

## 국내 재활용품 선별시설에서 선별 현황 및 개선방안

김주신, 박대원<sup>†</sup>

서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지환경공학과

### Investigation on Sorting Efficiency for Recyclable Materials and Its Improvement Measure at Domestic Sorting Facility

Joo-Sin Kim, Daewon Pak<sup>†</sup>

Graduate School of Energy and Environment, Seoul National University of Science and Technology

(Received: Apr. 7, 2017 / Revised: Apr. 28, 2017 / Accepted: Apr. 28, 2017)

**ABSTRACT:** This study was conducted to investigate and analyze the discharge characteristics of recyclable material from S-city, S-district, in order to improve the sorting efficiency in recycling sorting facility. The characteristics of recyclable materials collected were analyzed in three different scopes; source origin, collection and transportation, and sorting steps. The average of recyclable waste generation is 0.121kg/day\*man, Regional collection period appears to be three times a week, and the density of mixed recyclable wastes showed the average of 202.4 kg/m<sup>3</sup> in the waste collection vehicle. In the analysis into the sorting steps, the average of carrying amount of mixed recycling products is 1,154.6 ton/month, the average of appeared density is 181kg/m<sup>3</sup>, the average amount of separated recycling products is 448.5 kg/month, and the density of recycling residue is found out to be 48kg/m<sup>3</sup>. The sorting rate of recyclable material is 38.85% and the percentage of residues is 55.90%. Out of 7,744.8 tons of the total recyclable residues, 4,272.1 tons were found out to be possible recyclable materials. As a result of increasing the recycling rate of residues, the encouragement of base-recycling, the automation and retrofit of sorting equipment, and energy recovery from recycling residue were discussed.

**Keywords:** Recyclable, Selection, Residue, Basic Unit

**초 록:** 본 연구는 S시 S구의 재활용품 배출특성을 조사 및 분석을 통해 재활용품 선별장에서 재활용품 선별을 조사하였다. 재활용품 배출특성을 조사하기 위해서 발생원, 수집운반, 선별단계별로 나누어 분석하였다. 분석결과, 재활용품의 발생량 원단위의 전체 평균은 0.121kg/일·인, 지역별 재활용품의 수거주기는 보통 주3회(월수금 혹은 화목일)로 나타났으며, 차량별 혼합재활용품의 밀도는 평균 202.4kg/m<sup>3</sup>로 나타났다. 선별단계에서의 현황분석을 진행한 결과, 혼합재활용품의 반입량은 평균 1,154.6톤/달, 걸보기밀도의 평균은 181kg/m<sup>3</sup>, 선별재활용품의 양은 평균 448.5kg/달, 잔재물의 밀도는 48kg/m<sup>3</sup>으로 나타났다. 선별장으로 입고된 혼합재활용품에서 유가품 선별율은 약 38.85%이며 잔재물은 약 55.90%로 나타났다. 전체 잔재물 7,744.8톤 중 유가품은 약 4,272.1톤이 존재하는 것으로 나타났다. 활용가능한 유가품의 수거효율을 높이기 위한 방안으로는 거점 수거 활성화, 선별시설 자동화 및 현대화, 잔재물의 자원화 등이 검토되었다.

**주제어:** 재활용품, 선별, 잔재물, 원단위

<sup>†</sup> Corresponding author(e-mail : daewon@seoultech.ac.kr)

## 1. 서론

재활용품은 사전적 의미로 ‘용도를 바꾸거나 다시 사용할 수 있는 폐품, 또는 그 폐품을 사용하여 만든 물품’으로써 이는 재사용 또는 재활용할 수 있는 자원이다. 재활용이 가능한 물질은 우리가 사용하고 있는 거의 모든 물질이지만, 주로 재활용을 하는 품목들은 페트(PET), 유리, 금속, 종이와 같이 흔히 재활용품이라 생각하면 떠오르는 품목들이다. 현재 우리나라는 재활용품을 따로 분리하여 배출하도록 하는 재활용품 분리배출제도를 시행하고 있다. 하지만 분리배출된 재활용품에도 음식물류폐기물, 휴지 등의 이물질들이 상당량 포함되어 있는 실정이다.

환경부에 따르면 2011년 국내의 재활용품 선별시설은 총 251개소가 운영중에 있으며, 그 중 약 83.7%인 210개소는 인력을 이용하여 재활용품의 선별을 진행하고 있다. 대부분의 재활용품선별장이 수작업으로 선별작업을 진행하고 있기 때문에 재활용품에서의 이물질 혼입은 재활용품의 선별효율의 감소뿐만 아니라 폐자원의 효용가치를 훼손시키는 원인이 된다. 또한 선별 과정을 거친 후 발생한 잔매물에도 재활용 가능한 유가품이 일부 존재하고 있으나 기술적 한계로 인해 재선별되지 못한 채 소각 등으로 처리되고 있는 실정이다<sup>1)</sup>.

전국 지자체 재활용 선별장 운영 조사 및 운영 매뉴얼에 따르면 선별장들의 재활용품 선별율은 평균 60% 정도에 머무르고 있다<sup>2)</sup>. 재활용되지 못하고 잔재물로 버려지는 폐기물에도 재활용품이 상당수 존재하고 있기 때문에 재활용품의 선별량 및 선별 효율을 높일 수 있는 방안을 모색이 필요하다. 본 연구에서는 폐자원의 효용가치를 끌어올리고 자원의 순환이용의 활성화를 도모하기 위하여 실제 재활용 선별장에 반입되는 재활용품의 성장조사, 실제 반입률 대비 재활용가능 유가품의 회수율 등을 분석하였다.

## 2. 연구방법

본 연구는 S시 S구의 재활용품 배출특성을 발생

원, 수집운반, 선별단계별로 나누어 현황을 조사 및 분석하였고, 이를 통해 재활용품 선별장에서의 유가품 선별율을 제고하는 방안을 도출하였다. S구에서 수거하는 지역은 지자체가 생활폐기물 수거를 담당하는 단독주택(별도로 계약을 체결하는 공동주택 제외)과 상가지역이며 단독주택지역에서 발생하는 재활용품은 별도의 재질별 구분 없이 혼합되어 수거된다.

발생원의 현황분석은 재활용품 수집운반 업체구역별 혼합재활용품(단독주택 및 상가지역에서별도의 재질별 구분없이 혼합되어 배출된 재활용품) 배출원단위를 산정하여 진행하였다. 이를 위해 인구수는 행정자치부에서 발표하는 인구통계<sup>3-4)</sup>를 이용하였으며, 재활용품 발생량은 선별장으로 재활용품이 입고될 때의 중량으로 하였다. 재활용품 입고량은 재활용품 수집운반차량이 재활용품 선별장으로 입차할 때 측정기를 통과한 차량의 총 중량(차량중량 + 재활용품중량)에서 재활용품을 하차시키고, 출차할 때 측정기를 통과한 공차의 중량을 감하여 산정하였다.

$$\text{재활용품 입고량} = \text{차량 총중량} - \text{공차중량} \quad (1)$$

혼합재활용품 원단위는 재활용품 수집운반 구역별 재활용품 발생량에 구역별 인구수를 나누어 산정하였으며, 식은 다음과 같다.

$$\text{혼합재활용품 배출원단위} =$$

$$\text{구역별 재활용품발생량} \div \text{해당 구역별 인구수} \quad (2)$$

수집운반단계에서의 현황분석은 수집운반 업체 수거구역별 수집주기 분석과 업체 보유 차량별 수거량, 수거횟수, 적재함 용적을 이용하여 폐기물 적재밀도를 분석하였다. 수집주기 분석은 S구 홈페이지에 게시된 정보를 이용하였다. 폐기물 적재밀도를 분석하기 위하여 선별장으로 24시간 동안 들어오는 차량의 모든 적재함의 용적과 폐기물 수집량을 측정하였으며, 차량별 폐기물 수집량에서 적재함의 용적을 나누어 혼합재활용품 적재밀도를 분석하였다.

Table 1. Population of S-district of S city

Zone	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Avr
A	65,612	65,652	65,610	65,630	65,594	65,693	65,563	65,373	65,359	65,380	65,350	65,274	65,508
B	47,764	47,651	47,514	47,329	47,226	47,157	47,067	47,032	46,928	46,849	46,783	46,716	47,168
C	29,585	29,557	29,536	29,488	29,519	29,408	29,349	29,330	29,300	29,264	29,205	29,231	29,398
D	90,660	90,486	90,324	90,120	89,910	89,687	89,607	89,428	89,376	89,275	89,195	88,957	89,752
E	43,027	42,969	42,897	42,796	42,740	42,602	42,462	42,445	42,483	42,471	42,404	42,368	42,639
F	76,606	75,697	75,010	74,513	74,121	73,709	73,401	73,236	73,214	73,159	72,971	72,683	74,027
Sum	353,254	352,012	350,891	349,876	349,110	348,256	347,449	346,844	346,660	346,398	345,908	345,229	-

혼합재활용품 적재밀도 =  

$$\text{폐기물 수집량} \div \text{적재함 용적} \quad (3)$$

선별단계에서의 선별효율을 분석하기 위해 혼합 재활용품 반입량, 혼합재활용품 성상, 재활용품 종류별 선별량, 잔재물의 성상을 분석하였다. 혼합재활용품 반입량은 선별장으로 들어오는 혼합재활용품의 총량으로 하였다. 혼합재활용품과 잔재물의 걸보기밀도 및 조성을 분석하였다. 걸보기 밀도의 분석을 위한 시료의 채취방법은 적치되어 있는 재활용품과 잔재물에서 부피 약 1,000L정도를 취하여 삼으로 30분간 잘 섞었으며, 잘 섞인 시료 중 일부를 100L 부피의 고무통에 더 이상 들어가지 않을 정도까지 눌러 담았다. 이 때 고무통의 입구에 나무 판자를 대고 약 60kg인 사람이 발로 눌러 압축시켰다. 이후 무게를 재고 부피를 나누어 걸보기 밀도를 구하였다.

혼합재활용품과 잔재물의 조성분석은 고무통에 담긴 시료를 이용하여 각 품목별 무게를 재어 진행하였다. 품목은 음식물류, 종이류, 나무류, 고무류, 피혁류, 섬유류, 플라스틱류, 가연성기타, 금속류, 유리류, 도자기조각, 건전지류, 토사류, 회분류, 연탄재, 침출액, 불연성기타였으며 혼합재활용품과 잔재물의 걸보기 밀도와 조성은 각각 2번씩 분석하였다. 상기에서 분석된 데이터를 이용하여 선별장에서의 재활용품 물질흐름도 분석을 진행하였고 이를 이용하여 향후 선별장에서의 유가품 선별을 제고방안 등을 검토해보았다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. S구의 재활용품 발생 현황

현재 S시 S구의 재활용품 수집운반은 여러 구역으로 나누어, 여러 수집운반 업체가 진행하고 있으며, 수거한 재활용품은 선별장으로 입고되고 있다. 수집운반 업체들은 구역 내에 존재하는 단독주택과 소규모 사업장에서 발생하는 재활용품만 수거하는 것으로 나타났다. 폐기물 배출원에서 폐기물을 배출할 때는 거점에 재활용품을 품목별로 배출하는 거점수거를 사용하고 있는 경우도 있었지만, 주로 투명한 비닐봉투에 재활용품을 혼입하여 각 가정 혹은 사업장 앞에 배출하는 것으로 나타났다. 선별장으로 반입되는 S구의 재활용품 수집운반 구역은 총 6개(A~F)로 나타났으며, 총 6개의 수집운반 업체가 재활용품을 수집하여 선별장으로 운반하고 있는 것으로 나타났다. 각 구역에서 월별 인구수의 변화가 Table 1에 나타내었다.

매월 수집운반 업체에 의해 수거된 혼합재활용품의 양을 구역별로 Table 2에 정리해서 나타내었다. 구역별 재활용품의 양은 평균적으로 144톤에서 270톤 정도 발생하는 것으로 나타났고 계절별로 차이가 있는 것으로 나타났다. 대체적으로 7월과 8월의 여름동안에 재활용품의 발생량이 증가하는 것으로 나타났다. 인구수가 많은 지역의 재활용품의 발생량이 높을 것으로 예상되었으나 재활용품 발생량과 인구수는 상관관계가 다소 부족한 것으로 나타났다.

구역별 재활용품의 평균발생량과 월별 발생량을 비교 분석한 결과가 Table 3에 정리되어 있다. 분석결과에 의하면 날씨가 무더운 7월, 8월, 9월에 평균치보다 높아서 117.7%에 달하는 경우도 있어서 여름 동안에 재활용품 발생량이 각 구역별 평균보

Table 2. Amount of recyclable waste collected from the zone of S-district

													(unit: ton)	
Zone	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Avr	
A	267.3	255.5	261.7	275.3	278.3	260.6	305.4	271.5	272.7	264.5	270.2	266.9	270.8	
B	157.1	152.6	163.5	162.6	171.5	156.0	185.6	164.8	166.9	155.4	152.2	151.2	161.6	
C	142.6	138.5	148.3	161.8	176.5	161.9	192.5	148.0	169.1	163.1	157.2	158.3	159.8	
D	147.9	134.6	140.8	141.5	138.7	137.9	162.5	169.6	148.5	135.8	137.1	136.2	144.3	
E	242.5	229.4	229.9	242.5	249.5	240.2	293.2	263.3	257.3	247.5	241.9	253.5	249.2	
F	169.4	161.3	157.5	153.9	159.1	144.4	174.5	151.3	164.4	145.1	148.1	149.3	156.5	
Sum	1126.7	1072.0	1101.6	1137.4	1173.6	1101.0	1313.6	1168.4	1178.8	1111.3	1106.8	1115.4	1142.2	

Table 3. Monthly collection of recyclable waste at the zone of S district compared to the average

Zone	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Avr
A	98.7	94.4	96.6	101.6	102.8	96.2	112.8	100.3	100.7	97.7	99.8	98.6	100.0
B	97.2	94.5	101.1	100.6	106.1	96.5	114.8	102.0	103.3	96.1	94.2	93.6	100.0
C	89.2	86.7	92.8	101.2	110.4	101.3	120.4	92.6	105.8	102.1	98.4	99.1	100.0
D	102.5	93.3	97.6	98.1	96.1	95.6	112.6	117.6	103.0	94.1	95.0	94.4	100.0
E	97.3	92.1	92.2	97.3	100.1	96.4	117.7	105.6	103.2	99.3	97.1	101.7	100.0
F	108.2	103.1	100.6	98.3	101.7	92.2	111.5	96.7	105.0	92.7	94.6	95.4	100.0
Average	98.6	93.9	96.4	99.6	102.7	96.4	115.0	102.3	103.2	97.3	96.9	97.7	100.0

다 높은 것을 알 수 있다. 여름을 제외한 다른 계절들은 재활용품의 발생량이 대부분 평균보다 낮은 것으로 나타났다. 7월의 발생량이 전체 평균대비 약 115.0% 으로 나타났으며, 2월의 발생량이 전체 평균대비 93.9% 로서 낮은 것으로 나타났다. 2월의 발생량이 낮은 이유는 다른 달보다 일수가 작기 때문으로 사료되었다. 2월을 제외하고 나머지 달들의 재활용품 발생은 대체로 약 96 ~ 98%를 보이고 있다. 이는 여름의 무더운 기후에 음료를 많이 마시기 때문에 재활용품의 발생량이 다른 계절대비 높은 것으로 분석되었다.

계절별 재활용품의 발생량을 비교하기 위하여 2013년 봄(3~5월), 여름(6~9월), 가을(9~11월), 겨울(12~2월)의 계절별 재활용품 발생량 결과를 Table 4에 정리해 나타내었다. 계절별 재활용품의 발생량은 여름이 가장 높게 나타났다. 봄과 가을의 재활용품 발생량은 거의 차이가 없었으며, 겨울의 발생량이 가장 낮게 나타났다. 여름의 발생량이 가장 높은 이유는 앞서 분석한 바와 마찬가지로 기후

Table 4. Generation of recyclable waste in S district

Item	Spring	Summer	Autumn	Winter	Avr
Total amount of recyclable waste (ton)	568.8	597.2	566.2	552.3	571.9
Average rate (%)	99.5	104.4	99.0	96.6	100.0

및 생활습관 때문으로 판단되었으며 상대적으로 기온이 낮은 순서대로 재활용품의 발생량이 줄어든 것을 알 수 있었다. 하지만 봄과 가을의 재활용품 발생량은 거의 차이가 없었다. 이는 계절의 기후가 비슷하기 때문으로 생각되었으며 기온이 가장 낮은 겨울의 재활용품 발생량이 가장 낮았다.

재활용품 발생량을 인구 원단위로 분석하기 위하여 수거구역별 재활용품 배출 원단위를 Table 5에 정리해 나타내었다. Table 5를 분석해 보면 여름철 중에서도 7월의 원단위가 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 원단위의 평균 0.124kg/day·cap 의 약 114%정도로 높은 것으로 나타났다. 계절별 원단위 재활용품 발생량을 분석하기 위해 2013년 계절별

Table 5. Basic unit of recyclable waste collectin areaby S-district (kg/day·cap)

Item	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Avr
Average	0.116	0.123	0.115	0.125	0.126	0.122	0.141	0.123	0.130	0.120	0.123	0.120	0.124
Average rate (%)	94.1	99.8	93.3	100.7	101.7	98.4	114.2	99.4	105.4	96.8	99.1	97.0	100.0

Table 6. S-district's discharged recyclable waste statue by seasons (kg/day·cap)

Item	Spring	Summer	Autumn	Winter	Avr
Sum	0.366	0.386	0.373	0.360	0.371
Average rate (%)	98.6	104.0	100.4	97.0	100.0

재활용품 원단위 발생량을 Table 6에 정리하였다. 계절별 재활용품 원단위 발생량을 보면 여름이 가장 높게 나타났으며, 가을, 봄, 겨울의 순으로 나타났다.

3.2. S구 재활용품 선별장 반입 현황

S구의 재활용품 수집주기는 보통 일주일에 3일로 나타났으며, 월요일, 수요일, 금요일 혹은 화요일, 목요일, 일요일로 나타났다. 하지만 IX동은 매일 수거를 진행하고 있는 것으로 나타났으며, 구역별 재활용품 수집주기를 Table 7에 나타내었다.

선별장으로 재활용품을 운반하는 차량의 혼합재활용품 운반횟수별 적재용량 산정 및 재활용품의 계근을 통하여 밀도를 분석하여 이를 Table 8에 정리하여 나타내었다. Table 8을 분석하여 나타난 결과에 의하면 재활용품 수집운반 차량별 일일 평균 수

거횟수는 4.75회/일로 나타났으며, 수집운반 차량 1대당 평균 혼합재활용품 적재량은 968.0kg, 수집운반차량의 혼합재활용품의 평균적재밀도는 202.4kg/m<sup>3</sup>로 분석되었다. 따라서 적재밀도는 99.1kg/m<sup>3</sup> ~ 344.1kg/m<sup>3</sup>의 범위를 나타내었다.

3.3. S구 재활용품 선별장 반입 혼합재활용품 성상

선별장에 반입되는 혼합재활용품의 성상별 중량을 계측하여 Table 9에 정리해 나타내었다. 혼합재활용품의 평균 겉보기밀도는 181.0kg/m<sup>3</sup>로 나타났으며 차량 혼합재활용품 평균적재밀도인 202.4kg/m<sup>3</sup>보다는 다소 낮게 나타났다. 이는 차량을 이용하여 재활용품을 수집 운반할 때, 자연적으로 재활용품의 무게에 의해 압축되었기에 때문에 이러한 차이를 나타난 것으로 분석되었다. 선별장에 반입되

Table 7. S-district's recyclable waste Collection cycle

Zone	Area	Collection day	Zone	Area	Collection day
A	I	Mon, Wed, Fri	E	VII	Tue, Thu, Sun
	II	Tue, Thu, Sun		VIII	Tue, Thu, Sun
B	III	Mon, Wed, Fri	F	IX	Everyday
C	IV	Tue, Thu, Sun		X	Mon, Wed, Fri
D	V	Tue, Thu, Sun	-		
	VI	Mon, Wed, Fri			

Table 8. S-District's waste collection number, density, weight of Waste collection vehicles

Zone	Vehicle	Volume (m <sup>3</sup> )	Weight (kg)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Zone	Vehicle	Volume (m <sup>3</sup> )	Weight (kg)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Zone	Vehicle	Volume (m <sup>3</sup> )	Weight (kg)	Density (kg/m <sup>3</sup> )
A	1	4.51	840	186.3	B	1	4.56	820	179.83	C	1	4.65	900	193.6
			820	181.8				890	183.51				1,060	228.0
			850	188.5				520	107.22				1,180	253.8
			830	184.0				590	121.65				1,050	225.8
			640	141.9				690	142.27				670	144.1
			560	124.2				960	197.94				840	180.7
	2	4.85	700	144.3	3	4.36	1,100	252.29	2		4.59	1,070	233.1	
			680	140.2			1,170	268.35				850	185.2	
			610	125.8			930	213.3				870	189.5	
			740	152.6			980	224.77				1,130	246.2	
			650	134.0			850	194.95				790	172.1	
	Total		7,920	1703.6	Total		9,500	2,086.1	Total			14,470	3,136.5	

Table 8. (Continued)

Zone	Vehicle	Volume (m³)	Weight (kg)	Density (kg/m³)	Zone	Vehicle	Volume (m³)	Weight (kg)	Density (kg/m³)	Zone	Vehicle	Volume (m³)	Weight (kg)	Density (kg/m³)	
D	1	4.79	1,110	231.7	E	1	4.62	1,040	225.1	F	1	4.71	990	210.2	
			1,050	219.2				940	203.5				1,030	218.7	
			1,320	275.6				1,020	220.8				730	155.0	
			1,550	323.6				710	250.0				670	142.3	
			1,250	261.0				1,740	213.5				920	199.6	
			1,470	306.9				1,770	217.2				830	180.0	
	2	4.65	1,220	262.4		3	8.15	1,770	217.2		2	4.61	1020	221.3	
			1,250	268.8				1,880	230.7				590	128.0	
			1600	344.1				1,150	141.1				470	102.0	
			1,570	337.6				1,170	252.2						
			1,290	277.4				1,050	226.3						
			890	191.4				620	133.6						
	3	2.32	230	99.1		4	4.64				Total		7,250	1,556.9	
			420	181.0											
			420	181.0											
	Total		16,640	3,760.9		Total		14,860	2,531.1		Total				

Table 9. Characteristics of mixed recyclable waste transferred S-district's sorting facility

(Unit : g)

Classification		1 <sup>st</sup> Weight	2 <sup>nd</sup> Weight	Average		
1. Combu stible	Food		62.28	104.84	83.56	
	Paper	Newspaper, Book	342.59	574.43	458.51	
		Box	862.16	1097.78	979.97	
		cartons	225.23	103.02	164.13	
		Disposable	26.3	52.60	39.45	
		Others	307.13	1020.05	663.59	
	Wood	Disposable	32.4	111.24	71.82	
		Others	152.36	249.22	200.79	
	Rubber		518.09	108.15	313.12	
	Leather		0	57.10	28.55	
	Fiber	Clothings	0	25.21	12.61	
		Others	0	109.10	54.55	
	Plastic	EPR	PET	2595	3222.99	2909.0
			Plastic	2505.6	2457.0	2481.30
			Film	4537.12	3082.50	3809.81
		Disposable	26.48	52.95	39.72	
		Film Others	60.5	58.30	59.40	
	Plastic Others		0	13.01	6.51	
	Combus tible etc.	Wet wipes		24.86	18.38	21.62
		Tissue		7.14	31.62	19.38
Others		584.13	81.84	332.99		
Total		12869.37	12,631.31	12750.35		
2. Non- Combu stible	Metallic	EPR	Iron Can	65.7	0.0	32.85
			Aluminum Can	358.8	602.70	480.75
		Disposable		850.89	33.82	442.36
		etc.	Scrap Iron	994.12	1588.67	1291.40
	Nonferrous Metal		149.79	549.08	349.44	
	Glass	Bottl e	Transparent	314.99	996.07	655.53
			Green	537.41	918.56	727.99
			Brown	571.12	1076.13	823.63
		Others		507.53	561.0	534.27
	Ceramics		507.53	13.33	260.43	
	Battery		0.0	5.27	2.64	
	Others		25.61	23.60	24.61	
Total		4375.96	6368.23	5625.86		
3. Total(1+2)		17,552.86	18,999.53	18376.21		

는 혼합재활용품의 성상을 분석한 결과 주로 페트 병 및 플라스틱류가 가장 많은 양을 차지하고 다음으로 유리병류, 종이류, 금속캔의 순으로 나타났다. 재활용품의 배출이 잘 이루어지고 있지만 포장재에 묻어있는 음식물류폐기물 및 사용한 휴지 등과 같은 재활용품이 아닌 폐기물도 종종 검출되었다. Table 10에는 혼합재활용품의 조성비를 나타내었다. 가연성의 경우 전체의 69.39%정도를 차지하고 있었으며 불연성의 경우 30.61%정도를 차지하고 있었다. 플라스틱은 전체의 51.09%, 유리병류는 전체의 14.85%, 종이류는 전체의 12.52% 순으로 차

지하고 있었다. 이를 종이류, 플라스틱류, 고철류, 유리류, 금속캔류, 섬유천류, 기타로 구분하고 이들의 조성비를 Table 11 정리하여 나타내었다. Table 11을 분석한 결과 조성비는 플라스틱, 유리, 종이, 고철, 금속캔, 기타, 섬유천류의 순으로 나타났다. 환경부가 발간한 제 4차 폐기물통계조사에서의 도시규모별 재활용품 물리적 조성비를 보면 평균 조성비는 종이, 플라스틱, 유리, 금속캔, 기타, 고철, 섬유천류의 순으로 나타났다<sup>5)</sup>. 이는 S구에 위치한 선별장에 반입되는 폐기물과는 다른 성상을 나타내고 있다. S구 선별장에 반입되는 폐기물은 종이류

Table 10. Characteristics of mixed recyclable waste transferred to S-disrict's sorting facility

				(unit: %)			
Classification			1 <sup>st</sup> Weight	2 <sup>nd</sup> Weight	Average		
1. Combustible	Food		0.35	0.55	0.45		
	Paper	Newspaper, Book	1.95	3.02	2.49		
		Box	4.91	5.78	5.34		
		cartons	1.28	0.54	0.91		
		Disposable	0.15	0.28	0.21		
		Others	1.75	5.37	3.56		
	Wood	Disposable	0.18	0.59	0.39		
		Others	0.87	1.31	1.09		
	Rubber		2.95	0.57	1.76		
	Leather		0.0	0.30	0.15		
	Fiber	Clothings	0.0	0.13	0.07		
		Others	0.0	0.57	0.29		
	Plastic	EPR	PET	14.78	16.96	15.87	
			Plastic	14.27	12.93	13.60	
			Film	25.85	16.22	21.04	
		Disposable	0.15	0.28	0.21		
		Film others	0.34	0.31	0.33		
	Plastic others		0.0	0.07	0.03		
	Others	Wet wipes		0.14	0.10	0.12	
		Tissue		0.04	0.17	0.10	
Others		3.33	0.43	1.88			
Total			73.32	66.48	69.90		
2. Non-Combustible	Metallic	EPR	Iron Can	0.37	0.0	0.19	
			Aluminum Can	2.04	3.17	2.61	
		Disposable		4.85	0.18	2.51	
		Other	Scrap Iron	5.66	8.36	7.01	
			Nonferrous Metal	0.85	2.89	1.87	
	Glass	Bottle	Transparent	1.79	5.24	3.52	
			Green	3.06	4.83	3.95	
			Brown	3.25	5.66	4.46	
		Others		2.89	2.95	2.92	
	Ceramics		2.89	0.07	1.48		
	Battery		0.0	0.03	0.01		
	Others		0.15	0.12	0.14		
	Total			27.82	33.52	30.67	
3. Total(1+2)			100.0	100.0	100.0		

Table 11. Mixed recyclable waste transferred to S-district's selection facility

Classification	Percentage (%)
Paper	12.55
Plastic	50.64
Metallic	11.34
Glass	14.92
Metallic Can	2.79
Leather	0.16
Others	7.61
Total	100.0

가 12.55%정도 차지하고 있었지만 환경부 제 4차 폐기물통계조사의 결과에 따르면 종이류가 평균 44.5%정도 차지하고 있었다. 이는 폐지를 수거하는 인원들이 길가에 배출된 폐지를 임의로 수거하기 때문에 이러한 결과를 나타낸 것이라 판단하였다.

### 3.4. S구 재활용품 선별장에서 선별 현황 및 개선방안

선별장에 반입되는 혼합재활용품으로부터 재활용품을 품목별 선별량을 Table 12에 정리하여 나타내었다. Table 12를 분석해 보면 플라스틱의 선별량이 가장 많았으며 다음으로 유리병류, 종이류, 금속캔류의 순으로 나타났다. 선별장의 반입되는 종이류, 플라스틱류, 금속캔, 유리병류의 달별 반입비율을 분석하여 Table 13에 정리하여 나타내었다. Table 13을 분석해 보면 플라스틱류와 금속캔류는 여름에 가장 많이 발생했으며 다음으로 봄, 가을, 겨울 순서로 발생하였다. 하지만 유리병의 경우는 봄, 겨울, 여름, 가을의 순으로 나타났다. 선별장에

Table 12. Recyclable material sorted in S-district's sorting facility

Type	(unit: ton)												Total
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Scrap Paper	79.12	69.61	59.81	55.3	48.48	59.13	86.53	59.12	50.25	54.07	70.23	67.14	758.79
PET	79.6	54.56	89.84	76.9	93.63	82.63	88.95	82.49	69.05	106.98	69	70.71	964.34
PP	26.4	12.94	27.07	25.69	27.49	14.36	29.47	28.62	13.88	27.48	13.53	26.39	273.32
PE	26.15	26.84	39.17	25.4	27.46	42.74	29.13	28.41	28.79	42.89	28.25	28.2	373.43
PS	0	0	0	0	10.31	0	8.82	0	10.95	5.4	0	5.33	40.81
Iron Can	24.55	21.9	19.76	23.79	18.07	24.52	25.49	23.04	25.79	22.53	26.69	15.65	271.78
Aluminium Can	8.09	7.24	6.67	7.87	5.23	7.77	6.93	5.66	6.13	5.77	8.23	8.08	83.67
Transparent Glass	77.81	38.43	79.47	60.13	56.7	57.66	61.28	42.63	44.06	63.98	58.68	40.86	681.69
Brown Bottle	63.2	38.58	58.61	60.97	56.88	58.32	82.51	43.01	63.32	64.14	41.07	79.18	709.79
Green Bottle	18.01	19.93	35.46	19.17	39.11	19.87	19.76	40.07	21.14	21.01	21.08	39.93	314.54
Soju Bottle	45.1	39.46	39.46	36.91	38.05	31.01	38.99	30.07	33.36	38.05	38.68	42.75	451.9
Beer Bottle	13.44	11.76	11.76	10.5	13.02	12.6	15.54	13.44	13.86	13.02	12.06	12.18	153.18
Ingot	10.35	9.94	10.14	9.53	9.85	10.84	9.96		14.79	7.7		9.37	102.47
Iron Scrap	10.09	3.5	6.58	10.86	10.32	3.7	10.96	3.82	5.98	31.62	7.85	6.59	111.87
PE, PP Scrap	3.85	3.91	4.08	3.97	4.08	3.83	4.12	4.49	3.9	7.87	4	3.99	52.09
Clothin	2.72	1.99		2.2						3.96	0.57	1.28	12.72
Bucket			1.53		1.6			1.61			1.55		6.29
Filter			4.45				4.39			2.83			11.67
Water Bottle		0.03											0.03
Hanger	1.49			1.46		1.83	1.86		1.29				7.93
Total	489.97	360.62	493.86	430.65	460.28	430.81	524.70	406.48	406.54	519.30	401.47	457.64	5,382.31



Table 13. Recyclable material sorted at S-district's selection facility compared to the average

													(unit: %)
Type	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Average
Scrap Paper	125.13	110.09	94.59	87.46	76.67	93.51	136.84	93.50	79.47	85.51	111.07	106.18	100.0
PET	99.05	67.89	111.79	95.69	116.51	102.82	110.69	102.65	85.92	133.12	85.86	87.99	100.0
PP	115.91	56.81	118.85	112.79	120.69	63.05	129.39	125.65	60.94	120.65	59.40	115.86	100.0
PE	84.03	86.25	125.87	81.62	88.24	137.34	93.61	91.29	92.52	137.83	90.78	90.62	100.0
Iron Can	108.40	96.70	87.25	105.04	79.79	108.26	112.55	101.73	113.87	99.48	117.85	69.10	100.0
Aluminium Can	116.03	103.84	95.66	112.87	75.01	111.44	99.39	81.18	87.92	82.75	118.04	115.88	100.0
Transparent Glass	136.97	67.65	139.89	105.85	99.81	101.50	107.87	75.04	77.56	112.63	103.30	71.93	100.0
Brown Bottle	106.85	65.22	99.09	103.08	96.16	98.60	139.49	72.71	107.05	108.44	69.43	133.86	100.0
Green Bottle	68.71	76.03	135.28	73.14	149.21	75.81	75.39	152.87	80.65	80.16	80.42	152.34	100.0
Soju Bottle	119.76	104.79	104.79	98.02	101.04	82.35	103.54	79.85	88.59	101.04	102.72	113.52	100.0
Beer Bottle	105.29	92.13	92.13	82.26	102.0	98.71	121.74	105.29	108.58	102.0	94.48	95.42	100.0

Table 14. Residue generated at S-district's sorting facility

					(unit: g)	
Classification		1 <sup>st</sup> Weight	2 <sup>nd</sup> Weight	3 <sup>rd</sup> weight	Average	
1. Combustible	Food	320	150	490	320	
	Paper	1,540	1,960	1,450	1,650	
	Wood	-	-	-	-	
	Rubber	-	80	30	37	
	Leather	-	-	-	-	
	Plastic	PET	1,350	1,080	990	1,140
		Film	710	1,610	1,510	1,277
		PE	620	510	480	537
		PP	510	610	690	603
	PS	330	400	310	347	
Combustible etc.	690	230	310	410		
Total	6,070	6,630	6,260	6,320		
2. Non-Combustible	Metallic	Iron Can	620	310	450	460
		Aluminium Can	360	200	320	293
		Combustible etc.	10	-	-	3
	Glass	Used	1,120	100	700	640
		Subsidies	-	-	-	-
	Others	170	320	250	247	
	Total	2,280	930	1,720	1,643	
3. Total(1+2)		8,350	7,560	7,980	7,963	

반입되는 잔재물의 겉보기밀도 및 각 항목의 중량을 계측하였으며 Table 14에 정리하여 나타내었다. Table 14를 분석한 결과 혼합재활용품 중량의 평균은 4.8kg, 겉보기밀도는 48.0kg/m<sup>3</sup>로, 낮게 나타났다.

S구 재활용품 선별장에서 발생하는 잔재물의 성상이 Table 15에 정리되어 나타나 있다. Table 15

를 분석해 보면 가연성물질의 비율이 평균 79.61%, 불연성물질의 비율이 20.39% 존재하는 것으로 나타났다. 가장 많은 비율을 차지하는 물질은 플라스틱류였으며 다음으로 종이류, 난연성 기타 등의 순으로 나타났다.

S구 재활용품 선별장의 2013년 재활용품 반입량과 품목별 선별량, 잔재물 발생량, 자연증발량등의

Table 15. Residue generated at the S-disrict's selection facility

Classification		1 <sup>st</sup> Weight	2 <sup>nd</sup> Weight	3 <sup>rd</sup> weight	Average	
1. Combustible	Food	3.83%	1.98%	6.14%	4.02%	
	Paper	18.44%	25.93%	18.17%	20.72%	
	Wood	-	-	-	-	
	Rubber	-	1.06%	0.38%	0.46%	
	Leather	-	-	-	-	
	Plastic	PET	16.17%	14.29%	12.41%	14.32%
		Film	8.50%	21.30%	18.92%	16.03%
		PE	7.43%	6.75%	4.02%	6.74%
		PP	6.11%	8.07%	8.65%	7.58%
		PS	3.95%	5.29%	3.88%	4.35%
Combustible etc.	8.26%	3.04%	3.88%	5.15%		
Total	72.69%	87.70%	78.45%	79.61%		
2. Non-Combustible	Metallic	Iron Can	7.43%	4.10%	5.64%	5.78%
		Aluminium Can	4.31%	2.65%	4.01%	3.68%
		Combustible etc.	0.12%	-	-	0.04%
	Glass	Used	13.41%	1.32%	8.77%	8.04%
		Subsidies	-	-	-	-
	Others	2.04%	4.23%	3.13%	3.10%	
	Total	27.31%	12.30%	21.55%	20.39%	
3. Total(1+2)		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	

물질수지를 Fig. 1에 나타내었다. 선별장의 년간 물질수지를 분석한 결과 총 반입량 13,855.68톤 중 선별과정 및 적재과정에서 자연증발을 통해 약 5.26%인 728.58톤이 휘발되었으며, 유가품은 약 38.85%인 5,382.31톤이 선별되었다. 잔재물은 약 55.90%인 7,744.79톤이 발생한 것으로 나타났다.

하지만 앞에서 잔재물의 구성비를 분석한 결과, 잔재물 내에는 아직 많은 재활용품이 존재하고 있는 것으로 나타났으며 총 잔재물 대비 55.90%에 이르는 수치이며 이를 양으로 환산해보면 약 4,274.12톤으로 나타났다. 이는 총 유가품 선별량 대비 약 79.41%에 해당한다. 유가품의 수거효율을 높이기

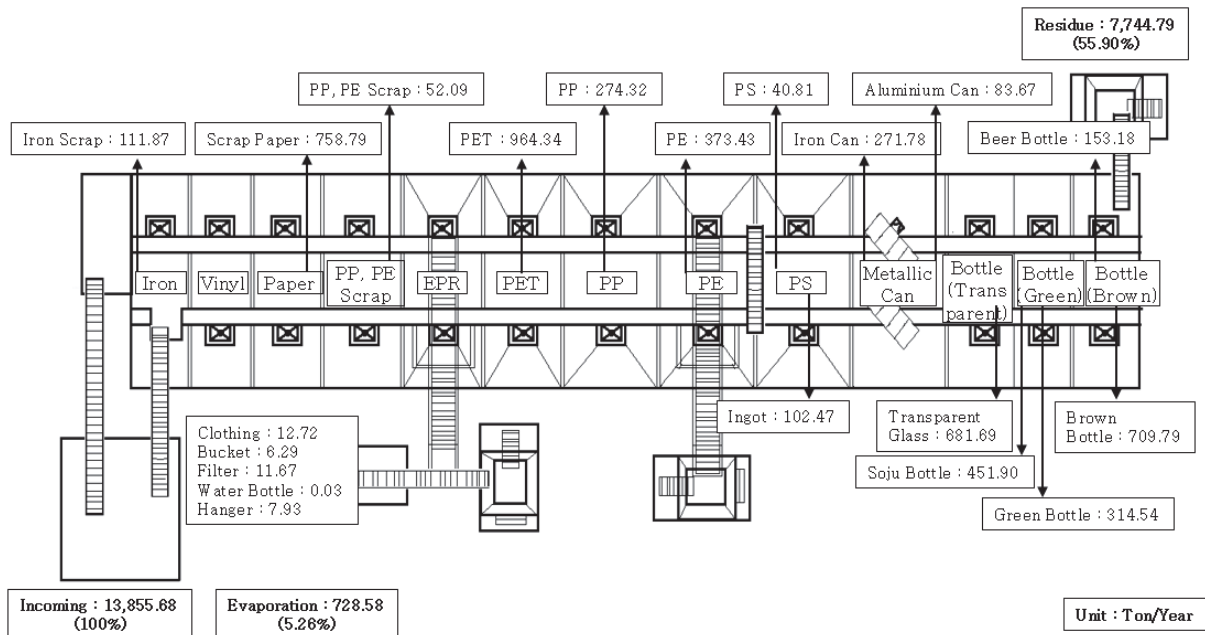


Fig. 1. Mass balance of S-Disrict's material recovery facility of 2013.

위해서는 반입단계에서 재활용품의 분리율을 높여야 한다. 유가물 분리율의 향상을 피하려면 반입되는 재활용품의 품목별 분리율을 높여야 할 것이다. 이를 위해서는 생산단계에서부터 자원의 순환이용을 고려하고<sup>6)</sup> 단독주택이나 상가 등에서의 배출자들에게 재활용품의 품목별 배출 및 자원화에 대한 교육 및 홍보가 필요한 것으로 사료된다. 지역에 따라서는 거점수거방식의 재활용 정거장의 도입<sup>7)</sup>과 동시에 폐기물 수집차량 노선을 효율적으로 선정해야<sup>8)</sup> 할 것이다. 또한 수거효율을 높이기 위해서는 선별장 시설의 자동화 및 현대화<sup>6)</sup>시킬 필요성이 있다. 현재 반입되는 재활용품의 양은 점점 증가하는 추세이나, 선별장에서는 수작업으로 선별을 진행하고 있기 때문에 늘어나는 재활용품의 양을 감당하기 힘들 것이다. 또한 새로운 재질의 재활용품이 계속하여 개발<sup>9-10)</sup>되고 있는 실정이라서 이에 대한 대응 가능한 방법으로는 인원 확충이나 라인 추가 증설 등을 꼽을 수 있으나 이는 인건비의 추가지출이 필수적이기 때문에 수익률 측면에서는 바람직하지 않다. 장기적인 관점 및 원가절감 차원에서 보면 시설을 자동화 하여 24시간 가동하는 것이 유리하기 때문에 시설의 현대화 및 자동화를 하여야 할 것이다. 시설의 자동화 및 현대화는 재활용품의 반입단계에서부터 시작한다. 재활용품 수집운반차량이 시설로 들어올 때 차량의 번호판을 인식하고 반입하는 재활용품의 양을 자동으로 계근 후 이를 특정위치에 하차하도록 한다. 특정위치에 하차된 폐기물은 자동으로 컨베이어벨트로 옮겨져 선별대로 이동시키고 품목별 폐기물을 자력, 비중, 적외선, X-Ray, 혹은 새로운 방식의 품목 판별 센서를 장착한 자동 선별장치를 이용<sup>11-14)</sup>하여 선별을 진행하는 것이다. 이후 선별된 폐기물은 압축 등의 과정을 거쳐서 운송이 용이한 형태로 하여야 할 것이다. 이 모든 과정을 자동화하면 재활용품의 분리에 소요되는 비용을 크게 낮출 수 있을 것이다. EPR대상 품목을 확대<sup>15)</sup>하는 것도 수거효율을 높이는 방법이 될 수 있다. 현재 전체 생활계 플라스틱 중 EPR대상 플라스틱의 비중은 30%에도 미치지 못하고 있는 실정이다. 그렇기에 EPR비대상 플라스틱을 각 선별장에서 선별하기는 인원을 추가배치 해야하는 등

추가적인 비용이 들어가기 때문에 수익성이 낮아 선별율이 낮은 실정이다. 하여 EPR대상 품목을 확대하여 선별장에서의 수익률을 제고하여야 선별율이 상승할 것이다. 또한 넷째, 잔재물을 에너지 자원으로의 이용하는 것이다. 혼합재활용품에는 필연적으로 잔재물이 발생하기 때문에 이를 유용하게 쓸 수 있는 방법이 강구되어야 한다. 잔재물은 필름류가 많이 포함되어 있기 때문에 발열량이 높은 유용한 에너지원이어서 고품연료제조, 열분해방식 등으로 에너지회수를 하는 방법이 적절하다고 판단된다.<sup>16-18)</sup>

#### 4. 결론

본 연구는 S시 S구의 단독주택, 연립주택, 다세대주택 등 S시 지자체가 수집운반 의무를 가지고 수거하는 지역의 재활용품 특성을 분석하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 본 연구에서 조사한 S시 S구의 재활용품 발생원단위의 평균은 0.121kg/일·인으로 나타났으며, 재활용품 수거주기는 일주일에 3일이 가장 많았고, 차량에서의 혼합재활용품 겉보기밀도는 평균 202.4kg/m<sup>3</sup>로 분석되었다.
2. 쉽게 접하는 재활용 용기의 특성상 겨울, 봄, 가을 철 보다 활동량이 많은 여름날 재활용 발생량의 증가를 도출할 수 있었다.
3. 선별장의 혼합재활용품 반입량은 평균 1,154.6톤/월, 겉보기밀도의 평균은 181kg/m<sup>3</sup>, 선별재활용품의 양은 평균 448.5톤/월, 잔재물의 밀도는 48kg/m<sup>3</sup>으로 나타났다.
4. 선별장으로 입고된 혼합재활용품에서 유가품 선별율은 약 38.85%이며 잔재물은 약 55.9%로 나타났다.
5. 2013년 발생된 전체 잔재물 7,744.8톤 중 유가품은 약 4,272.1톤으로 총 잔재물 발생량 대비 약 55.2% 존재하는 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 활용 가능한 유가품이 잔재물에

서 상당수 차지하고 있는 것으로 나타났고, 이를 통해 유가품의 수거효율을 높이기 위한 방안이 추가적으로 검토되어야 하며, 추후 수거효율을 높이기 위한 방안 및 재활용 자동화 분류에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## References

1. Ministry of Environment, "2015 Waste Treatment Facility Installation and Operation Status Report". (2016).
2. Korea Zero Waste Movement Network, "A manual for the operation and management of the recycling materials collection hall of the local government". (2009).
3. Ministry of the Interior, "Resident registration Statistics", Ministry of The Interior. (2014).
4. Ministry of Environment, "Waste Statistics Survey", Ministry of Environment. (2013).
5. K-eco, "The 4<sup>th</sup> national waste statistics survey design study". (2011).
6. Yeon, K. S., "Evaluation and Improvement of Material Recovery Facilities for Source Separated Recyclable Wastes", University of Seoul, Master's Dissertation in Korea. (2004).
7. Jeon, D. R. et al., "Extension Measures of Separate Collection on Recyclable Materials in Domestic Waste", Journal of Environmental Policy and Administration. (2011).  
Society of Environmental Engineers. (2010).
17. Shin, T.-S. et al., "Feasibility Evaluation of Co-Incineration with MSW for Efficient Recycling of the Rejects after Separation Processes in MRF", Journal of Korea Society of Environmental Engineers. (2011).
18. Jun H., "Suitable Methods of Waste Separation", Advanced Materials Research. (2013).
8. Joao, T. et al., "Recyclable waste collection planning - a case study", European Journal of Operational Research. (2004).
9. Choi, W. J. et al., "A Study on Physical Properties of Recyclables obtained from MSW", Journal of The Korean Institute of Resources Recycling. (2012).
10. Ciprian, C. et al., "Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: A review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling", Journal of Environment Management. (2015).
11. Sathish P. G. et al., "A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling", Waste Management. (2016).
12. Martina M. et al., "Implementing an advanced waste separation step in an MBT plant: assessment of technical, economic and environmental impacts", Waste Management & Research. (2013).
13. Yusuke, H. et al., "Sensing performance of dielectric sensor in mixed melting polymer pellets for waste plastic separation", Advanced Powder Technology. (2015).
14. Giuseppe B. et al., "Gravity packaging final waste recovery based on gravity separation and chemical imaging control", Waste Management. (2016).
15. Kim, H. Y. et al., "The Present Status and Suggestions for Waste Recycling and Reuse", Journal of Nakdong River Environmental Research Institute. (2012).
16. Oh, J. I. et al., "Realization of Zero Waste Clean City to Low Carbon Green Growth", Journal of Korea Society of Environmental Engineers. (2011).
18. Jun H., "Suitable Methods of Waste Separation", Advanced Materials Research. (2013).