.61	0.94	7.79
2014년 3월	9.53	103.35	9.22	8.94	1.03	9.53
2014년 4월	9.78	103.56	9.44	9.34	1.01	9.78
2014년 5월	10.06	102.57	9.81	9.47	1.04	10.06
2014년 6월	9.95	104.08	9.56	9.33	1.02	9.95
2014년 7월	8.54	99.70	8.57	8.99	0.95	8.54
2014년 8월	9.39	103.43	9.08	8.96	1.01	9.39
2014년 9월	8.20	100.81	8.13	9.02	0.90	8.20
2014년10월	10.29	98.87	10.41	9.37	1.11	10.29
2014년11월	8.87	95.97	9.24	9.64	0.96	8.87
2014년12월	8.89	95.82	9.28	9.78	0.95	8.89



<그림 3-10> 섬유/가죽류 폐기물에 대한 계절요인

마. 비닐/플라스틱류의 계절요인 분석

2003년~2014년까지 발생한 비닐/플라스틱류 폐기물의 시계열 그래프를 <그림 3-11>에 나타내었다. 시계열 그래프는 변동추이가 보이는 것으로 나타났다. 비닐/플라스틱류 폐기물은 어느 정도 주기를 가지고 변동성 있게 변하므로 계절성을 보이는 것으로 추정할 수 있었다.



<그림 3-11> 비닐/플라스틱류 폐기물에 대한 시계열 그래프

비닐/플라스틱류 폐기물의 계절성을 알아보기 위해 시계열 모형생성에 근거하여 적합모형을 탐색하였다. 적합모형 탐색 결과, 비닐/플라스틱류 폐기물에 대한 최적 모형은 ‘단순계절모형’으로 나타났지만, 모형 통계량 중 잔차에 관한 Ljung-Box의 검정의 유의 확률이 0.05보다 낮게 나타났다. 이는 백색잡음항⁶⁾이 존재한다는 의미로 잔차의 독립성을 만족하게 하지 못하기 때문에 자료의 안정화 과정이 필요하다.

자료의 안정화를 위해 차분을 하는 방법을 선택하였으며, 앞선 적합모형 탐색에서 단순계절모형이 채택되었기 때문에 계절차분을 하고 적합모형을

6) 시계열 자료의 영향을 받는 요인

재 탐색하였다. 적합모형 재 탐색 결과, ‘ARIMA(1,0,0)(0,0,0)’ 모형이 채택되었다. ARIMA(p, d, q)(P, D, Q) 모형에서 ‘ARIMA(1,0,0)(0,0,0)’은 비계절 자기회귀 p=1, 차분 d=0, 이동평균 q=0, 계절 자기회귀 P=0, 차분 D=0, 이동평균 Q=0을 의미한다.

2003년~2014년 비닐/플라스틱류 폐기물의 모형 통계량을 <표 3-12>에 나타내었다. 모형의 통계량 중 잔차에 관한 Ljung-Box검정은 유의확률 0.108로 유의수준 0.05보다 크게 나타나 시계열 모형이 적합한 것을 알 수 있었다. 정상 R² 값은 0.398로 해당 모형에 대한 설명력이 39.8%라는 것을 파악할 수 있었다

<표 3-12> 비닐/플라스틱류 폐기물의 모형 통계량(2003 ~ 2014)

통계량					
모형	모형적합 통계량	Ljung-Box Q			이상값 수
	정상 R ²	통계량	자유도	유의확률	
비닐/플라스틱	0.398	24.448	17	0.108	0

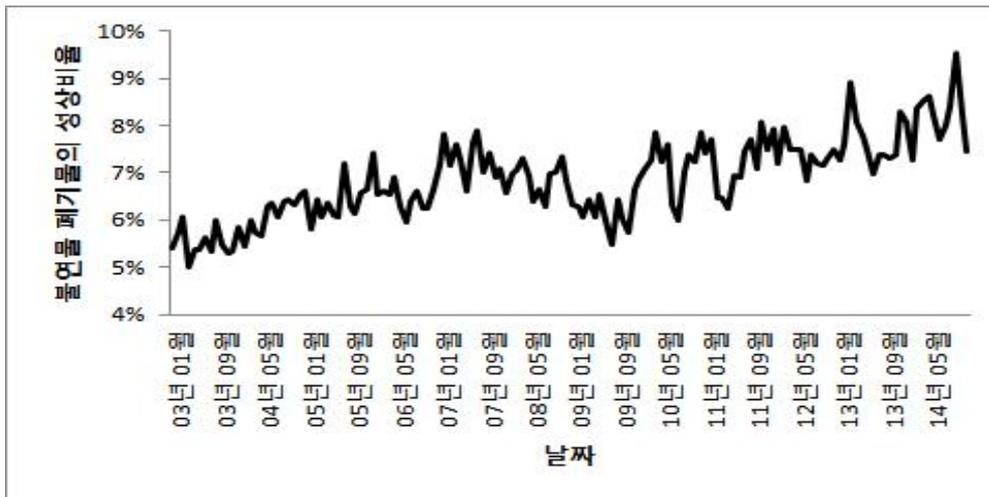
비닐/플라스틱류 폐기물의 시계열 모형모수를 <표 3-13>에 나타내었다. 추정값은 자기회귀(AR, Auto Regressive) 시차 1 일 때 -0.632로 나타났다. 추정된 계수에 대한 t-통계량은 절대값이 ‘2.0’보다 크면 통계적으로 유의하다(한광중, 2014). 따라서, 본 연구의 모형도 통계적으로 유의하다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 비닐/플라스틱류 폐기물의 시계열 적합모형은 ‘ARIMA(1,0,0)(0,0,0)’로 계절성이 없는 것으로 판단할 수 있었다.

<표 3-13> 비닐/플라스틱류 폐기물의 ARIMA 모형모수

			추정값	SE	t	유의확률
비닐/플라스틱	AR	시차 1	-0.632	0.065	-9.753	<0.0001

바. 불연물 폐기물의 계절요인 분석

2003년~2014년 불연물 폐기물의 시계열 그래프를 <그림 3-12>에 나타내었다. 시계열 그래프는 변동추이가 보이는 것으로 나타났다. 불연물 폐기물은 주기를 가지고 변동성 있게 변하므로 계절성을 보이는 것으로 추정하였다.



<그림 3-12> 불연물 폐기물에 대한 시계열 그래프

불연물 폐기물에 대한 계절성을 알아보기 위해 시계열 모형생성에 근거하여 적합모형을 탐색하였다. 적합모형 탐색 결과, 불연물 폐기물에 대한 최적 모형은 ‘단순계절모형’으로 나타났다.

2003년~2014년 불연물 폐기물의 모형 통계량을 <표 3-14>에 나타내었다.

모형의 통계량 중 잔차에 관한 Ljung-Box검정은 유의확률 0.315로 유의수준 0.05보다 크게 나타나 시계열 모형이 적합한 것을 알 수 있었다. 정상 R^2 값은 0.513으로 해당 모형에 대한 설명력이 51.3%라는 것을 파악할 수 있었다.

<표 3-14> 불연물 폐기물의 모형 통계량(2003 ~ 2014)

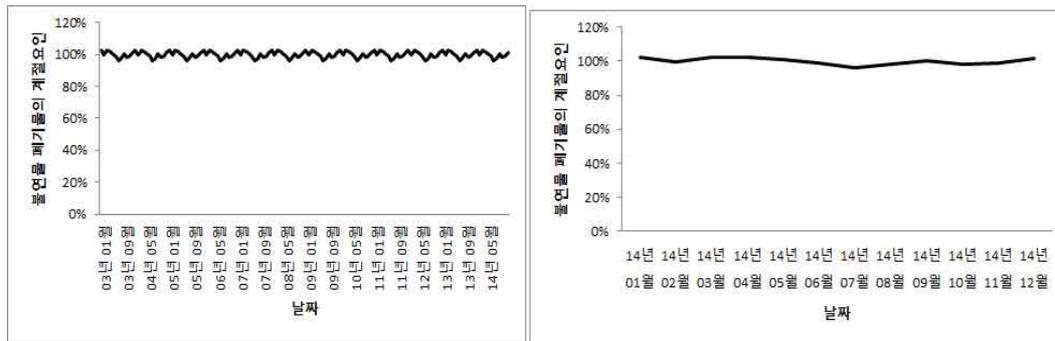
통계량					
모형	모형적합 통계량	Ljung-Box Q			이상값 수
	정상 R^2	통계량	자유도	유의확률	
불연물	0.513	18.153	16	0.315	0

2003년~2014년 불연물 폐기물의 계절분해를 하였으며, 그 중 2014년의 결과를 <표 3-15>에 나타내었다. 승법모형 검증 결과, 계절분해를 하기 전 불연물의 정상 비율과 같은 것으로 나타났다. 불연물 폐기물 성상의 계절적인 특징은 <그림 3-13>에 나타내었다. 이와 같은 결과를 종합해 볼 때 계절요인에 대한 전체적인 차이는 약 $\pm 4\%$ 이내로 나타났다.

<표 3-15> 불연물 폐기물에 대한 계절분해(2014)

(단위: %)

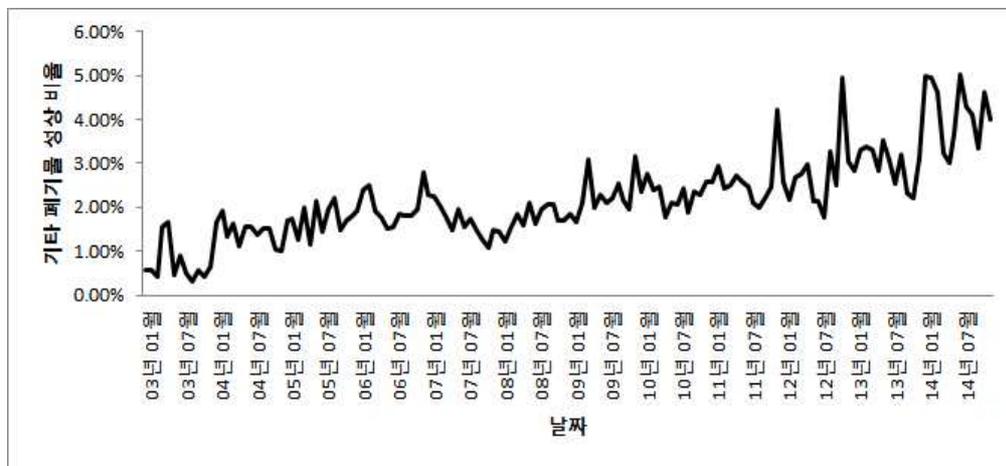
구 분	기존 정상 비율	계절 요인	계절조정 계열	추세순환 요인	불규칙 요인	승법모형 검증
2014년 1월	8.08	102.69	7.87	7.80	1.01	8.08
2014년 2월	7.26	99.53	7.29	7.83	0.93	7.26
2014년 3월	8.37	102.48	8.17	8.02	1.02	8.37
2014년 4월	8.50	102.19	8.32	8.22	1.01	8.50
2014년 5월	8.63	100.81	8.56	8.35	1.03	8.63
2014년 6월	8.22	98.99	8.30	8.28	1.00	8.22
2014년 7월	7.70	96.09	8.01	8.21	0.98	7.70
2014년 8월	7.99	97.94	8.16	8.36	0.98	7.99
2014년 9월	8.39	100.40	8.36	8.57	0.98	8.39
2014년 10월	9.55	98.46	9.70	8.66	1.12	9.55
2014년 11월	8.23	99.00	8.31	8.45	0.98	8.23
2014년 12월	7.45	101.41	7.35	8.35	0.88	7.45



<그림 3-13> 불연물 폐기물의 계절요인

사. 기타폐기물의 계절요인 분석

2003년~2014년 기타 폐기물의 시계열 그래프를 <그림 3-14>에 나타내었다. 시계열 그래프는 평균이 일정하지 않게 나타났기 때문에 계절은 변동추이가 보이는 것으로 나타났다. 기타폐기물은 어느 정도 주기를 가지고 변동성 있게 변하므로 계절성을 보이는 것으로 추정할 수 있었다.



<그림 3-14> 기타 폐기물에 대한 시계열 그래프

기타폐기물에 대한 계절성을 알아보기 위해 시계열 모형생성에 근거하여 적합모형을 탐색하였다. 적합모형 탐색 결과, 기타 폐기물에 대한 최적 모형은 ‘단순계절모형’으로 나타났지만, 모형 통계량 중 잔차에 관한 Ljung-Box의 검정의 유의 확률이 유의수준 0.05보다 낮게 나타나 자료의 안정화를 위해 차분 하였다. 차분은 앞선 기타 폐기물의 모형탐색에서 단순계절모형으로 채택되었기 때문에 계절차분을 하고, 다시 모형을 탐색하였다. 모형을 재 탐색한 결과, 적합모형은 ‘ARIMA(0,0,3)(0,0,0)’ 모형으로 나타났다. ARIMA(p, d, q)(P, D, Q) 모형에서 ‘ARIMA(0,0,3)(0,0,0)’은 비계절 자기회귀 p=0, 차분 d=0, 이동평균 q=3, 계절 자기회귀 P=0, 차분 D=0, 이동

평균 Q=0을 의미한다.

2003년~2014년 기타폐기물의 모형 통계량을 <표 3-16>에 나타내었다. 모형의 통계량 중 잔차에 관한 Ljung-Box검정은 유의확률 0.384로 유의수준 0.05보다 크게 나타나 시계열 모형이 적합한 것을 알 수 있었다. 정상 R² 값은 0.303으로 해당 모형에 대한 설명력이 30.3%라는 것을 파악할 수 있었다.

<표 3-16> 기타 폐기물의 모형 통계량(2003~2014)

모형 통계량					
모형	모형적합 통계량	Ljung-Box Q			이상값 수
	정상 R 제곱	통계량	자유도	유의확률	
기타	0.303	17.021	16	0.384	0

기타 폐기물의 시계열 모형모수를 <표 3-17>에 나타내었다. 추정값은 상수항 0.022, 이동평균(MA, Moving Average) 시차 1일 때 0.644, 시차 3일 때 0.237로 나타났다. 추정된 계수들에 대한 t-통계량의 절대값들이 모두 '2.0'보다 크기 때문에 통계적으로 유의하다는 것을 파악할 수 있었다. 따라서, 기타 폐기물의 시계열 적합모형은 'ARIMA(0,0,3)(0,0,0)'로 계절성이 없는 것으로 판단할 수 있었다.

<표 3-17> 기타 폐기물의 ARIMA 모형모수

		추정값	SE	t	유의확률	
기타	상수항	0.022	0.006	3.749	0.000	
	MA	시차 1	0.644	0.068	9.539	0.000
		시차 3	0.237	0.069	3.437	0.001

아. 생활폐기물소각시설 폐기물 성상의 계절성

생활폐기물소각시설과 관련한 성상별 계절성 분석 결과, 종이류, 나무/짚류, 섬유/가죽류, 불연물 폐기물의 자료들은 추세가 없고 시간과 관계없이 일정한 계절성이 있는 시계열에 해당하는 ‘단순계절모형’으로 나타났다.

음식물류 폐기물은 선형추세이고 계절성이 있는 ‘Winters가법모형’으로 나타났다.

비닐/플라스틱류 폐기물의 적합모형은 ‘ARIMA(1,0,0)(0,0,0)’으로 계절성이 없는 것으로 나타났으며, 기타 폐기물도 ‘ARIMA(0,0,3)(0,0,0)’로 계절성이 없는 것으로 나타났다.

폐기물 성상의 시계열자료 중 계절성이 있는 폐기물에 대해서는 계절분해를 통해 계절요인을 분석하였다. 분석결과, 폐기물 성상별 계절요인은 종이류, 섬유/가죽류, 불연물 폐기물은 크고 작음의 차이는 있으나 $\pm 7\%$ 이내의 차이를 보였다.

나무/짚류 폐기물의 계절요인의 차이는 최대 16%로 나타나 종이류, 섬유/가죽류, 불연물 폐기물 보다 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 11월이 늦가을이기 때문에 나무/짚류 폐기물의 발생량이 높은 것으로 판단할 수 있었다.

우리나라 생활폐기물소각시설의 2003년~2014년 폐기물 성상별 계절성을 살펴보았을 때, 비닐/플라스틱류와 기타폐기물을 제외하고는 계절적인 특성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

3. 온실가스의 계절성 분석

가. 생활폐기물소각시설의 계절별 CO₂ 농도 특성

생활폐기물소각시설의 계절별 CO₂ 농도 특성을 알아보기 위해 배출 특성을 분석하고, 정규성을 검정하였다. 계절별 CO₂ 농도 자료의 표본 수가 2,000개보다 크기 때문에 K-S검정 방법으로 정규성을 검정하였다.

1) 생활폐기물소각시설의 봄철 CO₂ 농도 특성

생활폐기물소각시설의 봄철 CO₂ 농도 특성을 <표 3-18>에 나타내었다. A 생활폐기물소각시설의 봄철 CO₂ 농도는 평균 7.22%이며, 최소값 3.32%, 최대값 7.62%, 표준편차 0.38%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 봄철 CO₂ 농도는 평균 9.99%이며, 최소값 6.55%, 최대값 12.26%, 표준편차 0.61%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 봄철 CO₂ 농도는 평균 9.13%, 최소값 6.07%, 최대값 11.16%, 표준편차 0.71%로 분석되었다.

봄철 CO₂ 농도 중 B생활폐기물소각시설의 평균 CO₂ 농도가 9.99%로 가장 높게 나타났고, C생활폐기물소각시설 9.13%, A생활폐기물소각시설 7.22% 순으로 나타났다.

<표 3-18> 대상 생활폐기물소각시설의 봄철 CO₂ 농도 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	3.32	6.55	6.07
최대값	7.62	12.26	11.16
평균	7.22	9.99	9.13
표준편차	0.38	0.61	0.71
중위수	7.22	10.03	9.14

봄철 CO₂ 농도의 K-S검정 결과를 <표 3-19>에 나타내었다. K-S검정 결과, A, B, C생활폐기물소각시설모두 유의확률(p-value)이 0.05보다 작게 나타나 비정규분포임을 알 수 있었다. 이는 A~C생활폐기물소각시설의 봄철 CO₂ 농도를 통계적으로 분석하려면 비모수 방법으로 분석해야 한다는 것을 의미한다.

<표 3-19> 대상 생활폐기물소각시설의 봄철 CO₂ 농도 정규성검정 결과

구분	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물 소각시설	0.043	4372	<0.0001	0.827	4372	<0.0001
B생활폐기물 소각시설	0.241	3793	<0.0001	0.761	3793	<0.0001
C생활폐기물 소각시설	0.087	3780	<0.0001	0.870	3780	<0.0001

2) 생활폐기물소각시설의 여름철 CO₂ 농도 특성

생활폐기물소각시설의 여름철 CO₂ 농도 특성을 <표 3-20>에 나타내었다.

A생활폐기물소각시설의 여름철 CO₂ 농도는 평균 7.07%이며, 최소값 3.32%, 최대값 7.45%, 표준편차 0.69%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 여름철 CO₂ 농도는 평균 10.01%이며, 최소값 6.71%, 최대값 12.43%, 표준편차 0.99%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 여름철 CO₂ 농도는 평균 9.91%이며, 최소값 6.07%, 최대값 13.27%, 표준편차 0.99%로 분석되었다.

여름철 CO₂ 농도 중 B생활폐기물소각시설의 평균 CO₂ 농도가 9.91% 로 가장 높게 나타났고, C생활폐기물소각시설 7.15%, A생활폐기물소각시설 7.07% 순으로 나타났다.

<표 3-20> 대상 생활폐기물소각시설의 여름철 CO₂ 농도 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	3.32	6.71	6.07
최대값	7.45	12.43	13.27
평균	7.07	10.01	9.91
표준편차	0.69	0.99	0.99
중위수	7.10	10.09	9.91

여름철 CO₂ 농도의 K-S검정 결과를 <표 3-21>에 나타내었다. K-S검정 결과, A~C생활폐기물소각시설모두 유의확률(p-value)이 0.05보다 작게 나타나 비정규분포임을 알 수 있었다. 이는 A~C생활폐기물소각시설의 봄철 CO₂ 농도를 통계적으로 분석하려면 비모수 방법으로 분석해야 한다는 것을 의미한다.

〈표 3-21〉 대상 생활폐기물소각시설의 여름철 CO₂ 농도 정규성검정 결과

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물 소각시설	0.302	3790	<0.0001	0.326	3790	<0.0001
B생활폐기물 소각시설	0.051	4306	<0.0001	0.910	4306	<0.0001
C생활폐기물 소각시설	0.027	4396	<0.0001	0.991	4396	<0.0001

3) 생활폐기물소각시설의 가을철 CO₂ 농도 특성

생활폐기물소각시설의 가을철 CO₂ 농도 특성을 〈표 3-22〉에 나타내었다. A생활폐기물소각시설의 가을철 CO₂ 농도는 평균 7.15%이며, 최소값 4.43%, 최대값 7.59%, 표준편차 0.42%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 가을철 CO₂ 농도는 과 같이 평균 9.94% 이며, 최소값 6.10%, 최대값 13.38%, 표준편차 1.24%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 가을철 CO₂ 농도는 평균 9.64% 이며, 최소값 6.46%, 최대값 12.06%, 표준편차 0.91%로 분석되었다. 가을철 CO₂ 농도 중 B생활폐기물소각시설의 평균 CO₂ 농도가 9.94% 로 가장 높게 나타났고, C생활폐기물소각시설 9.64%, A생활폐기물소각시설 7.15% 순으로 나타났다.

〈표 3-22〉 대상 생활폐기물소각시설의 가을철 CO₂ 농도 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	4.43	6.10	6.46
최대값	7.59	13.38	12.06
평균	7.15	9.94	9.64
표준편차	0.42	1.24	0.91
중위수	7.16	10.09	9.68

가을철 CO₂ 농도의 K-S 정규성검정 결과를 〈표 3-23〉에 나타내었다. K-S 검정 결과, 유의확률(p-value)이 0.05보다 작아 비정규분포임을 알 수 있었다. 이는 A, B, C생활폐기물소각시설의 가을철 CO₂ 농도를 통계적으로 분석하려면 비모수 방법으로 분석해야 한다는 것을 의미한다.

〈표 3-23〉 대상 생활폐기물소각시설의 가을철 CO₂ 농도 정규성검정 결과

구분	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물 소각시설	0.073	3648	<0.0001	0.862	3648	<0.0001
B생활폐기물 소각시설	0.062	3734	<0.0001	0.989	3734	<0.0001
C생활폐기물 소각시설	0.021	3719	0.001	0.994	3719	<0.0001

4) 생활폐기물소각시설의 겨울철 CO₂ 농도 특성

생활폐기물소각시설의 겨울철 CO₂ 농도 특성을 <표 3-24>에 나타내었다. A생활폐기물소각시설의 겨울철 CO₂ 농도는 평균 7.35%이며, 최소값 5.52%, 최대값 7.77%, 표준편차 0.22%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 겨울철 CO₂ 농도는 평균 11.06%이며, 최소값 6.72%, 최대값 14.35%, 표준편차 0.98%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 겨울철 CO₂ 농도는 평균 9.38%이며, 최소값 6.58%, 최대값 14.56%, 표준편차 1.41%로 분석되었다. 겨울철 CO₂ 농도 중 B생활폐기물소각시설의 평균 CO₂ 농도가 11.06% 로 가장 높게 나타났고, C생활폐기물소각시설 9.38%, A생활폐기물소각시설 7.35% 순으로 나타났다.

<표 3-24> 대상 생활폐기물소각시설의 겨울철 CO₂ 농도 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	5.52	6.72	6.58
최대값	7.77	14.35	14.56
평균	7.35	11.06	9.38
표준편차	0.22	0.98	1.41
중위수	7.35	11.32	9.38

겨울철 CO₂ 농도의 K-S검정 결과를 <표 3-25>에 나타내었다. K-S검정 결과, 유의확률(p-value)이 0.05보다 작아 비정규분포임을 알 수 있었다. 이는 A~C생활폐기물소각시설의 겨울철 CO₂ 농도를 통계적으로 분석하려면 비모수 방법으로 분석해야 한다는 것을 의미한다.

<표 3-25> 대상 생활폐기물소각시설의 겨울철 CO₂ 농도 정규성검정 결과

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물 소각시설	0.124	4320	<0.0001	0.853	4320	<0.0001
B생활폐기물 소각시설	0.183	4320	<0.0001	0.942	4320	<0.0001
C생활폐기물 소각시설	0.175	4320	<0.0001	0.849	4320	<0.0001

나. 생활폐기물소각시설의 계절별 CO₂ 농도 평균분포 비교

본 연구에서는 계절에 따른 CO₂ 농도 자료의 특성을 알아보기 위하여, 측정 자료의 정규성을 검정하였다. CO₂ 농도 측정 자료는 표본 수가 2,000개보다 많으므로 K-S검정 방법으로 정규성을 검정하였다.

K-S검정 결과, <표 3-26>과 같이 A~C생활폐기물소각시설의 계절별 자료가 모두 비정규성인 것으로 나타났다. 따라서, 계절별 CO₂ 농도의 평균분포 차이를 알아보기 위하여 비모수검정 방법 중 Kruskal-Wallis검정을 이용하였다.

<표 3-26> 대상소각시설의 계절별 CO₂ 농도 정규성검정 결과

정규성검정 결과		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물 소각시설	봄	0.043	4372	<0.0001	0.827	4372	<0.0001
	여름	0.302	3790	<0.0001	0.326	3790	<0.0001
	가을	0.302	3790	<0.0001	0.326	3790	<0.0001
	겨울	0.124	4320	<0.0001	0.853	4320	<0.0001
B생활폐기물 소각시설	봄	0.124	4320	<0.0001	0.853	4320	<0.0001
	여름	0.051	4306	<0.0001	0.910	4306	<0.0001
	가을	0.062	3734	<0.0001	0.989	3734	<0.0001
	겨울	0.062	3734	<0.0001	0.989	3734	<0.0001
C생활폐기물 소각시설	봄	0.087	3780	<0.0001	0.870	3780	<0.0001
	여름	0.027	4396	<0.0001	0.991	4396	<0.0001
	가을	0.021	3719	<0.0001	0.994	3719	<0.0001
	겨울	0.175	4320	<0.0001	0.849	4320	<0.0001

표본별 평균분포 비교를 위한 귀무가설과 대립가설은 다음과 같다.

귀무가설(H_0): 계절별 CO_2 농도 자료의 평균분포는 같다.

대립가설(H_1): 계절별 CO_2 농도 자료의 평균분포는 같지 않다.

<표 3-27>에서 보는 바와 같이, Kruskal-Wallis검정을 이용하여 봄, 여름, 가을, 겨울의 CO_2 농도 자료의 평균분포 자료를 비교한 결과, A~C생활폐기물소각시설 모두 유의수준이 0.05보다 낮게 나타나 계절별 CO_2 농도 분포는 서로 다른 것으로 나타났다.

<표 3-27> 대상소각시설의 계절별 CO_2 농도 Kruskal-Wallis검정 결과

소각시설	귀무가설	가설 검정	유의 수준	결 정
A생활폐기물 소각시설	계절별 CO_2 농도 자료의 평균분포는 같다.	Kruskal-Wallis검정	<0.0001	귀무가설 기각
B생활폐기물 소각시설	계절별 CO_2 농도 자료의 평균분포는 같다.	Kruskal-Wallis검정	<0.0001	귀무가설 기각
C생활폐기물 소각시설	계절별 CO_2 농도 자료의 평균분포는 같다.	Kruskal-Wallis검정	<0.0001	귀무가설 기각

계절별 평균분포 비교 결과를 좀 더 자세히 살펴보기 위하여, 사후검정으로 계절별로 대응비교 자료를 검토해 보았다. SPSS에서는 Kruskal-Wallis검정결과가 귀무가설을 기각할 때, 사후검정으로 대응별 비교를 할 수 있다.

SPSS에서의 사후검정은 본페로니교정에 따라 조정된 유의 수준으로 평가한다. 본페로니교정은 다중 비교에서 생길 수 있는 오류를 보정하는 방법이다.

표본별 대응비교를 위한 귀무가설과 대립가설은 다음과 같다.

귀무가설(H_0): 대응하는 계절별 CO_2 농도 자료의 평균분포는 같다.

대립가설(H_1): 대응하는 계절별 CO_2 농도 자료의 평균분포는 같지 않다.

<표 3-28>에서 보는 바와 같이 계절별 CO_2 농도의 대응별 비교 결과, A 생활폐기물소각시설과 C생활폐기물소각시설 모두 유의수준이 0.05보다 낮게 나타나 계절별 CO_2 농도 자료의 분포가 다른 것으로 판단하였다.

B생활폐기물소각시설은, 여름철과 가을철 대응 비교결과가 유의수준이 1.00 으로 0.05보다 크게 나타나, CO_2 농도 자료의 평균분포가 같은 것으로 나타났다. 이는 B생활폐기물소각시설의 여름철과 가을철 CO_2 농도의 중위수가 10.09%로 같게 나타났기 때문으로 판단된다.

그 외의 계절별 대응 결과는 조정된 유의수준이 모두 0.05보다 낮은 것으로 나타났기 때문에, Kruskal-Wallis검정 결과, 계절별 CO_2 농도 자료의 평균분포가 다르게 나타난 것으로 판단된다. 따라서, 적정 측정주기를 산정할 때, 계절도 고려해야 하는 것으로 나타났다.

<표 3-28> 대상소각시설의 계절별 CO₂ 농도 대응비교 결과

소각시설	계절별 비교	조정된 유의 수준*	검정 통계량
A생활폐기물소각시설	여름 - 가을	<0.0001	-1,817.240
	여름 - 봄	<0.0001	3,876.436
	여름 - 겨울	<0.0001	-7,362.926
	가을 - 봄	<0.0001	2,059.196
	가을 - 겨울	<0.0001	-5,545.686
	봄 - 겨울	<0.0001	-3,486.490
B생활폐기물소각시설	봄 - 여름	<0.0001	-464.604
	봄 - 가을	<0.0001	-464.804
	봄 - 겨울	<0.0001	-5,162.318
	여름 - 가을	1.00	-0.200
	여름 - 겨울	<0.0001	-4,697.714
	가을 - 겨울	<0.0001	-4,697.514
C생활폐기물소각시설	봄 - 겨울	<0.0001	-1549.086
	봄 - 가을	<0.0001	-2,409.351
	봄 - 여름	<0.0001	-3,428.522
	겨울 - 가을	<0.0001	860.266
	겨울 - 여름	<0.0001	1,879.437
	가을 - 여름	<0.0001	1,019.171

*Bonferroni correction에 의한 유의수준

다. 생활폐기물소각시설의 CO₂ 농도 계절 특성

생활폐기물소각시설의 CO₂ 농도 계절 특성을 <표 3-29>에 나타내었다.

봄철 CO₂ 평균 농도는 A생활폐기물소각시설 7.22%, B생활폐기물소각시설 9.99%, C생활폐기물소각시설 9.13%로 나타났다.

여름철 CO₂ 평균 농도는 A생활폐기물소각시설 7.07%, B생활폐기물소각시설 10.01%, C생활폐기물소각시설 9.91%로 나타났다. 여름철의 CO₂ 농도는 A생활폐기물소각시설의 경우 봄철 CO₂ 농도보다 낮게 나타났고, B생활폐기물소각시설, C생활폐기물소각시설은 봄철 CO₂ 농도보다 높게 나타났다.

가을철 CO₂ 평균 농도는 A생활폐기물소각시설 7.15%, B생활폐기물소각시설 9.94%, C생활폐기물소각시설 9.64%로 나타났다. 가을철의 CO₂ 농도는 A생활폐기물소각시설의 경우 봄철 CO₂ 농도보다는 낮게 여름철 CO₂ 농도보다는 높게 나타났다. B생활폐기물소각시설의 경우 봄철, 여름철 CO₂ 농도보다 낮게 나타났으며, C생활폐기물소각시설은 봄철 CO₂ 농도보다는 높게 여름철 CO₂ 농도보다는 낮게 나타났다.

겨울철 CO₂ 평균 농도는 A생활폐기물소각시설 7.35%, B생활폐기물소각시설 11.06%, C생활폐기물소각시설 9.38%로 나타났다. 겨울철의 CO₂ 농도는 A, B생활폐기물소각시설 모두 봄, 여름, 가을철 CO₂ 농도보다 높게 나타났다. C생활폐기물소각시설의 경우 여름, 가을철 CO₂ 농도보다 낮게 봄철 CO₂ 농도보다 높게 나타났다.

소각시설별로는 A생활폐기물소각시설은 여름철 CO₂ 농도가 가장 낮고 겨울철 CO₂ 농도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 여름철과 겨울철의 CO₂ 농도 차이는 약 3.96%로 나타났다. B생활폐기물소각시설은 가을철 CO₂ 농도가 가장 낮고 겨울철 CO₂ 농도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 가을철과 겨울철의 CO₂ 농도 차이는 약 11.27%로 나타났다. C생활폐기물소각시설은 봄철 CO₂ 농도가 가장 낮고 여름철 CO₂ 농도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 여

름철과 겨울철의 CO₂ 농도 차이는 약 2.74%로 나타났다.

<표 3-29> 대상생활폐기물소각시설별 계절 CO₂ 농도의 배출 특성
(단위:%)

	배출 특성	봄	여름	가을	겨울
A생활폐기물 소각시설	최소값	3.32	3.32	4.43	5.52
	최대값	7.62	7.45	7.59	7.77
	평균	7.22	7.07	7.15	7.35
	중위수	7.22	7.10	7.16	7.35
B생활폐기물 소각시설	최소값	6.55	6.71	6.10	6.72
	최대값	12.26	12.43	13.38	14.35
	평균	9.99	10.01	9.94	11.06
	중위수	10.03	10.09	10.09	11.32
C생활폐기물 소각시설	최소값	6.07	6.07	6.46	6.58
	최대값	11.16	13.27	12.06	14.56
	평균	9.13	9.91	9.64	9.38
	중위수	9.14	9.91	9.68	9.38

4. 측정 기간별 CO₂ 농도 특성

대상 생활폐기물소각시설의 월, 분기⁷⁾, 반기, 년 기간의 CO₂ 농도 는 표본 수가 2,000개보다 크기 때문에 K-S방법을 이용하여 정규성을 검정하였다.

가. 월별 CO₂ 농도 배출 특성

대상소각시설의 월별 CO₂ 농도 배출 특성을 <표 3-30>에 나타내었다. A생활폐기물소각시설의 월별 CO₂ 농도는 평균 7.20%이며, 최소값 6.34%, 최대값 7.30%, 표준편차 0.13%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 월별 CO₂ 농도는 평균 10.26% 이며, 최소값 9.01 %, 최대값 11.26%, 표준편차 0.28%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 월별 CO₂ 농도는 평균 9.70% 이며, 최소값 8.45 %, 최대값 10.84%, 표준편차 0.31%로 분석되었다. 월별 평균 CO₂ 농도는 B생활폐기물소각시설이 10.26%로 가장 높게 나타났고, C생활폐기물소각시설 9.70%, A생활폐기물소각시설 7.20%순으로 나타났다.

<표 3-30> 대상 생활폐기물소각시설의 월별 CO₂ 농도 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	6.34	9.01	8.45
최대값	7.30	11.26	10.84
평균	7.20	10.26	9.70
표준편차	0.13	0.28	0.31
중위수	7.22	10.27	9.69

7) 온실가스 목표관리제에서는 온실가스 배출량 보고를 할 때 월, 분기, 반기, 년 기준으로 배출량 보고를 하여 분기를 고려하였으며, 계절은 CO₂ 농도가 계절적인 영향을 받을 수 있으므로 함께 고려하였다. 분기와 계절을 기준으로 할 때 개월 수는 같지만 시기가 다르기 때문에 모두 고려하여 특성을 파악하였다.

월별 CO₂ 농도의 K-S검정 결과는 <표 3-31>에 나타내었다. K-S검정 결과, 유의확률(p-value)이 0.05보다 작아 비정규분포임을 알 수 있었다. 이는 A생활폐기물소각시설, B생활폐기물소각시설, C생활폐기물소각시설의 월별 CO₂ 농도를 통계적으로 분석하려면 비모수 방법으로 분석해야 한다는 것을 의미한다.

<표 3-31> 대상 생활폐기물소각시설의 월별 CO₂ 농도 정규성검정 결과

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물소각시설	0.303	1488	<0.0001	0.472	1488	<0.0001
B생활폐기물소각시설	0.023	1488	0.069	0.994	1488	<0.0001
C생활폐기물소각시설	0.023	1488	0.066	0.997	1488	0.018

나. 분기별 CO₂ 농도 특성

대상소각시설의 분기별 CO₂ 농도 배출 특성을 <표 3-32>에 나타내었다. A생활폐기물소각시설의 분기 CO₂ 농도는 평균 7.18%이며, 최소값 4.74%, 최대값 7.46%, 표준편차 0.49%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 분기별 CO₂ 농도는 평균 10.30%이며, 최소값 6.78%, 최대값 12.98%, 표준편차 0.53%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 분기별 CO₂ 농도는 평균 9.64%이며, 최소값 6.46%, 최대값 12.24%, 표준편차 0.76%로 분석되었다.

분기별 평균 CO₂ 농도는 B생활폐기물소각시설이 10.30%로 가장 높게 나타났고, C생활폐기물소각시설 9.64%, A생활폐기물소각시설 7.18%순으로 나타났다.

<표 3-32> 대상 생활폐기물소각시설의 분기별 CO₂ 농도 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	4.74	6.78	6.46
최대값	7.46	12.98	12.24
평균	7.18	10.30	9.64
표준편차	0.49	0.53	0.76
중위수	7.20	10.31	9.57

분기별 CO₂ 농도의 K-S검정 결과는 <표 3-33>에 나타내었다. K-S검정 결과, 유의확률(p-value)이 0.05보다 작아 비정규분포임을 알 수 있었다. 이는 A생활폐기물소각시설, B생활폐기물소각시설, C생활폐기물소각시설의 분기별 CO₂ 농도를 통계적으로 분석하려면 비모수 방법으로 분석해야 한다는 것을 의미한다.

<표 3-33> 대상 생활폐기물소각시설의 분기별 CO₂ 농도 정규성검정 결과

구분	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물 소각시설	0.235	4464	<0.0001	0.433	4464	<0.0001
B생활폐기물 소각시설	0.030	4416	<0.0001	0.970	4416	<0.0001
C생활폐기물 소각시설	0.038	4416	<0.0001	0.986	4416	<0.0001

다. 반기별 CO₂ 농도 특성

대상소각시설의 반기별 CO₂ 농도 배출 특성을 <표 3-34>에 나타내었다. A 생활폐기물소각시설의 반기별 CO₂ 농도는 평균 7.19% 이며, 최소값 3.47%, 최대값 7.47%, 표준편차 0.47%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 반기별 CO₂ 농도는 평균 10.26% 이며, 최소값 6.55%, 최대값 13.56%, 표준편차 0.84%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 반기별 CO₂ 농도는 평균 9.67% 이며, 최소값 6.07%, 최대값 14.49%, 표준편차 1.08%로 분석되었다.

월별 평균 CO₂ 농도는 B생활폐기물소각시설이 10.26%로 가장 높게 나타났고, C생활폐기물소각시설 9.67%, A생활폐기물소각시설 7.19%순으로 나타났다.

<표 3-34> 대상 생활폐기물소각시설의 반기별 CO₂ 농도 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	3.47	6.55	6.07
최대값	7.47	13.56	14.49
평균	7.19	10.26	9.67
표준편차	0.47	0.84	1.08
중위수	7.21	10.35	9.51

반기별 CO₂ 농도의 K-S검정 결과를 <표 3-35>에 나타내었다. K-S검정 결과, 유의확률(p-value)이 0.05보다 작아 비정규분포임을 알 수 있었다. 이는 A생활폐기물소각시설, B생활폐기물소각시설, C생활폐기물소각시설의 반기별 CO₂ 농도를 통계적으로 분석하려면 비모수 방법으로 분석해야 한다는 것을 의미한다.

<표 3-35> 대상 생활폐기물소각시설의 반기별 CO₂ 농도 정규성검정 결과

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물 소각시설	0.192	7336	<0.0001	-	-	-
B생활폐기물 소각시설	0.058	8337	<0.0001	-	-	-
C생활폐기물 소각시설	0.093	8309	<0.0001	-	-	-

라. 년별 CO₂ 농도 특성

대상소각시설의 년별 CO₂ 농도 배출 특성을 <표 3-36>에 나타내었다. A 생활폐기물소각시설의 년별 CO₂ 농도는 평균 7.19% 이며, 최소값 3.32%, 최대 값 7.68%, 표준편차 0.49%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 년별 CO₂ 농도는 평균 10.28% 이며, 최소값 6.55%, 최대값 14.35%, 표준편차 1.08%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 년별 CO₂ 농도는 평균 9.70%이며, 최소값 6.07%, 최대값 18.56%, 표준편차 1.50%로 분석되었다.

년별 평균 CO₂ 농도는 B생활폐기물소각시설이 10.28%로 가장 높게 나타났고, C생활폐기물소각시설 9.70%, A생활폐기물소각시설 7.19%순으로 나타났다.

<표 3-36> 대상 생활폐기물소각시설의 년별 CO₂ 농도 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	3.32	6.55	6.07
최대값	7.68	14.35	18.56
평균	7.19	10.28	9.70
표준편차	0.49	1.08	1.50
중위수	7.20	10.17	9.51

년별 CO₂ 농도의 K-S검정 결과를 <표 3-37>에 나타내었다. K-S검정 결과, 유의확률(p-value)이 0.05보다 작아 비정규분포임을 알 수 있었다. 이는 A생활폐기물소각시설, B생활폐기물소각시설, C생활폐기물소각시설의 년별 CO₂ 농도를 통계적으로 분석하려면 비모수 방법으로 분석해야 한다는 것을 의미한다.

<표 3-37> 대상 생활폐기물소각시설의 년별 CO₂ 농도 정규성검정 결과

구분	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물 소각시설	0.131	14738	<0.0001	-	-	-
B생활폐기물 소각시설	0.085	16145	<0.0001	-	-	-
C생활폐기물 소각시설	0.108	16214	<0.0001	-	-	-

바. 측정 기간에 따른 CO₂ 농도 특성

본 장에서는 생활폐기물소각시설의 온실가스 적정 측정주기를 산정하기 위한 사전 연구로 월, 분기, 계절, 반기, 년 CO₂ 농도의 특성과 정규성을 검증하였다. 대상생활폐기물소각시설의 측정 기간별 평균 CO₂ 농도를 <표 3-38>에 나타내었다.

월 평균 CO₂ 농도는 A생활폐기물소각시설 7.20%, B생활폐기물소각시설 10.26%, C생활폐기물소각시설 9.70%로 나타났다.

분기 평균 CO₂ 농도는 A생활폐기물소각시설 7.18%, B생활폐기물소각시설 10.30%, C생활폐기물소각시설 9.64%로 나타났다. 분기 평균 CO₂ 농도는 A, C 생활폐기물소각시설 모두 월 평균 CO₂ 농도보다 높게 나타났다. B생활폐기물소각시설의 경우 월 평균 CO₂ 농도보다 높게 나타났다.

반기 평균 CO₂ 농도는 A생활폐기물소각시설 7.19%, B생활폐기물소각시설 10.26%, C생활폐기물소각시설 9.67%로 나타났다. 반기 평균 CO₂ 농도는 A 생활폐기물소각시설의 경우 월 평균 CO₂ 농도보다 낮게, 분기 평균 CO₂ 농도보다는 높게 나타났다. B생활폐기물소각시설의 경우 분기 평균 CO₂ 농도보다 낮게, 월 평균 CO₂ 농도와는 같게 나타났으며, C생활폐기물소각시설은 월 평균 CO₂ 농도보다 낮게, 분기 평균 CO₂ 농도보다 높게 나타났다.

년 평균 CO₂ 농도는 A생활폐기물소각시설 7.19%, B생활폐기물소각시설 10.28%, C생활폐기물소각시설 9.70%로 나타났다. 년 평균 CO₂ 농도는 A생활폐기물소각시설의 경우 월 평균 CO₂ 농도보다 낮게, 분기 평균 CO₂ 농도보다는 높게, 반기 평균 CO₂ 농도와는 같게 나타났다. B생활폐기물소각시설의 경우 월, 반기 평균 CO₂ 농도보다 높게, 분기 평균 CO₂ 농도보다 낮게 나타났으며, C생활폐기물소각시설은 월 평균 CO₂ 농도와는 같게, 분기, 반기 평균 CO₂ 농도보다 높게 나타났다.

소각시설별로는 A생활폐기물소각시설의 CO₂ 농도는 3.32 ~ 7.68%, B 소

각시설은 6.55 ~ 14.35%, C 소각시설은 6.07 ~ 14.56%로 나타나 B생활폐기물소각시설의 CO₂ 농도가 가장 높은 것으로 나타났다.

<표 3-38> 대상생활폐기물소각시설별 측정 기간별 CO₂ 농도의 배출 특성
(단위: %)

	배출 특성	월	분기	반기	년
A생활폐기물 소각시설	최소값	6.34	4.74	3.47	3.32
	최대값	7.30	7.46	7.47	7.68
	평균	7.20	7.18	7.19	7.19
	중위수	7.22	7.20	7.21	7.20
B생활폐기물 소각시설	최소값	9.01	6.78	6.55	6.55
	최대값	11.26	12.98	13.56	14.35
	평균	10.26	10.30	10.26	10.28
	중위수	10.27	10.31	10.35	10.17
C생활폐기물 소각시설	최소값	8.45	6.46	6.07	6.07
	최대값	10.84	12.24	14.49	14.56
	평균	9.70	9.64	9.67	9.70
	중위수	9.69	9.57	9.51	9.51

제4장 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 특성 연구

제1절 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 분석

1. 화석탄소함량 분석 방법

고형연료 중 바이오매스 함량을 분석하기 위한 시험 방법은 총 3가지 방법이 있으며, 이 방법은 폐기물의 입자 크기에 따라 결정된다.

폐기물의 성상이 10mm 이상으로, 육안 선별이 가능할 경우 표준시험법상의 매뉴얼 분류에 따라 바이오매스 함량을 파악한다. 고형연료 중 SRF나 RPF와 같이 성형된 제품이거나, 입자의 크기가 10mm 이하로 육안으로 선별할 수 없을 때에는, 용해선별법(SDM)과 탄소동위원소법(C¹⁴ Method)을 이용한다.

가. 육안 선별법(Manual Sorting)

고형연료 제조시설로 반입되는 생활폐기물이나, 1차 파쇄된 폐기물은 입자의 크기가 약 10mm로 육안으로 선별이 가능하기 때문에 육안선별법매뉴얼에 따라 폐기물의 성상을 분리하여 바이오매스 함량을 측정한다(국립환경과학원, 2011). 육안 선별법과 관련 내용을 <표 4-1>에 나타내었다.

육안선별법은 육안으로 선별 가능한 물질을 확인 후 분류하여 바이오매스함량을 판단한다는 점에서 정확하다는 장점이 있다. 단점으로는 눈으로 분류할 수 없는 미세입자나 형태를 알아볼 수 없는 폐기물의 경우, 분류가 어렵다는 점이 있다. 유럽표준시험방법의 분류표는 우리나라 폐기물의 물리적 조성 분류 시 사용하는 분류표와 유사하다.

<표 4-1> 육안선별법 내용

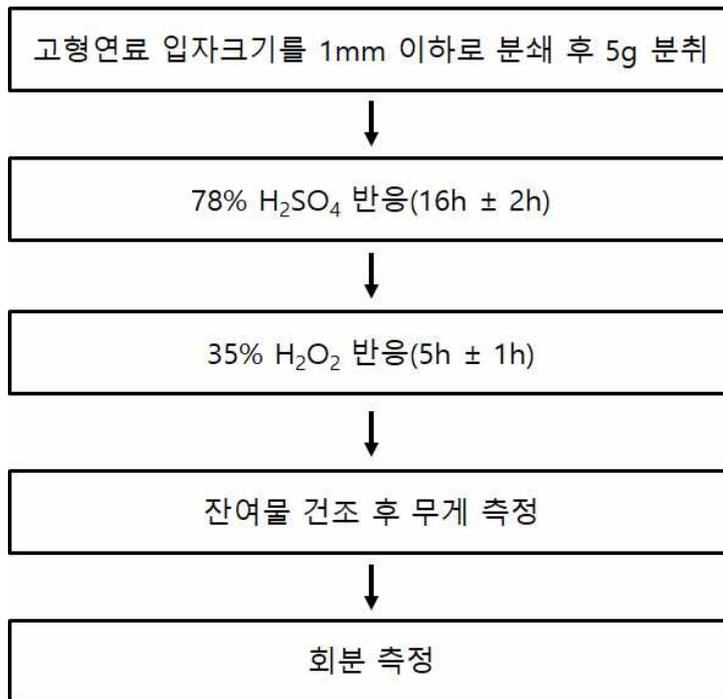
	바이오매스 함량 (%)
생물성 폐기물(Biological waste)	100
종이/판지(Paper/cardboard)	100
나무(Wood)	100
휴지(Tissue)	100
천(Fabric)	50
가죽/고무(Leather/rubber)	50
유리(Glass)	비활성
돌(Stone)	비활성
골재(Fines)	50
소프트 플라스틱(Soft plastic)	-
경질 플라스틱(Rigid plastic)	-
카펫(Carpet/mats)	-
철(Iron)	비활성
불연물(Nonferrous metals)	비활성

참고자료 : EN 15440, 2011 자료를 재구성

나. 용해선별법(Selective Dissolution Method)

용해선별법의 분석절차는 <그림 4-1>과 같다. 이 방법은 폐기물의 크기, 성상 등에 구분 없이 분쇄한 폐기물로 실험할 수 있으며, 비교적 짧은 시간에 결과 값을 산출 할 수 있다(EN 15440, 2011). 이 방법은 별도의 분석 장비를 이용하지 않아도 되는 장점이 있다. 단점으로는 황산 및 과산화수소 반응에 과도하게 용해되면, 결과 값 산출에 오류가 일어날 수 있다.

관련 지침에서는 오류유발성분의 함량이 폐기물 전체 무게의 5% 미만으로 판단될 때는, 실험법 적용에 문제가 없는 것으로 명시되어 있다(국립환경과학원, 2011).



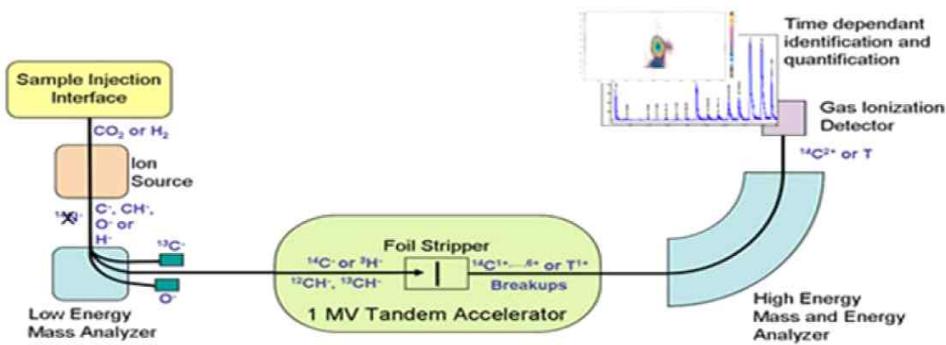
<그림 4-1> 용해선별법 실험 절차

참고자료: 국립환경과학원, 2011

다. 탄소동위원소법 (^{14}C Method)

탄소동위원소법은 동위원소 분석 시료의 원자를 이온화 가속시킨 상태에서 에너지, 운동량, 전하 상태를 분석하여 최종 원자핵의 동위원소, 방사성 탄소(^{14}C)를 정량분석 하는 방법이다(국립환경과학원, 2011). 이 방법은 자연계에 존재하는 탄소동위원소 ^{12}C , ^{13}C 안정동위원소 (존재 비 98.9%, 1.1%) ^{14}C (반감기 5730년, 존재 비 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}=1.2 \times 10^{-12}$)의 양을 정밀 측정하여 연대 값 및 화석연료에서 발생한 CO_2 비율 등을 측정한다(국립환경과학원, 2011).

탄소 동위원소법은 ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C 탄소의 중량 비를 이용하여 시료의 입자 크기 및 성상 구분 없이 정확하게 측정할 수 있다는 장점이 있다. 이 방법은 분석에 사용되는 기기(AMS)가 고도의 정밀기기로서 고가의 분석비용 요구된다는 단점이 있다. AMS의 구조는 <그림 4-2>와 같다.



<그림 4-2> AMS(Accelerator Mass Spectrometry)의 구조

참고자료: 국립환경과학원, 2011

2. 대상시설의 화석탄소함량 분석 방법

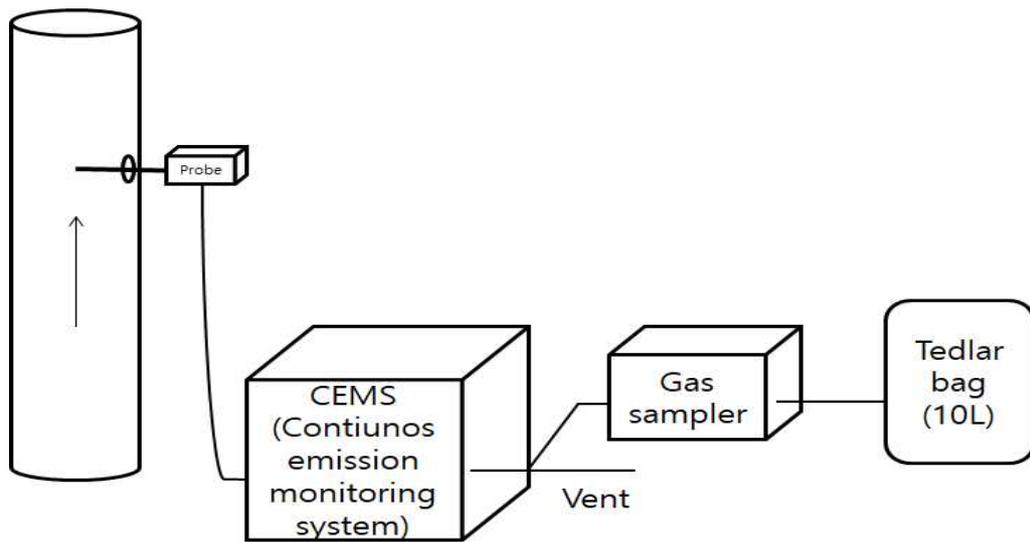
가. 시료 채취 방법

미국의 온실가스 의무보고 법령(MRR: Mandatory Reporting Rule)에서는, “폐기물 소각시설 온실가스 배출량 산정을 위한 소각가스 시료의 채취는 연속으로 24시간 또는 ASTM D 6866-08을 만족하게하기에 충분한 시료를 확보해야 한다.” 라고 제시하고 있다.

본 연구는 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량을 산정하기 위하여 배기가스 시료를 채취하였다. 배기가스 시료는 ASTM D 6866-08에 제시된 방법을 참조하여 24시간 연속으로 채취하였다. 시료포집은 2013년 6월에서 2015년 3월 까지 시설 별로 약 10개 이상의 시료를 분석하였다. 시료 채취지점은 대형 연소시설에서 대기오염물질을 모니터링 하기위해 설치된 CEMS의 후단으로 설정하였으며 모식도는 <그림 4-3>과 같다.

생활폐기물소각시설의 배기가스는 고품폐기물에 포함된 수분과 연소과정 중에 발생하는 수분으로 인해 수분함량이 높으며, 고온(약 70~130 ℃)으로 배출되고 있다. 소각가스 시료 채취과정에서 수분은 제거해야 하고, 응축이 일어나지 않는 온도를 유지해야 한다. 연구 목적에 맞게 24시간 동안 시료를 채취하려면 포집 유량이 일정해야 하며, CEMS 장치의 Back Flushing 시간 등도 고려하여야 한다. 이러한 사항들을 고려하여 시료를 채취할 수 있는 장치를 제작하였다.

시료채취장치는 소각가스의 온도를 낮추고 수분을 제거할 수 있으며, 일정한 유량으로 원하는 시간동안 시료 채취를 할 수 있도록 제작하였다. 타 이머도 함께 설치하여 CEMS의 Back Flushing 시간을 고려할 수 있게 만들어 안정적으로 시료를 포집할 수 있도록 하였다. 소각가스 포집장치는 크게 수분제거장치, 드레인펌프, 다이아프램펌프, MFC 등으로 구성하였다.



<그림 4-3> 화석탄소함량 측정을 위한 시료포집 모식도

나. 배기가스 시료포집장치의 QA/QC

배기가스 시료 포집 장치는 여러 시설들로 제작되었기 때문에 누출 등으로 인해 시료가 유실될 수 있다. 전처리 장치 내에서의 시료유실 여부를 파악하였다.

이산화탄소 표준가스(20%)를 이용하여 전처리 장치의 전단과 후단 농도 차이를 파악하는 것으로 시료의 유실 여부를 평가하였다. 시료의 유실여부 평가 결과는 <표 4-2>에 나타내었다.

<표 4-2>에서 보는 바와 같이, 유입구와 유출구의 평균 농도 차이가 0.27%로 평가되어, 전처리 장치에서의 시료 유출은 거의 없는 것으로 판단하였다.

<표 4-2> 소각가스 포집장치의 QA/QC 결과

(단위: %)

		Input 농도(A)	Output 농도(B)	측정값 차이 (B-A) (%)
소각가스 포집장치	1	20.02	19.25	-0.77
	2	19.99	19.6	-0.39
	3	20.02	20.36	0.34
	평균	20.01	19.74	-0.27
	SD	0.02	0.57	-

제2절 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 특성

생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 계절 특성을 파악하기 위하여 통계 프로그램을 이용하여 배출 특성을 분석하고 정규성을 검정하였다. 계절 특성은 화석탄소함량을 봄, 여름, 가을, 겨울로 나누어 분석하였다. 계절별 화석탄소함량 자료의 표본 수는 2,000개보다 작기 때문에 Shapiro-Wilk검정 방법으로 정규성을 검정하였다.

1 화석탄소함량의 계절별 특성

가. 봄철 화석탄소함량 특성

대상소각시설의 봄철 화석탄소함량의 특성을 <표 4-3>에 나타내었다. A 생활폐기물소각시설의 봄철 화석탄소함량은 평균 44.00%이며, 최소값 42.60%, 최대값 45.40%, 표준편차 1.98%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 봄철 화석탄소함량은 평균 42.65%이며, 최소값 41.90%, 최대값 43.40%, 표준편차 1.06%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 봄철 화석탄소함량은 평균 43.95%이며, 최소값 42.90%, 최대값 45.00%, 표준편차 3.38%로 분석되었다. 봄철 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설이 44.00%로 가장 높게 나타났고, C생활폐기물소각시설 43.95%, B생활폐기물소각시설 42.65%순으로 나타났다.

봄철 화석탄소함량의 정규성 검정결과는 나타나지 않았다. 이는 A생활폐기물소각시설, B생활폐기물소각시설, C생활폐기물소각시설의 봄철 화석탄소함량의 표본 수가 작기 때문인 것으로 판단된다.

<표 4-3> 대상 생활폐기물소각시설의 봄철 화석탄소함량 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	42.60	41.90	42.90
최대값	45.40	43.40	45.00
평균	44.00	42.65	43.95
표준편차	1.98	1.06	1.48
중위수	44.00	41.80	41.80

나. 여름철 화석탄소함량 특성

대상소각시설의 여름철 화석탄소함량의 특성을 <표 4-4>에 나타내었다. A 생활폐기물소각시설의 여름철 화석탄소함량은 평균 44.59%이며, 최소값 42.00%, 최대값 47.00%, 표준편차 3.30%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 여름철 화석탄소함량은 평균 41.54%이며, 최소값 38.00%, 최대값 43.50%, 표준편차 2.43%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 여름철 화석탄소함량은 평균 42.85%이며, 최소값 40.00%, 최대값 47.00%, 표준편차 2.10%로 분석되었다.

여름철 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설이 44.59%로 가장 높게 나타났고, C생활폐기물소각시설 42.85%, B생활폐기물소각시설 41.54%순으로 나타났다.

<표 4-4> 대상 생활폐기물소각시설의 여름철 화석탄소함량 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	42.00	38.00	40.00
최대값	47.00	43.50	47.00
평균	44.59	41.54	42.85
표준편차	1.47	2.43	2.10
중위수	44.50	40.00	42.75

여름철 화석탄소함량의 Shapiro-Wilk검정 결과는 <표 4-5>에 나타내었다. Shapiro-Wilk검정 결과, 유의확률(p-value)이 0.05보다 커 정규분포임을 알 수 있었다. 이는 A, B, C생활폐기물소각시설의 여름철 화석탄소함량을 통계적으로 분석하려면 모수적 방법으로 분석해야 한다는 것을 의미한다.

<표 4-5> 대상 생활폐기물소각시설의 여름철 화석탄소함량 정규성검정 결과

구분	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물 소각시설	0.220	8	0.200	0.952	8	0.729
B생활폐기물 소각시설	0.214	5	0.200	0.917	5	0.513
C생활폐기물 소각시설	0.218	8	0.200	0.942	8	0.634

다. 가을철 화석탄소함량 특성

대상소각시설의 가을철 화석탄소함량의 특성을 <표 4-6>에 나타내었다. A생활폐기물소각시설의 가을철 화석탄소함량은 평균 42.57% 이며, 최소값 39.90%, 최대값 44.00%, 표준편차 2.31%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 가을철 화석탄소함량은 평균 39.50%이며, 최소값 38.00%, 최대값 41.00%, 표준편차 2.12%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 가을철 화석탄소함량은 평균 43.04%이며, 최소값 41.00%, 최대값 44.50%, 표준편차 1.30%로 분석되었다.

가을철 화석탄소함량은 C생활폐기물소각시설이 43.04%로 가장 높게 나타났고, A생활폐기물소각시설 42.57%, B생활폐기물소각시설 39.50%순으로 나타났다.

<표 4-6> 대상 생활폐기물소각시설의 가을철 화석탄소함량 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	39.90	38.00	41.00
최대값	44.00	41.00	44.50
평균	42.57	39.50	43.04
표준편차	2.31	2.12	1.30
중위수	43.80	39.50	43.30

가을철 화석탄소함량의 Shapiro-Wilk검정 결과는 <표 4-7>에 나타내었다. C생활폐기물소각시설의 유의확률(p-value)은 0.05보다 커 정규분포임을 알 수 있었다. 이는 가을철 화석탄소함량을 통계적으로 분석하려면 모수적 방법으로 해야한다는 것을 의미한다. A생활폐기물소각시설의 유의확률

(p-value)은 0.05보다 작아 비정규분포임을 알 수 있었다. 이는 A생활폐기물 소각시설의 겨울철 화석탄소함량을 통계적으로 분석하려면 비모수방법으로 해야한다는 것을 의미한다.

<표 4-7> 대상 생활폐기물소각시설의 겨울철 화석탄소함량 정규성검정 결과

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물 소각시설	0.378	3	-	0.768	3	0.039
B생활폐기물 소각시설	-	-	-	-	-	-
C생활폐기물 소각시설	0.217	5	0.200	0.888	5	0.345

라. 겨울철 화석탄소함량 특성

대상소각시설의 겨울철 화석탄소함량의 특성을 <표 4-8>에 나타내었다. A생활폐기물소각시설의 겨울철 화석탄소함량은 평균 41.75%이며, 최소값 41.70%, 최대값 41.80%, 표준편차 0.07%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 겨울철 화석탄소함량은 평균 44.40%이며, 최소값 44.00%, 최대값 44.80%, 표준편차 0.57%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 겨울철 화석탄소함량은 평균 45.05%이며, 최소값 43.90%, 최대값 46.20%, 표준편차 1.63%로 분석되었다.

겨울철 화석탄소함량은 C생활폐기물소각시설이 45.05%로 가장 높게 나타났고, B생활폐기물소각시설 44.40%, A생활폐기물소각시설 41.75%순으로 나타났다.

Shapiro-Wilk검정 결과는 나타나지 않았다. 이는 겨울철에 해당하는 화석탄소함량 측정 값의 개수가 작기 때문으로 판단된다.

<표 4-8> 대상 생활폐기물소각시설의 겨울철 화석탄소함량 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	41.70	44.00	43.90
최대값	41.80	44.80	46.20
평균	41.75	44.40	45.05
표준편차	0.07	0.57	1.63
중위수	41.75	44.40	44.40

마. 화석탄소함량의 계절 특성

본 연구에서는 3장에서 CO₂ 농도를 대상으로 계절 특성을 파악한 것처럼 화석탄소함량을 대상으로도 계절 특성을 알아보았으며 결과는 <표 4-9>와 같다.

봄철 평균 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설 44.00%, B생활폐기물소각시설 42.65%, C생활폐기물소각시설 43.95%로 나타났다.

여름철 평균 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설 44.59%, B생활폐기물소각시설 41.54%, C생활폐기물소각시설 42.85%로 나타났다. 여름철의 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설의 경우 봄철 화석탄소함량보다 높게 나타났고, B생활폐기물소각시설, C생활폐기물소각시설 모두 봄철 화석탄소함량보다 낮게 나타났다.

가을철 평균 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설 42.57%, B생활폐기물소각시설 39.50%, C생활폐기물소각시설 43.04%로 나타났다. 가을철의 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설, B생활폐기물소각시설 모두 봄철, 여름철 화석탄소함량보다 낮게 나타났다. C생활폐기물소각시설의 경우 봄철 화석

탄소함량보다 낮게, 여름철 화석탄소함량보다 높게 나타났다.

겨울철 평균 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설 41.75%, B생활폐기물소각시설 44.40%, C생활폐기물소각시설 45.05%로 나타났다. 겨울철의 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설의 경우 가장 낮게 나타났다. B생활폐기물소각시설, C생활폐기물소각시설 화석탄소함량모두 겨울철이 가장 높게 나타났다.

소각시설별로는 A생활폐기물소각시설은 겨울철 화석탄소함량이 가장 낮고 여름철 화석탄소함량이 가장 높은 것으로 나타났으며, 여름철과 겨울철의 화석탄소함량 차이는 약 6.80%로 나타났다. B생활폐기물소각시설은 가을철 화석탄소함량이 가장 낮고 겨울철 화석탄소함량이 가장 높은 것으로 나타났으며, 가을철과 겨울철의 화석탄소함량 차이는 약 12.41%로 나타났다. C생활폐기물소각시설은 여름철 화석탄소함량이 가장 낮고 겨울철 화석탄소함량이 가장 높은 것으로 나타났으며, 여름철과 겨울철의 화석탄소함량 차이는 약 5.13%로 나타났다.

화석탄소함량 자료는 CO₂ 농도 자료에 비해 계절별 자료 수가 작기 때문에 계절별 평균분포를 비교하지 못하였다. 본 연구에서는 CO₂ 농도의 계절 특성을 분석 하였을 때 소각시설별로 계절간의 차이를 확인하였기 때문에, 화석탄소함량의 적정주기 산정의 측정기간에도 계절을 추가하여 분석 하였다.

<표 4-9> 대상생활폐기물소각시설별 화석탄소함량의 계절 특성

(단위: %)

	배출 특성	봄철	여름철	가을철	겨울철
A생활폐기물 소각시설	최소값	42.60	42.00	39.90	41.70
	최대값	45.40	47.00	44.00	41.80
	평균	44.00	44.59	42.57	41.75
	중위수	44.00	44.50	43.80	41.75
B생활폐기물 소각시설	최소값	41.90	38.00	38.00	44.00
	최대값	43.40	43.50	41.00	44.80
	평균	42.65	41.54	39.50	44.40
	중위수	41.80	42.75	41.00	45.05
C생활폐기물 소각시설	최소값	42.90	40.00	41.00	43.90
	최대값	45.00	47.00	44.50	46.20
	평균	43.95	42.85	43.04	45.05
	중위수	42.65	42.75	43.30	44.40

2. 측정기간별 화석탄소함량 특성

화석탄소함량의 적정 측정주기를 산정하기 전에 월, 분기, 계절, 반기, 년 기준으로 측정된 자료의 특성에 대하여 살펴보았다.

계절은 앞서 CO₂ 농도로 살펴보았을 때 계절도 함께 고려해야 한다고 판단되었기 때문에 추가하였다. 생활폐기물소각시설의 월, 분기, 계절, 반기, 년 기간의 화석탄소함량 측정 자료는 표본 수가 2,000개보다 적기 때문에 Shapiro-Wilk검정 방법으로 정규성을 검정하였다.

가. 월별 화석탄소함량 배출 특성

대상소각시설의 월별 화석탄소함량의 특성을 <표 4-10>에 나타내었다. A 생활폐기물소각시설의 월별 화석탄소함량은 평균 43.48% 이며, 최소값 43.40%, 최대값 44.13%, 표준편차 1.19%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 월별 화석탄소함량은 평균 41.98% 이며, 최소값 40.57%, 최대값 43.40%, 표준편차 4.77%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 월별 화석탄소함량은 평균 43.19%이며, 최소값 41.30%, 최대값 45.00%, 표준편차 1.04%로 분석되었다.

월별 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설이 43.48%로 가장 높게 나타났고, C생활폐기물소각시설 43.19%, B생활폐기물소각시설 41.98%순으로 나타났다.

<표 4-10> 대상 생활폐기물소각시설의 월별 화석탄소함량 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	43.40	40.57	39.50
최대값	44.13	43.40	44.00
평균	43.48	41.98	42.21
표준편차	1.19	2.00	0.49
중위수	43.40	41.98	43.50

월별 화석탄소함량의 Shapiro-Wilk검정 결과는, <표 4-11>에 나타내었다. Shapiro-Wilk검정 결과, 유의확률(p-value)이 0.05보다 커 정규분포임을 알 수 있었다. 이는 A, B, C생활폐기물소각시설의 월별 화석탄소함량을 통계적으로 분석하려면 모수적 방법을 이용해야한다는 것을 의미한다.

<표 4-11> 대상 생활폐기물소각시설의 월별 화석탄소함량 정규성검정 결과

구분	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물 소각시설	0.978	3	0.713	0.964	3	0.637
B생활폐기물 소각시설	0.185	3	-	0.998	3	0.923
C생활폐기물 소각시설	0.185	3	-	0.998	3	0.923

나. 분기별 화석탄소함량 배출 특성

대상소각시설의 분기별 화석탄소함량의 특성을 <표 4-12>에 나타내었다. A생활폐기물소각시설의 분기별 화석탄소함량은 평균 43.18% 이며, 최소값 39.90%, 최대값 45.40%, 표준편차 4.32%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 분기별 화석탄소함량은 평균 41.25% 이며, 최소값 41.00%, 최대값 42.00%, 표준편차 1.27%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 분기별 화석탄소함량은 평균 42.21% 이며, 최소값 39.50%, 최대값 44.00%, 표준편차 0.49%로 분석되었다.

분기별 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설이 43.18%로 가장 높게 나타났고, C생활폐기물소각시설 42.21%, B생활폐기물소각시설 41.25%순으로 나타났다.

<표 4-12> 대상 생활폐기물소각시설의 분기별 화석탄소함량 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	39.90	41.00	39.50
최대값	45.40	42.00	44.00
평균	43.18	41.25	42.21
표준편차	1.88	1.27	0.49
중위수	44.00	41.00	43.50

분기별 화석탄소함량의 Shapiro-Wilk검정 결과는, <표 4-13>에 나타내었다. Shapiro-Wilk 검정 결과, 유의확률(p-value)이 0.05보다 작아 비정규분포임을 알 수 있었다. 이는 A, B, C생활폐기물소각시설의 분기별 화석탄소함량을 통계적으로 분석하려면 비모수적 방법을 이용해야한다는 것을 의미한다.

<표 4-13> 대상 생활폐기물소각시설의 분기별 화석탄소함량 정규성검정 결과

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물 소각시설	0.343	7	0.013	0.706	7	0.004
B생활폐기물 소각시설	0.441	4	-	0.630	4	0.001
C생활폐기물 소각시설	0.373	7	0.004	0.728	7	0.008

다. 반기별 화석탄소함량 특성

대상소각시설의 반기별 화석탄소함량의 특성을 <표 4-14>에 나타내었다. A생활폐기물소각시설의 반기별 화석탄소함량은 평균 42.63% 이며, 최소값 39.90%, 최대값 45.20%, 표준편차 1.52%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 반기 자료의 화석탄소함량은 평균 41.73% 이며, 최소값 41.42%, 최대값 42.02%, 표준편차 1.47%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 반기별 화석탄소함량은 평균 41.94% 이며, 최소값 41.50%, 최대값 44.95%, 표준편차 1.32%로 분석되었다.

반기별 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설이 42.63%로 가장 높게 나타났고, C생활폐기물소각시설 41.94%, B생활폐기물소각시설 41.73%순으로 나타났다.

〈표 4-14〉 대상 생활폐기물소각시설의 반기별 화석탄소함량 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	39.90	41.42	41.50
최대값	45.20	42.02	44.95
평균	42.63	41.73	41.94
표준편차	1.52	1.47	1.32
중위수	43.35	41.73	41.98

반기별 화석탄소함량의 Shapiro-Wilk검정 결과는, 〈표 4-15〉에 나타내었다. Shapiro-Wilk검정 결과, B생활폐기물소각시설, C생활폐기물소각시설은 유의확률(p-value)이 0.05보다 커 정규분포임을 알 수 있었다. 이는 B생활폐기물소각시설, C생활폐기물소각시설의 반기별 화석탄소함량을 통계적으로 분석하려면 모수적 방법을 이용해야한다는 것을 의미한다. A생활폐기물소각시설은 유의확률(p-value)이 0.05보다 작아 비정규분포임을 알 수 있었다. 이는 A 생활폐기물소각시설의 반기별 화석탄소함량을 통계적으로 분석하려면 비모수적 방법을 이용해야한다는 것을 의미한다.

〈표 4-15〉 대상 생활폐기물소각시설의 반기별 화석탄소함량 정규성검정 결과

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물 소각시설	0.404	8	0.000	0.657	8	0.001
B생활폐기물 소각시설	0.253	6	0.200	0.873	6	0.240
C생활폐기물 소각시설	0.164	8	0.200	0.952	8	0.736

라. 년별 화석탄소함량 특성

대상소각시설의 년별 화석탄소함량의 특성을 〈표 4-16〉에 나타내었다. A 생활폐기물소각시설의 년별 화석탄소함량은 평균 42.98% 이며, 최소값 39.90%, 최대값 45.40%, 표준편차 1.61%로 분석되었다. B생활폐기물소각시설의 년별 화석탄소함량은 평균 41.08%이며, 최소값 39.95%, 최대값 44.80%, 표준편차 2.35%로 분석되었다. C생활폐기물소각시설의 년별 화석탄소함량은 평균 43.32%이며, 최소값 39.50%, 최대값 47.00%, 표준편차 1.85%로 분석되었다.

년별 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설이 42.98%로 가장 높게 나타났고, C생활폐기물소각시설 42.32%, B생활폐기물소각시설 41.08%순으로 나타났다.

<표 4-16> 대상 생활폐기물소각시설의 년별 화석탄소함량 배출 특성

	A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설
최소값	39.90	39.95	39.50
최대값	45.40	44.80	47.00
평균	42.98	41.08	42.32
표준편차	1.61	2.35	1.85
중위수	44.00	41.90	43.00

분기별 화석탄소함량의 Shapiro-Wilk검정 결과는, <표 4-17>에 나타내었다. Shapiro-Wilk검정 결과, B, C생활폐기물소각시설의 유의확률(p-value)이 0.05보다 커 정규분포임을 알 수 있었다. 이는 B, C생활폐기물소각시설의 분기별 화석탄소함량을 통계적으로 분석하려면 모수적 방법을 이용해야한다는 것을 의미한다. A생활폐기물소각시설의 유의확률(p-value)은 0.05보다 작아 비정규분포임을 알 수 있었다. 이는 A생활폐기물소각시설의 년별 화석탄소함량을 통계적으로 분석하려면 비모수적 방법을 이용해야한다는 것을 의미한다.

<표 4-17> 대상 생활폐기물소각시설의 년별 화석탄소함량 정규성검정 결과

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물 소각시설	0.240	13	0.039	0.747	13	0.002
B생활폐기물 소각시설	0.203	11	0.200	0.900	11	0.187
C생활폐기물 소각시설	0.125	15	0.200	0.962	15	0.732

바. 측정 기간에 따른 화석탄소함량 특성

생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 적정 측정주기를 산정하기 위한 사전 연구로 월, 분기, 계절, 반기, 년 화석탄소함량 자료들의 배출 특성을 살펴보고 있으며 결과를 <표 4-18>에 나타내었다.

월 평균 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설이 43.48%, B생활폐기물소각시설이 41.98%, C생활폐기물소각시설이 43.19%로 나타났다.

분기 평균 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설이 43.18%, B생활폐기물소각시설 41.25%, C생활폐기물소각시설 42.21%로 나타났다. 분기 평균 화석탄소함량은 A, B, C 생활폐기물소각시설 모두 월 평균 화석탄소함량보다 낮게 나타났다.

반기 평균 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설이 42.63%, B생활폐기물소각시설이 41.73%, C생활폐기물소각시설 42.89%로 나타났다. 반기 평균 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설의 경우 월, 분기 평균 화석탄소함량보다 낮게 나타났다. B생활폐기물소각시설의 경우 월 평균 화석탄소함량보다 낮게 분기 평균 화석탄소함량보다 높게 나타났으며, C생활폐기물소각시설은 월, 분기 평균 화석탄소함량보다 낮게 나타났다.

년 평균 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설이 42.98%, B생활폐기물소각 시설이 41.08%, C생활폐기물소각시설 42.32%로 나타났다. 년 평균 화석탄소 함량은 A생활폐기물소각시설의 경우 월, 분기 평균 화석탄소함량보다 낮게, 반기 평균 화석탄소함량보다는 높게 나타났다. B생활폐기물소각시설의 경우 년 평균 화석탄소함량이 가장 낮게 나타났으며, C생활폐기물소각시설의 경 우 년 평균 화석탄소함량이 월, 계절화석탄소함량보다 낮게, 분기, 반기 평 균 화석탄소함량보다 높게 나타났다.

소각시설별로는 A생활폐기물소각시설의 평균 화석탄소함량은 39.9~45.40%, B생활폐기물소각시설은 39.95~44.80%, C생활폐기물소각시설은 39.50~47.00%로 나타났다.

<표 4-18> 대상 생활폐기물소각시설의 기간별 화석탄소함량의 배출 특성
(단위: %)

	배출 특성	월	분기	반기	년
A생활폐기물 소각시설	최소값	43.30	39.90	39.90	39.90
	최대값	44.13	45.40	45.20	45.40
	평균	43.48	43.18	42.63	42.98
	중위수	43.40	44.00	43.35	44.00
B생활폐기물 소각시설	최소값	40.57	41.00	41.42	39.95
	최대값	43.40	42.00	42.02	44.80
	평균	41.98	41.25	41.73	41.08
	중위수	41.98	41.00	41.73	41.90
C생활폐기물 소각시설	최소값	41.30	39.50	41.50	39.50
	최대값	45.00	44.00	44.95	47.00
	평균	43.19	42.21	41.94	42.32
	중위수	43.28	43.50	41.98	43.00

제5장 생활폐기물소각시설의 온실가스 및 화석탄소함량 적정 측정주기

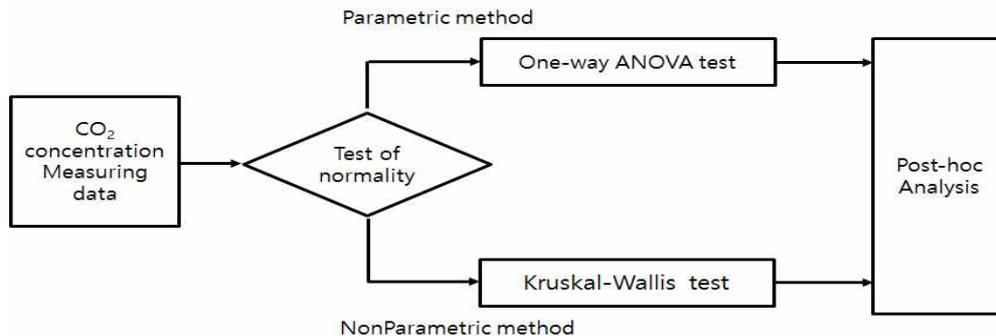
제1절 생활폐기물소각시설의 온실가스 적정 측정주기

1. 온실가스 적정 측정주기 산정방법

온실가스 적정 측정주기를 산정하기 위하여 평균분포 비교 방법을 이용하였다.

평균분포 비교를 하기 위해서는 먼저 각 집단의 자료가 정규분포 하는지에 대한 분석이 진행되어야 한다. 분석 자료가 정규분포할 때에는 One-way ANOVA 분석을, 자료가 정규분포하지 않을 때에는 Kruskal-Wallis검정을 이용한다.

CO₂ 농도의 적정 측정주기를 산정하기 위해 정규성을 검정 하고, 검정 결과에 따라 평균분포 비교 방법을 선택하여 진행하였다(제3장 참조). 통계적 접근 방법의 절차는 <그림 5-1>에 나타내었다.



<그림 5-1> CO₂ 농도의 평균비교 통계 절차 모식도

CO₂ 농도의 적정 측정주기는 월, 분기, 계절, 반기 년 자료를 이용하여 평균분포를 비교하였다.

2. 온실가스 분석 자료의 기간별 특성

생활폐기물소각시설의 온실가스 적정 측정주기를 산정하기 전에 측정주기의 기준이 되는 월, 분기, 반기, 년 CO₂ 농도 자료의 배출 특성을 분석하고 정규성을 검정하였다(제3장 참조).

월, 분기, 반기, 년 CO₂ 농도 자료의 배출 특성을 분석한 결과를 <표 5-1>에 나타내었다. 배출 특성 분석 결과, 분기 평균 CO₂ 농도는 A, C 생활폐기물소각시설 모두 월 보다 높게 나타났다. B생활폐기물소각시설의 경우 월보다 높게 나타났다.

반기 평균 CO₂ 농도는 A생활폐기물소각시설의 경우 월 평균 CO₂ 농도 CO₂ 농도보다 낮게, 분기 평균 CO₂ 농도보다는 높게 나타났다. B생활폐기물소각시설의 경우 계절, 분기 평균 CO₂ 농도보다 낮게, 월 평균 CO₂ 농도와는 같게 나타났으며, C생활폐기물소각시설은 월 평균 CO₂ 농도보다 낮게, 분기, 계절 평균 CO₂ 농도보다 높게 나타났다.

년 평균 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설의 경우 월, 분기, 계절 평균 CO₂ 농도보다 낮게, 반기 평균 CO₂ 농도보다는 높게 나타났다. B생활폐기물소각시설의 년 평균 CO₂ 농도가 측정기간 중 가장 낮게 나타났으며, C 생활폐기물소각시설의 경우 월, 계절 평균 CO₂ 농도보다 낮게, 분기, 반기 평균 CO₂ 농도보다 높게 나타났다.

<표 5-1> 대상생활폐기물소각시설별 측정 기간별 CO₂ 농도의 배출 특성
(단위: %)

	배출 특성	월	분기	반기	년
A생활폐기물소각시설	최소값	6.34	4.74	3.47	3.32
	최대값	7.30	7.46	7.47	7.68
	평균	7.20	7.18	7.19	7.19
	중위수	7.22	7.20	7.21	7.20
B생활폐기물소각시설	최소값	9.01	6.78	6.55	6.55
	최대값	11.26	12.98	13.56	14.35
	평균	10.26	10.3	10.26	10.28
	중위수	10.27	10.31	10.35	10.17
C생활폐기물소각시설	최소값	8.45	6.46	6.07	6.07
	최대값	10.84	12.24	14.49	14.56
	평균	9.70	9.64	9.67	9.70
	중위수	9.69	9.57	9.51	9.51

생활폐기물소각시설의 CO₂ 농도 측정과 관련하여, 국내·외에서는 대부분 고형폐기물 기반 온실가스 배출량을 산정하므로 연구사례가 미비한 것으로 조사되었다. 관련내용은 <표 5-2>에 나타내었다.

본 연구의 생활폐기물소각시설 평균 CO₂ 농도는 7.19 ~ 10.28%의 범위로 나타났으며, 이혜영(2012)의 CO₂ 농도 측정 결과 8 ~ 10%와 비교했을 때, 유사한 결과를 나타내었다. 김승진(2013)의 CO₂ 농도 측정 결과인 6.99%와 비교하였을 때, A생활폐기물소각시설은 약 3%의 차이를 보이지만 B생활폐기물소각시설, C생활폐기물소각시설은 더 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다.

이혜영(2012)이 제시한 우리나라 생활폐기물소각시설의 CO₂ 농도 범위와 비교해 보았을 때, 우리나라의 생활폐기물소각시설 간의 CO₂ 농도 차이는 크지 않는 것으로 판단된다.

<표 5-2> 선행연구와의 CO₂ 농도 비교 결과

(단위: %)

연구			우리나라 선행 연구	
A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설	이혜영 (2012)	김승진 (2013)
7.19	10.28	9.70	8 ~ 10	6.99

측정 기간 별 CO₂ 농도의 표본 수는 2,000개보다 많기 때문에 정규성검정은 K-S검정 방법을 이용 하였다. 정규성검정 결과, <표 5-3>과 같이 A생활폐기물소각시설은 측정기간 모두 유의확률이 0.05보다 작아 비정규분포 인 것으로 나타났다. B생활폐기물소각시설, C생활폐기물소각시설은 월을 제외한 측정기간 모두 유의확률이 0.05보다 작아 비정규분포 인 것으로 나타났다.

<표 5-3> 생활폐기물소각시설의 CO₂ 농도 측정 기간별 정규성검정 결과

정규성검정 결과		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활폐기물소각시설	월	0.303	1488	<0.0001	0.472	1488	<0.0001
	분기	0.235	4464	<0.0001	0.433	4464	<0.0001
	계절	0.147	4372	<0.0001	0.683	4372	<0.0001
	반기	0.192	7336	<0.0001	-	-	-
	년	0.131	14738	<0.0001	-	-	-
B생활폐기물소각시설	월	0.023	1488	0.069	0.994	1488	<0.0001
	분기	0.030	4416	<0.0001	0.970	4416	<0.0001
	계절	0.183	4320	<0.0001	0.942	4320	<0.0001
	반기	0.058	8337	<0.0001	-	-	-
	년	0.085	16145	<0.0001	-	-	-
C생활폐기물소각시설	월	0.023	1488	0.066	0.997	1488	0.018
	분기	0.038	4416	<0.0001	0.986	4416	<0.0001
	계절	0.042	4416	<0.0001	0.990	4416	<0.0001
	반기	0.093	8309	<0.0001	-	-	-
	년	0.108	16214	<0.0001	-	-	-

3. 온실가스 적정 측정주기 산정

앞서 진행한 측정 기간별 CO₂ 농도 자료들의 정규성검정 결과가 대부분 비정규 분포이기 때문에, CO₂ 농도 측정 자료의 적정 측정주기는 비모수 통계분석 방법 중 하나인 Kruskal-Wallis검정 방법으로 산정하였다.

Kruskal-Wallis검정 결과, <표 5-4>와 같이 유의확률이 0.05 보다 작은 것으로 분석되었다. 유의확률이 0.05보다 작아 “기간별 CO₂ 농도 평균분포는 같다.” 라는 귀무가설을 기각하게 되었다. 따라서, A, B, C생활폐기물소각시설 모두 월, 분기, 반기, 년 자료의 평균분포가 다른 것으로 분석되었다.

<표 5-4> 생활폐기물소각시설의 CO₂ 농도 측정 기간별 Kruskal-Wallis검정 결과

검정	귀무가설	검정	유의확률	결 과
A생활폐기물 소각시설	기간별 CO ₂ 농도 평균분포는 같다.	Kruskal-Wallis검정	<0.0001	귀무가설 기각
B생활폐기물 소각시설	기간별 CO ₂ 농도 평균분포는 같다.	Kruskal-Wallis검정	<0.0001	귀무가설 기각
C생활폐기물 소각시설	기간별 CO ₂ 농도 평균분포는 같다.	Kruskal-Wallis검정	<0.0001	귀무가설 기각

CO₂ 농도의 적정 측정주기는 1년을 기준으로 대표성을 확보할 수 있는 최소 측정 주기를 산정하고자하였다. 월, 분기, 계절, 반기, 년 CO₂ 농도 자료의 평균분포가 모두 다르기 때문에 추가로 사후검정을 하였다.

사후검정은 SPSS에서 제공하는 Kruskal-Wallis검정 결과 중 대응별 비교 항목을 이용하여 진행하였다. 대응 비교는 년 자료를 기준으로 월, 분기, 계절, 반기 기간에 측정된 CO₂ 농도 자료를 이용하였다.

대응 비교는 아래와 같이 귀무가설과 대립가설을 기준으로 유의수준을 확인하였으며, 결과를 <표 5-5>에 나타내었다.

귀무가설(H₀): 년 자료와 대응하는 기간별 CO₂ 농도 자료의 평균분포는 같다.

대립가설(H₁): 년 자료와 대응하는 기간별 CO₂ 농도 자료의 평균분포는 같지 않다.

대응 비교 결과, A와 B생활폐기물소각시설은 년 자료와 비교했을 때, 월과 계절의 자료가 유의수준이 0.05보다 낮게 나타나 “년 자료와 대응하는 기간별 CO₂ 농도 자료의 평균분포는 같다.”는 귀무가설을 기각하는 것으로 분석되었다. 반면, 분기와 반기 자료는 유의수준이 0.05보다 크게 나타나 귀무가설을 채택하여 년 자료와 평균분포가 같은 것으로 분석되었다.

C생활폐기물소각시설은 년 자료와 비교했을 때 월, 분기, 계절, 반기 자료 모두 유의수준이 0.05보다 낮게 나타나 귀무가설을 기각하는 것으로 나타났다. 따라서, C생활폐기물소각시설은 년 자료와 나머지 기간 별 자료의 평균분포가 모두 차이가 나는 것으로 분석되었다.

이러한 소각시설들의 차이는 소각시설별로 투입되는 폐기물의 종류에 따른 차이가 가장 큰 것으로 판단된다.

결과적으로, A, B생활폐기물소각시설의 CO₂ 농도 월별 자료가 년 자료와 비교하였을 때 차이를 보이는 것으로 나타나고, C생활폐기물소각시설은 월,

분기, 계절, 반기 모두 년 자료와 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서, 월, 분기, 계절, 반기, 년 기간 중 가장 많은 자료를 확보할 수 있는 ‘월’ 주기로 CO₂ 농도를 측정하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

<표 5-5> 생활폐기물소각시설의 CO₂ 농도 측정 기간별 대응비교 결과

기간별 대응 비교	대응 비교	검정 통계량	*조정된 유의 수준
A생활폐기물소각시설	년 - 월	-983.299	<0.0001
	년 - 분기	71.363	1.000
	년 - 계절	-1447.741	<0.0001
	년 - 반기	156.064	1.000
B생활폐기물소각시설	년 - 월	761.755	0.049
	년 - 분기	226.319	1.000
	년 - 계절	-9,140.553	<0.0001
	년 - 반기	81.257	1.000
C생활폐기물소각시설	년 - 월	-2,661.375	<0.0001
	년 - 분기	-954.538	<0.0001
	년 - 계절	-996.141	<0.0001
	년 - 반기	-407.815	0.027

*Bonferroni correction에 의한 유의수준

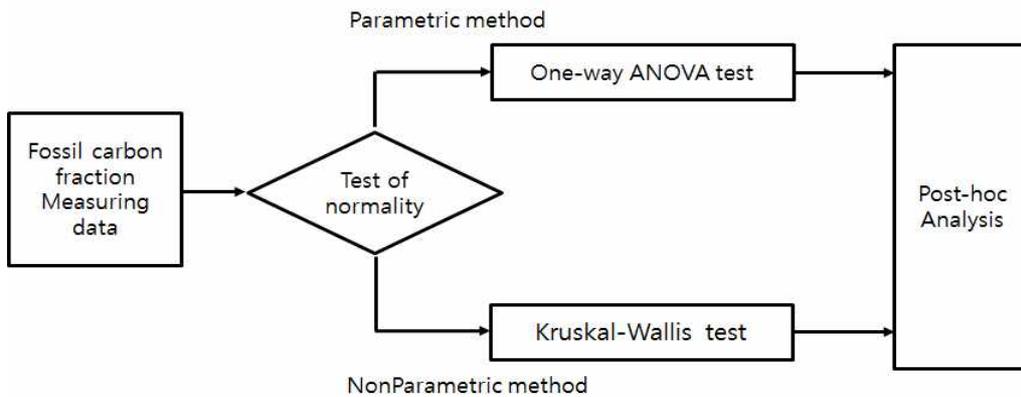
제2절 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 적정 측정주기

1. 화석탄소함량 적정 측정주기 산정방법

화석탄소함량의 적정 측정주기는 CO₂ 농도의 적정 측정주기 분석 시 사용한 방법과 동일하게 평균분포 비교방법으로 산정하였다.

평균분포 비교를 하기 위해서는 먼저 각 집단의 자료가 정규분포인지 검정해야 한다. 분석 자료가 정규분포할 때에는 One-way ANOVA분석을 자료가 정규분포하지 않을 때에는 Kruskal-Wallis검정을 이용한다.

화석탄소함량 분석 자료의 정규성을 검정하고, 검정 결과에 따라 평균분포 비교 방법 사용하였다. 통계적 접근 방법 절차는 <그림 5-2>에 나타내었다.



<그림 5-2> 화석탄소함량의 평균비교 통계 절차 모식도

화석탄소함량의 적정 측정주기는 월, 분기, 반기, 계절 자료로 평균분포를 비교하여 산정하였다.

2. 화석탄소함량 분석 자료의 기간별 특성

생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 적정 측정주기를 산정하기 전에 측정주기의 기준이 되는 월, 분기, 반기, 년 화석탄소함량 자료의 특성을 분석하고 정규성을 검정하였다(제4장 참조).

생활폐기물소각시설의 측정 기간별 화석탄소함량 특성 분석 결과는 <표 5-6>에 나타내었다.

분기 평균 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설, B생활폐기물소각시설, C생활폐기물소각시설 모두 월 평균 화석탄소함량보다 낮게 나타났다.

반기 평균 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설의 경우 월, 계절, 분기 평균 화석탄소함량보다 낮게 나타났다. B생활폐기물소각시설의 반기 평균 화석탄소함량은 월평균 화석탄소함량보다 낮게 분기 평균 화석탄소함량보다 높게 나타났다. C생활폐기물소각시설의 반기 평균 화석탄소함량은 월, 분기 평균 화석탄소함량보다 낮게 나타났다.

년 평균 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설의 경우 월, 분기 평균 화석탄소함량보다 낮게, 반기 평균 화석탄소함량보다는 높게 나타났다. B생활폐기물소각시설의 경우 년 평균 화석탄소함량이 가장 낮게 나타났으며, C생활폐기물소각시설의 경우 년 평균 화석탄소함량이 월, 계절 평균 화석탄소함량보다 낮게, 분기, 반기 평균 화석탄소함량보다 높게 나타났다.

소각시설별로는 A생활폐기물소각시설의 평균 화석탄소함량은 39.9 ~ 45.40%, B생활폐기물소각시설은 39.95 ~ 44.80%, C생활폐기물소각시설은 39.50 ~ 47.00%로 나타났다.

〈표 5-6〉 대상 생활폐기물소각시설의 기간별 화석탄소함량의 배출 특성
(단위: %)

	배출 특성	월	분기	반기	년
A생활폐기물소각시설	최소값	43.30	39.90	39.90	39.90
	최대값	43.48	45.40	45.20	45.40
	평균	44.13	43.18	42.63	42.98
	중위수	43.40	44.00	43.35	44.00
B생활폐기물소각시설	최소값	40.57	41.00	41.42	39.95
	최대값	43.40	42.00	41.73	44.80
	평균	41.98	41.25	42.02	41.08
	중위수	41.98	41.00	41.73	41.90
C생활폐기물소각시설	최소값	41.30	39.50	41.50	39.50
	최대값	45.00	44.00	44.95	47.00
	평균	43.19	42.21	41.94	42.32
	중위수	43.28	43.50	41.98	43.00

본 연구의 화석탄소함량과 국내·외 선행연구와의 차이는 〈표 5-7〉에 나타내었다. 비교결과, 본 연구의 화석탄소함량은 J. Mohn et al.,(2008)의 연구 결과 값 47~49%와 S.W.L. Palstra et al.,(2010)의 연구결과 값 48~51%보다는 다소 낮은 것으로 분석되었다. IPCC GPG 2000에서 제시하고 있는 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 기본값 40%와 비교하였을 때는 다소 높은 것으로 분석되었다. 우리나라를 대상으로 측정한 화석탄소함량 선행연구와 비교하였을 때는 큰 차이를 보이지 않았다.

선행연구와 비교한 결과, 본 연구의 평균 화석탄소함량과 환경공단(2017)의 화석탄소함량은 약 3%로 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났지만, 해외 선행연구와 IPCC에서 제시하고 있는 화석탄소함량과 비교하였을 때는

5% 이상의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 국가적 특성에 따른 것으로 판단되며, 우리나라의 특성을 반영한 화석탄소함량을 개발할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

〈표 5-7〉 선행연구와의 화석탄소함량 비교 결과

(단위: %)

연구			우리나라 선행 연구	해외 선행 연구		
A생활폐기물 소각시설	B생활폐기물 소각시설	C생활폐기물 소각시설	환경공단 (2017)	J. Mohn et al., (2008)	S.W.L. Palstra et al., (2010)	IPCC GPG 2000
42.98	41.08	42.32	43.39	47~ 49	48 ~ 51	40

측정 기간별 화석탄소함량의 표본 수가 2,000개보다 작기 때문에 정규성검정을 Shapiro-Wilk검정 방법으로 하였으며, 정규성검정 결과를 〈표 5-8〉에 나타내었다.

정규성검정 결과, A생활폐기물소각시설의 분기, 반기, 년별 화석탄소함량은 유의확률이 0.05보다 작아 비정규분포인 것으로 나타났으며, 월, 계절별 화석탄소함량은 유의확률이 0.05보다 커 정규분포인 것으로 나타났다.

B생활폐기물소각시설은 월, 분기를 제외한 기간들의 화석탄소함량 유의확률이 0.05보다 커 정규분포인 것으로 나타났다. C생활폐기물소각시설은 분기를 제외한 기간들의 화석탄소함량 유의확률이 0.05보다 커 정규분포인 것으로 나타났다.

<표 5-8> 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 측정 기간별 정규성검정 결과

정규성검정 결과		Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A생활 폐기물 소각시설	월	0.978	3	0.713	0.964	3	0.637
	분기	0.343	7	0.013	0.706	7	0.004
	계절	0.285	8	0.055	0.873	8	0.161
	반기	0.404	8	<0.0001	0.657	8	0.001
	년	0.240	13	0.039	0.747	13	0.002
B생활 폐기물 소각시설	월	0.260	2	-	-	-	-
	분기	0.441	4	-	0.630	4	0.001
	계절	0.272	5	0.200	0.851	5	0.197
	반기	0.253	6	0.200	0.873	6	0.240
	년	0.203	11	0.200	0.900	11	0.187
C생활 폐기물 소각시설	월	0.185	3	-	0.998	3	0.923
	분기	0.373	7	0.004	0.728	7	0.008
	계절	0.267	8	0.098	0.898	8	0.279
	반기	0.164	8	0.200	0.952	8	0.736
	년	0.125	15	0.200	0.962	15	0.732

3. 화석탄소함량 적정 측정주기 산정

측정 기간 별 화석탄소함량 자료들의 정규성검정 결과 A, B, C생활폐기물소각시설 모두 1개 이상의 자료가 비정규성을 띄고 있는 것으로 분석되었다. 따라서, 비정규성일 때 사용하는 Kruskal-Wallis검정 방법을 이용하여 평균분포를 비교하였다.

Kruskal-Wallis검정 결과, <표 5-9>와 같이 A, B, C생활폐기물소각시설 화석탄소함량의 기간별 자료 모두 유의확률 0.05 보다 큰 것으로 분석되었다. 이는 “기간별 화석탄소함량의 평균분포는 같다” 라는 귀무가설을 채택하는 결과를 보였다. 따라서, 화석탄소함량의 적정 측정주기는 월, 분기, 반기, 계절, 년 자료가 모두 같게 나타났기 때문에 가장 최소로 측정할 수 있는 ‘년’ 주기로 측정하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

<표 5-9> 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 측정 기간별 Kruskal-Wallis검정 결과

검정	귀무가설	검정	유의 확률	결 과
A생활폐기물 소각시설	기간별 화석탄소함량의 평균분포는 같다.	Kruskal-Wallis검정	0.940	귀무가설 채택
B생활폐기물 소각시설	기간별 화석탄소함량의 평균분포는 같다.	Kruskal-Wallis검정	0.991	귀무가설 채택
C생활폐기물 소각시설	기간별 화석탄소함량의 평균분포는 같다.	Kruskal-Wallis검정	0.881	귀무가설 채택

제6장 결 론

제1절 연구 요약

폐기물 소각부문은 폐기물 분야의 주요 온실가스 배출원으로, 앞으로 다가올 파리협정의 국제이행점검에 대비하여 온실가스 인벤토리 신뢰성을 향상시킬 필요가 있다.

폐기물 성상은 발생 장소, 계절 등에 따라 변하므로, 투입되는 폐기물 성상에 기반한 온실가스 배출량 산정보다 연소 후 배출되는 배기가스의 농도에 기반한 배출량 산정방법이 배출량의 신뢰성 면에서 우수하다고 판단된다. 배기가스 기반 온실가스 배출량 산정 시 CO₂ 농도 측정이 필수적이며, 이를 위해서는 대상시설의 선정, 시료 포집 및 분석 등과 관련된 비용이 소요된다.

화석탄소함량은 탄소중립에 따라 바이오매스 기원의 탄소 함량을 제외하기 위해 필요하며, 시료의 채취와 분석 과정이 까다롭고 비용도 많이 들어가게 된다. 따라서, 통계적으로 신뢰성을 확보할 수 있는 CO₂ 농도와 화석탄소함량의 적정 측정주기를 산정하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 배기가스 기반 온실가스 배출량을 산정 시 필요한 CO₂ 농도와 화석탄소함량의 대표성을 가질 수 있는 적정 측정주기를 산정하였다. 측정 시기는 『온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침』의 시료 채취 및 분석 최소 주기를 참조하여 월, 반기, 분기를 기준으로 선정하였다. 또, 생활폐기물은 생활환경 및 계절적인 요인에 영향을 받을 수 있으므로, 계절성을 분석하였다.

생활폐기물소각시설과 관련된 계절성 분석은 생활폐기물 성상과 CO₂ 농도를 대상으로 하였다. 폐기물 성상자료의 계절성 분석 결과, 종이류, 나무/

짚류, 섬유/가죽류, 불연물 폐기물은 시계열의 계절성 중 하나인 ‘단순계절모형’의 특성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 음식물류 폐기물은 ‘Winters가법모형’에 해당하는 계절성이 있는 것으로 나타났다. 비닐/플라스틱류 폐기물과 기타폐기물은 계절성이 없는 것으로 나타났다.

계절성이 있는 폐기물을 대상으로 계절요인을 분석한 결과, 종이류, 섬유/가죽류, 불연물 폐기물은 $\pm 7\%$ 이내의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 나무/짚류 폐기물은 최대 16%의 차이를 보여 계절성이 있는 폐기물 중 가장 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이것은 늦가을철인 11월에 나무/짚류 폐기물의 발생량이 많기 때문인 것으로 판단된다. 우리나라 생활폐기물 소각시설 폐기물 성상의 계절성은 비닐/플라스틱류 폐기물과 기타폐기물을 제외하고는 계절적 특성을 가지고 있는 것으로 나타났다.

계절별 평균분포 비교 결과, 봄, 여름, 가을, 겨울 CO₂ 농도의 평균분포가 모두 다른 것으로 나타나 적정 측정주기를 산정하기 위한 측정기간에 계절적인 부분도 고려해야 되는 것으로 나타났다.

소각시설별로 A생활폐기물소각시설의 평균 CO₂ 농도는 3.32~7.68%, B생활폐기물소각시설의 평균 CO₂ 농도는 6.55~14.35%, C생활폐기물소각시설의 평균 CO₂ 농도는 6.07~14.56%의 범위를 보이는 것으로 나타났다.

대상 생활폐기물소각시설의 측정 기간 별 CO₂ 농도 표본 수는 2,000개보다 많기 때문에 K-S검정 방법으로 정규성을 검정하였다. 정규성검정 결과, A~C생활폐기물소각시설 모두 비모수방법으로 통계분석을 해야 하는 것으로 나타났다.

소각시설별 화석탄소함량은 A생활폐기물소각시설의 경우 평균 화석탄소함량이 42.63~43.87%, B생활폐기물소각시설의 경우 평균 화석탄소함량이 41.08~41.98%, C생활폐기물소각시설의 경우 평균 화석탄소함량이 41.94~43.19%의 범위로 나타났다. 국외 연구 및 IPCC에서 제시하고 있는 화

석탄소함량과 비교하였을 때, 국외 연구보다는 다소 낮게, IPCC GPG 2000 보다는 다소 높게 나타났다. 이러한 차이는 국가 특성에 따른 것으로 판단되며, 우리나라의 특성이 반영된 화석탄소함량을 개발할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

측정 기간별 화석탄소함량의 표본 수가 2,000개보다 작기 때문에 Shapiro-Wilk 검정 방법으로 정규성을 검정하였다. 정규성검정 결과, 소각시설별로 1개 이상의 자료가 비정규분포 하는 것으로 분석되어, 화석탄소함량도 비모수 분석 방법으로 통계분석을 해야하는 것으로 나타났다.

A~C생활폐기물소각시설의 CO₂ 농도 측정 자료들이 대부분 비정규분포 하는 것으로 나타나, Kruskal-Wallis검정방법으로 평균분포를 비교하였다.

측정기간별 CO₂ 농도의 Kruskal-Wallis검정 결과, A~C생활폐기물소각시설 모두 월, 분기, 반기, 계절, 년 자료의 평균분포가 다른 것으로 분석되었다. 측정기간별 평균분포 비교결과 CO₂ 농도는 월, 분기, 반기, 계절, 년 모두 다른 것으로 나타났기 때문에 CO₂ 농도 측정은 측정 기간 중 가장 많은 자료를 확보할 수 있는 ‘월’ 주기로 하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

A~C생활폐기물소각시설의 화석탄소함량도 1개 이상의 자료가 비정규분포 하는 것으로 나타나, Kruskal-Wallis검정으로 평균분포를 비교하였다.

측정기간별 화석탄소함량의 Kruskal-Wallis검정 결과, A~C생활폐기물소각시설의 월, 분기, 계절, 반기, 년 자료 모두 평균분포가 같게 나타났으므로, 화석탄소함량을 측정할 때 1년을 대표하는 자료를 얻기 위해 최소로 측정할 수 있는 ‘년’ 주기로 측정하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

연구의 결과를 종합하면, 생활폐기물소각시설의 배기가스 기반 온실가스 배출량 산정을 위한 적정 측정주기는 CO₂ 농도의 경우 ‘월’ 주기로, 화석탄소함량의 경우 ‘년’ 주기로 측정하는 것이 대표성을 가질 수 있을 것으로 판단된다.

제2절 연구의 한계 및 시사점

본 연구는 생활폐기물소각시설을 대상으로 배기가스 기반 온실가스 배출량을 산정할 때 필요한 CO₂ 농도와 화석탄소함량을 측정하고, 대표성을 갖을 수 있는 적정 측정주기를 산정하고자 하였다.

CO₂ 농도는 적정 측정주기를 산정하기 위해 연속측정방법을 이용하여 1년간의 자료만을 이용하였다. 화석탄소함량도 적정 측정주기를 산정하기 위해 1년간의 자료를 기준으로 하였고, 소각시설별로 12개미만의 자료로 적정주기 분석에 활용하였다. 따라서, 다년간의 자료를 확보하고 다수의 시설을 대상으로 조사한다면, 우리나라 생활폐기물소각시설의 대표적인 화석탄소함량과 CO₂ 농도의 적정 측정주기를 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 다음과 같은 의미가 있다.

첫째, 생활폐기물 소각부문의 배기가스 기반 온실가스 배출량 산정에 필요한 CO₂ 농도와 화석탄소함량자료를 실측하였다. 따라서, 우리나라 생활폐기물소각시설의 CO₂ 농도와 화석탄소함량 기초자료 확보에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 생활폐기물소각시설에서의 적정 측정주기 산정과 관련하여 폐기물 성장과, CO₂ 농도의 계절적인 차이가 있음을 분석함으로써 측정 기간에 계절적인 부분도 고려해야한다는 것을 제시하였다.

셋째, CO₂ 농도와 화석탄소함량의 측정 방법 및 월, 분기, 계절, 반기, 년 측정 자료의 정규성 등을 제시함으로써 추후 통계분석 시 참조할 수 있도록 하였다.

넷째, 생활폐기물소각시설의 화석탄소함량 분석 연구와 관련하여 국내·외 선행연구의 차이를 제시함으로써 우리나라 고유 화석탄소함량 개발의 필요성을 이야기하였다.

다섯째, 생활폐기물소각시설의 배기가스 기반 배출량 산정 시 필요한 CO₂ 농도와 화석탄소함량 측정에 대해 통계적으로 대표성을 확보할 수 있는 적정 측정 주기를 산정함으로써 배기가스 기반 배출량 산정방법의 적용 가능성을 제시하였다.

참고문헌

- 국립환경과학원, 2007, 『환경측정기기 형식승인·정도 검사 방법의 정확도/정밀도 개선 연구』
- 국립환경과학원, 2011, 『폐자원에너지 분야 시험 방법표준화 및 정비 방안 연구(I)-고형연료 중 바이오매스량 산정 시험 방법 및 기준(안)마련-환경측정기기』
- 김동환, 2014, “ARIMA 모형을 이용한 주택시장의 가격예측 분석”, 『대한부동산학회』, 32(2), pp.277~294
- 김낙배·우형주·홍완·조수영, 1992, “액체섬광계수법을 이용한 방사성탄소 연대측정법”, 『연구분석과학회』, 5(4), pp.381~387
- 김승진·임기교·이지영·이시형·사재환·전의찬, 2013, “폐기물자원회수시설의 이산화탄소 배출계수 개발”, 『한국기후변화학회』, 4(1), pp.51-61
- 김영주·김희갑, 2012, 『환경통계학』, 동화기술, pp.87~88
- 김현철, 2008, 『비모수 통계분석』, 교육과학사, pp.81~88.
- 박유성·김기환, 2002, 『SAS/ETS를 이용한 시계열자료분석 I』, 자유아카데미, pp. 1~34
- 박중헌·홍완·박지연·성기석·음철현, 2008, “가속기 질량분석법에 의한 화석연료 기원 이산화탄소의 농도 분포 : 대전지역을 중심으로”, 『분석과학학회』, 21(1), pp.9~13
- 배현균, 2013, “매일 관측을 통한 현행 수질 모니터링 시스템 주기에 관한 재고”, 『환경정책연구』, 12(1), pp.59~74
- 이혜영, 2012, “폐기물 소각시설에서 발생하는 CO₂ 배출량 산정방법에 관한 연구”, 석사학위논문, 서울대학교, pp.20~22

- 이해용·이필용, 2003 『이야기로 배우는 통계학』, 자유아카데미, pp.589-608
- 온실가스종합정보센터, 2016, 『국가 온실가스 인벤토리보고서』
- 유기영·유명진, 1997, “도시쓰레기배출량의 계절변동과 자연·사회활동과의 관계 분석”, 『한국폐기물자원순환학회지』, 14(2), pp.141~149
- 조신섭·손영숙, 1999, 『시계열 분석』, 율곡출판사
- 주일엽·조광래, 2012, “범죄 발생에 대한 계절요인 분석, 한국치안행정논집”, 8(4), pp.101~124
- 전국 생활폐기물 자원회수시설 운영협의회, 2003~2014, 『2003~2014년도 생활폐기물 자원회수시설 운영현황』
- 최영문·감사헌, 1998, “단변량 시계열 관광수요 예측모형의 적정성 비교평가: 내국인 해외관광객수 실측치와 예측치의 비교”, 『관광학연구』, 21(2), pp. 111~128
- 통계청, 2016, 『행정자료 통계작성』
- 한광중, 2014, 『SPSS활용 미래예측과 시계열분석』, 백산출판사, p. 154
- 환경부, 2015, 『2014 전국 폐기물 처리 및 발생현황』, pp. 35~727
- 환경부, 2016, 『2015 전국 폐기물 처리 및 발생현황』, pp. 23~58
- 환경부, 2014. 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침. 환경부 고시 제 2014-186호.
- 한국환경공단, 2017, 『폐기물 소각시설 온실가스 연속측정방법(Tier4) 제도화를 위한 시범운영』
- 황경후·김원표·정철, 2015, “열변량 시계열 모형 비교를 통한 독도관광 수요예측, 관광레저연구”, 『한국관광레저학회』, 27(2), pp.59~77
- 현재혁·김지훈·복장빈·최원영, 2007, “아산시 생활폐기물의 지역 및 계절별 배출 특성에 관한 연구”, 『한국폐기물자원순환학회』, 24(7), pp.629~633

- 이기순, 2010, 『가속기 질량분석에 의한 바이오매스의 C-14 함유율 측정방법』
- ASTM D6866, 2007, Standard Test Methods for Determining the Biobased Content of Solid, Liquid, and Gaseous Samples Using Radiocarbon Analysis
- ASTM D7459-08, 2016, Standard Practice for Collection of Integrated Samples for the Speciation of Biomass (Biogenic) and Fossil-Derived Carbon Dioxide Emitted from Stationary Emissions Sources
- Ange, N., J.T. Nickolas, K. Mohammed and B. Yohan, 2012. “Dioxin emissions from municipal solid waste incinerators (MSWIs) in France, Waste Manage” , 32, pp.2273-277
- California AB32, 2006, Mandatory GHG Emissions Reporting
- CEN/TS 15359, 2006, Solid recovered fuels. Specifications and classes
- CEN/TR 15591, 2007, Solid recovered fuels overed fuels Using Radiocarbon Analysised on the ^{14}C method
- Cecilia, A., F.H. Arnout, S. Ter, S. Jeanette, B. Alma, L. Per and N.Z. Bart, 2004, “Polybrominated diphenyl ethers (PBDES) at a solid waste incineration plant I: Atmospheric concentrations. Atmos” , Atmospheric Environment, 38, pp. 5139-5148.
- Chatfield, C, 1980, The Analysis of Time Series: An Introduction. 2nd ed. Chapman and Hall, London
- Department of the Environment(DOE), 2012, Technical guidelines for the estimation of greenhouse gas emissions by facilities in Australia.
- Devore, J.L., 1995, Probability and Statistics for Engineering and the Science. Duxbury Press, New York.

Environmental Protection Agency(EPA), 2011, 40 CFR Part 98 Mandatory Reporting of Greenhouse Gases, Federal Register, 76(247)

European Commission. Biomass issues in the EU ETS, 2012, MRR Guidance document No. 3, Final Version of 17

EN 15440, 2006, Selective Dissolution Method – Solid recovered fuels – Methods for the determination of biomass content.

Hämäläinen, Ê.M , H. Jungner, O. Antson, J. Räsänen, K. Tormonen and J Roine, 2007, “Measurment of Biocarbon in flue Gases Using C¹⁴” , Radiocarbon, 49(2), pp.325~330

Graeme, D.R. and H. Guy, 2008, “Some suggestions about appropriate use of the Kruskale-Wallis test” . Animal Behaviour, 76, pp.1083~1087

Guadalupe, G. and M. Meneses, 2009, “Seasonal characterization of municipal solid waste in the city of chilhuahua mexico” , Waste management, 29, pp.2018~2024

Gintaras, D., 2014, “Seasonal variation of municipal solid waste generation and composition in four East European cities” , Resources Conservation and Recycling, 89, pp.22~30

Haihui, Y., M. Zengyi, T. Yijun, W. Yuelan, Y. Jianhua, N. Mingjiang, C. Kefa and H. Qunxing, 2017, “Comparison of ANN (MLP), ANFIS, SVM, and RF models for the online classification of heating value of burning municipal solid waste in circulating fluidized bed incinerators” , Waste Management, 68, pp.186~197

IPCC, 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 5.

IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
5.

ISO 13833, 2013, Stationary source emissions - Determination of the ratio of biomass (biogenic) and fossil-derived carbon dioxide - Radiocarbon sampling and determination

Mohn, J., S. Szidat, J. Fellner, H. Rechberger, R. Quartier, B. Buchmann and L. Emmenegger, 2008, "Determination of biogenic and fossil CO₂ emitted by waste incineration based on ¹⁴C and mass balances" , Bio resource Technology, Vol.99, No.14, pp.6471-6479

Fellner, J. and R. Helmut, 2009, "Abundance of ¹⁴C in biomass fractions of wastes and solid recovered fuels" , Waste Management, 29, pp.1495-1503

Lampariello, F., 2000. "On the use of the kolmogorov-smirnov statistical test for immunofluorescence histogram comparison" , Cytometry, 39, pp. 179~188

Llobet, J.M., M. Schuhmacher and J.L. Domingo, 2002. "Spatial distribution and temporal variation of metals in the vicinity of a municipal solid waste incinerator after a modernization of the flue gas cleaning systems of the facility" , Science of The Total Environment. 284, pp. 205~214.

Ni-Bin, C. and D. Eric, 2008, Municipal solid waste characterizations and management strategies for the Lower Rio Grande Valley, Texas. Waste Management, 28, pp.776~794.

Nornadiah, M.R. and B.W. Yap, 2011, "Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests" . Journal of

- Statistical Modeling Analysis, 2, pp.21~23.
- Oshima, T.C. and J. Algina, 1992. "Type I error rates for the James 'second order test and Wilcox' H test under heteroscedasticity and non-normality" . British Journal of Mathematical Statistical Psychol. 45, pp.255~263.
- Royston, J.P., 1982a. An extension of 'shapiro and Wilk' W tests for normality to large samples. Appl. Stat. Vol. 31, pp. 115~124.
- Royston, J.P., 1982b. Algorithm AS 181: theWtest for normality. Appl. Stat. Vol.31, pp. 176~180.
- Royston, J.P., 1982c. Algorithm AS 177: expected normal order statistics (exact and approximate). Appl. Stat. Vol.31, pp.161~165.
- Renewable energy association, 2006, ¹⁴C determination of biomass energy content of fuels description of method
- Palstra, S.W.L. and H.A.J. Meijer, 2010, "Carbon-14 based determination of the biogenic fraction of industrial CO₂ emissions" , Application and validation, Bio resource Technology, 101(10), pp.3702~3710
- Kim, S.J., S.M Kang, J.W. Lee, S.H. Lee, K.H. Kim and E.C. Jeon, 2016, "The comparison of fossil carbon fraction and greenhouse gas emissions through an analysis of exhaust gases from urban solid waste incineration facilities" , Journal of Air Waste Management Association, 66, pp. 978~987
- Kang, S.M., S.J. Kim, D.K. Lee, J.W. Lee, K.H. Kim and E.C. Jeon, 2017a, "The Study on Biomass Fraction Estimation for Waste Incinerated in Korea: A Case Study" , Sustainability, 9(4), pp.511~520

- Kang, S.M., S.J. Kim, J.W. Lee, Y.J. Jeon, K.H. Kim and E.C. Jeon, 2017b, "A Study on Applying Biomass Fraction for Greenhouse Gases Emission Estimation of a Sewage Sludge Incinerator in Korea: A Case Study" , Sustainability, 9(4), pp. 557~564
- Tim, R., U. Richers and H. Suchomel, 2008, "Hazardous waste incineration in context with carbon dioxide" , Waste Management & Research, 26, pp.88-95
- UNFCCC CDM, 2009, Approved baseline and monitoring methodology AM0025
- Staber, W., S. Flamme, J. Fellner, 2008, "Methods for determining the biomass content of waste" , Waste Management & Research, 26, pp.78-87
- Western Climate Initiative, 2011, Amendments for Harmonization of Reporting in Canadian Jurisdictions

부 록

〈표 1〉 종이류 폐기물의 계절요인 분석결과

(단위: %)

	월	기존 정상 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2003	1	28.21	0.98	28.72	0.98	29.17	28.21
	2	28.51	0.99	29.07	0.98	29.26	28.51
	3	29.72	1.02	29.99	0.99	29.46	29.72
	4	30.99	1.03	30.22	1.03	29.40	30.99
	5	28.39	0.96	27.82	1.02	28.91	28.39
	6	29.33	1.02	29.23	1.00	28.65	29.33
	7	28.50	0.98	27.85	1.02	28.51	28.50
	8	29.01	0.99	28.62	1.01	28.88	29.01
	9	29.83	1.01	29.49	1.01	29.31	29.83
	10	30.55	1.01	30.16	1.01	29.82	30.55
	11	28.88	1.00	29.89	0.97	29.82	28.88
	12	29.55	1.03	30.51	0.97	29.73	29.55
2004	1	27.46	0.95	27.96	0.98	29.37	27.46
	2	29.67	1.03	30.26	0.98	29.49	29.67
	3	28.80	0.99	29.06	0.99	29.42	28.80
	4	30.86	1.01	30.09	1.03	29.70	30.86
	5	29.50	0.98	28.91	1.02	29.62	29.50
	6	30.93	1.04	30.82	1.00	29.70	30.93
	7	29.62	0.98	28.95	1.02	29.46	29.62
	8	29.41	0.98	29.02	1.01	29.46	29.41
	9	30.06	1.01	29.71	1.01	29.48	30.06
	10	30.34	1.01	29.95	1.01	29.69	30.34
	11	28.34	0.99	29.33	0.97	29.73	28.34
	12	29.30	1.02	30.25	0.97	29.78	29.30

	월	기존 성장 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2005	1	28.94	0.99	29.46	0.98	29.71	28.94
	2	29.20	1.00	29.78	0.98	29.89	29.20
	3	29.37	0.98	29.64	0.99	30.17	29.37
	4	32.05	1.02	31.25	1.03	30.59	32.05
	5	31.72	1.01	31.08	1.02	30.67	31.72
	6	30.49	0.99	30.38	1.00	30.55	30.49
	7	30.56	0.99	29.86	1.02	30.29	30.56
	8	31.09	1.02	30.67	1.01	30.22	31.09
	9	30.18	0.99	29.83	1.01	30.15	30.18
	10	30.55	1.00	30.16	1.01	30.14	30.55
	11	29.34	1.01	30.36	0.97	29.99	29.34
	12	28.84	1.00	29.77	0.97	29.70	28.84
2006	1	28.64	0.99	29.16	0.98	29.52	28.64
	2	28.26	0.97	28.82	0.98	29.62	28.26
	3	30.41	1.02	30.69	0.99	30.23	30.41
	4	31.47	0.99	30.68	1.03	31.03	31.47
	5	32.52	1.00	31.87	1.02	31.82	32.52
	6	33.38	1.03	33.26	1.00	32.23	33.38
	7	32.94	1.00	32.19	1.02	32.17	32.94
	8	31.88	0.99	31.45	1.01	31.90	31.88
	9	32.03	1.00	31.66	1.01	31.80	32.03
	10	32.18	1.00	31.76	1.01	31.89	32.18
	11	31.47	1.01	32.57	0.97	32.17	31.47
	12	30.82	0.99	31.82	0.97	32.14	30.82

	월	기존 성장 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2007	1	32.45	1.03	33.04	0.98	32.20	32.45
	2	30.26	0.97	30.86	0.98	31.82	30.26
	3	32.44	1.03	32.74	0.99	31.71	32.44
	4	31.22	0.97	30.44	1.03	31.32	31.22
	5	32.15	1.00	31.51	1.02	31.45	32.15
	6	31.34	0.99	31.23	1.00	31.54	31.34
	7	33.21	1.01	32.45	1.02	32.06	33.21
	8	32.22	0.98	31.79	1.01	32.45	32.22
	9	33.99	1.01	33.60	1.01	33.16	33.99
	10	33.80	1.00	33.36	1.01	33.50	33.80
	11	33.73	1.03	34.91	0.97	33.84	33.73
	12	31.58	0.97	32.60	0.97	33.68	31.58
2008	1	33.71	1.02	34.32	0.98	33.72	33.71
	2	32.82	1.00	33.47	0.98	33.59	32.82
	3	33.20	1.00	33.51	0.99	33.63	33.20
	4	34.54	1.00	33.68	1.03	33.69	34.54
	5	34.26	0.99	33.57	1.02	34.00	34.26
	6	34.72	1.00	34.60	1.00	34.48	34.72
	7	36.04	1.01	35.22	1.02	34.92	36.04
	8	35.73	1.00	35.25	1.01	35.11	35.73
	9	35.75	1.01	35.34	1.01	34.99	35.75
	10	34.98	0.99	34.53	1.01	34.90	34.98
	11	32.99	0.99	34.14	0.97	34.51	32.99
	12	35.14	1.07	36.28	0.97	33.89	35.14

	월	기존 성장 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2009	1	30.64	0.95	31.19	0.98	32.71	30.64
	2	30.38	0.96	30.98	0.98	32.13	30.38
	3	31.85	1.01	32.14	0.99	31.94	31.85
	4	34.12	1.03	33.27	1.03	32.38	34.12
	5	31.96	0.97	31.32	1.02	32.43	31.96
	6	33.81	1.04	33.69	1.00	32.32	33.81
	7	32.60	1.00	31.86	1.02	31.92	32.60
	8	30.62	0.96	30.21	1.01	31.56	30.62
	9	32.94	1.03	32.56	1.01	31.60	32.94
	10	31.24	0.97	30.84	1.01	31.95	31.24
	11	31.66	1.00	32.76	0.97	32.87	31.66
	12	33.12	1.01	34.19	0.97	33.92	33.12
2010	1	34.30	1.00	34.92	0.98	34.79	34.30
	2	35.79	1.04	36.50	0.98	35.10	35.79
	3	33.89	0.98	34.20	0.99	34.81	33.89
	4	34.83	0.99	33.96	1.03	34.43	34.83
	5	35.59	1.02	34.88	1.02	34.18	35.59
	6	33.44	0.98	33.32	1.00	34.11	33.44
	7	35.07	1.01	34.27	1.02	34.10	35.07
	8	35.28	1.03	34.81	1.01	33.95	35.28
	9	33.30	0.98	32.92	1.01	33.58	33.30
	10	33.86	1.00	33.42	1.01	33.31	33.86
	11	31.66	0.98	32.76	0.97	33.36	31.66
	12	32.28	0.99	33.32	0.97	33.82	32.28

	월	기존 정상 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2011	1	34.95	1.02	35.58	0.98	34.75	34.95
	2	33.62	0.97	34.28	0.98	35.38	33.62
	3	37.66	1.05	38.01	0.99	36.08	37.66
	4	35.95	0.98	35.05	1.03	35.80	35.95
	5	37.18	1.03	36.43	1.02	35.48	37.18
	6	34.00	0.98	33.88	1.00	34.72	34.00
	7	34.92	0.99	34.13	1.02	34.38	34.92
	8	35.11	1.02	34.64	1.01	34.02	35.11
	9	33.98	1.00	33.59	1.01	33.71	33.98
	10	33.36	0.99	32.93	1.01	33.22	33.36
	11	32.28	1.01	33.40	0.97	32.97	32.28
	12	30.54	0.95	31.53	0.97	33.05	30.54
2012	1	33.43	1.01	34.03	0.98	33.54	33.43
	2	34.37	1.04	35.05	0.98	33.79	34.37
	3	32.86	0.98	33.16	0.99	33.77	32.86
	4	33.90	0.99	33.05	1.03	33.50	33.90
	5	34.87	1.03	34.17	1.02	33.32	34.87
	6	32.78	0.99	32.66	1.00	33.10	32.78
	7	33.52	1.00	32.76	1.02	32.69	33.52
	8	33.46	1.02	33.01	1.01	32.48	33.46
	9	30.80	0.94	30.44	1.01	32.22	30.80
	10	34.64	1.05	34.19	1.01	32.53	34.64
	11	30.40	0.96	31.46	0.97	32.82	30.40
	12	32.32	1.00	33.36	0.97	33.52	32.32

	월	기존 정상 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2013	1	34.80	1.04	35.43	0.98	34.05	34.80
	2	32.97	0.98	33.62	0.98	34.23	32.97
	3	34.41	1.02	34.73	0.99	34.12	34.41
	4	34.43	1.00	33.57	1.03	33.58	34.43
	5	33.80	0.99	33.12	1.02	33.35	33.80
	6	32.28	0.96	32.17	1.00	33.40	32.28
	7	35.38	1.02	34.58	1.02	34.06	35.38
	8	35.58	1.02	35.10	1.01	34.40	35.58
	9	35.53	1.02	35.12	1.01	34.39	35.53
	10	33.19	0.97	32.76	1.01	33.74	33.19
	11	32.68	1.02	33.82	0.97	33.10	32.68
	12	31.38	1.00	32.39	0.97	32.55	31.38
2014	1	30.46	0.97	31.01	0.98	32.13	30.46
	2	32.66	1.04	33.30	0.98	31.95	32.66
	3	30.67	0.98	30.95	0.99	31.53	30.67
	4	32.16	1.00	31.36	1.03	31.26	32.16
	5	31.17	0.99	30.54	1.02	31.00	31.17
	6	31.10	0.99	30.99	1.00	31.35	31.10
	7	32.44	1.00	31.70	1.02	31.86	32.44
	8	33.78	1.03	33.33	1.01	32.24	33.78
	9	32.84	1.02	32.46	1.01	31.90	32.84
	10	31.23	0.98	30.83	1.01	31.32	31.23
	11	28.74	0.97	29.74	0.97	30.74	28.74
	12	30.65	1.04	31.64	0.97	30.45	30.65

<표 2> 음식물 폐기물의 계절요인 분석결과

(단위: %)

	월	기존 정상비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2003	1	32.32	1.00	30.29	1.07	30.18	32.32
	2	32.17	1.01	30.66	1.05	30.25	32.17
	3	29.40	0.98	29.80	0.99	30.41	29.40
	4	29.24	0.98	30.18	0.97	30.89	29.24
	5	31.08	1.04	32.27	0.96	31.07	31.08
	6	31.04	1.06	32.65	0.95	30.74	31.04
	7	27.12	0.94	27.34	0.99	29.12	27.12
	8	28.65	1.06	29.32	0.98	27.59	28.65
	9	23.48	0.92	23.89	0.98	26.05	23.48
	10	24.82	0.97	25.22	0.98	25.90	24.82
	11	27.35	1.01	26.39	1.04	26.11	27.35
	12	28.76	1.05	27.58	1.04	26.39	28.76
2004	1	28.10	1.01	26.34	1.07	26.09	28.10
	2	25.27	0.94	24.09	1.05	25.61	25.27
	3	25.72	1.01	26.07	0.99	25.69	25.72
	4	25.00	0.99	25.80	0.97	25.95	25.00
	5	25.88	1.03	26.87	0.96	26.11	25.88
	6	24.88	1.02	26.17	0.95	25.72	24.88
	7	24.16	0.97	24.35	0.99	25.07	24.16
	8	24.17	1.01	24.74	0.98	24.47	24.17
	9	23.47	0.99	23.88	0.98	24.06	23.47
	10	22.99	0.98	23.36	0.98	23.90	22.99
	11	25.21	1.02	24.33	1.04	23.76	25.21
	12	24.90	1.02	23.88	1.04	23.52	24.90

	월	기존 성상비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2005	1	23.95	0.98	22.45	1.07	22.97	23.95
	2	24.24	1.04	23.11	1.05	22.19	24.24
	3	20.75	0.99	21.03	0.99	21.23	20.75
	4	18.90	0.95	19.51	0.97	20.61	18.90
	5	19.58	0.99	20.33	0.96	20.60	19.58
	6	20.11	1.02	21.16	0.95	20.84	20.11
	7	21.84	1.04	22.01	0.99	21.11	21.84
	8	19.41	0.94	19.86	0.98	21.14	19.41
	9	21.20	1.01	21.57	0.98	21.34	21.20
	10	21.94	1.03	22.29	0.98	21.60	21.94
	11	21.73	0.97	20.97	1.04	21.56	21.73
	12	23.51	1.05	22.55	1.04	21.48	23.51
2006	1	21.18	0.94	19.85	1.07	21.11	21.18
	2	22.81	1.04	21.74	1.05	20.94	22.81
	3	20.60	1.02	20.88	0.99	20.40	20.60
	4	18.62	0.97	19.22	0.97	19.88	18.62
	5	18.49	0.99	19.20	0.96	19.47	18.49
	6	18.38	1.00	19.34	0.95	19.41	18.38
	7	19.52	1.01	19.68	0.99	19.42	19.52
	8	19.24	1.02	19.69	0.98	19.28	19.24
	9	18.22	0.98	18.54	0.98	18.97	18.22
	10	18.38	1.00	18.67	0.98	18.67	18.38
	11	19.40	1.01	18.72	1.04	18.49	19.40
	12	18.51	0.96	17.75	1.04	18.53	18.51

	월	기존 성장비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2007	1	20.14	1.00	18.88	1.07	18.81	20.14
	2	20.62	1.03	19.65	1.05	19.17	20.62
	3	18.88	0.99	19.14	0.99	19.26	18.88
	4	19.18	1.03	19.80	0.97	19.13	19.18
	5	17.52	0.98	18.19	0.96	18.61	17.52
	6	17.55	1.02	18.46	0.95	18.17	17.55
	7	17.17	0.98	17.31	0.99	17.63	17.17
	8	16.92	1.00	17.32	0.98	17.33	16.92
	9	16.71	1.00	17.00	0.98	17.05	16.71
	10	16.63	0.99	16.90	0.98	16.98	16.63
	11	17.30	0.99	16.70	1.04	16.91	17.30
	12	18.19	1.03	17.45	1.04	16.97	18.19
2008	1	17.50	0.97	16.40	1.07	16.99	17.50
	2	18.17	1.01	17.32	1.05	17.18	18.17
	3	17.24	1.01	17.47	0.99	17.27	17.24
	4	16.90	1.01	17.44	0.97	17.27	16.90
	5	16.41	1.00	17.04	0.96	16.97	16.41
	6	15.89	1.01	16.72	0.95	16.51	15.89
	7	15.66	0.98	15.78	0.99	16.07	15.66
	8	14.97	0.97	15.32	0.98	15.81	14.97
	9	15.92	1.02	16.20	0.98	15.82	15.92
	10	15.42	1.00	15.67	0.98	15.67	15.42
	11	16.61	1.05	16.03	1.04	15.26	16.61
	12	14.89	0.99	14.28	1.04	14.50	14.89

	월	기존 성상비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2009	1	14.06	0.95	13.18	1.07	13.88	14.06
	2	14.21	0.98	13.54	1.05	13.76	14.21
	3	13.56	0.99	13.74	0.99	13.93	13.56
	4	14.60	1.06	15.07	0.97	14.22	14.60
	5	13.22	0.97	13.73	0.96	14.22	13.22
	6	13.58	1.00	14.29	0.95	14.25	13.58
	7	14.26	1.02	14.37	0.99	14.16	14.26
	8	13.80	1.00	14.12	0.98	14.17	13.80
	9	13.53	0.97	13.77	0.98	14.14	13.53
	10	14.33	1.02	14.56	0.98	14.25	14.33
	11	14.72	0.98	14.21	1.04	14.44	14.72
	12	15.11	0.99	14.49	1.04	14.69	15.11
2010	1	16.55	1.04	15.51	1.07	14.89	16.55
	2	15.46	0.99	14.74	1.05	14.89	15.46
	3	14.65	0.99	14.85	0.99	14.96	14.65
	4	14.17	0.97	14.63	0.97	15.04	14.17
	5	15.28	1.04	15.86	0.96	15.24	15.28
	6	14.55	1.01	15.31	0.95	15.22	14.55
	7	14.72	0.98	14.84	0.99	15.18	14.72
	8	14.66	1.00	15.00	0.98	15.02	14.66
	9	15.35	1.05	15.62	0.98	14.87	15.35
	10	13.74	0.96	13.96	0.98	14.57	13.74
	11	14.75	0.99	14.23	1.04	14.39	14.75
	12	15.12	1.01	14.50	1.04	14.32	15.12

	월	기존 정상비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2011	1	15.21	1.00	14.26	1.07	14.22	15.21
	2	15.12	1.03	14.41	1.05	13.95	15.12
	3	12.98	0.97	13.16	0.99	13.56	12.98
	4	12.59	0.97	12.99	0.97	13.34	12.59
	5	12.96	1.02	13.46	0.96	13.23	12.96
	6	12.80	1.03	13.47	0.95	13.09	12.80
	7	12.56	0.98	12.66	0.99	12.96	12.56
	8	11.92	0.94	12.20	0.98	12.97	11.92
	9	13.63	1.04	13.87	0.98	13.39	13.63
	10	13.38	1.00	13.59	0.98	13.64	13.38
	11	15.18	1.06	14.65	1.04	13.85	15.18
	12	13.27	0.93	12.73	1.04	13.66	13.27
2012	1	15.12	1.03	14.17	1.07	13.79	15.12
	2	14.15	0.98	13.49	1.05	13.81	14.15
	3	14.28	1.04	14.47	0.99	13.93	14.28
	4	13.37	1.01	13.80	0.97	13.71	13.37
	5	12.68	0.97	13.17	0.96	13.59	12.68
	6	12.58	0.97	13.23	0.95	13.66	12.58
	7	14.12	1.02	14.23	0.99	13.91	14.12
	8	14.32	1.04	14.66	0.98	14.11	14.32
	9	13.34	0.97	13.58	0.98	14.02	13.34
	10	13.98	1.02	14.20	0.98	13.95	13.98
	11	14.01	0.97	13.52	1.04	13.89	14.01
	12	14.73	1.01	14.13	1.04	13.97	14.73

	월	기존 성상비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2013	1	15.17	1.03	14.22	1.07	13.74	15.17
	2	14.32	1.02	13.65	1.05	13.35	14.32
	3	11.79	0.93	11.95	0.99	12.90	11.79
	4	12.34	0.99	12.74	0.97	12.85	12.34
	5	12.76	1.01	13.25	0.96	13.08	12.76
	6	12.71	1.00	13.37	0.95	13.43	12.71
	7	13.69	1.01	13.80	0.99	13.64	13.69
	8	13.61	1.02	13.93	0.98	13.69	13.61
	9	13.24	1.00	13.47	0.98	13.54	13.24
	10	13.26	1.02	13.47	0.98	13.27	13.26
	11	13.29	0.99	12.83	1.04	12.94	13.29
	12	13.03	0.99	12.50	1.04	12.56	13.03
2014	1	13.45	1.02	12.61	1.07	12.35	13.45
	2	11.77	0.91	11.22	1.05	12.33	11.77
	3	12.85	1.02	13.02	0.99	12.73	12.85
	4	13.09	1.04	13.51	0.97	12.98	13.09
	5	12.90	1.02	13.39	0.96	13.19	12.90
	6	11.59	0.94	12.19	0.95	13.01	11.59
	7	13.97	1.08	14.08	0.99	13.01	13.97
	8	11.80	0.95	12.08	0.98	12.77	11.80
	9	12.73	1.01	12.95	0.98	12.86	12.73
	10	12.25	0.97	12.45	0.98	12.85	12.25
	11	14.23	1.06	13.73	1.04	13.00	14.23
	12	13.38	0.98	12.83	1.04	13.08	13.38

<표 3> 나무/짚류 폐기물의 계절요인 분석결과

(단위: %)

	월	기존 성상 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2003	1	5.33	1.01	5.55	0.96	5.48	5.33
	2	5.17	0.96	5.36	0.96	5.60	5.17
	3	5.86	1.01	5.90	0.99	5.85	5.86
	4	6.52	1.09	6.52	1.00	5.98	6.52
	5	5.29	0.93	5.60	0.94	6.00	5.29
	6	5.91	0.94	5.88	1.01	6.24	5.91
	7	6.14	0.98	6.49	0.95	6.64	6.14
	8	7.51	1.09	7.80	0.96	7.19	7.51
	9	7.37	0.98	7.29	1.01	7.44	7.37
	10	7.92	1.04	7.84	1.01	7.50	7.92
	11	8.47	1.01	7.33	1.16	7.29	8.47
	12	7.31	0.98	6.98	1.05	7.10	7.31
2004	1	6.39	0.95	6.65	0.96	6.99	6.39
	2	6.87	1.02	7.13	0.96	6.99	6.87
	3	7.35	1.04	7.40	0.99	7.09	7.35
	4	6.48	0.92	6.48	1.00	7.05	6.48
	5	7.30	1.08	7.73	0.94	7.16	7.30
	6	6.65	0.92	6.61	1.01	7.16	6.65
	7	7.29	1.04	7.71	0.95	7.38	7.29
	8	6.94	0.98	7.21	0.96	7.34	6.94
	9	8.04	1.08	7.95	1.01	7.34	8.04
	10	6.57	0.90	6.51	1.01	7.23	6.57
	11	8.21	0.97	7.10	1.16	7.35	8.21
	12	8.60	1.09	8.21	1.05	7.52	8.60

	월	기존 성상 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2005	1	7.16	0.98	7.45	0.96	7.61	7.16
	2	7.15	0.96	7.42	0.96	7.74	7.15
	3	7.73	0.98	7.78	0.99	7.91	7.73
	4	8.72	1.06	8.72	1.00	8.23	8.72
	5	7.67	0.97	8.12	0.94	8.33	7.67
	6	8.77	1.05	8.72	1.01	8.28	8.77
	7	7.50	0.98	7.93	0.95	8.05	7.50
	8	7.27	0.95	7.55	0.96	7.91	7.27
	9	8.09	1.00	8.00	1.01	7.96	8.09
	10	8.01	0.98	7.93	1.01	8.05	8.01
	11	10.15	1.06	8.78	1.16	8.26	10.15
	12	7.92	0.91	7.56	1.05	8.33	7.92
2006	1	8.69	1.06	9.05	0.96	8.55	8.69
	2	8.36	1.00	8.67	0.96	8.70	8.36
	3	8.52	0.97	8.58	0.99	8.88	8.52
	4	9.44	1.06	9.44	1.00	8.88	9.44
	5	8.45	1.03	8.95	0.94	8.67	8.45
	6	7.96	0.94	7.92	1.01	8.42	7.96
	7	7.51	0.96	7.94	0.95	8.23	7.51
	8	8.49	1.07	8.82	0.96	8.27	8.49
	9	7.93	0.94	7.84	1.01	8.30	7.93
	10	8.62	1.01	8.54	1.01	8.45	8.62
	11	9.87	1.02	8.54	1.16	8.40	9.87
	12	9.31	1.08	8.89	1.05	8.22	9.31

	월	기존 성상 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2007	1	7.00	0.94	7.29	0.96	7.72	7.00
	2	6.90	0.96	7.16	0.96	7.43	6.90
	3	6.96	0.96	7.01	0.99	7.32	6.96
	4	7.87	1.03	7.87	1.00	7.64	7.87
	5	7.08	0.96	7.50	0.94	7.84	7.08
	6	9.00	1.11	8.95	1.01	8.08	9.00
	7	7.04	0.94	7.44	0.95	7.95	7.04
	8	7.83	1.03	8.13	0.96	7.92	7.83
	9	7.65	0.99	7.57	1.01	7.65	7.65
	10	7.97	1.03	7.89	1.01	7.67	7.97
	11	7.74	0.87	6.70	1.16	7.71	7.74
	12	9.08	1.07	8.67	1.05	8.08	9.08
2008	1	8.30	1.04	8.64	0.96	8.28	8.30
	2	7.82	0.98	8.11	0.96	8.24	7.82
	3	8.32	1.03	8.38	0.99	8.12	8.32
	4	7.12	0.89	7.12	1.00	7.97	7.12
	5	8.34	1.09	8.83	0.94	8.13	8.34
	6	7.87	0.96	7.83	1.01	8.16	7.87
	7	7.93	1.03	8.38	0.95	8.18	7.93
	8	8.07	1.05	8.38	0.96	7.98	8.07
	9	7.27	0.92	7.19	1.01	7.79	7.27
	10	7.74	1.01	7.66	1.01	7.62	7.74
	11	9.35	1.11	8.09	1.16	7.31	9.35
	12	6.94	0.96	6.63	1.05	6.88	6.94

	월	기존 성상 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2009	1	5.56	0.87	5.79	0.96	6.63	5.56
	2	6.37	0.96	6.61	0.96	6.86	6.37
	3	7.67	1.07	7.72	0.99	7.25	7.67
	4	8.29	1.12	8.29	1.00	7.41	8.29
	5	6.11	0.90	6.47	0.94	7.21	6.11
	6	6.84	0.95	6.80	1.01	7.13	6.84
	7	7.20	1.04	7.61	0.95	7.32	7.20
	8	7.06	0.98	7.33	0.96	7.45	7.06
	9	8.37	1.11	8.28	1.01	7.45	8.37
	10	6.57	0.90	6.51	1.01	7.25	6.57
	11	8.03	0.94	6.95	1.16	7.37	8.03
	12	8.28	1.03	7.91	1.05	7.67	8.28
2010	1	8.04	1.04	8.37	0.96	8.07	8.04
	2	7.86	0.99	8.16	0.96	8.25	7.86
	3	8.42	1.03	8.48	0.99	8.24	8.42
	4	8.20	1.01	8.20	1.00	8.15	8.20
	5	7.19	0.94	7.61	0.94	8.06	7.19
	6	8.44	1.05	8.40	1.01	8.02	8.44
	7	7.56	1.01	7.99	0.95	7.94	7.56
	8	7.31	0.96	7.59	0.96	7.91	7.31
	9	7.96	0.99	7.87	1.01	7.98	7.96
	10	8.39	1.01	8.31	1.01	8.19	8.39
	11	9.76	1.02	8.44	1.16	8.30	9.76
	12	9.00	1.03	8.60	1.05	8.31	9.00

	월	기존 성상 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2011	1	7.38	0.95	7.68	0.96	8.08	7.38
	2	8.13	1.07	8.44	0.96	7.91	8.13
	3	7.11	0.94	7.16	0.99	7.64	7.11
	4	7.61	1.00	7.61	1.00	7.59	7.61
	5	7.11	0.97	7.53	0.94	7.73	7.11
	6	7.67	0.95	7.63	1.01	8.06	7.67
	7	8.86	1.11	9.37	0.95	8.41	8.86
	8	7.96	0.97	8.27	0.96	8.48	7.96
	9	8.37	1.00	8.28	1.01	8.29	8.37
	10	8.72	1.07	8.63	1.01	8.05	8.72
	11	7.67	0.84	6.64	1.16	7.87	7.67
	12	8.82	1.04	8.42	1.05	8.10	8.82
2012	1	8.20	1.03	8.54	0.96	8.32	8.20
	2	8.32	1.01	8.63	0.96	8.56	8.32
	3	8.46	0.99	8.52	0.99	8.59	8.46
	4	8.65	1.00	8.65	1.00	8.68	8.65
	5	8.13	0.98	8.61	0.94	8.81	8.13
	6	9.30	1.03	9.25	1.01	8.94	9.30
	7	8.65	1.02	9.14	0.95	8.97	8.65
	8	8.24	0.97	8.56	0.96	8.86	8.24
	9	9.21	1.04	9.11	1.01	8.79	9.21
	10	8.42	0.97	8.34	1.01	8.61	8.42
	11	10.20	1.03	8.82	1.16	8.53	10.20
	12	8.46	0.97	8.08	1.05	8.36	8.46

	월	기존 성상 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2013	1	8.04	1.01	8.37	0.96	8.29	8.04
	2	8.01	1.03	8.31	0.96	8.04	8.01
	3	7.81	1.01	7.86	0.99	7.79	7.81
	4	6.89	0.91	6.89	1.00	7.56	6.89
	5	7.33	1.02	7.76	0.94	7.58	7.33
	6	7.87	1.03	7.83	1.01	7.62	7.87
	7	7.22	1.01	7.63	0.95	7.57	7.22
	8	7.11	0.97	7.38	0.96	7.61	7.11
	9	7.12	0.89	7.04	1.01	7.90	7.12
	10	9.21	1.09	9.12	1.01	8.37	9.21
	11	10.78	1.04	9.33	1.16	8.92	10.78
	12	8.25	0.85	7.88	1.05	9.32	8.25
2014	1	10.86	1.16	11.30	0.96	9.75	10.86
	2	9.51	1.02	9.87	0.96	9.69	9.51
	3	8.92	0.94	8.98	0.99	9.53	8.92
	4	9.14	0.98	9.14	1.00	9.30	9.14
	5	8.96	1.03	9.49	0.94	9.20	8.96
	6	9.49	1.06	9.44	1.01	8.91	9.49
	7	7.75	0.98	8.19	0.95	8.35	7.75
	8	7.12	0.92	7.39	0.96	8.05	7.12
	9	7.49	0.92	7.41	1.01	8.08	7.49
	10	9.71	1.14	9.61	1.01	8.45	9.71
	11	9.52	0.94	8.24	1.16	8.78	9.52
	12	8.89	0.95	8.49	1.05	8.95	8.89

<표 4> 섬유/가죽류 폐기물의 계절요인 분석결과

(단위: %)

	월	기존 정상 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2003	1	6.70	0.94	7.00	0.96	7.43	6.70
	2	7.65	1.10	7.96	0.96	7.21	7.65
	3	6.89	0.99	6.67	1.03	6.77	6.89
	4	5.67	0.85	5.48	1.04	6.46	5.67
	5	7.22	1.07	7.04	1.03	6.57	7.22
	6	6.62	0.93	6.36	1.04	6.82	6.62
	7	7.68	1.04	7.70	1.00	7.42	7.68
	8	7.55	0.93	7.30	1.03	7.89	7.55
	9	9.39	1.12	9.31	1.01	8.29	9.39
	10	8.59	1.07	8.69	0.99	8.15	8.59
	11	6.73	0.90	7.01	0.96	7.77	6.73
	12	7.01	0.97	7.32	0.96	7.56	7.01
2004	1	7.29	1.01	7.61	0.96	7.54	7.29
	2	7.83	1.07	8.15	0.96	7.59	7.83
	3	7.31	0.96	7.07	1.03	7.38	7.31
	4	7.41	0.99	7.16	1.04	7.20	7.41
	5	7.12	0.98	6.94	1.03	7.07	7.12
	6	7.44	1.00	7.15	1.04	7.16	7.44
	7	7.14	0.99	7.16	1.00	7.21	7.14
	8	7.92	1.05	7.66	1.03	7.29	7.92
	9	6.92	0.94	6.86	1.01	7.34	6.92
	10	7.36	1.01	7.44	0.99	7.40	7.36
	11	7.78	1.08	8.11	0.96	7.49	7.78
	12	6.43	0.88	6.71	0.96	7.63	6.43

	월	기존 성장 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2005	1	7.58	0.98	7.92	0.96	8.06	7.58
	2	8.69	1.07	9.04	0.96	8.42	8.69
	3	9.45	1.08	9.14	1.03	8.50	9.45
	4	8.11	0.96	7.83	1.04	8.17	8.11
	5	7.57	0.95	7.38	1.03	7.80	7.57
	6	8.28	1.03	7.96	1.04	7.73	8.28
	7	7.33	0.94	7.35	1.00	7.79	7.33
	8	8.71	1.07	8.42	1.03	7.86	8.71
	9	7.96	1.02	7.90	1.01	7.73	7.96
	10	6.96	0.93	7.04	0.99	7.60	6.96
	11	7.33	0.99	7.64	0.96	7.70	7.33
	12	7.48	0.99	7.81	0.96	7.91	7.48
2006	1	8.42	1.09	8.79	0.96	8.07	8.42
	2	7.53	1.00	7.83	0.96	7.80	7.53
	3	7.61	0.99	7.36	1.03	7.41	7.61
	4	6.79	0.93	6.56	1.04	7.09	6.79
	5	7.23	1.00	7.05	1.03	7.07	7.23
	6	7.75	1.04	7.45	1.04	7.19	7.75
	7	7.12	0.98	7.14	1.00	7.32	7.12
	8	7.72	1.01	7.46	1.03	7.41	7.72
	9	7.68	1.02	7.62	1.01	7.46	7.68
	10	7.23	0.97	7.31	0.99	7.55	7.23
	11	7.28	0.99	7.59	0.96	7.63	7.28
	12	7.80	1.05	8.14	0.96	7.72	7.80

	월	기존 성장 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2007	1	7.04	0.96	7.35	0.96	7.69	7.04
	2	7.53	1.02	7.83	0.96	7.70	7.53
	3	7.88	0.99	7.62	1.03	7.72	7.88
	4	8.00	1.00	7.73	1.04	7.75	8.00
	5	8.32	1.04	8.11	1.03	7.77	8.32
	6	7.58	0.95	7.28	1.04	7.69	7.58
	7	7.93	1.04	7.95	1.00	7.66	7.93
	8	7.76	0.99	7.50	1.03	7.56	7.76
	9	7.48	0.99	7.42	1.01	7.48	7.48
	10	7.39	1.02	7.47	0.99	7.35	7.39
	11	6.84	0.98	7.13	0.96	7.27	6.84
	12	6.85	0.99	7.15	0.96	7.21	6.85
2008	1	7.04	1.01	7.35	0.96	7.25	7.04
	2	6.71	0.96	6.98	0.96	7.31	6.71
	3	8.10	1.06	7.84	1.03	7.40	8.10
	4	7.56	1.00	7.30	1.04	7.30	7.56
	5	7.33	0.99	7.15	1.03	7.23	7.33
	6	7.13	0.97	6.85	1.04	7.06	7.13
	7	7.45	1.07	7.47	1.00	6.96	7.45
	8	6.66	0.96	6.44	1.03	6.71	6.66
	9	6.52	0.97	6.47	1.01	6.64	6.52
	10	6.24	0.95	6.31	0.99	6.65	6.24
	11	7.12	1.10	7.42	0.96	6.77	7.12
	12	6.43	1.00	6.71	0.96	6.69	6.43

	월	기존 성장 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2009	1	5.91	0.95	6.17	0.96	6.51	5.91
	2	6.36	1.04	6.62	0.96	6.36	6.36
	3	6.16	0.95	5.96	1.03	6.28	6.16
	4	6.62	1.01	6.39	1.04	6.33	6.62
	5	6.65	1.03	6.48	1.03	6.29	6.65
	6	6.51	0.99	6.25	1.04	6.32	6.51
	7	5.86	0.92	5.88	1.00	6.40	5.86
	8	7.26	1.07	7.02	1.03	6.54	7.26
	9	6.97	1.05	6.91	1.01	6.56	6.97
	10	5.94	0.93	6.01	0.99	6.44	5.94
	11	6.07	0.97	6.32	0.96	6.52	6.07
	12	6.20	0.96	6.47	0.96	6.72	6.20
2010	1	7.49	1.11	7.82	0.96	7.05	7.49
	2	6.54	0.96	6.80	0.96	7.11	6.54
	3	7.35	0.98	7.11	1.03	7.23	7.35
	4	7.45	0.97	7.19	1.04	7.41	7.45
	5	8.08	1.01	7.88	1.03	7.77	8.08
	6	8.62	1.04	8.28	1.04	7.95	8.62
	7	8.21	1.03	8.24	1.00	7.99	8.21
	8	7.57	0.93	7.32	1.03	7.85	7.57
	9	8.15	1.03	8.08	1.01	7.85	8.15
	10	7.72	1.00	7.81	0.99	7.80	7.72
	11	7.61	1.02	7.93	0.96	7.78	7.61
	12	7.10	0.96	7.41	0.96	7.69	7.10

	월	기존 성장 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2011	1	7.40	1.01	7.73	0.96	7.67	7.40
	2	7.52	1.01	7.82	0.96	7.73	7.52
	3	7.70	0.96	7.45	1.03	7.78	7.70
	4	8.62	1.05	8.32	1.04	7.95	8.62
	5	7.85	0.96	7.65	1.03	8.01	7.85
	6	8.85	1.05	8.50	1.04	8.07	8.85
	7	8.00	1.00	8.02	1.00	8.01	8.00
	8	7.66	0.92	7.41	1.03	8.09	7.66
	9	8.62	1.03	8.55	1.01	8.28	8.62
	10	8.82	1.06	8.92	0.99	8.44	8.82
	11	7.86	0.98	8.19	0.96	8.40	7.86
	12	7.99	1.02	8.34	0.96	8.19	7.99
2012	1	7.61	1.00	7.95	0.96	7.96	7.61
	2	7.17	0.95	7.46	0.96	7.82	7.17
	3	8.32	1.02	8.05	1.03	7.86	8.32
	4	7.91	0.97	7.64	1.04	7.91	7.91
	5	8.64	1.05	8.42	1.03	8.04	8.64
	6	8.22	0.98	7.90	1.04	8.08	8.22
	7	7.98	0.99	8.00	1.00	8.11	7.98
	8	8.80	1.04	8.51	1.03	8.15	8.80
	9	7.77	0.94	7.71	1.01	8.19	7.77
	10	8.43	1.02	8.53	0.99	8.37	8.43
	11	8.17	1.01	8.51	0.96	8.47	8.17
	12	8.41	1.02	8.78	0.96	8.60	8.41

	월	기존 성장 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2013	1	8.02	0.97	8.38	0.96	8.65	8.02
	2	8.40	0.99	8.74	0.96	8.81	8.40
	3	9.48	1.03	9.17	1.03	8.91	9.48
	4	9.48	1.03	9.15	1.04	8.93	9.48
	5	8.76	0.96	8.54	1.03	8.87	8.76
	6	9.05	0.98	8.70	1.04	8.86	9.05
	7	9.32	1.06	9.35	1.00	8.86	9.32
	8	9.01	0.99	8.71	1.03	8.84	9.01
	9	8.38	0.94	8.31	1.01	8.82	8.38
	10	9.30	1.05	9.41	0.99	8.99	9.30
	11	8.53	0.99	8.89	0.96	8.97	8.53
	12	9.14	1.08	9.54	0.96	8.85	9.14
2014	1	7.55	0.92	7.89	0.96	8.56	7.55
	2	7.79	0.94	8.11	0.96	8.61	7.79
	3	9.53	1.03	9.22	1.03	8.94	9.53
	4	9.78	1.01	9.44	1.04	9.34	9.78
	5	10.06	1.04	9.81	1.03	9.47	10.06
	6	9.95	1.02	9.56	1.04	9.33	9.95
	7	8.54	0.95	8.57	1.00	8.99	8.54
	8	9.39	1.01	9.08	1.03	8.96	9.39
	9	8.20	0.90	8.13	1.01	9.02	8.20
	10	10.29	1.11	10.41	0.99	9.37	10.29
	11	8.87	0.96	9.24	0.96	9.64	8.87
	12	8.89	0.95	9.28	0.96	9.78	8.89

<표 5> 불연물류 폐기물의 계절요인 분석결과

(단위: %)

	월	기존 정상 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2003	1	5.40	0.92	5.26	1.03	5.71	5.40
	2	5.74	1.02	5.77	1.00	5.64	5.74
	3	6.05	1.07	5.90	1.02	5.52	6.05
	4	5.02	0.91	4.91	1.02	5.38	5.02
	5	5.38	0.99	5.34	1.01	5.38	5.38
	6	5.37	1.00	5.42	0.99	5.45	5.37
	7	5.64	1.04	5.87	0.96	5.63	5.64
	8	5.35	0.96	5.46	0.98	5.67	5.35
	9	6.00	1.05	5.98	1.00	5.69	6.00
	10	5.47	1.00	5.56	0.98	5.56	5.47
	11	5.30	0.98	5.35	0.99	5.49	5.30
	12	5.35	0.97	5.28	1.01	5.44	5.35
2004	1	5.86	1.03	5.71	1.03	5.54	5.86
	2	5.46	0.98	5.49	1.00	5.61	5.46
	3	6.00	1.03	5.85	1.02	5.68	6.00
	4	5.75	0.98	5.63	1.02	5.74	5.75
	5	5.67	0.95	5.62	1.01	5.92	5.67
	6	6.27	1.03	6.33	0.99	6.15	6.27
	7	6.37	1.05	6.63	0.96	6.33	6.37
	8	6.08	0.97	6.21	0.98	6.39	6.08
	9	6.38	0.99	6.35	1.00	6.40	6.38
	10	6.44	1.02	6.54	0.98	6.42	6.44
	11	6.34	0.99	6.40	0.99	6.44	6.34
	12	6.53	1.01	6.44	1.01	6.38	6.53

	월	기존 성장 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2005	1	6.62	1.03	6.45	1.03	6.29	6.62
	2	5.82	0.95	5.85	1.00	6.15	5.82
	3	6.42	1.02	6.26	1.02	6.12	6.42
	4	6.06	0.97	5.93	1.02	6.11	6.06
	5	6.37	1.02	6.32	1.01	6.19	6.37
	6	6.12	0.98	6.18	0.99	6.34	6.12
	7	6.05	0.97	6.30	0.96	6.50	6.05
	8	7.20	1.11	7.35	0.98	6.62	7.20
	9	6.29	0.96	6.26	1.00	6.55	6.29
	10	6.15	0.96	6.25	0.98	6.50	6.15
	11	6.58	1.01	6.65	0.99	6.56	6.58
	12	6.64	0.98	6.55	1.01	6.69	6.64
2006	1	7.42	1.07	7.23	1.03	6.78	7.42
	2	6.54	0.99	6.57	1.00	6.67	6.54
	3	6.61	0.98	6.45	1.02	6.60	6.61
	4	6.53	0.98	6.39	1.02	6.53	6.53
	5	6.92	1.05	6.86	1.01	6.53	6.92
	6	6.30	0.98	6.36	0.99	6.46	6.30
	7	5.97	0.97	6.21	0.96	6.43	5.97
	8	6.40	1.02	6.53	0.98	6.43	6.40
	9	6.60	1.02	6.57	1.00	6.45	6.60
	10	6.25	0.99	6.35	0.98	6.44	6.25
	11	6.26	0.98	6.32	0.99	6.48	6.26
	12	6.65	0.98	6.56	1.01	6.72	6.65

	월	기존 성장 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2007	1	7.15	0.99	6.96	1.03	7.01	7.15
	2	7.82	1.08	7.86	1.00	7.28	7.82
	3	7.18	0.96	7.01	1.02	7.31	7.18
	4	7.61	1.03	7.45	1.02	7.26	7.61
	5	7.27	1.00	7.21	1.01	7.21	7.27
	6	6.62	0.91	6.69	0.99	7.32	6.62
	7	7.65	1.06	7.96	0.96	7.51	7.65
	8	7.90	1.06	8.07	0.98	7.59	7.90
	9	7.01	0.94	6.98	1.00	7.45	7.01
	10	7.41	1.03	7.53	0.98	7.28	7.41
	11	6.90	0.99	6.97	0.99	7.04	6.90
	12	7.08	1.01	6.98	1.01	6.92	7.08
2008	1	6.59	0.94	6.42	1.03	6.79	6.59
	2	6.99	1.02	7.02	1.00	6.87	6.99
	3	7.06	1.00	6.89	1.02	6.92	7.06
	4	7.30	1.03	7.14	1.02	6.94	7.30
	5	6.95	1.01	6.89	1.01	6.86	6.95
	6	6.39	0.96	6.46	0.99	6.73	6.39
	7	6.66	1.03	6.93	0.96	6.71	6.66
	8	6.29	0.95	6.42	0.98	6.73	6.29
	9	6.97	1.00	6.94	1.00	6.92	6.97
	10	7.01	1.01	7.12	0.98	7.03	7.01
	11	7.36	1.06	7.43	0.99	7.02	7.36
	12	6.84	1.00	6.74	1.01	6.76	6.84

	월	기존 성장 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2009	1	6.33	0.96	6.16	1.03	6.44	6.33
	2	6.29	1.01	6.32	1.00	6.24	6.29
	3	6.06	0.97	5.91	1.02	6.13	6.06
	4	6.43	1.02	6.29	1.02	6.18	6.43
	5	6.06	0.97	6.01	1.01	6.22	6.06
	6	6.54	1.06	6.61	0.99	6.25	6.54
	7	6.01	1.01	6.25	0.96	6.18	6.01
	8	5.49	0.92	5.61	0.98	6.09	5.49
	9	6.42	1.05	6.39	1.00	6.08	6.42
	10	6.03	1.00	6.12	0.98	6.10	6.03
	11	5.74	0.93	5.80	0.99	6.20	5.74
	12	6.64	1.02	6.55	1.01	6.43	6.64
2010	1	6.88	1.00	6.70	1.03	6.71	6.88
	2	7.10	1.01	7.13	1.00	7.03	7.10
	3	7.28	0.99	7.10	1.02	7.21	7.28
	4	7.87	1.04	7.70	1.02	7.39	7.87
	5	7.25	0.98	7.19	1.01	7.34	7.25
	6	7.61	1.07	7.69	0.99	7.16	7.61
	7	6.32	0.96	6.58	0.96	6.84	6.32
	8	6.00	0.91	6.13	0.98	6.75	6.00
	9	7.03	1.01	7.00	1.00	6.90	7.03
	10	7.38	1.04	7.50	0.98	7.22	7.38
	11	7.24	0.99	7.31	0.99	7.41	7.24
	12	7.87	1.03	7.76	1.01	7.51	7.87

	월	기존 성장 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2011	1	7.41	0.98	7.22	1.03	7.37	7.41
	2	7.72	1.08	7.76	1.00	7.16	7.72
	3	6.46	0.94	6.30	1.02	6.73	6.46
	4	6.48	0.97	6.34	1.02	6.54	6.48
	5	6.26	0.95	6.21	1.01	6.53	6.26
	6	6.94	1.02	7.01	0.99	6.86	6.94
	7	6.89	1.00	7.17	0.96	7.18	6.89
	8	7.46	1.03	7.62	0.98	7.42	7.46
	9	7.71	1.02	7.68	1.00	7.56	7.71
	10	7.10	0.95	7.21	0.98	7.59	7.10
	11	8.06	1.06	8.14	0.99	7.67	8.06
	12	7.49	0.97	7.39	1.01	7.59	7.49
2012	1	7.93	1.02	7.72	1.03	7.59	7.93
	2	7.20	0.97	7.23	1.00	7.49	7.20
	3	7.96	1.03	7.77	1.02	7.51	7.96
	4	7.50	0.98	7.34	1.02	7.47	7.50
	5	7.50	1.00	7.44	1.01	7.45	7.50
	6	7.49	1.02	7.57	0.99	7.41	7.49
	7	6.85	0.97	7.13	0.96	7.35	6.85
	8	7.38	1.03	7.54	0.98	7.34	7.38
	9	7.19	0.98	7.16	1.00	7.29	7.19
	10	7.17	0.99	7.28	0.98	7.32	7.17
	11	7.32	1.01	7.39	0.99	7.31	7.32
	12	7.49	1.01	7.39	1.01	7.34	7.49

	월	기존 성장 비율	불규칙 요인	계절조정 계열	계절 요인	추세순환 요인	승법모형 검증
2013	1	7.27	0.95	7.08	1.03	7.49	7.27
	2	7.61	0.99	7.65	1.00	7.75	7.61
	3	8.90	1.09	8.68	1.02	7.99	8.90
	4	8.06	0.99	7.89	1.02	7.96	8.06
	5	7.78	0.99	7.72	1.01	7.78	7.78
	6	7.48	1.00	7.56	0.99	7.56	7.48
	7	6.97	0.97	7.25	0.96	7.44	6.97
	8	7.37	1.01	7.53	0.98	7.42	7.37
	9	7.39	0.99	7.36	1.00	7.41	7.39
	10	7.30	0.99	7.41	0.98	7.51	7.30
	11	7.38	0.98	7.45	0.99	7.64	7.38
	12	8.30	1.05	8.18	1.01	7.77	8.30
2014	1	8.08	1.01	7.87	1.03	7.80	8.08
	2	7.26	0.93	7.29	1.00	7.83	7.26
	3	8.37	1.02	8.17	1.02	8.02	8.37
	4	8.50	1.01	8.32	1.02	8.22	8.50
	5	8.63	1.03	8.56	1.01	8.35	8.63
	6	8.22	1.00	8.30	0.99	8.28	8.22
	7	7.70	0.98	8.01	0.96	8.21	7.70
	8	7.99	0.98	8.16	0.98	8.36	7.99
	9	8.39	0.98	8.36	1.00	8.57	8.39
	10	9.55	1.12	9.70	0.98	8.66	9.55
	11	8.23	0.98	8.31	0.99	8.45	8.23
	12	7.45	0.88	7.35	1.01	8.35	7.45

Abstract

Appropriate GHG and Fossil Carbon Fraction Measuring Cycle in Flue gas form Municipal Solid Waste Incinerator

Kang Seongmin

Department of Environmental
and Energy Sciences

The Graduate School

Sejong University

Methods for estimating greenhouse gas emissions from municipal solid waste incineration facilities have the solid waste-based estimation methods and the exhaust gas-based estimation methods. Because waste characteristics vary depending on the waste generate place and season, it is considered that the method of estimating the emission based on the concentration of exhaust gas after combustion is better than the estimation of greenhouse gas emissions based on the waste characteristics. CO₂ concentration measurement is essential in estimating emissions of exhaust gas-based GHGs. In order to do this, CO₂ concentration measurement would costs regarding selection of target facilities, sample collection and analysis.

The fossil carbon fraction is required to exclude the carbon fraction of biomass origin according to carbon neutral. And also, the sampling and analysis

of the fossil carbon fraction is difficult and costly. Therefore, it is necessary to study the appropriate measurement period of CO₂ concentration and fossil carbon fraction to ensure statistical reliability.

In this study, we tried to estimate the appropriate measurement period to be representative of CO₂ concentration and fossil carbon fraction in the calculation of exhaust gas - based GHG emissions. Also, municipal solid waste (MSW) can be influenced by the environmental and seasonal factors. Therefore, this study was conducted to determine the seasonal influence.

The seasonality of MSW incinerators was analyzed using two factors; MSW composition and CO₂ concentration. Seasonality in regard to municipal waste incineration facilities was analyzed by two factors: municipal waste characteristics and CO₂ concentration. It is analyzed that waste characteristics has a seasonality except vinyl / plastic waste and other waste.

Seasonalities of greenhouse gases emitted from municipal waste incineration facilities are considered to season, because the mean distribution of CO₂ concentrations in spring, summer, autumn and winter are different.

As a preliminary study to determine the appropriate measurement period, the characteristics of the CO₂ concentration in the measurement period of the municipal waste incineration facilities were analyzed and test of normality.

As a result of the test of normality of CO₂ concentration by measurement period, it was analyzed to be non-normal distribution. Therefore, statistical analysis should be done by nonparametric method.

The fossil carbon fraction was also analyzed emission characteristics and test of normality. As a result of the test of normality to measurement period of fossil carbon fraction, one or more data were analyzed to be non - regular distribution. Therefore, statistical analysis was performed by nonparametric

method.

Because the CO₂ concentration data are mostly non-normal distribution, the comparison of mean distribution is method of the Kruskal-Wallis test in order to estimate the appropriate measurement period.

The results of Kruskal-Wallis test showed that the mean distribution of monthly, quarterly, seasonal, semi-annual and annual data of A-C municipal waste incineration facilities were different. As a result of comparing the mean distribution by measurement period, CO₂ concentration measurement is considered to be suitable as the "month" period in which the largest amount of data can be obtained during the measurement period.

The mean distribution of fossil carbon fractions in the measurement period was compared using the method of Kruskal-Wallis test because one or more data were non-normal distribution. Kruskal-Wallis test of fossil carbon fraction data by measurement period showed that the mean distribution of months, quarters, seasons, half-years, and years were the same for all A-C municipal waste incineration facilities. As a result of comparing the mean distribution by measurement period, it would be appropriate to measure the fossil carbon fraction by the 'year' period which can be measured as the minimum to obtain the data representative of one year.

The results of this study, estimating the greenhouse gas emissions based on municipal waste incineration facilities should be measured in cycles of 'one month' in case of CO₂ concentration, the appropriate measurement period should be measured in cycles of 'years' for fossil carbon fraction.

Keywords : GHG Inventory, MSW incinerator, Appropriate Measuring Cycle, CO₂ concentration, Fossil carbon Fraction