



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

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

[Disclaimer](#)

광주광역시 생활폐기물 성상변화
추이에 관한 연구

2018년 2월 23일

조선대학교 대학원

환경 공 학 과

정 종 식

광주광역시 생활폐기물 성상변화 추이에 관한 연구

A study on the transformational trend by the property
of municipal solid waste in Gwang-Ju metropolitan city

2018년 2월 23일

조선대학교 대학원

환경 공 학 과

정 종 식

광주광역시 생활폐기물 성상변화 추이에 관한 연구

지도교수 이 성 기

이 논문을 공학석사학위 신청논문으로 제출함

2017년 10월

조선대학교 대학원

환 경 공 학 과

정 종 식

정종식의 석사학위논문을 인준함

위원장	조선대학교	교수	정경훈	(인)
위원	조선대학교	교수	신대윤	(인)
위원	조선대학교	교수	이성기	(인)

2017년 11월

조선대학교 대학원

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 배경 및 목적	1
제 2 장 문헌연구	3
제 1 절 생활폐기물의 정의	3
1. 생활폐기물	3
2. 생활폐기물의 특성	4
3. 생활폐기물의 종류	6
제 2 절 국내 생활폐기물 현황	7
1. 국내 생활폐기물 발생현황	7
2. 생활폐기물 처리현황	7
제 3 절 한국환경공단 성상분석 선행자료 검토	10
1. 계절별 시료채취 결과	10
2. 겉보기 밀도 조사결과	10
3. 물리적 조성 조사결과	11
4. 입도 조성 결과	12
5. 삼성분 결과	14
6. 원소 조성 결과	15
7. 발열량 결과	16
제 3 장 실험방법	17
제 1 절 시료채취	17
1. 시료채취지점	17
2. 물리적 성상분류 방법	20

3. 시험분석방법	22
제 4 장 결과 및 분석	25
제 1 절 시료채취	25
1. 시료채취 일정	25
2. 시료 채취 지점	27
3. 시료 채취와 분석	27
제 2 절 겉보기 밀도	29
제 3 절 물리적 조성	31
1. 물리적 조성분류 결과	31
2. 음식물류 폐기물 발생량 검토	37
3. 삼성분	39
4. 원소 조성	49
5. 발열량	53
제 5 장 결 론	57
1. 시료채취	57
2. 겉보기 밀도	57
3. 물리적 조성	57
4. 삼성분	58
5. 원소분석	59
6. 발열량	59

List of table

Table 1. Disposal method of MSW by area in 2013	8
Table 2. Change of physical characteristics by year in MSW	9
Table 3. Seasonal physical composition survey results (average)	11
Table 4. Seasonal grain composition survey results (average)	13
Table 5. Result of three major components analysis	14
Table 6. Element composition result	15
Table 7. Caloric Results	16
Table 8. Sampling point	17
Table 9. Sampling Schedule	18
Table 10. Classification of items for classification of physical composition in 2012 (2015 ~ 16 years)	21
Table 11. Seasonal and monthly sample collection schedule	26
Table 12. Apparent density measurement result	29
Table 13. Physical composition	32
Table 14. Gwangju metropolitan City Waste Generation Status	33
Table 15. Seasonal changes in physical composition	35
Table 16. Classification of physical properties of combustible components by site	38
Table 17. Results of three major components analysis by branch (average)	40
Table 18. Monthly and seasonal changes of three major composition	41
Table 19. Element composition	50
Table 20. Monthly calorific value measurement and calculation result	54
Table 21. Seasonal calorific value measurement and calculation result	55

List of Figure

Fig.1 Average apparent density by season	10
Fig.2 Seasonal physical composition survey results	12
Fig.3 Seasonal grain size survey results	13
Fig.4 Result of three major components analysis	14
Fig.5 Element composition average	15
Fig.6 Caloric Results	16
Fig.7 Sampling point	19
Fig.8 Wastes sustainability Analysis Flowchart	24
Fig.9 Sample collection by branch	28
Fig.10 Apparent density measurement result	30
Fig.11 Apparent density measurement result (operating site)	30
Fig.12 Physical composition of monthly changes	34
Fig.13 Monthly change of flammable substance and incombustible substance	34
Fig.14 Physical composition (average)	35
Fig.15 Seasonal changes in physical composition	36
Fig.16 Waste of food waste by branch	38
Fig.17 Paper and vinyl / plastic wastes generated by branch	38
Fig.18 Results of three major components analysis by branch (average)	40
Fig.19 Monthly change of three major components analysis	42
Fig.20 Seasonal three major components analysis (average)	42
Fig.21 Sanitary landfill Monthly three major components analysis branch	43
Fig.22 Monthly three major components analysis of Sangmu incinerator	43
Fig.23 Monthly three major components analysis of Duam-dong	44
Fig.24 Monthly three major components analysis of Ilgog-jigu	44
Fig.25 Monthly three major components analysis of Suwan-jigu	45
Fig.26 Monthly three major components analysis of Sansu-dong	45
Fig.27 Monthly three major components analysis of Ssangchon-dong	46
Fig.28 Monthly three major components analysis of Bongseon-dong	46
Fig.29 Monthly three major components analysis of Sangmu-jigu	47
Fig.30 Monthly three major components analysis of Hanamsandan	47

Fig.31 Monthly three major components analysis of the mixed (average) sample48

Fig.32 Changes in monthly element composition 51

Fig.33 Element composition 51

Fig.34 Seasonal element composition 52

Fig.35 Comparison of element composition between the present (2015 ~ 16) survey
and the 2012 survey 52

Fig.36 Change in monthly heating value 55

Fig.37 Seasonal calorific analysis 56

Fig.38 Comparison of the average calorific value (this year (2015 ~ 16), 2012) 56

국 문 초 록

광주광역시 생활폐기물 성상변화 추이에 관한 연구

정종식

지도교수 : 이성기

조선대학교 대학원

환경공학과

본 연구는 2015~16년 기간동안 광주광역시 10개 지점을 선정하여 계절별로 총 26회에 걸쳐 주거형태와 업종별 쓰레기 조성을 분석하여, 이미 2012년에 한국환경공단에서 조사분석한 자료와 비교 분석한 것이다.

연구결과 겉보기 밀도는 금회(2015~16년) 측정된 겉보기밀도 평균은 108.58(kg/m³)인데, 2012년 한국환경공단 자료는 150(kg/m³)정도로 분석되었다.

물리적 조성분류 결과 가연물 82.0% 및 불연물 18.0%로 조사되었으며, 조성별 조사 결과 종이류가 41.7%로 가장 많았으며, 다음으로 비닐/플라스틱류 18.1%, 음식물류 7.5%, 유리/자기류 6.4%, 섬유류 5.5% 순이었다. 2012년과 비교해 보면, 가연물이 2012년 90.5%에서 금회 조사(2015~16년) 82.0%로 감소하고, 이와 더불어 불연물은 2012년 9.4%에서 금회 조사 18.1%로 증가하는 특징을 보였다.

삼성분 분석결과는 수분 33.0%, 가연분 61.0% 및 회분 6.0%로 분석되었다. 2012년 자료를 보면 수분 33.6%, 가연분 60.7% 및 회분 5.7%로 조사되어 금회 조사 결과와 유사하였다.

원소조성 분석결과 C가 47.27%로 가장 높았으며, O 26.54%, H 6.56%, Cl 0.20%, N 0.56%, S 0.18% 및 Ash 18.77% 순으로 분석되었다. 2012년 조사결과는 C가 48.47%로 가장 높았으며, O 34.56%, H 7.06%, Cl 0.66%, N 0.70%, S 0.11% 및 ash 8.44% 순으로 분석되었다. 금회 조사결과는 2012년에 비해서 모든 항목에서 2012년 보다 낮지만, Ash 성분만이 월등하게 높다는 특징이 있다.

발열량 분석결과 열량계로 측정한 측정발열량 평균값은 5,390kcal/kg이었으며, 수소와 수분 값을 보정한 고위 및 저위발열량은 3,601kcal/kg 및 3,059kcal/kg로 분석되었다. 불연분의 비율을 고려한 최종발열량은 2,503kcal/kg로 분석되었다. 금회 분석한

자료는 2012년 자료의 열량보다 측정발열량, 고위발열량, 저위발열량, 최종발열량에 있어서 각각 1.8%, 0.9%, 3.8%, 13.6% 낮게 분석되었다. 이는 폐기물의 함수율, 수소함량, 특히 비가연성 성분의 차이 때문으로 보인다.

ABSTRACT

A study on the transformational trend by the property of
municipal solid waste in Gwang-Ju metropolitan city

By Jong-sik Jung

Advisor : Prof. Seong-key Lee Ph. D

Dept. of Environmental Engineering,

The graduate school of Chosun University

This study of MSW analysis was conducted 26 times through the seasons in 10 selected sites in Gwangju 2015 ~ 2016 and compared with the study executed by Korea Environment Corporation(K-ECO) 2012.

As a result of the study, the apparent density of MSW is 108.58 kg/m³ in 2015 and 2016. In contrast, it is 150kg/m³ on the data in 2012 from Korea Environment Corporation(K-ECO).

As for physical composition in MSW, moisture and combustibles are contented by 82.0% and 18.0% respectively. In terms of composition type, it had 51.7% of paper ,the largest portion, and 18.1% of vinyl/plastic, 7.5% of food waste, 6.4% of glass/ceramic and 5.5% of fiber. According to the content of MSW in 2015 and 2016 if it is compared with those in 2012, the combustibles content decreased from 90.5% to 82.0%. In addition, incombustibles content increased from 9.4% to 18.1%.

The three major components of MSW had 33.0% of moisture, 61% of combustibles and 6% of ash. As the result of it in 2012 which is similar to those in this study, it had 33.6% of moisture, 60.7 % of combustibles and 5.7% of ash.

And in terms of element analysis in 2015 and 2016, Carbon(C) was 42.27%, the largest fraction, and Oxygen(O) was 26.54%, Hydrogen(H) 6.56%, Chlorine(Cl)

0.20%, Nitrogen(N) 0.56%, Sulfur(S) 0.18% and Ash 18.77% As the result of it in 2012, Carbon(C) was 48.47%, the largest fraction, and Oxygen(O) was 34.56%, Hydrogen(H) 7.06%, Chlorine(Cl) 0.66%, Nitrogen(N) 0.70%, Sulfur(S) 0.11% and Ash 8.44%. And the analyzed values of element except for Ash in 2015 and 2016 were indicated lower than those in 2012. In the analysis of MSW compared with those in 2012, it is lower in all element except for Ash which is far bigger than those in 2012.

As a result of calorific value analysis, the average calorific value measured by the calorimeter is 5,390kcal/kg, the higher and lower calorific value considering hydrogen and moisture value was 3,601kcal/kg and 3,059kcal/kg respectively.

The measuring, higher, lower, and total calorific value of MSW analyzed in 2015, 2016 showed 1.8%, 0.9%, 3.8%, 13.6% respectively lower than those in 2012.

The difference of properties in MSW component like moisture, hydrogen content and especially incombustibles caused decrease of calorific value.

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 목적

현대를 살아가는 인간의 활동에서 필연적으로 발생하는 폐기물은 생활폐기물과 사업장 폐기물로 크게 구분되어진다. 이렇게 발생하는 폐기물의 적정 관리는 매우 중요한 사회문제로 대두되고 있다. 일반적으로 폐기물 매립장, 소각시설 등 환경기초시설에 대한 인근 시민들의 반감이 있는 것이 현실이며 이는 지역 이기주의, 즉 NIMBY(Not in my back yard)현상으로 표출되고 있어 이에 대한 폐기물 처리시설의 위치 선정 및 처리방안은 지자체의 커다란 해결 과제로 자리매김 하고 있다.

그러므로 이러한 폐기물을 적합하고 유효하게 관리하기 위해서는 배출량 억제와 재활용 촉진이 우선 해결과제로 인식되고 있으며, 자원재생과 환경보전 측면에서 폐기물을 에너지로 재이용할 수 있는 방법들에 대해 관심이 높아지고 있다.

생활폐기물은 불에 타지 않는, 즉 비가연성 성분은 감소하는 반면 종이류와 폐합성수지와 같은 가연성 성분이 증가되고 있어 폐기물의 위생적이고 안전한 처리방법인 직접 소각처리 또는 폐기물 고형연료(Solid Refuse Fuel, SRF)를 제조한 이후 화력발전의 연료로서 사용 가능성이 높아지고 있는 실정이다.¹⁾

폐기물 소각시설에 있어서 발전 및 열 이용은 대표적인 에너지 유효이용 기술의 하나지만, 비교적 대규모 소각시설에 한정되고, 또한 열 이용에 있어서 수요 공급의 불균형이 문제로 지적되고 있다. 무엇보다도 소각시설에서 예상되는 대기오염 물질, 악취, 소음 등에 대한 국민들의 혐오감을 해소해야 하는 큰 문제가 있다. 소각시설이 국토가 협소한 우리나라 실정에 필요하지만, 국민들의 불신을 해소할 수 있는 현재의 기술의 개혁 및 새로운 기술의 개발이 필요하다고 할 수 있다.

소각시설과 유사하지만, 소각시설이 갖고 있는 일부 문제점을 해소할 수 있는 유망한 기술로서 폐기물의 고형연료(SRF)기술이 대두되고 있다. SRF는 수분과 불연물을 제거하고 남은 가연물을 조개탄과 같이 사용하기 쉬운 형상으로 성형한 폐기물 고형연료를 말한다. SRF는 화석연료의 대체 에너지로 이용되어질 수 있을 뿐만 아니라 수송성과 저장성이 뛰어나 폐기물 에너지의 이용 및 장소에 대한 자유도가 넓어지는 장점이 있다.^{2),3)}

본 연구는 광주광역시에서 2017년부터 가동하기로 되어 있는 광주광역시 SRF공장에서 원료로 사용될 광주광역시 생활폐기물의 구체적인 성상을 파악하기 위한 기초자

료를 확보하기 위한 것이다. 즉 광주광역시에서 발생된 생활폐기물의 겉보기 밀도, 폐기물의 물리적 조성, 삼성분과 화학적 특성인 원소분석 등을 시행하고, 2012년 한국환경공단에서 수행한 광주시 생활폐기물 정상분석 자료와 비교 분석하였다.

제 2 장 문헌연구

제 1 절 생활폐기물의 정의

1. 생활폐기물

생활폐기물이란 생활에 관여한 노폐물 중에서 주로 고형상태의 것을 통칭한다. 그리고 보통 청소대상 물질과 일반 가정에서 발생하는 쓰레기를 말하고 있다. 폐기물이란 방사선 물질이 아닌 일반폐기물중의 일부로 우리들의 생활 또는 사업 활동에 따라 발생하는 쓸모없는 고형물질을 의미한다. 즉 폐기물은 우리의 생활 또는 산업 등에 따라 발생하는 쓸모없는 액상 또는 고형물이라고 말한다.

폐기물관리법에 의하면 “폐기물이라 함은 쓰레기, 연소재, 오니, 폐유, 폐산, 폐알칼리, 동물의 사체 등으로 사람의 사업 활동에 필요하지 아니하게 된 물질이라고 한다”라고 정의(폐기물 관리법 제 2조 제 1호)하고 있으며, “생활폐기물이라 함은 사업장 폐기물 이외의 폐기물을 말한다”라고 정의(폐기물관리법 제 2조 2호)하고 있다.

또한 폐기물을 영어로 표현하면 Solid waste로 표현하는 경우가 많으며, 간혹 Refuse, Garbage 등으로 구분하는 경우가 있다. Gabage는 주방 폐기물을 말하며, Refuse는 깡통, 종이, 빈병과 같은 Rubbish와 Ash를 총칭한다.⁴⁾⁵⁾

국어사전에 의하면 폐기물이란 폐기한 물건을, 그리고 순수한 우리말로 쓰레기는 비로 쓸어내는 먼지나 내다 버릴 물건의 총칭을 뜻한다. 따라서 폐기물과 쓰레기의 개념은 정확하게 시간적인 차이를 나타내고 있다. 독일 폐기물관리법에서는 경제적인 생산, 공급, 그리고 소비과정에서 생성되는 하나의 부산물 내지 잔여물로서 이것은 인간의 재화생산과 소비로부터 발생되는데, 무익하고 쓸모가 없어서 버려지는 물질을 의미한다.

따라서, 생활폐기물을 넓은 의미에서 정의하면 “사용가치가 없게 된 물질”이라고 말할 수 있으며, 협의적으로는 넓은 의미의 폐기물 중 “주로 고형물질로서 매립하거나 소각하는 등의 방법으로 처리하는 물질”로 정의되어 진다.⁶⁾

2. 생활폐기물의 특성

생활폐기물의 특성은 수분, 겉보기 비중(또는 밀도), 조성, 원소분석치, 발열량, 유기성 성분 등에 따라 크게 물리적, 화학적, 생물학적 성질에 따라 그 특성이 달라진다. 폐기물의 적정 관리를 위해서는 무엇보다도 폐기물 특성파악이 중요한 것으로서 이에 대한 특성을 살펴보면 다음과 같다.

가. 물리적 특성

물리적 특성의 중요한 인자는 크기, 형태, 체적, 중량 밀도, 냄새, 상(고체, 액체, 기체) 등이 있다. 고체의 경우는 용존성, 부유성, 가연성, 휘발성, 회분 등으로 세분하며, 특히 가연분, 수분, 회분을 폐기물의 삼성분이라 한다.

삼성분은 폐기물처리시설의 설계 및 운전의 중요한 척도가 된다. 가연분이 적으면 소각 시 보조연료의 공급이 필요하며, 회분이 많으면 재처리 장치가 필요하고 먼지농도가 높아지게 된다.

폐기물의 물리적 조성비는 우선 가연성과 비가연성 물질의 경우 그 종류 및 발열량을 측정하여 계산하는 등의 방법으로 물리적 특성을 추정할 수 있는 가장 중요한 자료가 되며 이와 같은 자료는 폐기물로부터 자원 및 에너지를 회수하는 처리계통에 반드시 필요하다. 종류별 물리적 조성은 ① 음식물류 ② 섬유류 ③ 종이류 ④ 나무류(짚 포함) ⑤ 비닐, 플라스틱류 ⑥ 고무, 가죽류 ⑦ 금속, 초자류 ⑧ 토사류 ⑨ 기타 등 9 종류로 선별한다.

시료중의 수분함량은 시료에 포함된 수분의 중량을 측정하는 것으로 대량분석은 시료의 무게를 측정 후 5 ~ 20 kg의 쓰레기를 건조 할 수 있는 큰 건조기를 이용하여 105±5℃에서 시료의 중량이 일정하게 될 때까지 약 4시간 정도 건조시켜 함량이 되는 시점에서 시료의 무게를 측정하여 건조 전후의 무게의 차이를 말한다.

나. 화학적 특성

화학적 특성은 발열량, 인화점, 독성, 부식성, 폭발성, 수분함량, 원소조성비, 중금속(수분, 납, 카드뮴) 함량 등을 들 수 있다. 발열량은 물리적 3성분과 함께 폐기물처리 시설 설계에 중요한 인자가 된다.

우리나라 도시폐기물의 발열량은 1,000~1,200kcal/kg 정도인 것으로 나타났으며 플라스틱계 폐기물의 증가 등에 따른 폐기물 조성 변화로 점차 고열량화 되어가고 있는 추세이다.

폐기물을 구성하고 있는 화학적 조성에 대한 자료는 폐기물의 중간처리 및 자원화 공정을 위해서 매우 중요하다. 예를 들면 소각처리 여부를 판단하는 것, 음식물 쓰레기의 유기성분을 퇴비화 하거나 다른 생물학적 처리과정 원료로 이용하려고 할 때, 폐기물을 구성하는 원소에 대한 정보는 매우 중요하며, 폐기물에 포함되어 있는 미량원소 또한 중요한 정보가 된다.

일반적으로 가장 중요한 화학적 특성에는 ① 삼성분 분석 ② 소각재의 용점 ③ 주요 원소분석 ④ 에너지 함량 등이다. 삼성분 분석은 수분, 휘발성 가연분, 회분의 분석 항목으로서 휘발성 가연분과 공정탄소를 합하여 가연분으로 산정한다. 소각재의 용점은 폐기물 소각으로부터 생긴 재가 일정한 온도에서 용융되어 고형물이 액상을 형성시키는 온도를 말한다.

폐기물의 화학적 성분 중 원소 분석항목은 대개 탄소(C), 수소(H), 질소(N), 산소(O) 및 황(S)의 성분을 말한다. 폐기물 유기성분 에너지 함량은 ① 열량계로 실험모 보일러 상용 ② 실험실 단열열량계 사용 ③ 원소의 조성을 아는 경우는 계산에 의해 결정할 수 있다. 현재 대부분의 유기성분의 에너지 함량은 단열 열량계 실험결과에 근거한다.⁷⁾

다. 생물학적 특성

플라스틱, 고무, 가죽성분을 제외한 대부분의 폐기물 중의 유기성 물질의 성분은 다음과 같이 분류할 수 있다.

- ① 설탕, 녹말, 아미노산 등 여러 종류의 당과 유기산 같은 수용성 성분
- ② 탄소가 5~6개 있는 저분자 물질
- ③ 지질, 유분, 왁스와 같은 알코올의 에스테르와 긴 고리의 지방산
- ④ 탄소 6개의 당분 글루코우스의 응축생성물
- ⑤ 방향족 고리를 포함하고 있는 고분자 물질
- ⑥ 리그닌과 셀룰로스가 조합된 리그노셀룰로즈

(1) 유기성 폐기물의 생분해성

유기성 성분의 생분해성을 측정할 때 생활폐기물에 포함되어 있는 휘발성고형물(Volatile solid, VS)함량을 많이 사용한다. 그러나 리그닌을 사용한 신문용지나 정원폐기물과 같은 생활폐기물에서는 VS는 높지만 생물학적 분해도는 낮게 나타나는 경우도 있다.

(2) 악취발생

악취는 생활폐기물이 수거에서 최종처분 즉, 매립될 때까지 처리과정에서 지속적으로 발생하게 된다. 특히 여름같이 더운 기후에서 악취문제는 더욱 심각한데 폐기물의 혐기성 분해시 분해온도와 체류시간 등을 잘못 맞추면 발생한다. 예를 들면 혐기성 조건에서 황산염 이온은 황이온으로 환원되고 수고와 반응하여 황화수소를 발생하게 되거나 메르캅탄과 같은 유기 황화합물이 형성되며 이에 따라 유기물이 메탄가스로 전환되는 생산량이 줄고, 오히려 암모니아 가스의 양이 증가하므로 주변에 악취가 발생하는 것이다. 검은 빛깔을 나타내는 이유는 황이온이 주로 여러 가지 금속 황화물을 형성하기 때문이다.⁸⁾

3. 생활폐기물의 종류

폐기물은 폐기물관리법에 의하여 유해성을 기준으로 1986년 당시에는 일반폐기물과 산업폐기물로 구분하였고, 1991년 당시에는 일반폐기물과 특정폐기물로 구분하였으나, 폐기물의 분법화시대가 열린 1993년부터는 발생원별 관리의 효율성을 기준으로 생활폐기물과 사업장 폐기물로 구분하고 있다.

가. 가연성폐기물

가연성 폐기물이란 생활폐기물 중 소각시 소각이 가능한 폐기물을 말하는 것으로 음식물, 채소류, 종이류, 나무류, 고무 피혁류, 플라스틱류 등을 들 수 있다.

나. 불연성폐기물

불연성 폐기물은 가연성폐기물과는 달리 폐기물을 소각 시 소각이 불가능한 고형물질의 폐기물을 말하는 것으로서 연탄재, 금속류, 초자류, 토사류 등을 들 수 있다.

다. 재활용성 폐기물

재활용성 폐기물이란 생활폐기물 중 가연성과 불연성 폐기물을 제외한 폐기물을 말하며, 폐기물을 재사용, 재생이용하거나 재사용, 재생이용 할 수 있는 상태로 만드는 활동(폐기물 관리법 제 2조, 제 6조)을 말하고 있다.

따라서, 생활폐기물 중 재이용 또는 재사용이 가능한 재활용성 폐기물로는 종이류, 병류, 고철류, 캔류, 플라스틱류 등이 있으며, 고철류와 종이류가 대다수를 차지하고 있다.

제 2 절 국내 생활폐기물 현황

1. 국내 생활폐기물 발생현황

2013년 생활폐기물 발생량은 52,072톤/일로써 전년도 생활폐기물 발생량 50,346톤/일에 비해 3.4% 증가하였다. 2003년까지 발생량은 증가하고 있었으나, 2004년을 기점으로 전년대비 발생량 감소로 돌아선 후 2006년부터 다시 증가하였다. 또한 총 폐기물 중 생활폐기물의 점유율은 14.5%로 나타났다. 국내 전국 생활폐기물 관리구역에서 발생하는 1일 폐기물량은 1998년 약 44,000여 톤에서 2013년 약 52,000여 톤으로 꾸준한 증가를 보이고 있다. 이는 우리나라가 인구증가 및 산업화에 따른 급격한 경제발전으로 인해 다량의 자원소비 및 생활수준의 향상에 그 원인이 있는 것으로 사료된다. 문화수준의 향상, 일회용품과 포장재, 컴퓨터의 보급 확대 등 새로운 문화의 도입으로 폐기물 배출량이 크게 증가될 요인들이 많아졌다. 그러나 1992년부터 활발하게 진행되었던 폐기물 감량화 정책에 따라 2004년과 2005년도에는 전년대비 각각 1.4%, 3.2% 감소하였다. 이는 다량 배출되는 폐기물의 처리과정에 많은 어려움이 있다는 전 국민적인 의식이 확대되었고, 자연환경의 보호와 자원절약의 필요성이 대두되었으며, 국가가 정책적으로 폐기물관리 중장기 종합계획 등 감량화 정책을 행한 결과로 보여진다.⁹⁾

2. 생활폐기물 처리현황

가. 생활폐기물의 처리방법 변화추이

생활폐기물의 처리방법 중 매립이 계속 감소한 반면 재활용은 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 2003년 이후 재활용>매립>소각의 구도로 나타나고 있으며, 2013년 재활용율은 59.8%로 전년대비 2.0% 증가하였고, 소각율은 19.9%로 전년도 18.6%에 비해서 1.3% 증가하였다. 또한 매립률은 2013년도 20.3%로 전년 2012년 대비 3.3%로 감소하였으며, 매년 감소추세를 보이고 있다.

나. 생활폐기물 처리방법

2013년도 국내 전국 생활폐기물 발생량 52,072톤/일 중 인구가 밀집되어 있는 서울, 경기, 인천 등 수도권 지역에서 약 25,260톤/일의 폐기물의 양이 발생하는 것으로 조사되었다. 여기서 서울, 경기, 인천 등 수도권지역의 인구 점유율은 49.3%로 나타났다. 또한 2013년도 전국의 지역별 처리방법별 비율을 살펴보면 매립 20.3%, 소각 19.9%, 재활용 59.8% 조사되었고, 서울, 경기, 인천 등의 수도권지역의 생활폐기물 처리방법은 재활용>소각>매립 순으로 나타났다.

Table. 1 Disposal method of MSW by area in 2013

지역	발생량 (ton/day)	매립		소각		재활용	
		ton/day	%	ton/day	%	ton/day	%
전국	52,072.3	10,585.4	20.3	10,348.6	19.9	31,138.3	59.8
서울	11,446.5	1,910.4	16.7	2,027.4	17.7	7,508.7	65.6
부산	3,371.0	337.1	10.0	733	21.7	2,300.9	68.3
대구	2,632.8	802.6	30.5	334.2	12.7	1,496	56.8
인천	3,618.2	288.8	8.0	1,120.4	31.0	2,209	61.1
광주	1,480.8	294.5	19.9	286.3	19.3	900	60.8
대전	1,577.6	312.2	19.8	321.8	20.4	943.6	59.8
울산	1,111.8	151.5	13.6	265.5	23.9	694.8	62.5
경기	10,195.6	1,199.7	11.8	2,706.5	26.5	6,289.4	61.7
강원	2,281.3	992.1	43.5	142.9	6.3	1,146.3	50.2
충북	1,658.4	565.2	34.1	192.9	11.6	900.2	54.3
충남	2,551.4	545.8	21.4	592.6	23.2	1,413.0	55.4
전북	1,685.6	412	24.4	202.6	12.0	1,070.9	63.5
전남	2,036.9	929.9	45.7	228.8	11.2	878.2	43.1
경북	2,641.9	928.8	35.2	349.3	13.2	1,363.8	51.6
경남	3,179.8	813.8	25.6	684.2	21.5	1,681.8	52.9
제주	602.7	101	16.8	160.1	26.6	341.6	56.7

다. 폐기물 물리적 성상 변화추이 분석

생활폐기물(재활용을 위한 분리배출 및 수거한 양 제외)은 가연성 79.0%, 불연성 21.0%이고, 분리배출 및 수거한 양을 포함한 생활폐기물 중 음식물 및 채소류의 구성비는 29.0%로 나타났다. 또한 2013년도 음식물 및 채소류의 1인당 발생량은 0.30kg/day이며, 전년도의 0.29kg/day에 비해 소폭 증가하였다.¹⁰⁾

Table. 2 Change of physical characteristics by year in MSW

구분		2008	2009	2010	2011	2012	2013
총계		35,786	35,142	33,670	22,739	21,937	23,398
가연성	소계	30,118	29,439	29,213	18,520	18,159	18,493
	음식물 채소류	11,398	11,464	12,977	1,910	686	1,116
불연성	종이류	5,624	5,735	5,473	5,166	5,586	5,136
	나무류	2,454	2,421	2,261	2,308	2,425	2,430
	기타	10,642	9,819	8,502	9,136	9,450	9,811
	소계	5,668	5,703	4,457	4,219	3,778	4,905
	연탄재	595	574	611	563	-	-
	유리류	-	-	-	-	405	390
	금속 초자류	896	845	705	711	570	439
	기타	4,177	4,284	3,141	2,945	2,803	4,076

제 3 절 한국환경공단 성장분석 선행자료 검토

1. 계절별 시료채취 결과

2012년 광주광역시내 시료채취 대상 10개 지점을 선정하여 총 4계절 20회를 시료채취를 실시하였으며, 봄철과 겨울철에 3회, 여름철과 가을철에 7회 채취하였다. 여름철에는 8회차 우기시료와 가을철 17, 18회차 김장철시료를 추가로 채취하였다.

시료채취 시 기상은 7차례 비가 내렸으며, 5차례 흐림, 8차례 맑음으로 나타났다.

봄철시료중 2회차와 3회차에서는 상무소각시설 운영중단으로 인하여 소각시설 시료채취는 실시하지 못하였다.

2. 겉보기밀도 조사결과

광주광역시 10개 지점의 겉보기 밀도 측정결과, 전체 평균 0.15 ton/m³이었다.

하남산업단지의 경우 사업장생활계 폐기물로서 포장지, 작업복, 장갑 및 종이컵 등 부피가 큰 폐기물이 많았으며, 음식물은 거의 존재하지 않아 겉보기 밀도가 0.12ton/m³으로 비교적 낮았다. 그 외 다른 9개 지점의 경우 겉보기밀도가 0.14ton/m³ 2지점, 0.15ton/m³ 4지점, 0.16ton/m³ 3지점으로 비슷한 경향을 나타내었다.

계절별 겉보기밀도를 살펴보면 봄철이 여름철, 가을철 및 겨울철에 비하여 다소 낮게 나타났다. 전체 조사지역의 겉보기밀도 평균은 0.15ton/m³이었으며, 계절별 평균 또한 봄철을 제외하면 0.15ton/m³으로 유사하게 조사되었다.



Fig.1 Average apparent density by season

최초 여름철 및 겨울철(김장철)시료의 걸보기밀도가 높을 것이라 예상했으나 일부 회차수를 제외하면 각 지점별 비슷한 양상을 나타냈다. 이는 아파트지역의 경우 종량제 봉투를 수거하는 별도의 구역(지봉설치)이 지정되어 있고 일별로 수집된 폐기물을 당일 수거하여 강우 및 폐기물 분해에 의한 수분발생이 많지 않았기 때문이라 판단된다.

3. 물리적조성 조사 결과

물리적조성 조사결과 가연물 91.0% 및 불연물 9.0%로 조사되었으며, 조성별 조사결과 종이류가 44.8%로 가장 많았으며, 다음으로 비닐/플라스틱류 23.9%, 음식물류 9.8%, 섬유류 5.8%, 유리/자기류 4.4% 순이었다.

각 조성별 대표적인 시료는 종이류의 경우 휴지, 기저귀, 폐지 등 비교적 부피가 크지 않은 시료가 대부분이었으며, 비닐/플라스틱류는 포장재인 일반 비닐봉투와 과자봉지, 제품포장지가 많이 포함되어 있었다.

계절별 폐기물조성의 변화를 살펴보면 겨울철 목재류의 함유량이 다소 높게 나타났으며, 이는 겨울철에 하남산업단지, 산수동, 쌍촌동 지역에서 화분 또는 낙엽이 포함되어있었기 때문이라 판단된다. 목재류를 제외한 다른 항목은 계절별로 비슷한 조성비를 나타내었다.

Table 3. Seasonal physical composition survey results (average)

구분		종이	목재	섬유	비닐/ 플라스틱	고무/피혁	음식물	금속류	유리/ 자기류	기타	토사류
1~3차	봄철	47.6	1.3	4.6	23.5	2.8	9.2	1.8	4.6	2.2	2.4
4~10차	여름철	44.4	3.1	6.4	24.7	3.8	9.4	1.4	3.9	2.1	0.7
11~17차	가을철	44.9	3.7	5.9	24.5	2.2	10.0	1.7	4.2	2.3	0.7
18~20차	겨울철	45.1	4.5	6.5	21.9	2.8	10.1	1.4	4.4	2.6	0.7

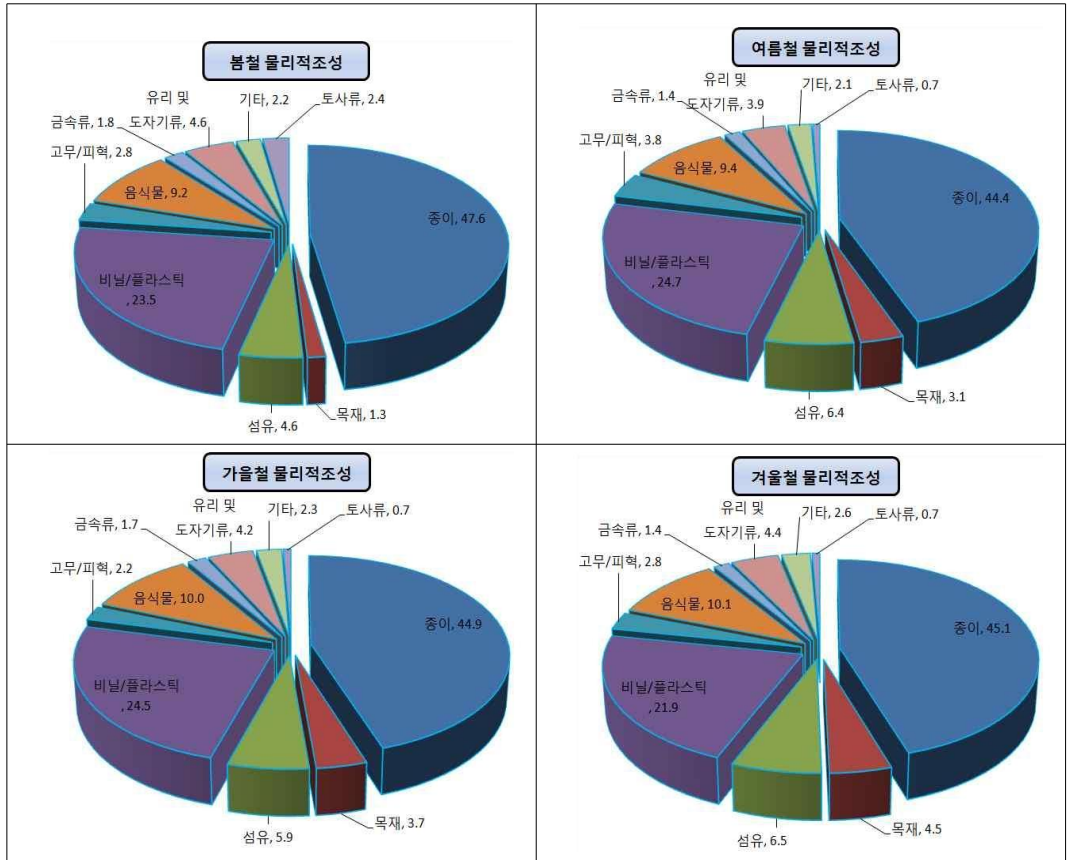


Fig.2 Seasonal physical composition survey results

4. 입도조성 결과

전체 시료에 대한 입도조성 분석결과 30mm이하~200mm이상 각각의 입도에서 비교적 고르게 분류되었다. 50~80mm 구간에서 분류된 폐기물은 중소형 휴지조각, 면장갑, 중소형 음료수병 등이 가장 많은 조성을 차지했고 200mm이상에서 일회용 용기, 속옷, 성인용 기저귀와 같은 부피가 큰 종이 등이 가장 작은 비율을 차지하였다. 음식물을 제외한 가연물에 대한 입도조성 분석결과 30mm이하에서 가장 작았으며, 50~200mm이하 세 구간에서 고르게 높게 분포되었다. 음식물의 입도조성 분석결과 30mm이하에서 음식찌꺼기, 과일조각, 견과류 등이 매우 높았으며, 200mm이상은 가장 작은 비율로 나타났다.

불연물의 입도조성 분석결과 30mm이하에서 달걀껍질, 조개껍질, 은박지, 깨진 유리조각, 드링크병 및 뚜껑 등이 가장 높은 비율 차지하였으며, 200mm이상은 맥주병, 그릇 등으로 작은 비율로 나타났다.

Table 4. Seasonal grain composition survey results (average) (unit :%)

계절별	구분	30mm 이하	50mm 이하	80mm 이하	100mm이하	200mm이하	200mm이상
봄평균	가연분	7.7	9.8	22.6	26.4	21.8	11.6
	음식물류	63.7	24.4	7.0	0.0	3.2	1.7
	불연물	45.0	24.9	17.5	8.8	2.3	1.6
여름평균	가연분	6.8	11.4	26.4	20.6	21.8	13.0
	음식물류	65.4	22.4	6.4	2.3	2.3	1.2
	불연물	31.9	25.1	22.7	6.1	4.9	9.2
가을평균	가연분	7.5	13.0	22.8	20.5	20.8	15.5
	음식물류	55.1	30.0	11.3	3.1	0.4	0.0
	불연물	36.3	29.3	20.7	6.8	3.8	3.2
겨울평균	가연분	8.3	14.0	24.2	18.0	18.6	17.0
	음식물류	57.2	26.1	7.4	7.3	2.0	0.0
	불연물	38.2	33.0	26.4	2.3	0.0	0.0
전체평균	가연분	7.6	12.1	24.0	21.4	20.7	14.3
	음식물류	60.4	25.7	8.0	3.2	2.0	0.7
	불연물	37.9	28.1	21.8	6.0	2.7	3.5

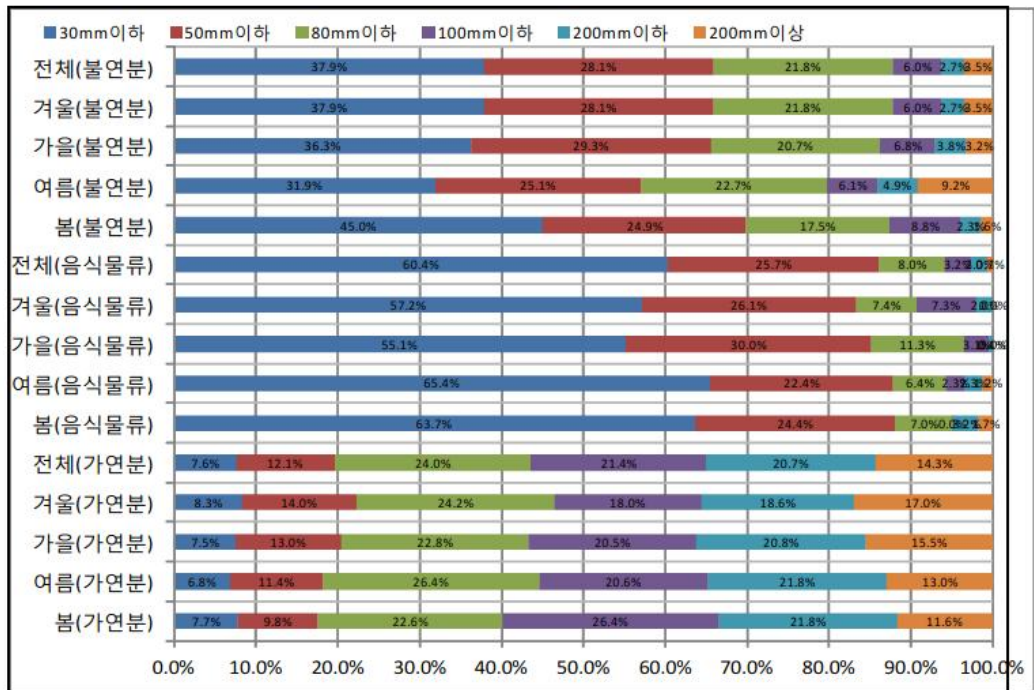


Fig.3 Seasonal grain size survey results

5. 삼성분 결과

전체 시료에 대한 삼성분 분석결과 수분 33.6%, 가연분 60.7% 및 회분 5.7%로 분석되었다. 광주 광역위생매립장의 수분이 38.0%로 가장 높았으며, 하남산업단지가 18.0%로 가장 낮았다.

하남산업단지의 경우는 폐기물성상중 수분의 비중의 가장 많이 차지하는 음식물 및 기저귀 종류의 비율이 타 지점에 비하여 낮아 수분이 가장 낮은 것으로 나타났다. 광주 광역위생매립장의 경우 다른 지점보다 외부영향에 가장 많이 노출되며 강우 등에 의하여 수분이 높아지는 경향을 보였다. 가연분의 분석결과 하남산업단지가 가장 높은 값을 보였으며, 광주 광역위생매립장이 가장 낮은 값을 보였다. 하남 산업단지의 경우 가연분이 다른지역보다 높게 나온 원인은 수분이 많이 포함된 종이류 등이 적게 발생되어서 가연분이 상대적으로 높게 나타났다. 회분의 분석결과 하남산업단지가 10.0%로 가장 높았으며, 수완지구가 4.9%로 가장 낮았다. 하남 산업단지에서 발생하는 사업장 생활폐기물 중 은박의 특수 봉투 및 산업자재로 인하여 높은 회분을 나타내었으며, 기저귀 등 불연분 비율이 낮은 물질을 배출하는 수완지구가 가장 낮은 회분값을 나타내었다.

Table 5. Result of three major components analysis (unit : %)

구분	봄평균	여름평균	가을평균	겨울평균	전체 평균
수분	33.5	34.2	33.8	32.4	33.5
가연분	60.2	60.4	60.3	62.7	60.9
회분	6.3	5.4	5.9	5.0	5.6



Fig.4 Result of three major components analysis

6. 원소조성 결과

전체 폐기물의 원소조성 분석결과 C가 48.47%로 가장 높았으며, O 34.56%, H 7.06%, Cl 0.66%, N 0.70%, S 0.11% 및 ash 8.44%순으로 분석되었다. 봄철에 C와 H가 비교적 낮은 값을 나타낸 반면, 여름철에 가장 높은 값으로 분석되었다. O의 경우 C와 H 값과는 반대로 봄철에 가장 높고, 여름철에 가장 낮은 값을 나타내었다. 봄철 시료에서 S, Cl 및 ash가 비교적 높은 값으로 분석되었으나, 다른 계절의 결과는 비슷하게 나타났다.

Table 6. Element composition result

(unit : %)

구분	봄(1~3차)	여름(4~10차)	가을(11~17차)	겨울(18~20차)	평균
C	42.24	50.80	48.18	49.47	48.47
H	6.43	7.48	6.91	7.01	7.06
O	38.94	32.06	35.01	36.72	34.56
N	0.46	0.94	0.66	1.06	0.70
S	0.37	0.07	0.07	3.35	0.11
Cl	2.30	0.47	0.36	0.35	0.66
ash	9.26	8.16	8.82	6.61	8.44

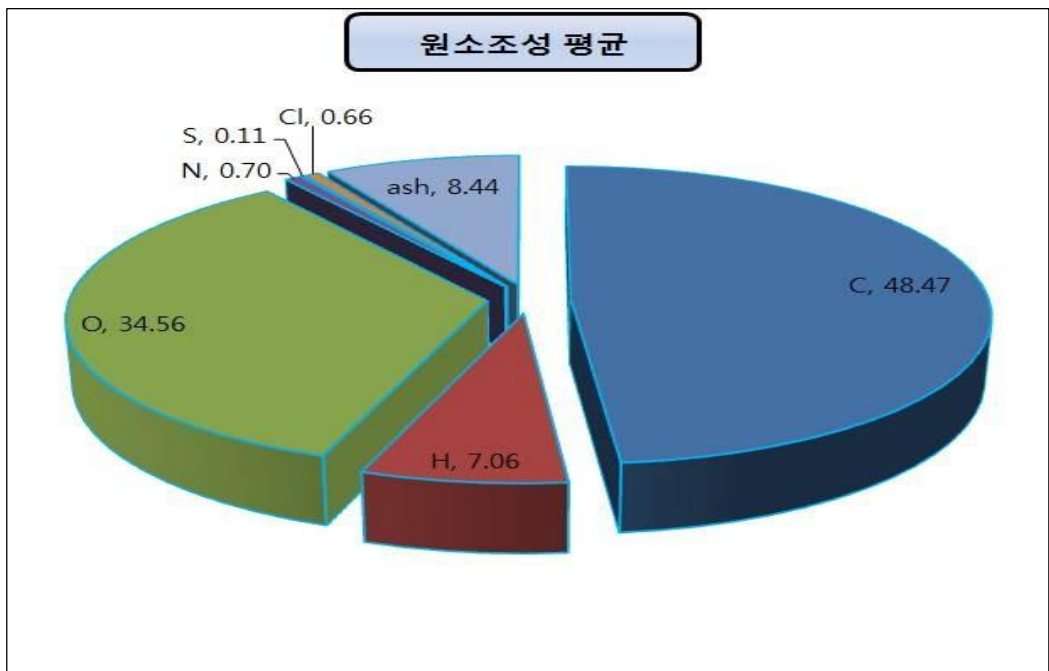


Fig.5 Element composition average

7. 발열량 결과

전체 시료에 대한 발열량 분석결과 열량계로 측정한 측정발열량의 평균은 5,488kcal/kg 이었으며, 수소와 수분값을 보정한 고위 및 저위발열량은 3,635kcal/kg, 3,180kcal/kg으로 나타났다. 불연물의 비율을 고려한 최종발열량은 2,896kcal/kg으로 다소 높은 값을 보였다. 여름철의 측정발열량 및 최종발열량이 5,735kcal/kg, 3,039kcal/kg으로 가장 높았으며, 겨울철의 측정발열량 및 최종발열량이 5,226kcal/kg, 2,794kcal/kg으로 가장 낮았다. 상대적으로 높은 여름철의 발열량을 제외하곤 봄, 가을 및 겨울철의 최종발열량은 비슷한 수치를 기록하였다.

Table 7. Caloric Results

(unit : kcal/kg)

구분	봄 (1~3차)	여름 (4~10차)	가을 (11~17차)	겨울 (18~20차)	전체평균
측정발열량	5,550	5,735	5,414	5,226	5,488
수분	36.5	34.2	33.8	32.4	33.6
수소	4.35	4.92	4.57	4.72	4.67
고위발열량	3,550	3,778	3,583	3,524	3,635
저위발열량	3,096	3,307	3,133	3,074	3,180
불연물비율	0.10	0.08	0.09	0.09	0.09
최종발열량	2,804	3,039	2,856	2,794	2,896

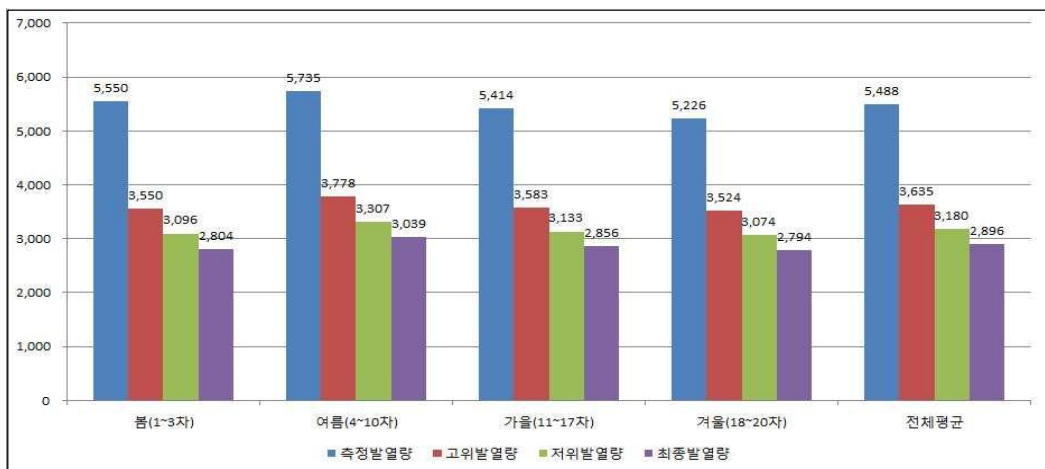


Fig.6 Caloric Results

제 3 장 실험방법

제 1 절 시료채취

1. 시료채취지점

2015~16년 광주광역시 지역별 특성을 대표할 수 있는 주요 거점별 10개 지점을 선정하였으며, 2012년 한국환경공단에서 시행한 시료채취지점과 동일하게 선정하여, 시간흐름에 따른 폐기물 성상 차이를 검토하고자 하였다.

2016년 3월~8월에는 매월 1회씩 광주 광역위생매립장과 상무소각장(2개소)에 대해 별도로 시료채취와 분석작업을 수행하였다.

Table 8. Sampling point

구분	지 점	내 용	
1	광주 광역위생매립장	남구 양과동	
2	상무소각장	서구 치평동	
3	아파트 (공동주택)	북구 두암3동 주공2단지	영세민 단지중 60m ² 밀집단지
4		북구 일곡지구	중대단지 중 60-85m ² 밀집단지
5		광주 수완지구	대단지 중 85m ² 이상 밀집단지
6	단독주택	동구 산수동	단독주택 밀집구역(구도심)
7		서구 쌍촌동	다세대주택(원룸) 밀집지역
8	상업지역	남구 봉선동	일반상가
9		서구 상무지구	식당 밀집지역(유홍업소 등)
10	기타 특성화지역	광산구 하남산업단지	사업장 생활계 폐기물

Table 9. Sampling Schedule

구분	계절	월	채취일자	요일	날씨
1	봄	2015.5	21	목	맑음
2	여름	6	23	화	맑음
3		7	24	금	비(간헐적)
4		8(1)	10	월	맑음
5		8(2)	27	목	맑음
6	가을	9	22	화	맑음
7		10	22	목	맑음
8		11(1)	13	금	비
9		11(2)	23	월	비
10	겨울	12	23	수	비
11		2016.1	29	금	비
12		2	24	수	비
13	봄	3(1)	9	수	맑음(전일 비)
14		3(3)	29	화	맑음
15		4(2)	28	목	비
16		5(2)	27	금	맑음
17	여름	6(1)	8	수	맑음
18		6(3)	28	금	비
19		7(1)	15	금	맑음
20		8(1)	8	월	맑음

구분	계절	월	채취일자	요일	날씨
추가1	봄	2016.3(2)*	17	목	맑음
추가2		4(1)*	6	수	맑음
추가3		5(1)*	10	화	비(소나기)
추가4	여름	6(2)*	16	목	맑음
추가5		7(2)*	28	목	맑음
추가6		8(2)*	24	수	맑음

주) 추가 : 광주 광역위생매립장과 상무소각장 2개소 시료

		
<p>광주 광역위생매립장</p>	<p>상무소각장</p>	<p>두암동 (아파트60㎡이하 밀집단지)</p>
		
<p>일곡지구 (아파트 60-85㎡ 밀집단지)</p>	<p>수완지구 (아파트 85㎡이상 밀집단지)</p>	<p>산수동 (단독주택 밀집지역)</p>
		
<p>쌍촌동 (다세대 원룸밀집지역)</p>	<p>봉선동(일반상가)</p>	<p>상무지구(식당밀집지역)</p>
		
<p>하남산단 (사업장생활계폐기물)</p>		

Fig.7 Sampling point

2. 물리적 성상분류 방법

가. 파봉

중량제봉투를 비롯한 내·외부 봉투를 모두 파봉하여 모든 내부 성상물을 외부로 노출시킨다.

나. 원추사분법

원추4분법은 시료를 단단하고 깨끗한 평면위에 원추형으로 쌓아 올려, 원추의 꼭지를 수직으로 눌러서 평평하게 만들고, 이것을 부채꼴로 4등분한다. 마주보는 두 부분을 취하고 나머지는 버린다. 반으로 준 시료를 혼합 후 처음부터 같은 조작을 반복하면서 적당한 크기까지 줄인다.

다. 걸보기밀도

약 25L 용기를 이용하여 잘 혼합된 시료를 넣어 지면으로부터 약 30cm 높이의 위치에서 낙하시킨 후 용기의 용량에 미달되면 감소된 부피만큼 시료를 추가하여 밀도를 측정하고, 3회 정도 반복하여 측정한다.

라. 물리적 조성분류

물리적조성은 걸보기밀도 측정에 사용한 시료 50ℓ를 가연성 7종류, 불연성 5종류 등 12개 종류로 무게 분류를 실시한다.

- (1) 가연성(7) : 음식물류, 종이류, 목재류, 비닐/플라스틱류, PVC류, 고무/피혁류, 섬유류
- (2) 불연성(5) : 토사류, 철금속류, 비철금속류, 유리/자기류, 기타

2012년 한국환경공단 조사항목은 가연성 6종류, 불연성 4종류 등 10개 종류

- (1) 가연성(6) : 음식물류, 종이류, 목재류, 비닐/플라스틱류, 고무/피혁류, 섬유류
- (2) 불연성(4) : 토사류, 철금속류, 유리/자기류, 기타^{11), 12)}

금회 연구(2015~16년)와 2012년 조사의 물리적 조성분류 항목의 차이는 Table 10에서 볼 수 있듯이, 가연성 부분에서 2012년에는 비닐, 플라스틱 1개 항목이 금회 연구에서는 비닐, 플라스틱 항목과 PVC류 항목으로 분리되었고, 불연성 부분에서 2012년 철금속류 1개 항목에서 금회 연구에서는 철금속류와 비철금속류의 2개 항목으로 분리하여 검토하였다.

Table 10. Classification of items for classification of physical composition in 2012 (2015 ~ 16 years)

구분	가연성							불연성				
	음식물류	종이류	나무류	비닐, 플라스틱	PVC류	고무, 피혁류	섬유류	토사류	철금속	비철금속	유리, 초자	기타
금회 조사 (2015~16년)	음식물류	종이류	나무류	비닐, 플라스틱	PVC류	고무, 피혁류	섬유류	토사류	철금속	비철금속	유리, 초자	기타
한국환경공단 (2012년)	음식물류	종이류	나무류	비닐, 플라스틱		고무, 피혁류	섬유류	토사류	철금속		유리, 초자	기타

3. 시험분석방법

가. 삼성분

각 지점별로 채취한 시료를 원추4분법으로 줄여 약 10L 정도로 만들어, 건조기를 이용하여 105±5℃에서 4시간 동안 수분을 완전히 날아갈 때까지 건조시킨 후 무게를 측정하여 수분이 증발된 값을 구하여, 항량이 되었을 때의 값을 수분값으로 산출하며 계산식을 아래와 같다.

$$\text{수분 (\%)} = \frac{w1 - w2}{w1} \times 100$$

$w1$: 건조전(용기+시료)무게 - 용기무게

$w2$: 건조후(용기+시료)무게 - 용기무게

(1) 삼성분 중 가연물(%)

건조시료를 미리 측정하여 놓은 도가니에 적당량을 넣고 무게를 측정한다. 600±2 5℃에서 완전히 탄화 될 때까지(3시간) 강열한 후 무게를 측정하여 휘발된 값을 취하며 계산식은 다음과 같다.

$$\text{건조기준가연물 (\%)} = \frac{w1 - w2}{w1} \times 100$$

$w1$: 회화 전(도가니+건조된 시료)무게 - 도가니 무게

$w2$: 회화 후(도가니+건조된 시료)무게 - 도가니 무게

$$\text{가연물 (\%)} = \left(1 - \frac{\text{수분 (\%)}}{100}\right) \times \text{건조기준가연물 (\%)}$$

(2) 삼성분 중 회분

회분은 열린 도가니에서 연소 후 잔재물 중량으로 강열 후 남은 시료의 무게를 가지고 측정하며, 전체 100%에서 수분과 가연물을 뺀 나머지 값(%)이다.

나. 원소조성

(1) 시료 전처리 방법

수분을 제거한 시료를 분쇄기에 넣고 분쇄한다. C, H, O, N 분석에는 약 0.5~2.0 mg을 취하며, Cl 및 S 분석에는 10.0~20.0 mg을 취하여 분석한다.

(2) 분석장비

C, H, O, N 은 원소분석기로, Cl 및 S 는 연소이온크로마토그래피(Perkin-Elmer OPTIMA 3000XL)를 이용하여 분석한 후 각 원소별 비율(%)을 산출한다.

다. 발열량

봄베식 열량계(bomb calorimeter)를 이용한 발열량 측정은 열전달 효율이 좋은 재료로 만들어진 실린더에 수분을 완전히 제거한 시료 약 1g 정도 취하여 넣고 실린더에 산소를 고압으로 충전하여 도화선을 통해 연소시킨다.

이때 연소열이 반응용기를 감싸고 있는 수조 안의 물에 전달되고 수온 변화를 측정하여 발열량을 산출하고 측정된 발열량은 건조된 시료기준 고위발열량이기 때문에 저위발열량은 다음 식에 의하여 계산한다.

$$H_g = H_h \times (1 - \text{수분함량})$$

$$H_l = H_g - 600 \times (9h + w)$$

H_h : 열량계로 측정한 건조고위발열량

H_g : 습량기준 고위발열량

H_l : 저위발열량

h : 습윤기준의 수소함량

채취한 시료를 대상으로 물리적 조성 분류, 수분 측정, 삼성분, 원소분석, 열량계에 의한 열량분석에 대한 시험분석 흐름도는 Fig.8 과 같다.¹⁵⁾

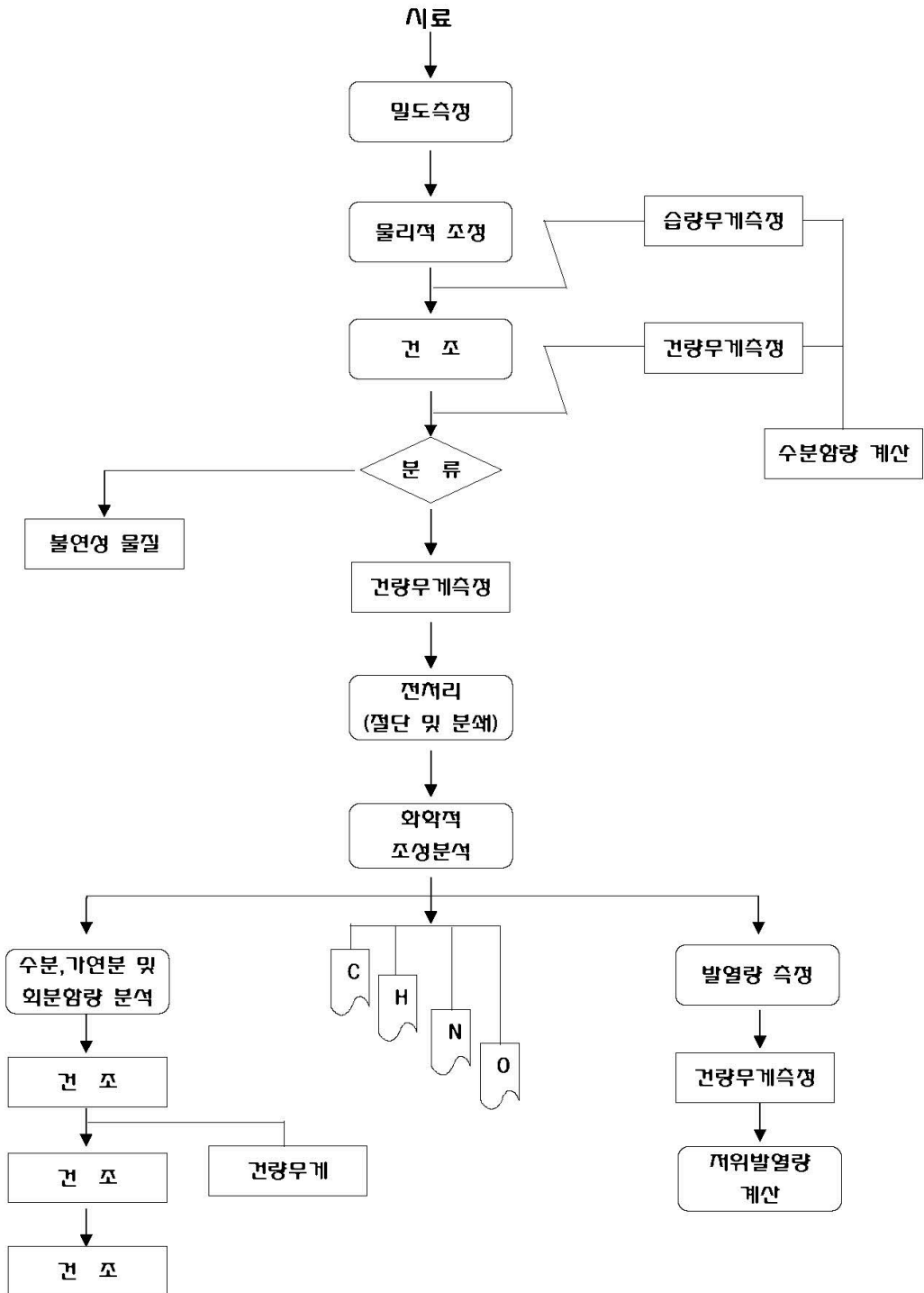


Fig.8 Wastes sustainability analysis flowchart

제 4 장 결과 및 분석

제 1 절 시료채취

1. 시료채취 일정

광주광역시 내 시료채취 대상 10개 지점을 선정하여 Table 11과 같이 총 4계절 20회를 실시하였으며, 봄철 5회(3~5월), 여름철 8회(6~8월), 가을철 4회(9~11월), 겨울철 3회(12~2월) 채취하였다. 광주 광역위생매립장과 상무소각장(2개소)에 반입되는 폐기물만을 별도로 시료 채취를 6회 수행하였는데, 봄철 3회, 여름철 3회이다. 전체적인 폐기물 시료채취는 총 26회로 봄철 8회, 여름철 11회, 가을철 4회, 겨울철 3회이다.

Table 11. Seasonal and monthly sample collection schedule

구분	시료번호	계절	월	채취일자	요일	날씨
1	1	봄	2015.5	21	목	맑음
2	2	여름	6	23	화	맑음
3	3		7	24	금	비(간헐적)
4	4		8	10	월	맑음
5	5		8	27	목	맑음
6	6	가을	9	22	화	맑음
7	7		10	22	목	맑음
8	8		11	13	금	비
9	9		11	23	월	비
10	10	겨울	12	23	수	비
11	11		2016.1	29	금	비
12	12		2	24	수	비
13	13	봄	3	9	수	맑음(전일 비)
14	13-1*		3	17	목	맑음
15	14		3	29	화	맑음
16	15-1*		4	6	수	맑음
17	15		4	28	목	비
18	16-1*		5	10	화	비(소나기)
19	16		5	27	금	맑음
20	17		여름	6	8	수
21	17-1*	6		16	목	맑음
22	18	6		28	금	비
23	19	7		15	금	맑음
24	19-1*	7		28	목	맑음
25	20	8		8	월	맑음
26	20-1*	8		24	수	맑음

주) *는 광주 광역위생매립장, 상무소각장 2개소에서 시료채취

전체 26회 시료채취 일정에서 맑은 날 16회, 비오는 날 10회를 채취하였다, 요일별로는 월요일 3회, 화요일 4회, 수요일 6회, 목요일 7회, 금요일 6회로 비교적 적절하게 요일별로 분산된 일정으로 계획하였다.

2. 시료 채취 지점

지역별 특성을 대표할 수 있는 주요 거점별 10개 지점을 선정하였으며, 시료채취 지점 현황은 2012년 한국환경공단 시료채취지점과 동일하게 계획하였으며, 관련 사진은 Fig.9 와 같다.

10개 지점은 각각의 시료에 대해 3성분을 분석하였고, 10개 지점의 혼합시료를 별도로 추출하여 열량분석, 원소분석을 시행하였다.

3. 시료 채취와 분석

금회 연구에서는 시료 채취지점 10개소에서 각각 채취한 시료 10개, 10개 지점의 혼합시료 1개, 즉 11개 시료를 기초로 하여 물리적 및 화학적 분석을 수행하였다.

혼합시료는 분석에 필요한 10개 시료 채취지점의 시료(삼성분 분석용)를 각각 채취하고 남은 시료를 혼합하여 원추4분법으로 적당한 양으로 부피를 줄여 만들었다.

겉보기밀도 측정에는 혼합시료, 물리적 성상분석은 혼합시료, 삼성분 분석은 11개 시료, 원소분석 및 열량분석은 혼합시료를 사용하였다.¹⁶⁾

		
<p>광주 광역위생매립장</p>	<p>상무소각장</p>	<p>두암동(아파트60㎡ 이하밀집단지)</p>
		
<p>일곡지구 (아파트 60-85㎡ 밀집단지)</p>	<p>수완지구 (아파트 85㎡이상 밀집단지)</p>	<p>산수동(단독주택 밀집지역)</p>
		
<p>쌍촌동(다세대 원룸밀집지역)</p>	<p>봉선동(일반상가)</p>	<p>상무지구(식당밀집지역)</p>
		
<p>하남산단 (사업장생활폐기물)</p>		

Fig.9 Sample collection by branch

제 2 절 결보기 밀도

결보기 밀도는 채취한 시료 전량을 파봉하여 섞고, 원추사분법을 이용하여 시료를 실험에 사용될 만큼 줄여준다. 이후 약 25L용기에 잘 혼합된 시료를 넣어 지면으로 부터 약 30cm 높이의 위치에서 낙하시킨 후 용기의 용량에 미달되면 감소된 부피만큼 시료를 추가하여 밀도를 측정하고, 3회 정도 반복하여 측정하였다.

측정된 결보기 밀도는 월별로 편차가 큰 편인데, 용기에 집어넣어 측정한 시료의 성상에 따라 편차가 심하게 되었다고 판단된다.

Table 12, Fig.10에서 볼 수 있듯이, 본 연구(2015년8월~2016년8월) 평균은 108.58(kg/m³)으로서 2012년 한국환경공단 자료인 150(kg/m³)보다 상당히 적게 분석되었다. 이렇게 차이가 나는 것은 본 조사에서는 파봉한 폐기물을 최대한 느슨하게 흘트리고, 이 상태의 폐기물을 의도적으로 압착되지 않게 조심스럽게 25L 용기에 담았기 때문으로 판단된다. 또한 2012년에 결보기 밀도를 측정한 용기의 크기는 100L 크기인데, 결보기 밀도를 측정하기 위한 용기가 크면 클수록 용기 하부측에 담긴 폐기물이 자중에 의해 압착되므로 밀도가 약간 크게 측정될 수 있다.

Table 12. Apparent density measurement result

(unit : kg/m³)

구분	'15. 8월(1)	8월 (2)	9월	10월	11월 (1)	11월 (2)	12월	'16. 1월	2월	3월 (1)	3월 (2)*	3월 (3)
결보기 밀도	117.96	127.7	60.88	119.73	67.08	110.88	94.07	98.94	83.01	86.1	98.5	66.64

구분	'16. 4월(1) *	4월 (2)	5월 (1)*	5월 (2)	6월 (1)	6월 (2)*	6월 (3)	7월 (1)	7월 (2)*	8월 (1)	8월 (2)*	평균
결보기 밀도	129.91	127.26	129.91	139.2	104.25	102.48	126.37	116.19	110.44	142.3	137.57	108.58

주)*표는 광주 광역위생매립장과 소각장의 2개소만 별도로 시료채취 분석

특히 추가로 시행한 광주시 광역위생매립장과 상무 소각장 시료의 결보기 밀도를 살펴보면 Fig.11에 볼 수 있듯이 평균 결보기밀도가 118.14 (kg/m³)로서 약간 크게 나타나는데, 이는 폐기물 수집, 운반시에 약간 시간이 경과해서 자중이나 운반차에서 늘려서 압축된 것 등이 원인이 될 수 있다.

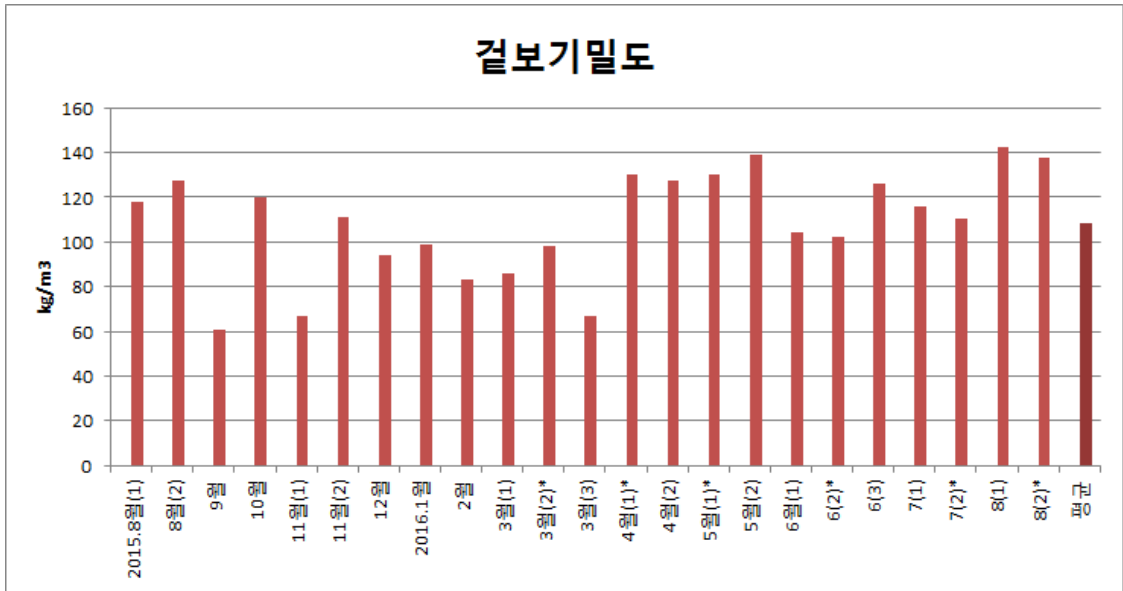


Fig.10 Apparent density measurement result

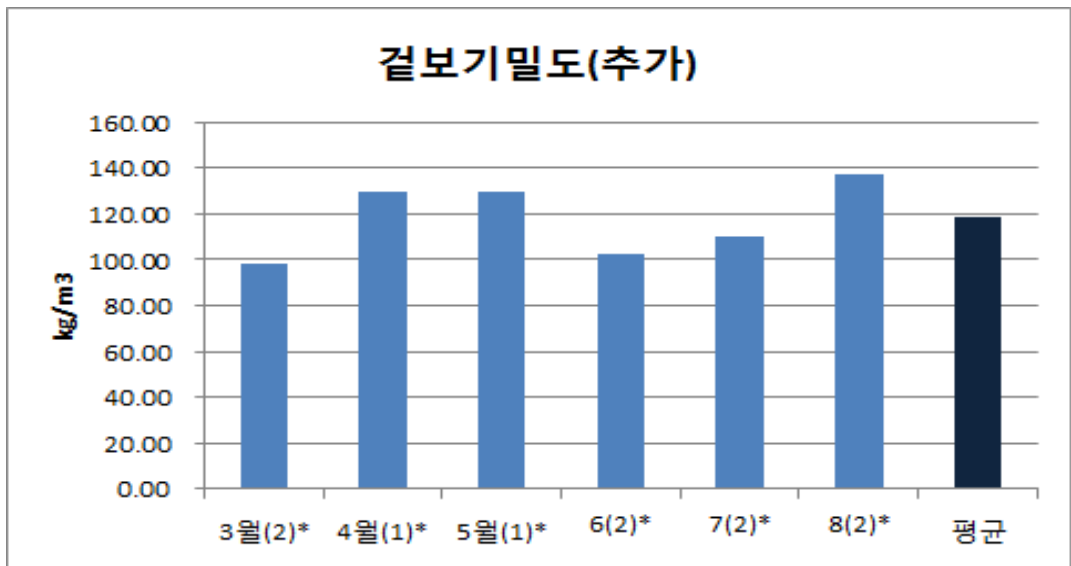


Fig.11 Apparent density measurement result (operating site)

제 3 절 물리적 조성

물리적 조성은 걸보기 밀도 측정에 사용한 시료 50ℓ를 가연성 7종류, 불연성 5종류 등 12개 종류로 무게 분류를 실시하였다.

- (1) 가연성(7) : 음식물류, 종이류, 목재류, 비닐/플라스틱류, PVC류, 고무/피혁류, 섬유류
- (2) 불연성(5) : 토사류, 철금속류, 비철금속류, 유리/자기류, 기타

1. 물리적 조성분류 결과

금번 연구의 물리적 조성분류의 결과를 Table 13 나타내었다. 물리적 조성분류 결과 가연물 82.0% 및 불연물 18.0%로 조사되었으며, 조성별 검토 결과 종이류가 41.7%로 가장 많았으며, 다음으로 비닐/플라스틱류 18.1%, 음식물류 7.5%, 유리/자기류 6.4%, 섬유류 5.5% 순이었다.

각 조성별 대표적인 시료는 종이류의 경우 휴지, 기저귀, 폐지 등 비교적 부피가 크지 않은 시료가 대부분이었으며, 비닐/플라스틱류는 쓰레기 부피를 줄이기 위해 포장한 일반 비닐봉투와 과자봉지, 제품포장지가 많이 포함되어 있었다.

2012년과 비교해 보면, 가장 크게 눈에 띄는 것은 가연물이 2012년 90.5%에서 금회 연구(2015~16년)에서는 82.0%로 감소하고, 이와 더불어 불연물은 2012년 9.4%에서 금회조사에서 18.0%로 증가하는 특징이 보인다. 이와 같은 변화는 그 이유를 당장 찾기가 곤란하다. 그 동안 사회경제의 변화에 의한 것인지, 시료수집 방법이나 분류하는 방법의 차이에서 오는 것인지 불분명하다.

참고로 2015년 환경부의 “전국 폐기물 발생 및 처리현황(2014년도)”자료에서 광주광역시 경우 종량제봉투에 담아서 배출하는 생활폐기물(가정생활폐기물+사업장생활계폐기물)의 경우를 보면 Table 14에 정리해서 나타내었는데, 가연분 73.5%, 불연분 26.5%로 나타나고 있어서, 금회(2015~16년) 연구에서 나타난 가연분 79.1%와 불연분 20.9%와 근접한 수치로 보인다.

Table 13. Physical composition

(unit : %)

구분		가연성								불연성						계	
		음식물류	종이류	나무류	비닐,플라스틱	PVC류	고무,피혁류	섬유류	소계	토사류	철금속	비철금속	유리초자	기타	소계		
봄	2015.5월	6.5	38.5	0.8	16.4	8.9	0	10.3	81.4	1.1	6.7	1.9	6.3	2.6	186	100	
여름	6월	8.1	41.2	2.1	18.0	6.2	1.5	6.1	83.2	1.6	1.2	1.3	5.2	7.5	168	100	
	7월	11.1	18.1	2.5	20.4	8.5	0	11.5	72.1	1.2	2.3	7.5	14.2	2.6	27.9	100	
	8월(1)	9.2	42.3	4.6	15.0	3.4	0	4.3	78.8	1.3	1.2	3.0	13.1	2.6	21.2	100	
	8월(2)	27.5	25.5	2.9	13.2	2.7	0	1.1	73.0	1.3	6.9	3.8	13.2	1.9	27.0	100	
가을	9월	5.2	33.2	4.6	14.0	12.3	2.0	3.9	75.1	1.8	3.3	2.6	12.8	4.4	24.9	100	
	10월	9.4	47.0	0.7	14.7	9.4	1.1	0.9	83.2	0.3	4.2	5.0	3.8	3.4	16.7	99.9	
	11월(1)	8.8	45.4	0.8	21.1	7.2	0	5.8	89.1	0.8	2.4	3.6	1.1	2.9	10.8	99.9	
	11월(2)	2.8	51.8	0.6	8.7	1.3	0	11.7	76.9	2.2	7.5	4.4	5.2	3.7	23.0	99.9	
겨울	12월	7.8	46.3	2.1	9.7	4.5	0	7.6	78.0	3.4	1.1	5.6	7.6	4.3	22.0	100	
	2016.1월	5.3	60.9	1.1	12.5	1.1	0	3.8	84.7	0.9	4.4	7.1	0.9	2.0	15.3	100	
	2월	7.5	38.6	1.1	14.2	4.3	1.4	8.1	75.2	3.3	3.8	3.6	2.7	11.4	24.8	100	
봄	3월(1)	1.6	49.6	3.7	17.1	2.3	2.2	11.2	87.7	0.3	2.2	6.4	1.9	1.5	12.3	100	
	3월(2)*	12.6	34.6	1.7	26.8	1.5	5.5	1.9	84.6	0.5	2.5	7.0	3.2	2.1	15.3	99.9	
	3월(3)	1.5	51.8	2.1	13.2	2.0	6.2	2.3	79.1	0.6	3.4	3.0	12.4	1.7	21.1	100	
	4월(1)*	9.4	33.1	1.9	37.6	0.1	1.3	3.9	87.3	1.8	1.0	5.2	2.8	1.6	12.4	99.7	
	4월(2)	1.2	60.2	0.1	12.3	10.9	3.6	3.8	92.1	0.1	1.7	2.9	0.1	1.5	6.3	98.4	
	5월(1)*	6.9	43.6	0.1	14.9	4.0	5.7	2.9	78.1	0.1	0.1	1.6	16.6	1.5	19.9	98	
	5월(2)	4.8	54.4	0.1	21.7	3.0	1.3	2.5	87.8	1.1	5.1	2.5	1.0	1.7	11.4	99.2	
	6월(1)	2.3	48.1	6.5	17.1	2.3	6.6	5.1	87.9	2.1	1.6	1.7	3.0	3.6	12.1	100	
여름	6월(2)*	10.8	40.1	0.4	22.1	2.5	4.4	6.2	80.5	2.9	4.2	7.5	1.7	3.3	19.5	100	
	6월(3)	8.7	43.6	6.1	18.5	1.4	1.6	6.7	86.6	2.4	1.4	5.9	0.7	2.9	13.3	100	
	7월(1)	5.8	30.9	14.1	25	5.8	1.6	5.7	88.9	4.4	0.8	2.2	2.2	1.5	11.1	100	
	7월(2)*	7.9	33.4	1.4	27.3	1.8	1.2	2.2	75.1	3.2	0.6	6.1	12.1	2.9	24.9	100	
	8월(1)	8.7	33.2	1.4	20.7	4.7	8.2	8.1	85.1	1.6	2.8	2.7	6.6	1.1	14.8	99.9	
	8월(2)*	4.6	38.7	0.9	19.0	6.3	5.1	5.8	80.3	1.2	2.0	1.7	14.0	0.8	19.7	100	
	평균		7.5	41.7	2.5	18.1	4.6	2.3	5.5	82.0	1.6	2.9	4.1	6.4	3.0	18.0	100
						22.7	7.0										
2012년 평균		9.8	44.8	3.2	23.9		3.0	5.8	90.5	1.1	1.5		4.4	2.4	9.5	100	

주)*표는 광주 광역위생매립장과 상무 소각장의 2개소만 시료채취

Table 14. Gwangju Metropolitan City Waste Generation Status (unit : Ton/Day, %)

종량제에 의한 혼합배출												
계	가연성							불연성				
	소계	음식, 채소	종이류	나무류	고무, 피혁	플라스틱	기타	소계	유리	금속류	토사	기타
474.8	348.8	16.2	112.4	22.7	18.0	98.3	81.2	126.0	20.3	27.8	37.8	40.1
100.0	73.5	3.4	23.7	4.8	3.8	20.7	17.1	26.5	4.3	5.9	8.0	8.4

주) 자료 출처 : 전국 폐기물 발생 및 처리현황(2014년도)(2015, 환경부), p.56

금회 연구(2015~16년)의 결과의 세부적인 항목을 비교해 보면, 2012년 종이류 44.8%에서 금회 연구에서 41.7%로 약간 감소하고 있고, 비닐, 플라스틱, PVC류가 23.9%에서 22.7%로 약간 감소하였다.

발생량이 늘어난 불연물중에서 유리,초자 성분이 2012년 4.4%에서 6.4%로 증가하고 있고, 철,비철금속류가 2012년 1.5%에서 7.0%로 증가한 것이 두드러진다.

특히 2012년에는 철금속류 1개 항목인데 비해 철금속류와 비철금속류의 2항목으로 구분되어 있다. 특히 알루미늄 호일 폐기물과 알루미늄필름지 포장상품(라면봉지, 과자봉지, 화장품, 건강음료봉지 등)인 비철금속류(4.1%)이 철금속류(2.9%)보다 더 많이 배출되는 것을 알 수 있다. 알루미늄 필름지 포장상품 폐기물은 유의해서 분류하지 않으면 비닐, 플라스틱류로 혼동되기 쉽다.

주요항목의 월별 변화를 보기 위해 그림으로 표시하면 Fig.13과 같다. 이 표와 그림에서 주요 항목의 월별 배출량의 변화를 보면, 가연성 폐기물의 함량이 높은 달은 2016년 4월(92.1%, 봄), 2015년 11월(89.31%, 가을), 2016년 7월(88.9%, 여름) 순인데, 계절별 특이성은 보이지 않는다. 항목별로 보면 종이류의 변화는 2015년 7월과 8월(2)에서 낮게 나타나는 특징이 있다. 2015년 7월은 비닐,플라스틱 항목과 함께 타 항목도 상대적으로 많이 배출되고 있고, 2015년 8월(2)은 음식물류가 상대적으로 많이 배출되기 때문이다. 특히 8월(2)에는 수박껍질 등 과일과 야채쓰레기가 많았다.

물리적 조성 성분을 시각적으로 용이하게 볼 수 있도록 다이어그램 형식으로 표현해 보면 Fig.14과 같다.

또한 계절별로 비교해 보기 용이하게 Table 15으로 정리하였고 그 결과를 Fig.15와 같이 나타내었다. 계절별 특징을 살펴보면 봄철에는 가연성 폐기물 함량(81.5%)이 높고, 겨울철에는 가연성분 함량(79.3%)이 낮다.

또한 봄철에는 음식물류, 나무류, 기타성분의 배출량이 감소하고, 종이류 및 비닐/플라스틱류, 유리초자류 등의 배출량이 많은 편이다. 여름철에는 음식물류, 나무류, 비닐/플라스틱류, 유리초자류 폐기물 항목이 많이 배출되고 상대적으로 종이류 폐기물의 배출이 감소하고 있다., 가을철은 특징적인 현상이 뚜렷하지 않으나, 겨울철에는 종이류 폐기물이 많이 발생하고, 상대적으로 비닐/플라스틱 폐기물은 적게 배출되는 특징이 보인다.

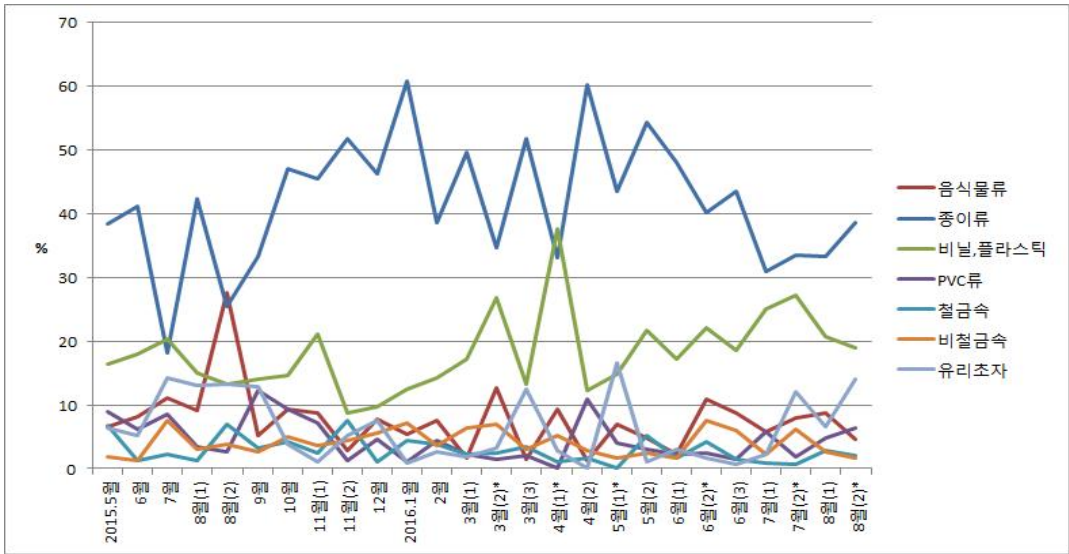


Fig.12 Physical composition of monthly changes

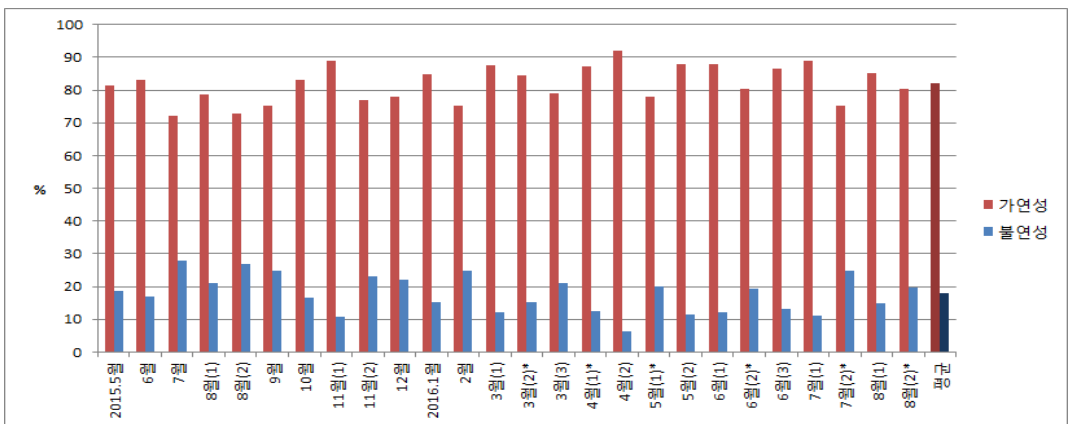


Fig.13 Monthly change of flammable substance and incombustible substance

Table 15. Seasonal changes in physical composition

구분	가연성								불연성						계
	음식물류	종이류	나무류	비닐, 플라스틱류	PVC류	고무, 피혁류	섬유류	소계	토사류	철금속	비철금속	유리초자	기타	소계	
봄	5.2	46.0	1.9	19.7	3.9	3.6	4.9	85.1	0.9	2.7	3.6	5.3	2.0	14.4	99.5
여름	9.5	35.9	3.9	19.7	4.2	2.8	5.7	81.1	2.1	2.3	4.0	7.8	2.8	18.9	100
가을	6.6	44.4	1.7	14.6	7.6	0.8	5.6	81.1	1.3	4.4	3.9	5.7	3.6	18.9	100
겨울	6.9	48.6	1.4	12.1	3.3	0.5	6.5	79.3	2.5	3.1	5.4	3.7	5.9	20.7	100
평균	7.0	43.7	2.2	16.5	4.7	1.9	5.7	81.6	1.7	3.1	4.2	5.6	3.6	18.2	100

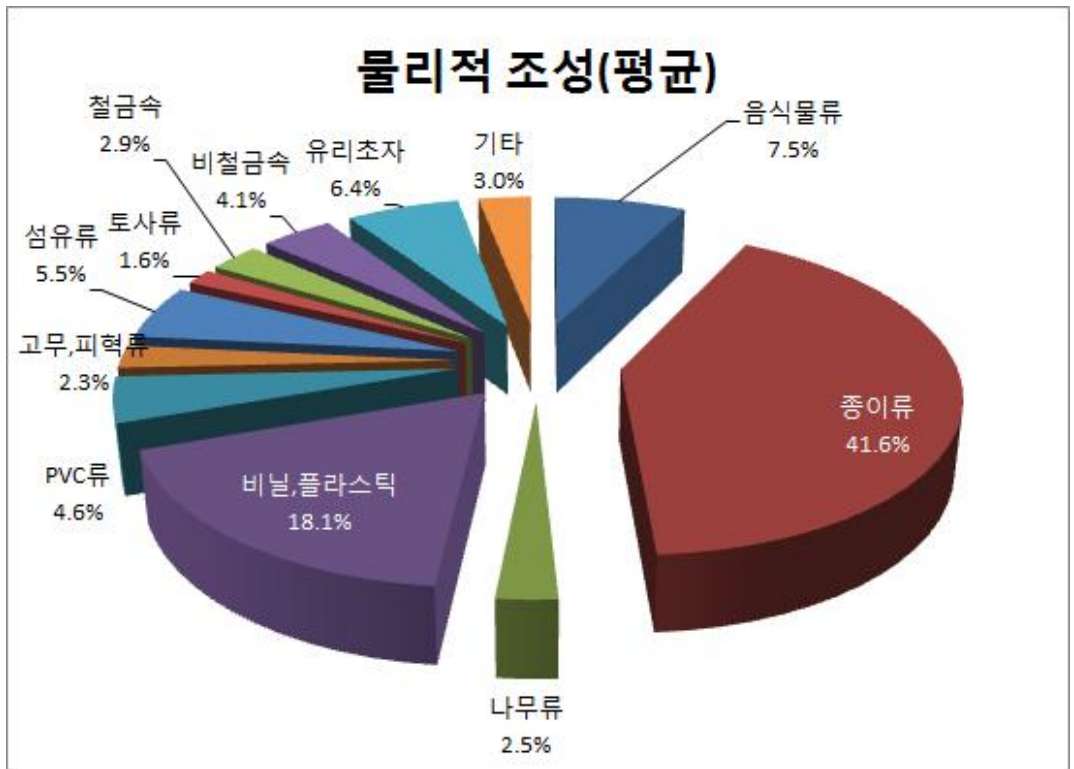


Fig.14 Physical composition (average)

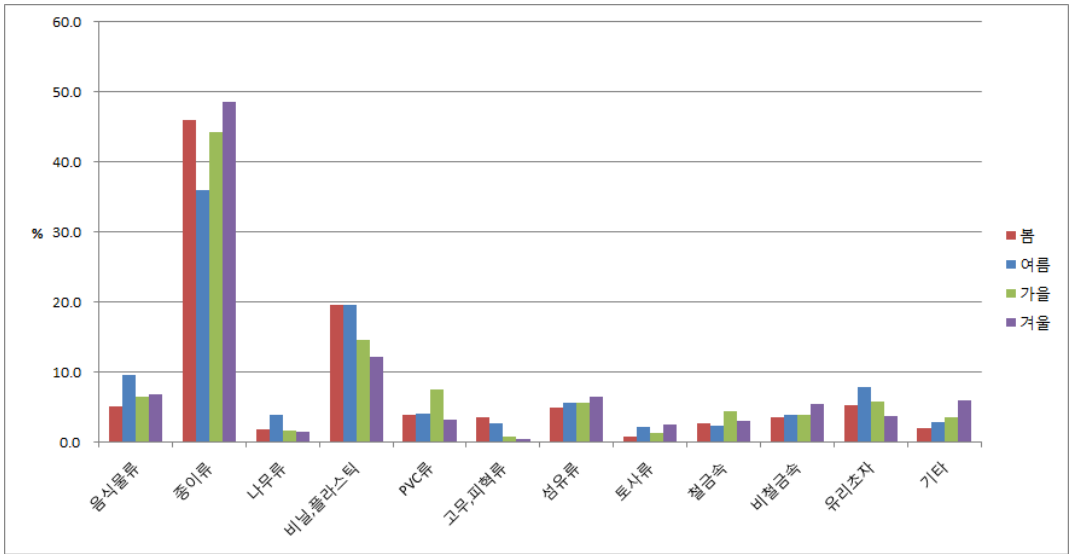


Fig.15 Seasonal changes in physical composition

2. 음식물류 폐기물 발생량 검토

음식물류 폐기물은 물리적 성상분석 12개 항목중의 하나이다. 물리적 성상분석은 10개소 시료 채취지점에서 채취한 시료 전체를 잘 혼합해서 대표적 시료로 만든 혼합 시료에서 물리적 조성 12개 항목을 분류하였다.

금회 연구를 수행하는 중에 별도로 10개 지점의 개별적인 음식물류 폐기물의 함량을 확인해 달라는 요구가 있어서, 전체 분석회수 26회 중에서 10회에 걸쳐 각 지점별로 가연성 성분의 물리적 성상 분석을 수행하였다.

종량제 봉투로 배출된 폐기물의 성분중에서 음식물류 폐기물의 발생량을 조사하기 위해서, 각 지점별로 수거된 폐기물의 가연성분을 건조하고, 이것을 가연성 성분별로 분류하여 Table 16와 같이 나타내었다.

Table 16에서 볼 수 있듯이, 음식물류는 10개 지점평균 9.2%로 혼합쓰레기 12.1%보다 약간 적은 편인데, 건조과정 후 분류과정에서 대부분이 부서져서 기타성분으로 분류되었을 가능성이 크다.

Table 17과 Fig.16에서 볼 수 있듯이, 음식물류 폐기물의 각 지점별 배출량을 보면 쌍촌동 원룸밀집지역(14.5%)과 두암동(12.2%)이 비교적 많고, 하남산단지역(6.3%)이 적은 것을 알 수 있다.

또한 주요 항목인 종이와 비닐, 플라스틱류 폐기물의 지점별 배출은 Fig.17과 같다. 종이류가 많이 배출되는 곳은 상무, 일곡 지점이고, 적게 배출되는 곳은 봉선동이다. 비닐, 플라스틱류 폐기물의 경우, 많이 배출되는 곳은 수완, 소각장, 산수 지점이고, 적게 배출되는 곳은 두암과 상무 지점이다.

Table 16. Classification of physical properties of combustible components by site

(unit : %)

구분	음식물류	종이류	나무류	비닐, 플라스틱	PVC류	고무,皮鞋류	섬유류	계
광주광역시 위생매립장	9.5	47.7	8.3	19.8	8.5	1.7	4.5	100
상무 소각장	9.8	52.7	5.9	20.6	4.8	1.8	4.4	100
두암	12.2	52.5	3.1	18.4	5.8	1.5	6.5	100
일곡	8.1	56.5	4.6	20.3	2.1	2.1	6.3	100
수완	7.1	52.1	1.5	20.8	8.5	0.8	9.2	100
산수	6.3	52.8	9.2	20.5	2.8	1.5	6.9	100
쌍촌	14.5	50.3	2.3	19.2	3.5	1.3	8.9	100
봉선	7.9	44.2	6.2	19.8	9.9	2.5	9.5	100
상무	10.1	58.5	1.4	18.5	3.5	3.1	4.9	100
하남	6.3	55.0	2.7	19.7	4.3	2.2	9.8	100
평균	9.2	52.2	4.5	19.8	5.4	1.9	7.1	100
평균	12.1	49.2	2.8	19.1	8.1	0.6	8.0	100

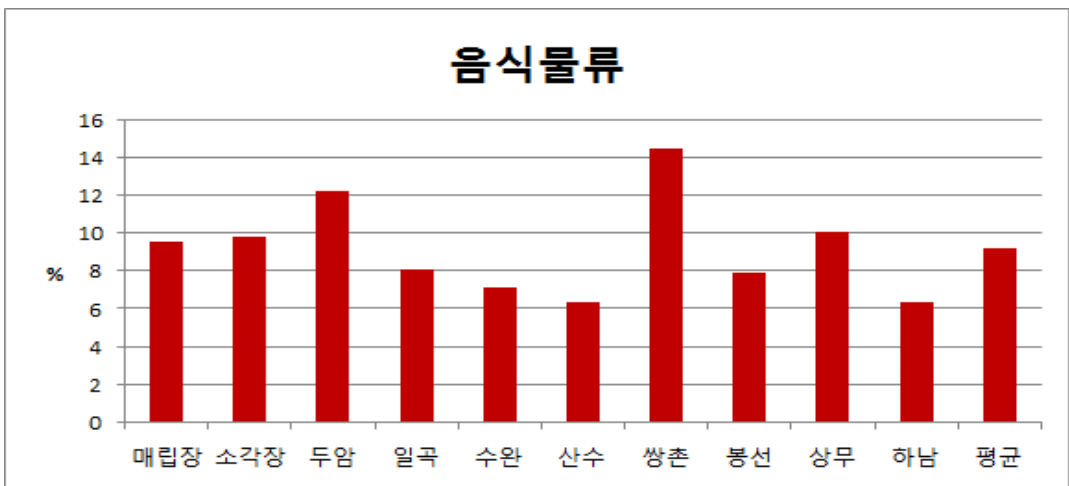


Fig.16 Waste of food waste by branch

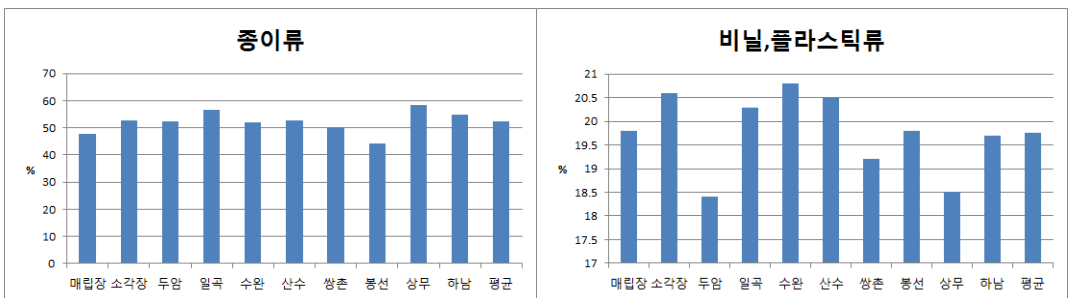


Fig.17 Paper and vinyl / plastic wastes generated by branch

3. 삼성분

전체 시료에 대한 삼성분 분석결과는 Table 17 과 Fig.18에서 볼 수 있듯이, 수분 33.0%, 가연분 61.0% 및 회분 6.0%로 분석되었다. 2012년 자료를 보면 수분 33.6%, 가연분 60.7% 및 회분 5.7%로 조사되어 금회 조사 결과와 유사하다.

상무지구 식당밀집지역의 쓰레기의 수분함량이 38.1%로 가장 높았으며, 하남산단이 26.9%로 가장 낮았다. 2012년에는 광주시 광역위생매립장의 수분이 38.0%로 가장 높았으며, 하남산업단지가 18.0%로 가장 낮았다. 특히 하남산업단지의 경우는 폐기물 성장중 수분의 비중의 가장 많이 차지하는 음식물 및 기저귀 종류의 비율이 타 지점에 비하여 낮아 수분이 가장 낮은 것으로 나타났다.

하남산업단지의 경우 가연분이 65.1%로 다른 지역보다 높게 나왔는데, 그 원인은 수분이 많이 포함된 음식물쓰레기, 종이류 등이 적게 발생되어서 가연분이 상대적으로 높게 나타났다.

회분의 분석결과 하남산업단지가 8.0%로 가장 높았으며, 산수동과 봉선동이 각각 5.1%, 5.2%로 가장 낮았다.

Table 17. Results of three major components analysis by branch (average) (unit : %)

구분	수분	가연분	회분
광주 광역위생매립장	32.3	61.3	6.4
상무 소각장	32.8	60.3	6.9
두암	33.1	60.7	6.2
일곡	31.1	62.9	6.0
수완	30.5	63.8	5.8
산수	35.6	59.2	5.1
쌍촌	34.3	60.0	5.7
봉선	34.8	60.0	5.2
상무	38.1	56.2	5.7
하남	26.9	65.1	8.0
(혼합시료) 평균	33.0	61.0	6.0
2012년 평균	33.6	60.7	5.7

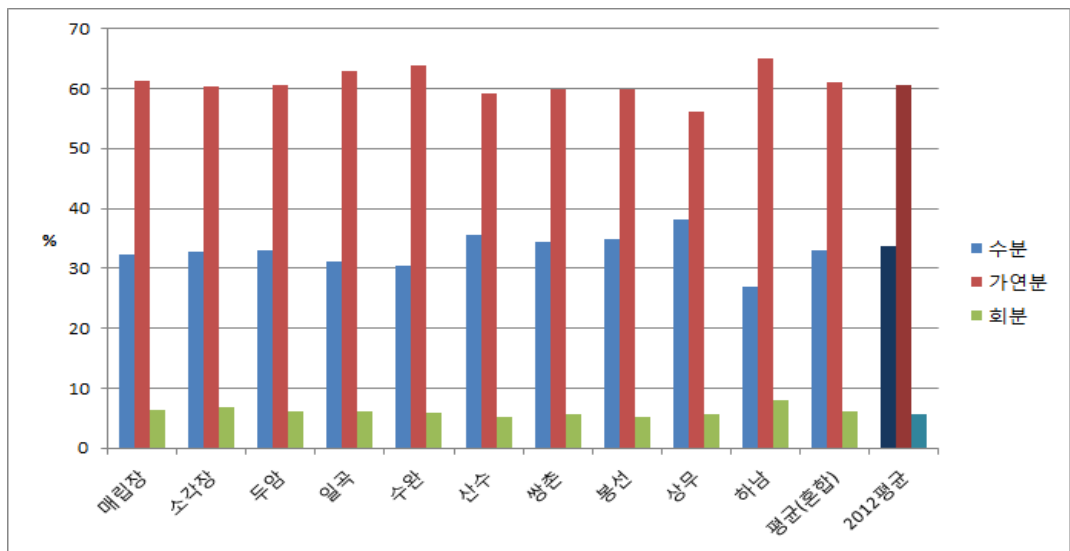


Fig.18 Results of three major components analysis by branch (average)

매회 전체 조사지점을 대표할 혼합시료에 대해서 월별, 계절별 삼성분에 대해서 정리를 해보면 Table 18 와 Fig.19와 같다. 이 표와 그림에서 볼 수 있듯이 월별로 특징이 잘 드러나지 않지만, 10월의 경우에는 수분이 상당히 높고, 상대적으로 가연분과 회분이 낮은 특징이 보인다.

계절별 특징을 보기 위해 Table 19 와 Fig.20에 나타내었다. 이 표와 그림에서 볼 수 있듯이 겨울철(12월)에 함수율이 약간 낮고, 상대적으로 가연분과 회분이 약간 높은 특징을 보이고 있다.

10개 각 지점의 월별 삼성분의 변화를 Fig.21에서 Fig.30까지 나타내었다. Fig.22 상무소각장의 경우에 그림에서 공백으로 되어 있는 것은 소각장의 정비에 따라 폐기물이 반입되지 않아 시료를 채취할 수 없었기 때문이다.

Table 18. Monthly and seasonal changes of three major composition (Unit : %)

구분	수분	가연분	회분
봄	32.1	61.8	6.1
여름	34.2	60.1	5.7
가을	34.8	59.9	5.2
겨울	30.2	62.9	6.9
평균	32.8	61.2	6.0

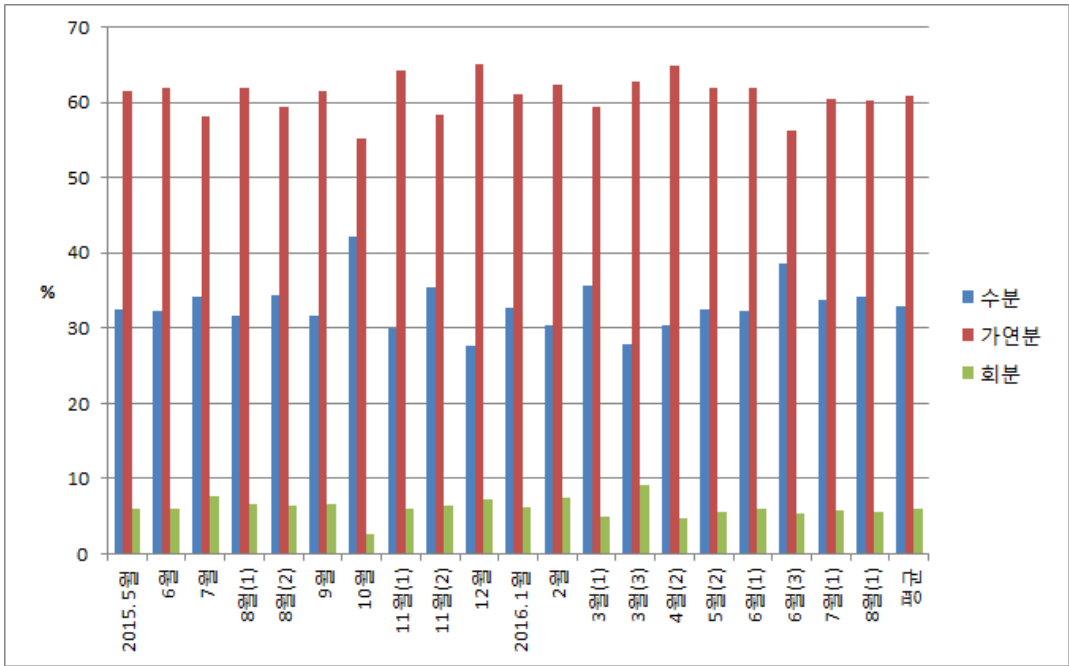


Fig.19 Monthly change of three major components analysis

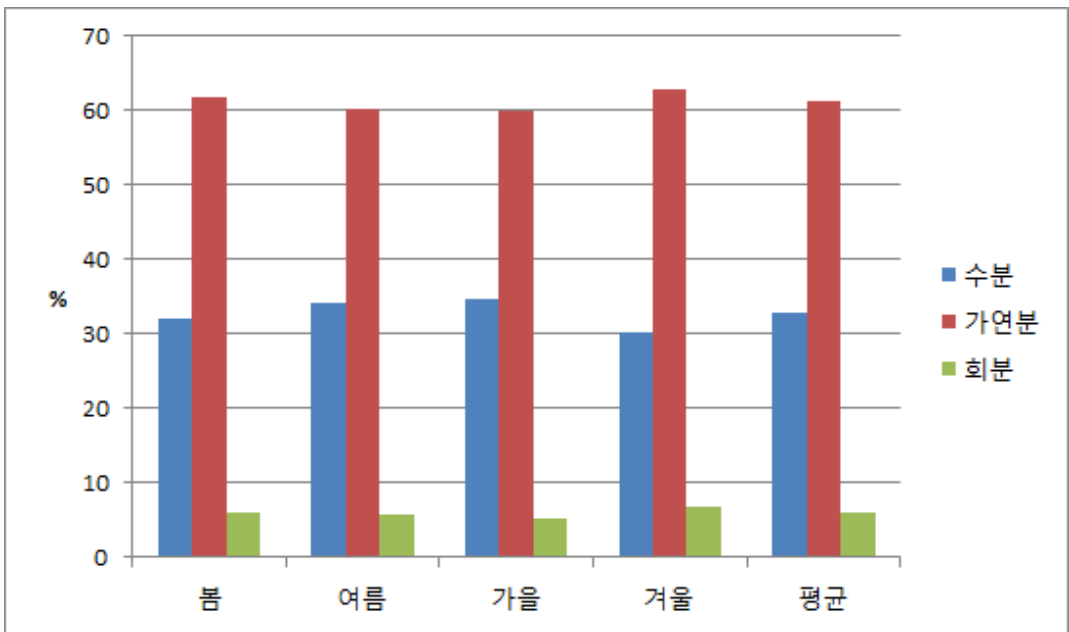


Fig.20 Seasonal three major components analysis (average)

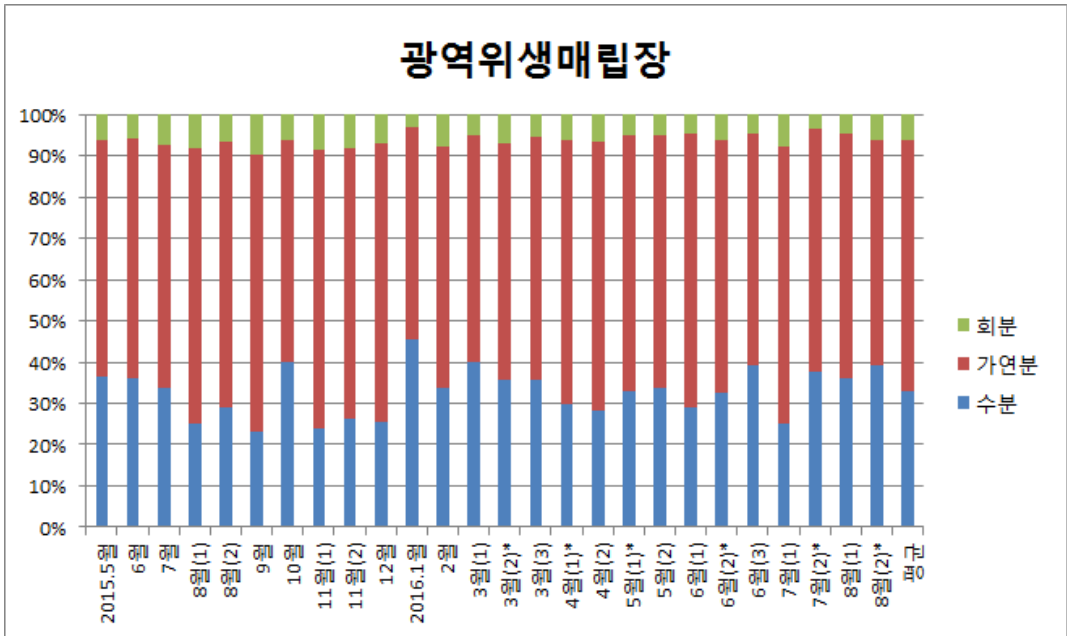


Fig.21 Sanitary landfill Monthly three major components analysis branch

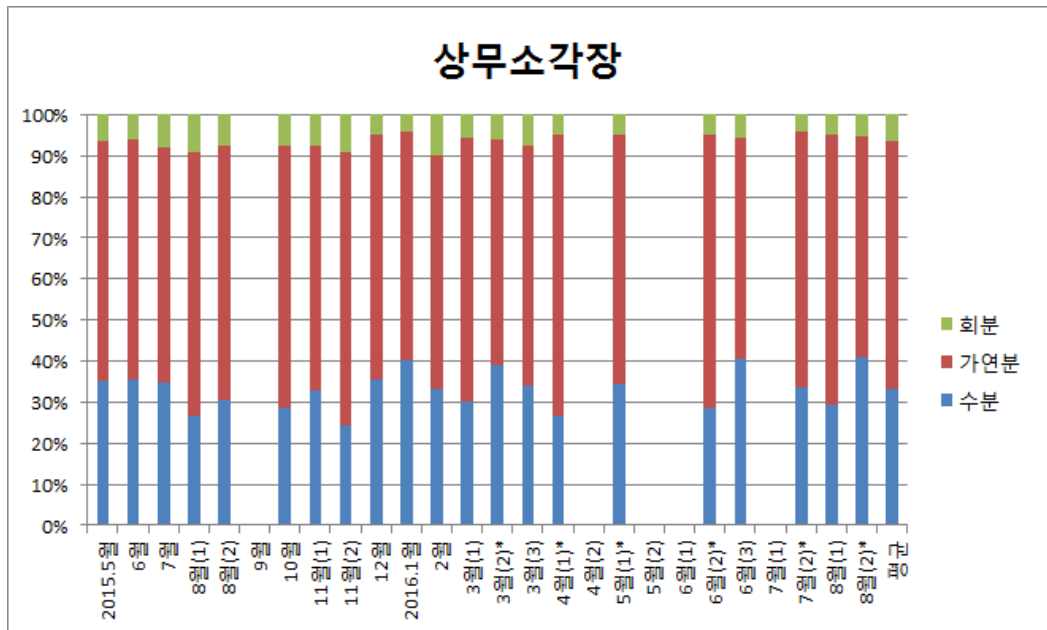


Fig.22 Monthly three major components analysis of Sangmu incinerator

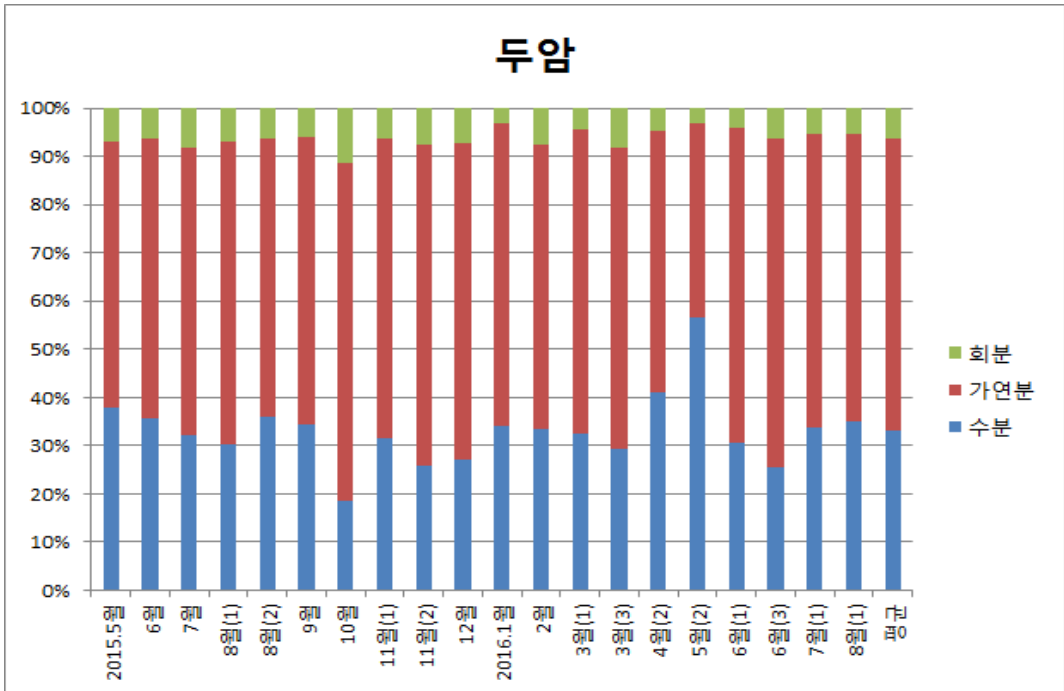


Fig.23 Monthly three major components analysis of Duam-dong

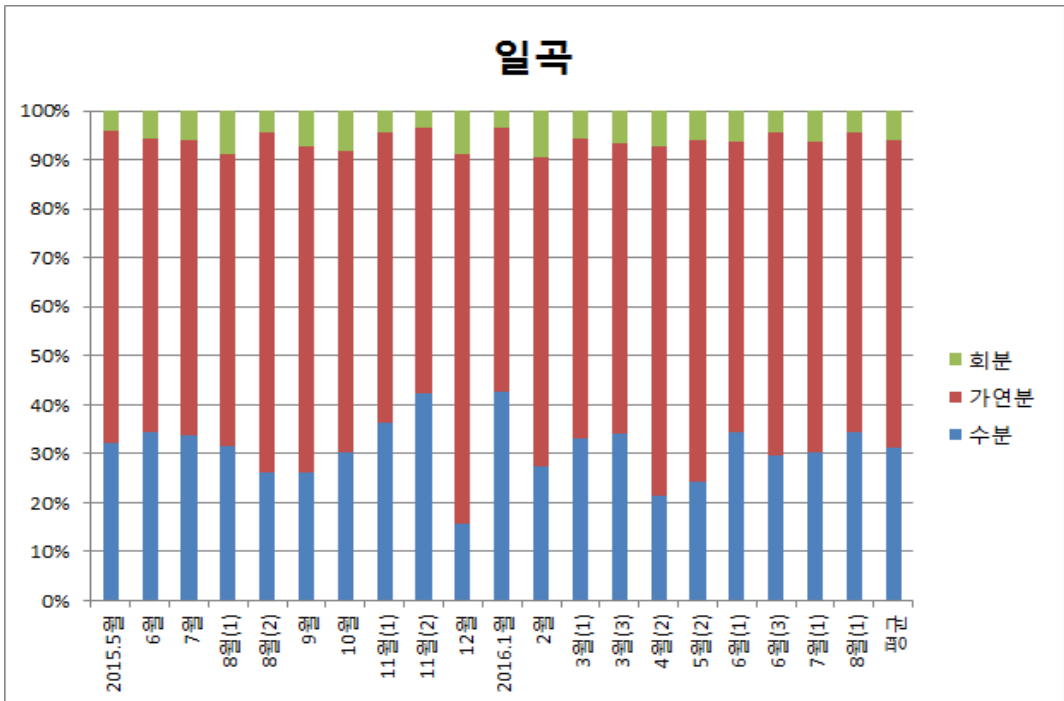


Fig.24 Monthly three major components analysis of Ilgog-jigu

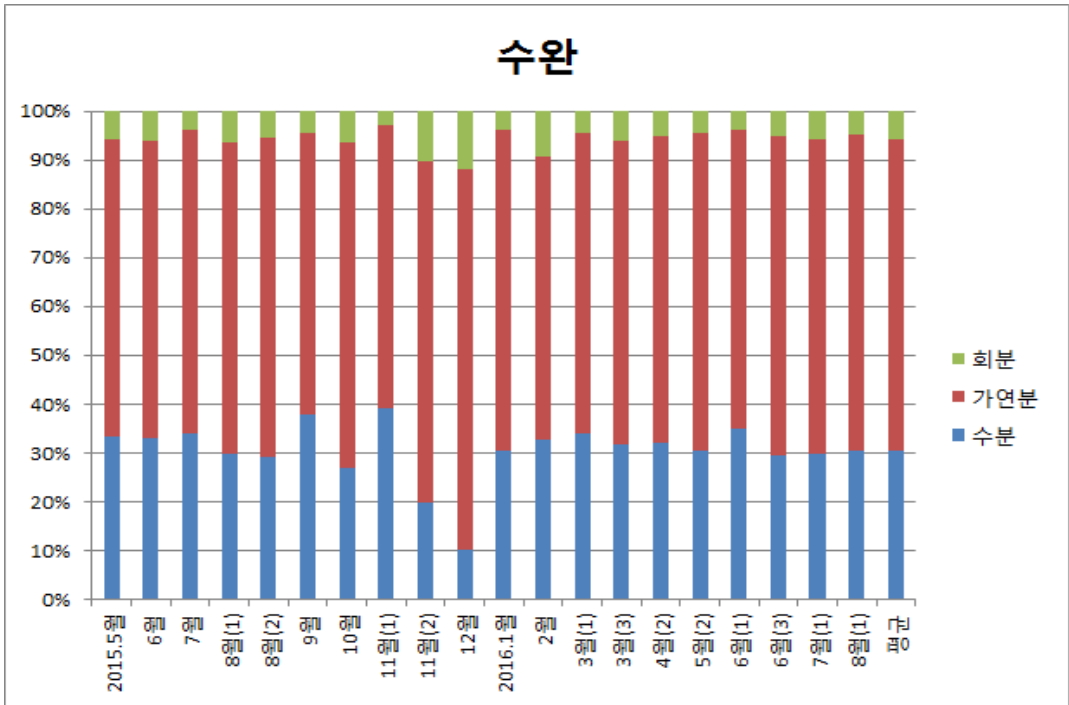


Fig.25 Monthly three major components analysis of Suwan-jigu

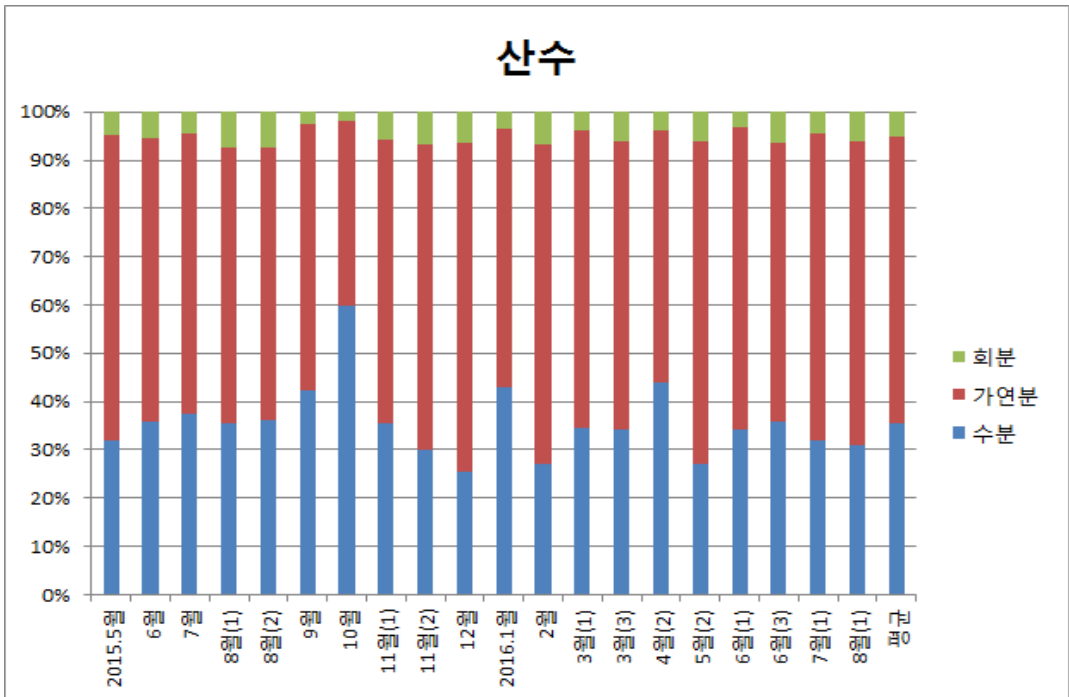


Fig.26 Monthly three major components analysis of Sansu-dong

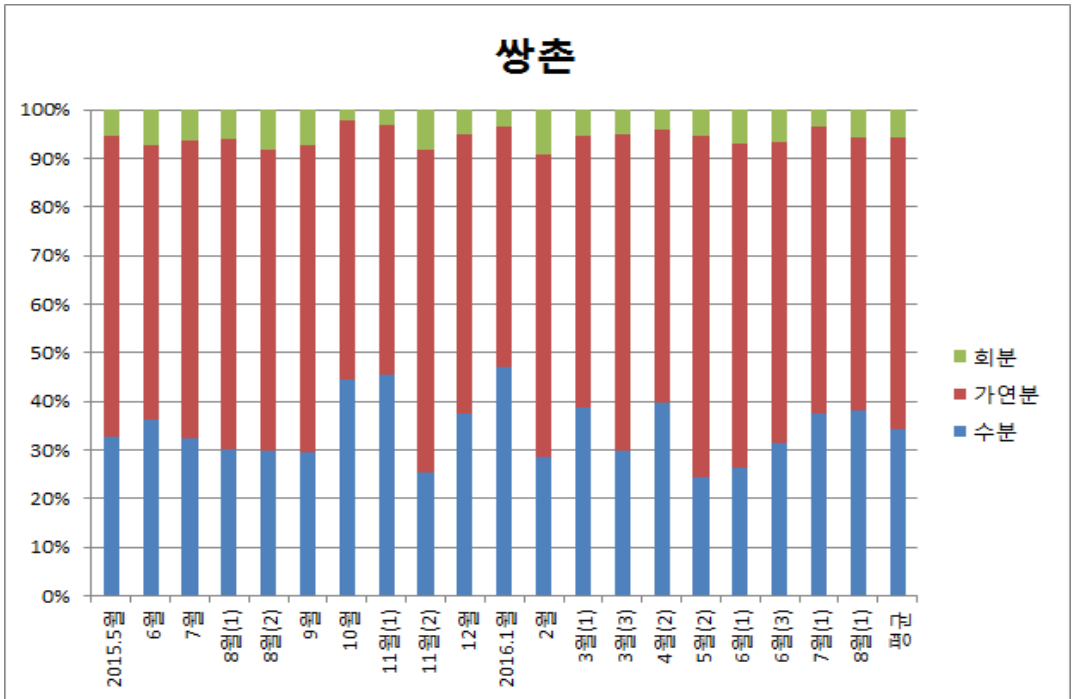


Fig.27 Monthly three major components analysis of Ssangchon-dong

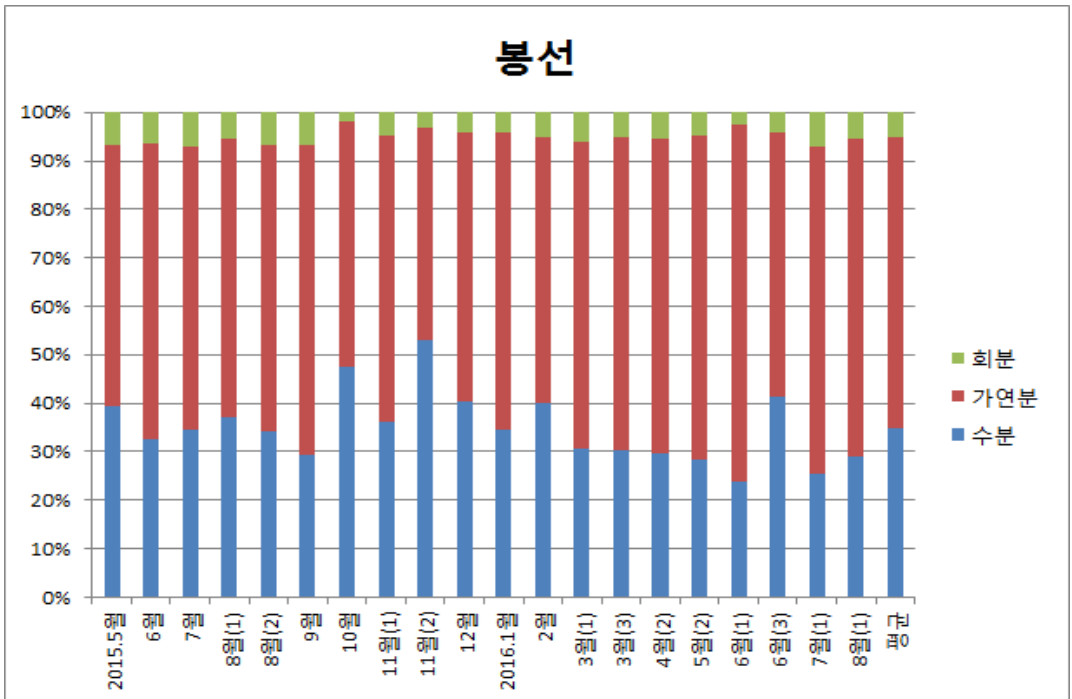


Fig.28 Monthly three major components analysis of Bongseon-dong

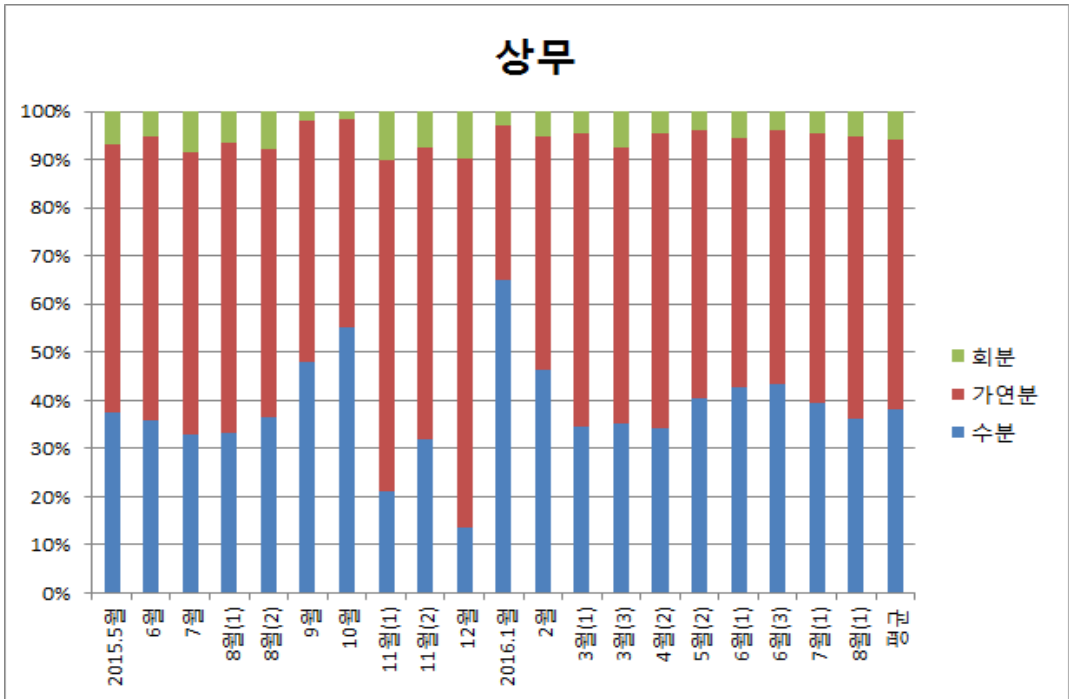


Fig.29 Monthly three major components analysis of Sangmu-jigu

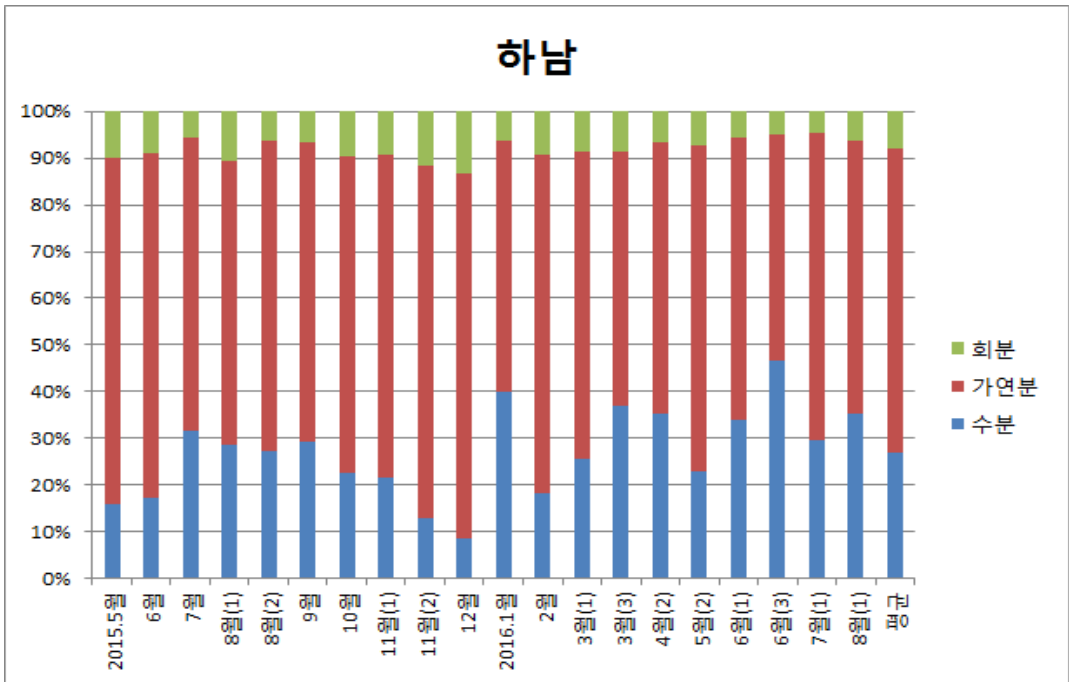


Fig.30 Monthly three major components analysis of Hanamsandan

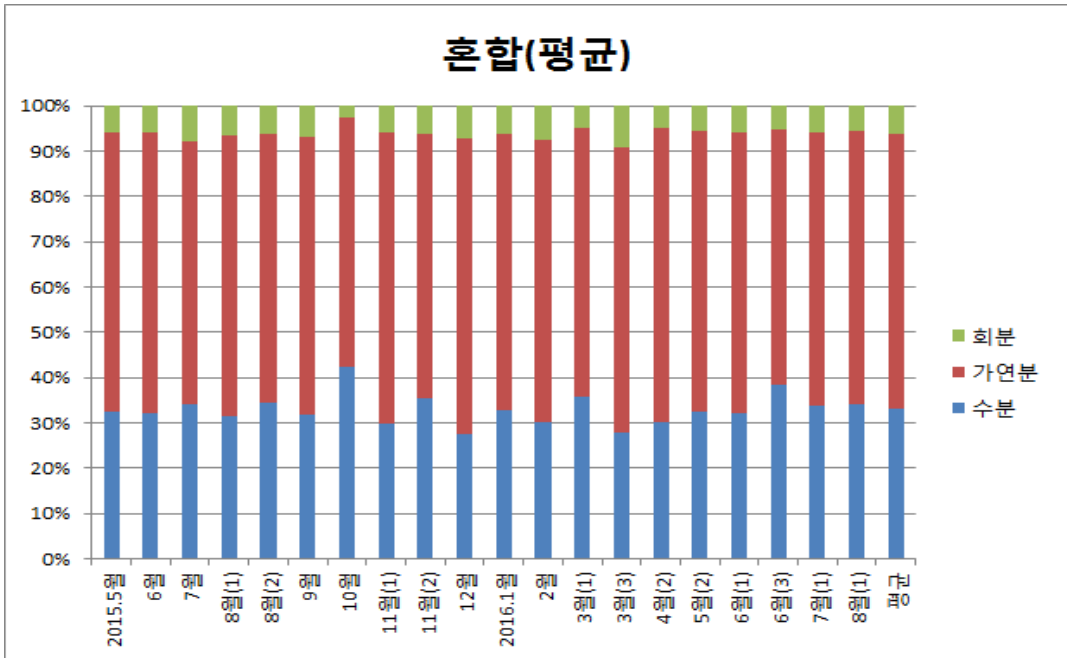


Fig.31 Monthly three major components analysis of the mixed (average) sample

4. 원소 조성

원소조성 분석은 수분을 제거한 시료 중 불연분을 제거한 후 분쇄하여 원소분석기와 연소이온크로마토그래피를 이용하여 분석하였다.

Table 19와 Fig.32에서 볼 수 있듯이, 전체 폐기물의 원소조성 분석결과 C가 47.21%로 가장 높았으며, O 26.54%, H 6.56%, Cl 0.20%, N 0.56%, S 0.18% 및 ash 18.77% 순으로 분석되었다. 월별 변화 특징을 보면, 2016년 5월(2)의 경우가 탄소함량이 57.18%로 가장 높고, 회분의 함량이 8.13%로 가장 낮은 특성이 보인다. 그 외 월에서는 별다른 특징이 보이지 않는다.

2012년 조사결과는 C가 48.47%로 가장 높았으며, O 34.56%, H 7.06%, Cl 0.66%, N 0.70%, S 0.11% 및 ash 8.44% 순으로 분석되었다.

Fig.33에 원소 조성(평균)을 다이어그램 형태로 표시하였고, 계절별 원소 조성을 Fig.34에 나타내었다. 계절별로는 여름철에 탄소성분이 낮고 회분함량이 높다는 특성을 보인다.

Table 19과 Fig.35에서 볼 수 있듯이, 금희의 연구와 2012년 조사 결과의 차이는 금희의 검토결과가 Ash를 제외한 모든 항목에서 2012년에 비해서 낮다는 것을 알 수 있다.

Table 19. Element composition

(unit : %)

구분	C	H	O	N	S	Cl	Ash	계
2015.5월	41.48	6.54	31.87	0.20	0	0.13	19.78	100
6월	43.36	6.50	29.21	0.73	0	0.21	19.99	100
7월	46.15	7.39	22.52	0.80	0.14	0.15	22.85	100
8월(1)	47.65	6.78	35.27	0.68	0.11	0.24	9.27	100
8월(2)	44.86	6.16	33.31	1.06	0.29	0.22	14.10	100
9월	45.37	4.24	31.68	0.79	0.19	0.27	17.46	100
10월	45.30	4.74	31.22	0.59	0.18	0.27	17.70	100
11월(1)	47.14	5.36	27.22	0.70	0.13	0.54	18.91	100
11월(2)	47.80	6.08	30.42	0.65	0.38	0.28	14.39	100
12월	46.43	6.26	27.01	0.71	0.24	0.20	19.15	100
2016.1월	47.33	6.91	25.08	0.60	0.61	0.13	19.34	100
2월	50.00	7.45	29.42	0.54	0.27	0.14	12.18	100
3월(1)	44.86	6.74	27.23	1.23	0	0.23	19.71	100
3월(2)*	48.25	7.33	21.80	0.23	0	0.15	22.24	100
3월(3)	46.57	7.07	29.68	0.64	0	0.42	15.62	100
4월(1)*	50.49	7.91	23.28	0.65	0.41	0.17	17.19	100
4월(2)	50.50	7.16	27.59	0.56	0.12	0.17	13.90	100
5월(1)*	52.56	8.67	24.05	0.22	0.09	0.13	14.28	100
5월(2)	57.18	8.02	25.39	0.83	0.35	0.10	8.13	100
6월(1)	47.81	6.21	24.35	0.27	0.36	0.17	20.83	100
6월(2)*	45.82	6.01	21.05	0.35	0.10	0.13	26.54	100
6월(3)	45.11	6.20	22.35	0.21	0.08	0.11	25.94	100
7월(1)	45.13	6.17	21.10	0.21	0.35	0.17	26.87	100
7월(2)*	44.93	5.62	22.63	0.18	0.06	0.09	26.49	100
8월(1)	48.86	6.52	21.23	0.56	0.06	0.15	22.62	100
8월(2)*	46.58	6.39	23.97	0.49	0.05	0.11	22.41	100
평균	47.21	6.56	26.54	0.56	0.18	0.20	18.77	100
2012년	48.47	7.06	34.56	0.70	0.11	0.66	8.44	100

주) *는 광주 광역위생매립장, 상무소각장 2개소에서 시료채취

구분	C	H	O	N	S	Cl	Ash	계
봄(3~5월)	48.99	7.43	26.36	0.57	0.12	0.19	16.36	100
여름(6~8월)	46.02	6.36	25.18	0.50	0.15	0.16	21.63	100
가을(9월~11월)	46.40	5.11	30.14	0.68	0.22	0.34	17.12	100
겨울(12~2월)	47.92	6.87	27.17	0.62	0.37	0.16	16.89	100
평균	47.33	6.44	27.21	0.59	0.22	0.21	18.00	100

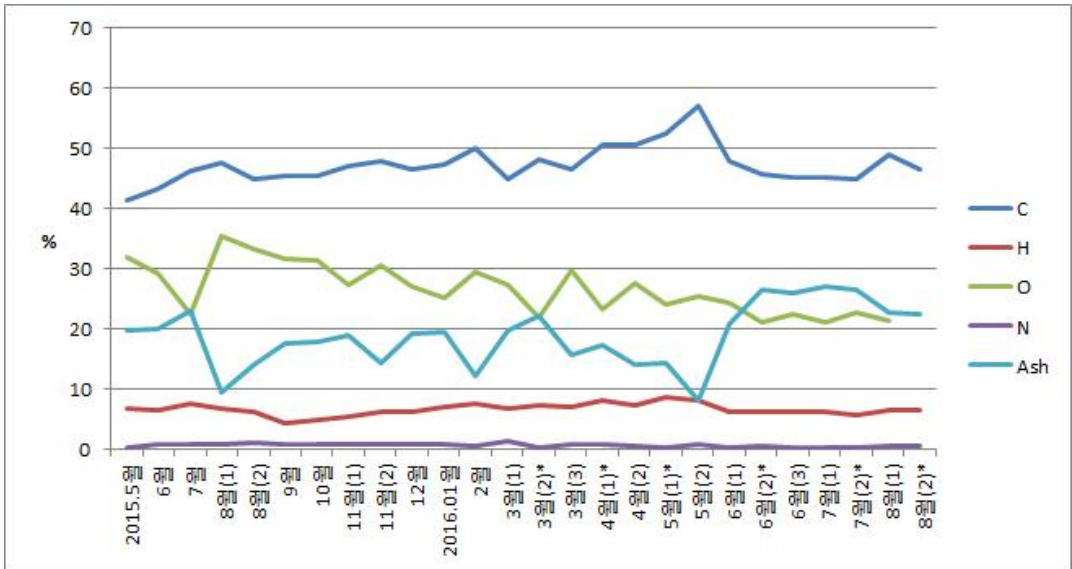


Fig.32 Changes in monthly element composition

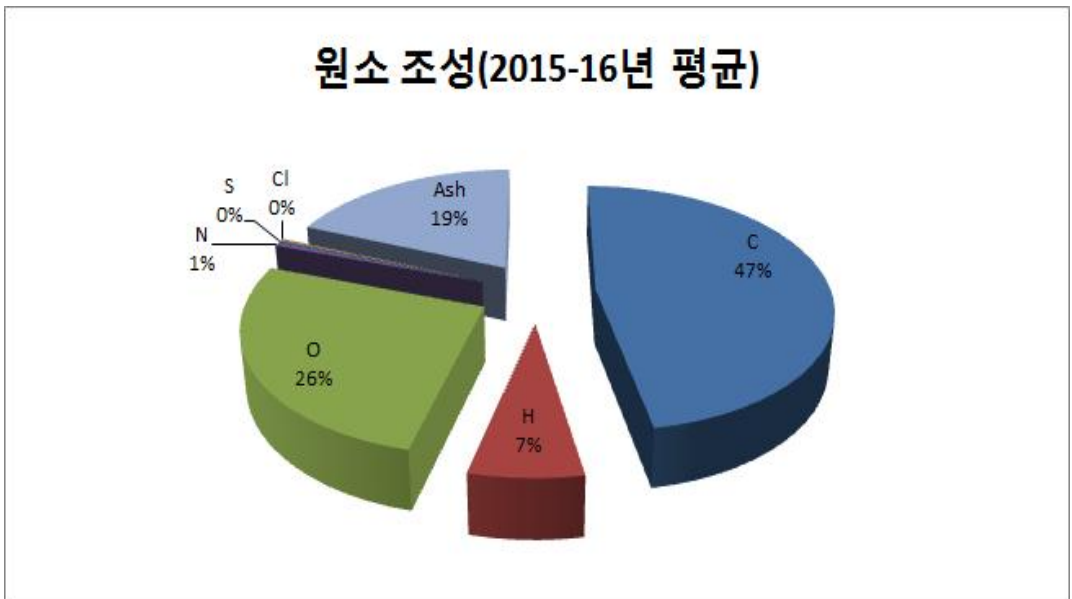


Fig.33 Element composition

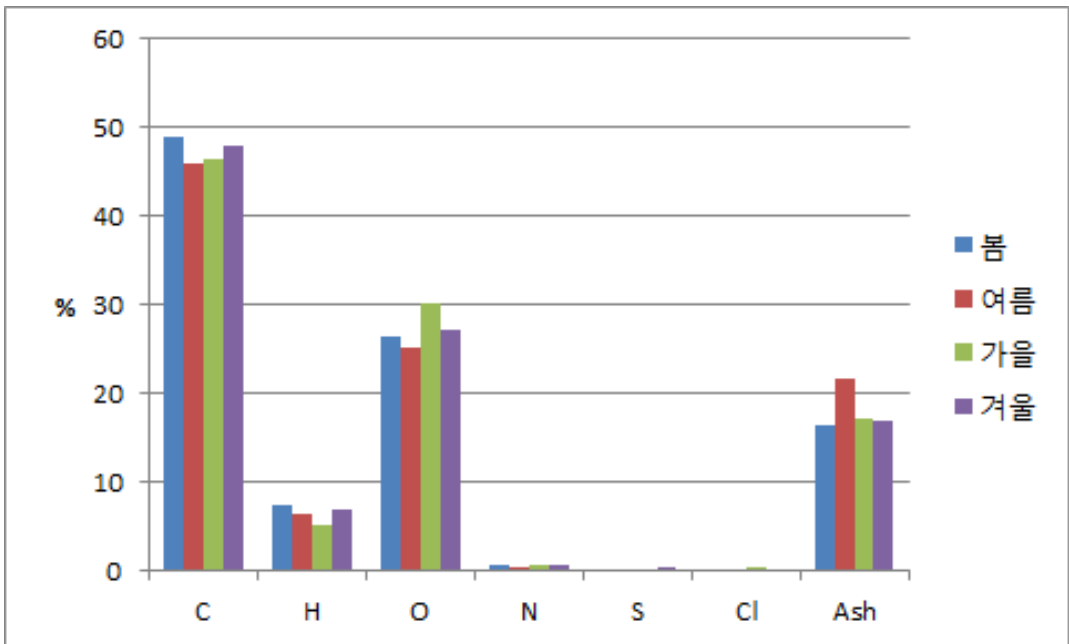


Fig.34 Seasonal element composition

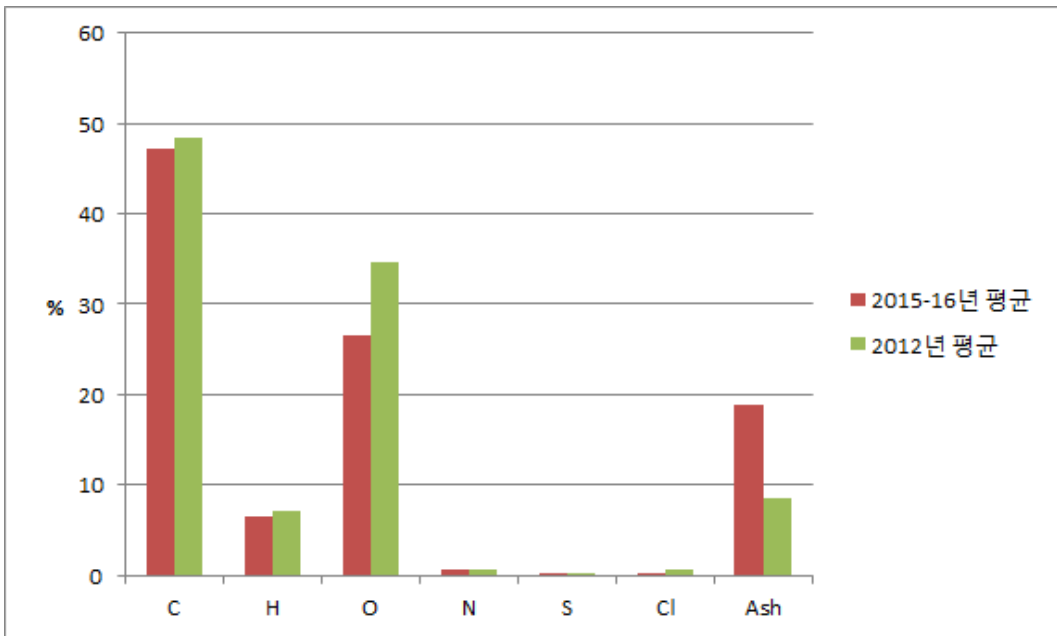


Fig.35 Comparison of element composition between the present (2015 ~ 16) survey and the 2012 survey

5. 발열량

발열량 분석은 건조한 시료에서 불연분을 제거한 후 가연분만을 분쇄하여 열량계를 이용하여 측정발열량을 결정하였으며, 수분과 수소 함량을 보정하여 고위발열량과 저위발열량을 각각 산정하였다. 산정된 저위발열량에 제거된 불연분의 비율을 고려하여 최종발열량을 산정하였다.

전체 시료에 대한 발열량 분석결과는 Table 20과 Fig.36에 나타내었는데, 열량계로 측정한 측정발열량 평균값은 5,390kcal/kg이었으며, 수분과 수소 함량을 보정한 고위 및 저위발열량은 각각 3,601kcal/kg 및 3,059kcal/kg로 분석되었다. 불연분의 비율을 고려한 최종발열량은 2,503kcal/kg로 분석되었다.

Table 20. Monthly calorific value measurement and calculation result (unit : kcal/kg)

구분	측정발열량	고위발열량	저위발열량	최종발열량
2015.5월	5,509	3,719	3,173	2,523
6월	5,576	3,781	3,237	2,693
7월	5,315	3,497	2,893	2,086
8월(1)	5,502	3,763	3,207	2,527
8월(2)	5,476	3,598	3,060	2,234
9월	5,686	3,884	3,465	2,602
10월	5,892	3,406	2,897	2,410
11월(1)	5,396	3,783	3,314	2,953
11월(2)	5,636	3,641	3,100	2,384
12월	5,825	4,217	3,713	2,896
2016.1월	5,683	3,825	3,256	2,758
2월	5,302	3,695	3,111	2,339
3월(1)	5,253	3,378	2,800	2,456
3월(2)*	4,494	2,863	2,249	1,903
3월(3)	4,580	3,302	2,753	2,178
4월(1)*	5,314	3,789	3,190	2,785
4월(2)	4,519	3,150	2,582	2,378
5월(1)*	5,611	3,776	3,112	2,430
5월(2)	5,460	3,686	3,058	2,685
6월(1)	5,266	3,570	3,041	2,673
6월(2)*	5,399	3,725	3,507	2,823
6월(3)	5,257	3,233	2,667	2,310
7월(1)	5,641	3,734	3,198	2,843
7월(2)*	5,823	3,832	3,323	2,496
8월(1)	5,365	3,541	2,956	2,586
8월(2)*	5,355	3,245	2,664	2,139
평균(2015-16)	5,390	3,601	3,059	2,503
2012평균	5,488	3,635	3,180	2,896

주) *는 광주 광역위생매립장, 상무소각장 2개소에서 시료채취

2012년 분석 자료에 의하면, 열량계로 측정한 측정발열량은 5,488kcal/kg이었으며, 수분과 수소함량을 보정한 고위 및 저위발열량은 각각 3,635kcal/kg 및 3,180kcal/kg로 분석되었고, 불연분의 비율을 고려한 최종발열량은 2,896kcal/kg로 분석되었다.

그 결과 금회 분석한 자료는 2012년 자료의 열량보다 측정발열량, 고위발열량, 저위발열량, 최종발열량에 있어서 각각 1.8%, 0.9%, 3.8%, 13.6% 낮게 분석되었다.

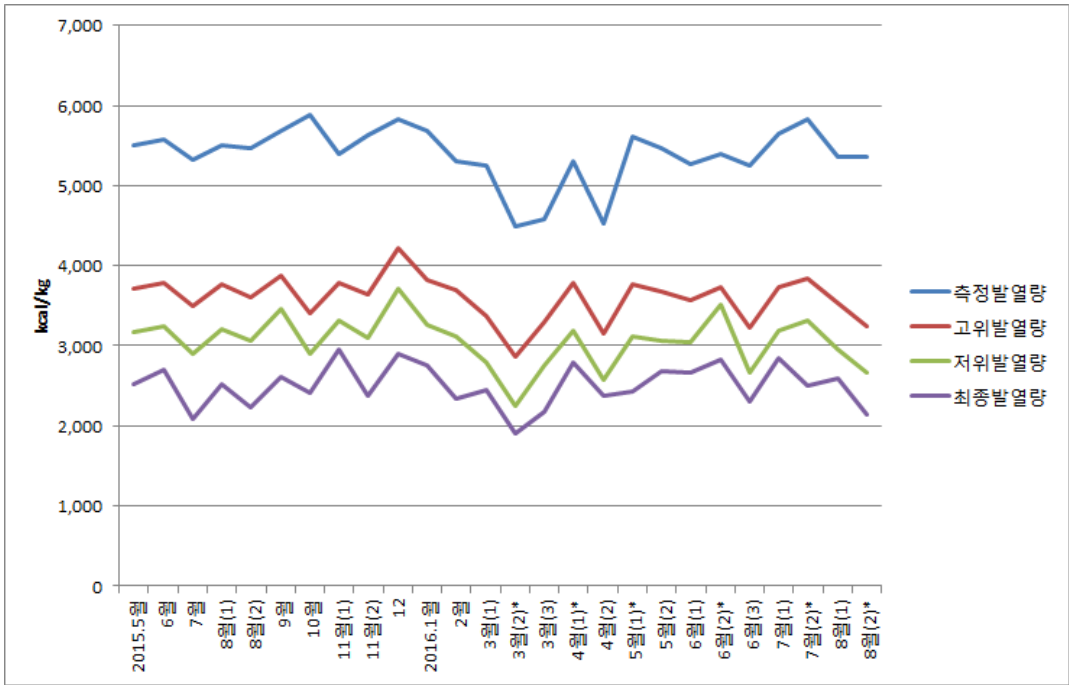


Fig.36 Change in monthly heating value

월별 변화의 특징을 보면, 2015년 10월의 경우 측정발열량은 5,892kcal/kg로서 다른 달보다 약간 높았지만 채취한 폐기물의 수분함량이 높아서 고위발열량, 저위발열량, 최종발열량은 다른 달 보다 낮게 산정되었다. 2016년 3월, 4월은 4,590kcal/kg, 4,519kcal/kg로 가장 낮게 나타났다.

계절별 특징을 보기 위해 자료를 정리한 것이 Table 21, Fig.37과 같다. 이 표와 그림에서 볼 수 있듯이 측정발열량은 가을철이 5,653kcal/kg으로 가장 높게 측정되었고, 봄철이 5,064kcal/kg로 가장 낮았는데, 계절별로 보면 가을, 겨울, 여름, 봄 순으로 발열량이 낮아지고 있다.

Table 21. Seasonal calorific value measurement and calculation result

(Unit : kcal/kg)

구분	측정발열량	고위발열량	저위발열량	최종발열량
봄(3~5월)	5,093	3,458	2,865	2,417
여름(6~8월)	5,452	3,593	3,068	2,492
가을(9~11월)	5,653	3,679	3,194	2,587
겨울(12~2월)	5,603	3,912	3,360	2,664
평균	5,450	3,661	3,122	2,540

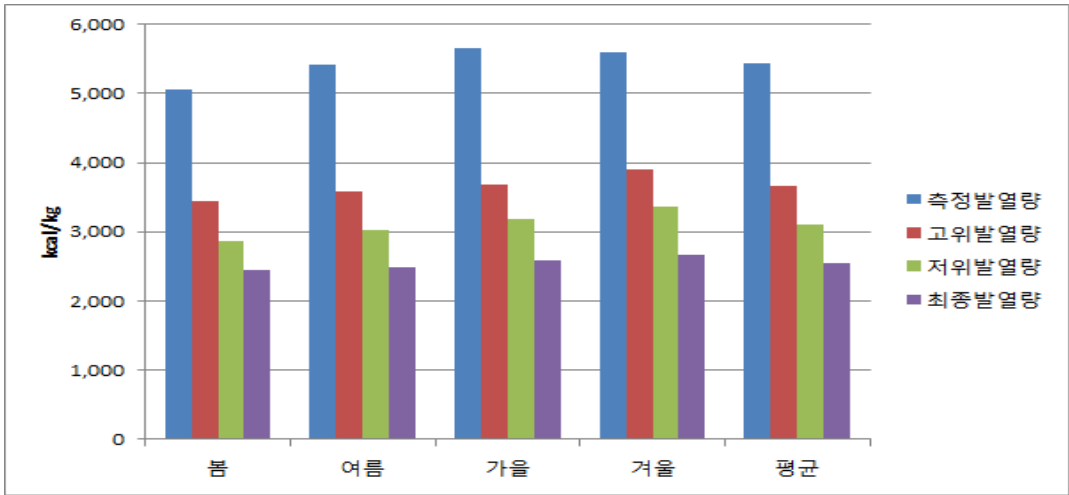


Fig.37 Seasonal calorific analysis

금회 분석(2015-16년)자료와 2012년 자료를 비교하면 Fig.38과 같다. 금회 분석된 측정발열량, 고위발열량, 저위발열량은 2012년에 비해 약간 낮거나 비슷하고, 최종발열량은 2012년보다 상당히 낮게 나온다. 최종발열량이 낮게 나타나는 원인은 불연성 성분 비율이 2012년보다 높은 이유 때문이다.

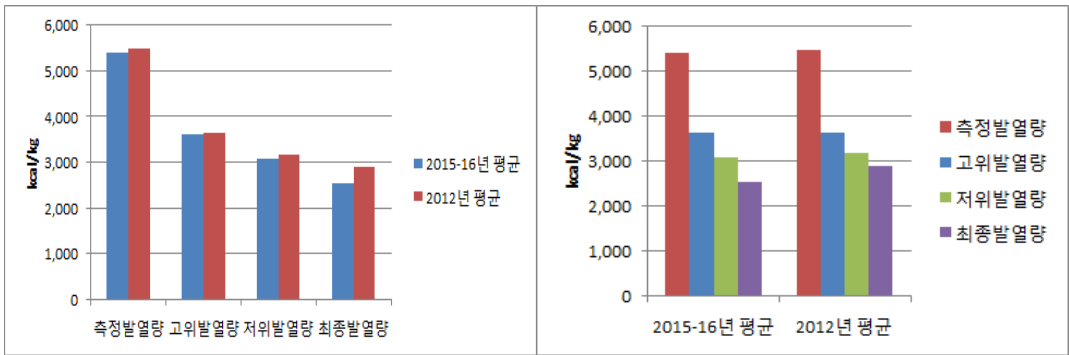


Fig.38 Comparison of the average calorific value (this year (2015 ~ 16), 2012)

제 5 장 결 론

1. 시료채취

광주광역시 내 시료채취 대상 10개 지점을 선정하여 총 4계절 26회를 실시하였으며, 봄철(3~5월) 8회, 여름철(6~8월) 11회, 가을철(9~11월) 4회, 겨울철(12~2월) 3회를 채취하였다. 시료 채취 26회중 10개 지점서 시료를 채취한 것이 20회, 나머지 6회는 광주 광역위생매립장과 상무소각장 2개소에서만 시료를 채취하였다.

26회 시료채취 일정에서 맑은 날 16회, 비오는 날 10회를 채취하였고, 요일별로는 월3회, 화 4회, 수 6회, 목 7회, 금 6회로 비교적 적절한 채취 일정으로 판단된다.

2. 결보기밀도

금회(2015~16년) 측정된 결보기밀도 평균은 108.58(kg/m³)인데, 2012년 한국환경공단 자료는 150(kg/m³)정도로 분석되었다. 이렇게 차이가 나는 것은 본 조사에서는 과봉한 폐기물을 최대한 느슨하게 흘트리고, 이 상태의 폐기물을 의도적으로 압착되지 않게 조심스럽게 25L 용기에 담았기 때문으로 판단된다.

결보기밀도의 측정용기를 크게 하고, 필요에 따라 약간의 눌림이 가해질 경우, 2012년 자료와 유사해질 것으로 보인다.

3. 물리적 조성

물리적 조성분류 결과 가연물 82.0% 및 불연물 18.0%로 조사되었으며, 조성별 조사 결과 종이류가 41.7%로 가장 많았으며, 다음으로 비닐/플라스틱류 18.1%, 음식물류 7.5%, 유리/자기류 6.4%, 섬유류 5.5% 순이었다.

2012년과 비교해 보면, 가연물이 2012년 90.5%에서 금회 조사(2015~16년) 82.0%로 감소하고, 이와 더불어 불연물은 2012년 9.4%에서 금회 조사 18.1%로 증가하는 특징이 보인다.

세부적인 항목을 비교해 보면, 2012년 종이류 44.8%에서 금회 조사 41.7%로 상당히 감소하고 있고, 비닐, 플라스틱, PVC류가 23.9%에서 22.7%로 약간 감소하였다.

발생량이 늘어난 불연물중에서 유리, 초자 성분이 2012년 4.4%에서 금회 조사

(2015~16년) 6.4%로 증가하고 있고, 철, 비철금속류가 2012년 1.5%에서 금회 조사 7.0%로 증가한 것이 두드러진다. 특히 비닐, 플라스틱류로 혼동되기 쉬운 비철금속으로서 알루미늄 호일 폐기물과 알루미늄필름지 포장상품(라면봉지, 과자봉지, 화장품, 건강음료봉지 등)이 철금속류보다 더 많이 배출되는 것을 알 수 있다.

음식물류 폐기물은 발생폐기물의 7.5%를 차지하고 있는데, 2012년 자료에도 9.8%를 차지하고 있어 상당한 비중을 차지하고 있다. 음식물류 폐기물의 분리배출이 의무화 되어 있으므로 주민들에게 지속적인 계몽이 필요하다. 특히 쌍촌동 원룸밀집지역, 두암동 영세민 아파트, 상무지구 식당밀집지역에서 음식물류폐기물이 혼합배출 비율이 높은 편이다.

물리적 조성이 고품폐기물의 연료질에 중요한 지표가 되므로, 음식물류폐기물의 분리배출에 주민들의 협조가 필요하다. 또한 음료수병과 같은 유리제품과 캔류 등의 철제품의 분리배출이 중요하다. 본 조사 항목에는 포함되어 있지 않지만, 폐형광전구, 폐건전지 등 유해물질의 분리배출체계가 필요하다. 이러한 방식으로 물리적 조성을 개선하게 되면, 삼성분, 원소분석, 발열량 등에 대해서도 직접적인 개선효과가 있을 것이다.

4. 삼성분

삼성분 분석결과는 수분 33.0%, 가연분 61.0% 및 회분 6.0%로 분석되었다. 2012년 자료를 보면 수분 33.6%, 가연분 60.7% 및 회분 5.7%로 조사되어 금번 조사 결과와 유사하다.

상무지구 식당밀집지역의 쓰레기의 수분함량이 38.1%로 가장 높았으며, 하남산단이 26.9%로 가장 낮았다. 2012년에는 광주 광역위생매립장의 수분이 38.0%로 가장 높았으며, 하남산업단지가 18.0%로 가장 낮았다. 특히 하남산업단지의 경우는 폐기물성상중 수분의 비중의 가장 많이 차지하는 음식물 및 기저귀 종류의 비율이 타 지점에 비하여 낮아 수분이 가장 낮은 것으로 나타났다.

삼성분중에서 폐기물의 함수율을 낮추기 위해서는 대표적 습식폐기물인 음식물류 폐기물이 분리 배출되어야 한다.

5. 원소분석

전체 폐기물의 원소조성 분석결과 C가 47.27%로 가장 높았으며, O 26.54%, H 6.56%, Cl 0.20%, N 0.56%, S 0.18% 및 Ash 18.77% 순으로 분석되었다.

2012년 조사결과는 C가 48.47%로 가장 높았으며, O 34.56%, H 7.06%, Cl 0.66%, N 0.70%, S 0.11% 및 ash 8.44% 순으로 분석되었다.

금회 조사결과는 2012년에 비해서 모든 항목에서 2012년 보다 낮지만, Ash 성분만이 월등하게 높다는 특징이 있다.

6. 발열량

전체 시료에 대한 발열량 분석결과 열량계로 측정한 측정발열량 평균값은 5,390kcal/kg이었으며, 수소와 수분 값을 보정한 고위 및 저위발열량은 3,601kcal/kg 및 3,059kcal/kg로 분석되었다. 불연분의 비율을 고려한 최종발열량은 2,503kcal/kg로 분석되었다.

금회 분석한 자료는 2012년 자료의 열량보다 측정발열량, 고위발열량, 저위발열량, 최종발열량에 있어서 각각 1.8%, 0.9%, 3.8%, 13.6% 낮게 분석되었다. 이는 폐기물의 함수율, 수소함량, 특히 비가연성 성분의 차이 때문으로 보인다.

따라서 폐기물의 발열량을 높이기 위해서는 배출되는 폐기물의 수분함량을 낮추고, 비가연성물질의 함량을 낮추어 주어야 한다.

참 고 문 헌

- 1) 권영택. 마산시 생활폐기물의 성상 및 특성. 환경공학회지. Vol 26 : 5~13, 경남대학교 대학원, 2003
- 2) 최연석. 폐기물의 고품 연료화 기술. 재료연구소. State of the art report. 10권 1호, 1998
- 3) 김정권, 생활폐기물 매립장에서의 RDF 적용가능성에 관한 연구, 2009
- 4) 이준홍, 문동호, 김재원. 수도권 매립지에 반입되는 쓰레기의 성상 및 물리, 화학적 특성. 한국폐기물학회지, Vol. 17, No. 3, pp 363-369, 2000.
- 5) 최우진, 국내 생활폐기물 및 산업폐기물의 물리, 화학적 특성, 한국암반공학회 학술대회 및 세미나 자료집, 2001.9.81-90
- 6) 황재석, 오세천, 정순형, 권기홍, 폐기물처리개론, 동화기술, 2001
- 7) 정채춘, 폐기물관리, 신광문화사
- 8) 황재석, 오세천, 정순형, 권기홍, 폐기물처리개론, 동화기술, 2001
- 9) 이정임, 최우진, 이원영, 경기도 폐기물 관리계획 수립을 위한 기초연구, 경기개발연구원, 6월. 2001.
- 10) 환경부, 2011 생활폐기물 자원회수시설 운영현황, 2012~2016
- 11) 진효석, 반입 폐기물 성상이 자원회수시설에 미치는 영향에 관한연구, 서울과학기술대학교, 2014
- 12) 김윤섭, 충청남도 지역별 생활계폐기물의 물리적, 화학적 성상에 관한 연구, 공주대학교, 2015
- 13) 광주광역시, 2001~2008 환경백서
- 14) 광주광역시, 2001~2008 시정백서
- 15) 공형기, 에너지화시설을 위한 생활폐기물 및 매립폐기물의 물리, 화학적 특성 및 생분해도 평가에 관한 기초연구, 호서대학교, 2013
- 16) 김덕모, 생활폐기물 관리정책의 개선방안에 관한 연구, 전남대학교, 2010