

## 종량제봉투 내 폐자원에 대한 최적 처리방안 연구

박상준 · \*김의용

서울시립대학교 화학공학과

### A Study on the Optimal Management Option of the Disposal of Resources Found in Standard Plastic Garbage Bags

Sang Jun Park and \*Eui Yong Kim

Department of Chemical Engineering, University of Seoul, 163 Siripdaero(90 Jeonnong-dong),  
Dongdaemun-gu, Seoul 130-743, Korea

#### 요 약

인천광역시에서 배출되는 종량제봉투 안에는 재활용 가능자원이 4.5% (알루미늄캔류 0.2%, 철캔류 2.5%, 유리류 1.8%), 에너지 회수가 가능한 자원이 92.5% (종이류 23.0%, 플라스틱류 15.5%, 가연성 기타류 54.0%) 및 매립이 필요한 불연성 기타류가 3.0%로 분석되었다. 알루미늄캔류, 철캔류 및 유리류는 기존의 매립처리보다 재활용처리가 효과적이며, 종이류와 플라스틱류는 기존의 단순 소각처리보다 폐기물 고형연료 (SRF)로 만들어 에너지회수처리하는 편이 더 효과적이고, 가연성 기타류는 기존의 단순 소각처리가 재활용처리보다 효과적이다. 본 연구에서 제안한 폐자원별 처리방안을 적용하면 2,068,948 Million Btu의 에너지가 절감되고, 21,008 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 저감되는 것으로 분석되었다. 총 에너지 절감량을 경제적 효과로 환산하면 연간 약 422억 원의 비용절감 효과가 있으며, 총 온실가스 저감량을 승용차의 이산화탄소 배출량으로 환산하면 연간 약 4,119대의 운행감축 효과가 있는 것으로 나타났다. 종량제봉투 내 가연성 물질의 저위발열량은 종이류 1,936 kcal/kg, 플라스틱류 5,079 kcal/kg, 가연성 기타류 2,462 kcal/kg로 분석되었다. 종이류와 플라스틱류를 적절하게 혼합한다면 SRF로 활용이 가능하고, 가연성 기타류는 저위발열량이 고형연료 기준을 충족시키지 못하고 구성성분들이 폐기물 고형연료로 사용하기엔 부적절하였다.

**주제어** : 총 에너지 절감량, 총 온실가스 저감량, 저위발열량, 폐기물 고형연료

#### Abstract

A standard plastic garbage bag which was discarded from Incheon Metropolitan City was composed of 4.5% recyclable resources (aluminum cans 0.2%, steel cans 2.5%, glass 1.8%), 92.5% resources with recoverable energy (papers 23.0%, plastics 15.5%, combustible etc. 54.0%) and 3.0% non-combustible etc. Recycling is more effective than landfilling for aluminum cans, steel cans, and glass. The energy recovery process using solid refuse fuel (SRF) is more effective than incineration for papers and plastics. Incineration is more effective than recycling for combustible etc. 2,068,948 Million Btu of total energy savings and 21,008 MTCO<sub>2</sub>E of total GHG reductions were obtained by the application of the proposed scheme. The total energy savings were equivalent to an economic benefit of 422 billion won per year. The total GHG reductions were equivalent to a GHG benefit

· Received : July 24, 2014 · Revised : September 4, 2014 · Accepted : September 22, 2014

\*Corresponding Author : Eui Yong Kim (E-mail : eykim@uos.ac.kr)

Chemical Engineering, University of Seoul, 163 Siripdaero, Dongdaemun-gu, Seoul 130-743, Korea  
Tel : +82-31-539-1982 / Fax : +82-31-539-1980

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

of 4,119 passenger cars not running per year. The lower calorific value of the combustible materials was obtained to be 1,936 kcal/kg of papers, 5,079 kcal/kg of plastics and 2,462 kcal/kg of combustible other resources, respectively. If papers and plastics are properly mixed, the mixture can be used as SRF. The lower calorific value of combustible other resources does not meet the quality criteria for refuse derived fuel, therefore its components are inappropriate to be used as solid refuse fuel.

**Key words :** Total energy savings, Total GHG reductions, Lower calorific value, Solid refuse fuel

## 1. 서 론

급격한 경제발전은 생활수준의 향상과 더불어 생활폐기물의 지속적인 양적, 질적 변화를 가져오고 있다. 생활폐기물을 대부분 매립하던 기존의 처리방식은 매립지의 절대적인 부족을 유발하였고 매립 시 발생하는 침출수 및 중금속 용출 등의 2차 오염은 폐기물 처리방식의 변화를 요구하였다. 1995년부터 실시한 쓰레기 종량제 이후 재활용품이 분리배출되면서 최종처분용 폐기물의 양은 크게 감소하였다. 생활폐기물 배출량은 1994년 58,118톤/일에서 2012년 48,989톤/일로 16% 감소하였고, 재활용품 배출량은 1994년 8,927톤/일에서 2012년 14,681톤/일로 64% 증가하였다. 또한 종량제봉투 내에는 가연성 폐기물이 대부분을 차지하고 있어 생활폐기물 처리방식이 매립에서 소각으로 점차 전환되어 오고 있다. 매립은 1994년 47,166톤/일에서 2012년 7,689톤/일로 84% 감소하였고, 소각은 1994년 2,025톤/일에서 2012년 11,975톤/일로 491% 증가하였다<sup>1,2)</sup>.

우리나라는 부존자원의 부족 및 지구온난화 문제를 해결하기 위해서 친환경 에너지화 정책 (waste to energy policy)으로 전환이 시급하다. 2012년도 우리나라 1차 에너지 소비량은 279백만 TOE로 세계 8위에 해당하고, 부존자원이 부족하여 에너지 수입 의존도는 96%에 달한다. 1차 에너지원별 이용률은 석유 38%, 석탄 29%, LNG 18%, 원자력 12%, 신·재생 3% 순으로 집계됐다<sup>3)</sup>. 이 중 신·재생에너지는 폐기물 (68%), 바이오매스 (15%), 수력 (9%), 기타 (8%) 순으로 이용되었다<sup>4)</sup>. 정부는 화석연료 (석유, 석탄, LNG)에 대한 에너지 의존도를 낮추고자 2035년까지 신·재생에너지의 보급목표를 11%로 설정하였고, 이 중 폐기물 및 바이오매스 에너지가 7%를 담당할 것이라고 발표했다<sup>5)</sup>.

한편 2008년에 “저탄소 녹색성장”이 국가비전으로 선언된 이후 정부는 온실가스를 2020년까지 BAU (온실가스 배출전망치) 대비 30% 감축한다는 목표를 발표하였다. 국내 온실가스 배출량은 2011년 기준 698 Million MTCO<sub>2</sub>E로 세계 7위이며, 분야별 배출 비중은

에너지소비 85.7%, 산업공정 9.1%, 농업 3.2% 및 폐기물 2.1%를 차지했다<sup>6)</sup>. 이처럼 연료를 연소하여 에너지를 얻는 에너지소비분야에서 대부분의 온실가스가 배출되므로 화석연료의 사용량을 줄이고 신·재생에너지를 적극적으로 활용하는 방안을 모색해야만 한다. 신·재생 에너지 중에서도 특히 그린에너지 (풍력, 태양에너지, 수소연료전지 등)는 미래시장에 대한 잠재력이 크지만 기술개발에 많은 비용과 시간이 소요되기 때문에 단기 간에 성과를 기대하기는 어렵고, 그 대안으로 폐기물 에너지를 녹색성장의 원동력으로 선택하는 것이 보다 효과적이다. 따라서 2012년도 기준, 생활폐기물의 43%를 차지하는 종량제 생활폐기물을 자원으로 활용하기 위한 처리방안에 대한 검토가 필요하며, 폐자원에 대한 적절한 처리를 통해 얻을 수 있는 에너지 절감 및 온실가스 저감 효과에 대한 연구도 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 인천광역시를 대상으로 종량제봉투에 혼합되어 폐기되는 자원에 대한 현황을 조사하고, 폐자원에 대한 처리방식별 에너지 절감 및 온실가스 저감 효과를 U.S. EPA Waste Reduction Model (이하 WARM)을 이용하여 비교분석하여, 종량제 생활폐기물에 대한 최적 처리방안을 마련하기 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 시료 채취

인천광역시 Y구 일대를 발생원별 (주거지역, 상업지역, 사무지역 및 생활폐기물 집하시설)로 구분하여 2012년도 여름철 (6월)과 겨울철 (12월) 에 각 1회씩 생활폐기물이 담긴 종량제봉투를 채취하였다. 각 발생원별로 1일간 배출되는 종량제봉투를 100 kg 이상씩 랜덤 샘플링 하였다.

### 2.2. 물리적 조성 분석

채취한 시료는 각 발생원별로 구분하여 원추 4분법으로 20 kg ~ 30 kg정도로 축분한 후 시료 전량을 수 선

별 (hand sorting)로 분류하였다.

종량제봉투에 담겨 폐기되는 자원 (이하 폐자원이라 함)은 알루미늄캔류 (aluminum cans), 철캔류 (steel cans), 유리류 (glass), 종이류 (papers), 플라스틱류 (plastics) 및 가연성 기타류 (combustible etc.) 및 불연성 기타류 (non-combustible etc.)의 항목으로 분류하였다.

분류 조건으로 알루미늄캔류 및 철캔류는 재질 분류 마크에 따라 분류하였고 유리류는 용도 및 파손여부에 관계없이 분류하였다. 종이류는 대부분 구겨지고 찢어진 형태이며 플라스틱류는 재질구분이 어려운 현실을 감안하여 혼합 종이류 및 혼합 플라스틱류 형태로 분류하였다. 가연성 기타류는 소각 등으로 에너지회수가 가능한 음식물류, 기저기류, 섬유류 및 50 mm미만의 수 선별 하기 어려운 가연성성분 등을 포함하며 불연성 기타류는 재활용이 어려워 매립해야 하는 토사류, 소각재류 및 50 mm미만의 수 선별 하기 어려운 불연성성분 등을 포함한다.

분류 항목별 중량비(wt%)를 구해 종량제봉투 내에 포함된 폐자원의 물리적 조성비로 나타내었다.

또한 폐자원별 연간 총 발생량은 2012년도 인천광역시에서 종량제봉투로 배출된 생활폐기물의 총량 (톤/년)에 물리적 조성비를 적용하여 추정하였다. 2012년도 인천광역시에서 종량제봉투로 배출된 생활폐기물의 총량은 「전국 폐기물 발생 및 처리현황 (2012년도)」에서 확인하였다<sup>7)</sup>.

### 2.3. 발열량 및 원소분석

발열량은 가연성 물질인 종이류, 플라스틱류 및 가연성 기타류를 대상으로 분석하였다. 가연성 물질이 폐기물 고형연료로 활용가능한지 검토하기 위해선 저위발열량 값이 매우 중요하다. 항량으로 건조된 시료 0.5 g~1.0 g을 산소로 연소시켜 발생한 열량을 Calorimeter (IKA-C2000 basic, Korea)로 측정하였다. 열량계를 이용하여 건조 시료의 발열량 (Hd)을 측정하였고, 폐기물 처리개론 “폐기물의 발열량분석”에 따라 고위발열량 (Hh)과 저위발열량 (Hl)을 계산하였다<sup>8)</sup>.

$$Hh = Hd \times (1 - W / 100) \quad (1)$$

$$Hl = Hh - 600 (9 H + W) / 100 \quad (2)$$

여기서,

Hh : 고위발열량 (kcal/kg)

Hl : 저위발열량 (kcal/kg)

Hd : 열량계로 측정한 건조시료의 발열량 (kcal/kg)

H : 원소분석에 의한 수소의 조성비 (%)

W : 시료 중 수분함량 (%)

저위발열량 계산에 필요한 원소분석은 탄소 (C), 수소 (H), 질소 (N), 황 (S), 염소 (Cl) 및 산소 (O)의 6개 항목으로 탄소, 수소, 질소 및 황은 항량으로 건조된 시료를 1,000°C ~ 1,050°C에서 산소로 연소시켜 발생하는 CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>를 원소분석기 (FLASH EA 1112, THERMO QUEST, Italia)를 이용하여 측정하였다. 염소는 항량으로 건조된 시료가 1,000°C ~ 1,100°C에서 연소할 때 발생하는 염소가스를 과산화수소 흡수액에 포집하여 이온크로마토그래피 (AQF-100, MITSUBISHI Chemical Co., Japan)로 측정하였다. 산소는 전체에서 탄소, 수소, 질소, 황, 염소 및 회분 함량을 뺀 값으로 산출하였다.

수분은 시료를 건조기 (CONVECTION OVEN, JISCO Co., Korea)에 넣고 105±5°C에서 항량이 될 때까지 건조한 후 정평하여 구하였다.

회분은 석영제 도가니를 미리 600±25°C에서 30분간 강열하고 테시케이터 안에서 방냉한 다음 그 무게를 정밀히 달고 여기에 시료 적당량을 취하여 도가니와 시료의 무게를 측정하였다. 여기에 25% 질산암모늄용액을 넣어 시료를 적시고 천천히 가열하여 탄화시킨 다음 600±25°C의 전기로 안에서 3시간 강열하고 테시케이터 안에서 방냉한 후 무게를 달아 도가니에 남아 있는 잔유물의 양을 구하였다

### 2.4. 시나리오 구축

폐기물의 관리방법은 대표적으로 발생원 감량 (source reduction), 재사용 (reuse), 재활용 (recycling), 매립 (landfill) 및 소각 (incineration) 등이 있다. 현행 종량제봉투 내 폐자원의 처리방식을 보면 가연성 물질 (종이류, 플라스틱류 및 가연성 기타류)은 소각처리되고 있으며, 불연성물질 (알루미늄캔류, 철캔류, 유리류 및 불연성 기타 물질류)은 매립처리 되고 있다. 이 연구에서는 종량제봉투에 담긴 폐자원의 처리방식에 대한 2가지 시나리오를 구축하였다. 기준 시나리오(baseline scenario, 이하 기준방식이라 함)는 1톤의 각 폐자원들이 현행 방식대로 처리되는 경우이다. 대안 시나리오 (alternative scenario, 이하 대안 방식이라 함)는 1톤의 각 폐자원들이 재활용되는 경우이다. 궁극적인 목적은 기준방식과 대안 방식간 에너지 절감 효과, 온실가스 저감 효과 및 현상환을 고려한 폐자원별 가장 효과적인 처리방안을 찾고자 한다.

**Table 1.** Energy Impacts for MSW Management Options (unit: Million Btu/Ton)

Component	Baseline Scenario			Alternative Scenario	
	Recycling	Incineration	Landfilling	Recycling Minus Landfilling	Recycling Minus Incineration
Aluminum cans	-152.76	0.63	0.53	-153.29	-153.39
Steel Cans	-19.97	-17.10	0.53	-20.50	-2.87
Glass	-2.13	0.53	0.53	-2.66	-2.66
Mixed Papers					
general	-20.40	-6.73	0.17	-20.57	-13.67
residential	-20.40	-6.70	0.19	-20.59	-13.70
offices	-20.85	-6.17	0.18	-21.03	-14.68
Mixed Plastics	-41.30	-14.95	0.53	-41.83	-26.35
Combustible Etc.	0.58	-2.13	0.39	0.19	2.71

**2.5. 에너지 절감 효과 분석**

에너지 효과 (energy impacts)는 기존방식과 대안 시나리오간 소비되거나 혹은 절감된 에너지량의 차이로 나타낸다. 1톤의 물질을 각 조건 (재활용, 소각, 매립)에 따라 처리하는데 필요한 에너지량을 에너지 인자 (energy factors)라 하고 에너지 인자는 에너지 효과를 계산하는데 사용된다. 각 처리방식에 따른 에너지 인자와 대안방식으로 전환하여 처리 시 예상되는 에너지 효과를 요약하여 Table 1에 나타내었다<sup>9)</sup>. 음수부호(-)는 에너지 절감을 의미한다. MSW (municipal solid waste)는 도시고형폐기물을 말한다.

기존방식과 대안방식을 통해 얻을 수 있는 총 에너지 절감량 (total energy savings)은 2.2항에서 산출한 폐자원별 발생량에 에너지 효과를 적용하여 구하였다. 또한, 이 총 에너지 절감량을 등가의 원유량으로 환산 (1 million Btu = 5.8 barrels of oil)한 후, 원유의 연평균 수입 가격과 연평균 환율을 적용하여 에너지 절감 비용으로 표현하였다.

**2.6. 온실가스 저감 효과 분석**

온실가스 순 배출량 (net GHG emissions)은 기존방식과 대안방식간 소비되거나 혹은 저감된 온실가스량의 차이로 나타낸다. 1톤의 물질이 각 조건 (재활용, 소각, 매립)에 따라 처리될 때 배출되는 온실가스량을 온실가스 배출 계수 (GHG emission factors)라 하고 온실가스 배출 계수는 온실가스 순 배출량을 계산하는데 사용된다. 각 처리방식에 따른 온실가스 배출 계수와 대안방식으로 전환하여 처리 시 예상되는 온실가스 순 배출량을 요약하여 Table 2에 나타내었다<sup>9)</sup>. 음수부호(-)는

온실가스 저감을 의미한다. WARM에서는 가연성 기타류인 경우 구성성분들이 워낙 다양하여 재활용처리에 따른 온실가스 배출 계수가 산정되지 않았고 결과적으로 온실가스 순 배출량도 제시되지 않았다.

기존방식과 대안방식을 통해 얻을 수 있는 총 온실가스 저감량 (total GHG reductions)은 2.2항에서 산출한 폐자원별 발생량에 온실가스 순 배출량을 적용하여 구하였다. 또한 이 총 온실가스 저감량을 승용차 1대가 1년 동안 배출하는 이산화탄소가 약 5.1톤임을 감안하여 이산화탄소 저감 효과로 표현하였다<sup>9)</sup>.

**3. 결과 및 고찰**

**3.1. 물리적 조성 분석결과**

인천광역시 Y구 일대에서 채취한 종량제봉투 내 폐자원별 물리적 조성비를 요약하여 Table 3에 나타내었다. 종량제봉투에 안에는 재활용 가능자원이 4.5% (알루미늄캔류 0.2%, 철캔류 2.5%, 유리류 1.8%), 소각 등으로 에너지회수가 가능한 자원이 92.5% (종이류 23.0%, 플라스틱류 15.5%, 가연성 기타류 54.0%) 및 매립이 필요한 불연성 기타류가 3.0%로 분석되었다. 즉 종량제봉투 내 활용가능자원은 97%로 집계됐다.

환경부 자료인 「제4차 전국폐기물 통계조사(2011~2012년)」에 의하면 종량제봉투 안에 포함되어 있는 재활용 가능자원은 70.4% (금속류 2.6%, 유리류 2.5%, 종이류 41% 및 플라스틱류 24.3%), 소각 등으로 에너지회수가 가능한 가연성(음식물류, 기저기류, 섬유류 등)은 28% 및 매립해야 하는 폐기물은 1.6%라고 발표했다<sup>10)</sup>.

**Table 2.** Net GHG Emissions for MSW Management Options (unit: MTCO<sub>2</sub>E/Ton)

Component	Baseline Scenario			Alternative Scenario	
	Recycling	Incineration	Landfilling	Recycling Minus Landfilling	Recycling Minus Incineration
Aluminum cans	-8.89	0.05	0.04	-8.93	-8.94
Steel Cans	-1.80	-1.55	0.04	-1.84	-0.25
Glass	-0.28	0.05	0.04	-0.32	0.33
Mixed Papers					
general	-3.52	-0.49	-0.07	-3.45	-3.03
residential	-3.52	-0.48	-0.14	-3.38	-3.04
offices	-3.59	-0.44	0.06	-3.65	-3.15
Mixed Plastics	-0.98	1.25	0.04	-1.02	-2.23
Combustible Etc.	-	-014	0.28	-	-

**Table 3.** The Ratio of Physical Components According to Generation Sources (unit: %)

Component		Residential Area	Commercial Area	Official Area	MSW Depo. #1	MSW Depo. #2	MSW Depo. #4	Mean	Ton Generated (Ton/year)
Non-combustible	Aluminum cans	0	0	0	0	0.5	0.8	0.2	709
	Steel Cans	2.2	9.5	0.6	2.1	0.2	0.6	2.5	8,865
	Glass	0.6	8.1	2.0	0	0	0	1.8	6,383
	Etc.	5.1	0.1	1.7	0.8	8.5	2.0	3.0	10,639
	Subtotal	7.9	17.7	4.3	2.9	9.2	3.4	7.5	26,596
Combustible	Mixed Paper	32.9	36.7	48.6	2.5	5.7	11.5	23.0	81,562
	Mixed Plastics	14.1	32.2	14.2	11.1	11.2	10.2	15.5	54,966
	Etc.	45.1	13.4	32.9	83.5	73.9	74.9	54.0	191,493
	Subtotal	92.1	82.3	95.7	97.1	90.8	96.6	92.5	328,021
Total		100	100	100	100	100	100	100	354,617

본 연구에서는 종이류와 플라스틱류를 에너지회수가 가능한 자원으로 보고 있기 때문에 환경부 발표자료와는 차이를 보이고 있다. 하지만 본 연구결과와 환경부 발표자료는 종량제봉투에 담긴 폐자원들이 재활용 및 에너지회수 되어야 하는 이유를 잘 설명해 주고 있다.

자원별 발생량은 종이류의 경우 사무지역에서 48.6%로 가장 높게 나타났다. 사무지역은 종이류의 소비량이 타지역에 비해 상대적으로 많은 만큼 분리배출 되지 못하고 종량제봉투에 혼입되어 폐기되는 양도 많은 것으로 보인다.

플라스틱류, 철캔류와 유리류의 발생량은 상업지역에서 각각 32.2%, 9.5% 및 8.1%로 가장 높게 나타났다. 상업지역은 특성상 식품, 음료 및 주류 용기 등의 유입량이 많지만 유동인구가 많은 탓에 적절하게 분리배출

되지 못하고 폐기되고 있는 것으로 보인다. 특히, 플라스틱류인 경우 필름류 포장재가 90% 이상을 차지했다. 과자·라면봉지 같은 필름류 포장재는 2004년도부터 EPR 품목에 포함되면서 재활용되고 있음에도 불구하고 종량제봉투에 혼입되어 폐기되는 양이 상당한 것으로 조사되었다. 더욱이 종량제봉투에 혼입되어 있는 필름류 포장재 중에서 1회용 비닐봉투의 비중은 약 35%로 매우 높게 나타났으며, 1회용 비닐봉투도 EPR 대상 품목에 포함시켜 재활용될 수 있도록 추가적인 조치가 필요해 보인다. Ham<sup>11)</sup>은 종량제봉투 안에는 폐기물이 비닐봉투에 이중 삼중으로 쌓여있어 매립할 경우 쉽게 분해되지 않으며 폐기물을 분리하기 위해 별도의 인력을 동원하여 비닐 포장을 찢는 일까지 하고 있다고 보고하였다.

**Table 4.** Analysis of Chemical Elements and Lower Calorific Values of Combustible Materials (unit: %)

Component	C	H	O	N	S	Cl	Ash	HI
Papers	42.06	5.84	41.28	0.05	0.08	0.29	10.40	1,936
Plastics	57.47	7.15	12.63	0.14	0.04	11.83	10.75	5,079
Combustible Etc.	50.21	6.08	33.09	0.45	0.21	0.62	9.34	2,462

**Table 5.** Total Changes in Energy between MSW Management Options (unit: Million Btu)

Component	Tons Generated (Ton/year)	(A)		(B)	(C)	Energy Savings		Energy to Oil (bbl)
		(Landfilling)	(Incineration)	(Recycling)	(Recycling & Incineration)	(B-A)	(C)	
Aluminum cans	709	376		-108,343	-108,343	-108,719	-108,719	-18,745
Steel Cans	8,865	4,699		-177,043	-177,043	-181,741	-181,741	-31,335
Glass	6,383	3,383		-13,596	-13,596	-16,979	-16,979	-2,927
Mixed Papers	81,562		-531,891	-1,676,791	-531,891	-1,144,900	-531,891	-91,705
general	21,632		-145,581	-441,286	-145,581	-295,705	-145,581	-25,100
residential	31,206		-209,082	-636,609	-209,082	-427,527	-209,082	-36,049
offices	28,724		-177,227	-598,896	-177,227	-421,668	-177,227	-30,556
Mixed Plastics	54,966		-821,737	-2,270,083	-821,737	-1,448,346	-821,737	-141,679
Combustible Etc.	191,493		-407,881	111,066	-407,881	518,947	-407,881	-70,324
Total	354,617		-1,753,051	-4,134,789	-2,060,490	-2,381,738	-2,068,948	-356,715

(A) Baseline Scenario, (B) Alternative Scenario, (C) Optimal Scenario

알루미늄캔류의 발생량은 생활폐기물 집하시설 #4에서 0.8%로 가장 높게 나타났다. 알루미늄캔류의 발생량이 다른 폐자원에 비해 상대적으로 낮은 이유는 알루미늄은 고가의 자원이라는 인식이 대중적으로 확산되어 회수가 비교적 잘 이루어지고 있는 것으로 판단된다.

가연성 기타류의 발생량은 생활폐기물 집하시설 #1에서 83.5%로 가장 높게 나타났다. 가연성 기타류는 집하시설 #2와 #4에서도 73.9% 및 74.9%로 다른 발생원에 비해 비교적 높게 나타났다. 이유는 종량제봉투가 관로를 따라 풍력에 의해 집하시설로 수송되므로 종량제봉투 내에는 중량이 가벼운 가연성성분이 많았다. 또한 종량제봉투와 음식물류 폐기물봉투가 동일한 관로를 통해 수송되므로 폐기물간의 혼합도 일부 발생하였다<sup>12)</sup>.

2012년도 인천광역시 Y구에서 종량제봉투로 배출된 폐기물의 총량에 물리적 조성비를 적용하여 산출한 폐자원의 연간 총 발생량은 354,617톤으로 나타났다. 폐자원별 발생량을 살펴보면 알루미늄캔류 709톤, 철캔류 8,865톤, 유리류 6,383톤, 종이류 81,562톤 (일반지역

발생량 21,632톤, 주거지역 발생량 31,206톤, 사무지역 발생량 28,724톤), 플라스틱류 54,966톤, 가연성 기타류 191,493톤 및 불연성 기타류 10,639톤으로 산출되었다.

**3.2. 발열량 분석결과**

가연성 물질인 종이류, 플라스틱류 및 가연성 기타류를 대상으로 측정된 원소분석 및 저위발열량 분석결과를 요약하여 Table 4에 나타내었다. 분석결과는 각 발생원별 측정치를 산술평균하여 구하였다. 종이류의 저위발열량은 1,936 kcal/kg이고 플라스틱류의 저위발열량은 5,079 kcal/kg이며 가연성 기타류의 저위발열량은 2,462 kcal/kg으로 분석되었다.

고형연료제품의 품질·등급기준에 의하면 일반 고형연료제품의 저위발열량은 3,500 kcal/kg 이상이며 염소(Cl) 함량은 2.0 wt% 이하여야 한다<sup>13)</sup>. 따라서 종이류는 저위발열량이 낮아 단독으로 연료로서의 역할을 기대하기는 어렵다. 또한 플라스틱류는 저위발열량이 고형연료제품 품질·등급기준을 만족하나 염소 함량이 약 12%여서 기준에 적합하지 않다. 그러므로 종이류와 플라스

틱류를 적절하게 혼합한다면 SRF로 활용이 가능하다. 한편 가연성 기타류는 고품질·등급기준을 만족하지 못하며 구성성분이 음식물류, 기저기류 및 섬유류 등인 것을 고려한다면 폐기물 고품질·저오염으로 만들기 보다는 단순 소각처리 하는 편이 더 유리하다. Ham 등<sup>14)</sup>은 플라스틱류와 종이류를 임의적으로 혼합한 8종의 혼합폐기물에서 저위발열량 5,046 kcal/kg ~ 9,125 kcal/kg, 염소함량 0.04% ~ 0.2%인 고품질·저오염의 RDF가 만들어졌다고 보고하였다. Min 등<sup>15)</sup>은 봄철에 함수율을 30% 제어한 음식물류 폐기물을 열적 완충재로, 여름철에는 폐목재류, 건조된 하수슬러지 및 건조된 음식물류 폐기물 같이 발열량이 높은 열적 완충재를 이용하여 MBT (Mechanical Biological Treatment)시설의 발열량을 사계절 내내 일정하게 유지할 수 있다고 보고하였다. MBT시설은 궁극적으로 SRF 생산이 목적으로 가연성 성분의 비율, 함수율 등 고려하여 제조방법을 결정해야 한다. 환경부는 MBT시설을 2007년부터 광역형 (수도권매립지 200톤/일), 도시형 (부천시 90톤/일), 준도시형 (강릉시 150톤/일), 농촌형 (부안군 30톤/일)의 4개의 시범사업을 추진하였으며 각 특성에 맞는 공정과 사례별 설치·운영방식을 정립한 후 전국으로 확대할 계획이다<sup>16)</sup>.

### 3.3. 에너지 절감 효과

3.1항에서 산출된 폐자원을 기존방식 (매립 또는 소각)으로 처리하는 경우와 대안방식 (재활용)으로 전환하여 처리하는 경우에 예상되는 에너지 효과를 Table 5에 나타내었다. 기존방식으로 처리 시 총 1,753,051 Million Btu의 에너지가 절감되었고, 대안방식으로 전환하여 처리 시 총 2,381,738 Million Btu의 에너지가 절감되었다. 결과적으로 기존방식보다 대안방식으로 전환하여 처리 시 에너지 절감 효과가 더 크게 나타났다.

대안방식으로 전환하여 처리 시 폐자원별 에너지 절감량은 플라스틱류가 -1,448,346 Million Btu로 가장 컸고 종이류 -1,144,900 Million Btu (일반지역 -295,705 Million Btu, 주거지역 -427,527 Million Btu, 사무지역 -421,668 Million Btu), 철캔류 -181,741 Million Btu, 알루미늄캔류 -108,719 Million Btu, 유리류 -16,979 Million Btu, 가연성 기타류 518,947 Million Btu 순이었다. 하지만 대안방식으로 전환하여 처리하는 것이 종량제봉투 내 모든 폐자원에 대해 효과적인 것은 아니며 현상황을 고려한 폐자원별 처리방식에 대한 검토결과는 다음과 같다.

플라스틱류는 기존방식인 소각처리 시 821,737 Million Btu의 에너지가 절감되고, 대안방식인 재활용처리 시 2,270,083 Million Btu의 에너지가 절감된다. 따라서 기존방식에서 대안방식으로 전환하여 처리하면 1,448,346 Million Btu의 에너지가 절감된다. 물론 재활용처리방식이 에너지 절감에 효과적이지만 종량제봉투 내 플라스틱류는 대부분 필름류 포장재이고 의무회수대상에 포함되지 않는 1회용 비닐봉투가 상당부분 섞여있어 재활용자원으로서의 가치가 낮음을 감안한다면 소각처리방식이 더 효과적이다. 또한 단순 소각처리 또는 원료회수 방식보다는 플라스틱류를 중량기준으로 60% 이상 사용하는 플라스틱 고품질 (RPF: refused plastic fuel)로 만들어 에너지회수 방식으로 처리하는 편이 더 효과적이다. 하지만 RPF제조에 있어서 판로 및 품질문제는 극복해야 할 과제이기도 하다. Min<sup>17)</sup>은 폐플라스틱 필름류를 이용하여 RPF를 생산하는 경우 필름류 중 염소성분이 포함되어 있으면 킬른 소각 시 다이옥신이 배출될 수 있으며, 시멘트를 생산하는 공정에서는 필름류 소각재가 시멘트에 포함되면 강도를 저하시킬 수 있다고 보고하였다.

종이류는 기존방식인 소각처리 시 531,891 Million Btu의 에너지가 절감되고, 대안방식인 재활용처리 시 1,676,791 Million Btu의 에너지가 절감된다. 따라서 기존방식에서 대안방식으로 전환하여 처리하면 1,144,900 Million Btu의 에너지가 절감된다. 역시 종이류도 재활용처리방식이 에너지 절감에 효과적이다. 하지만 종량제봉투 내 종이류는 대부분이 잘게 찢어진 형태여서 재활용자원으로서의 가치가 낮다. 따라서 종량제봉투 내 종이류도 단순 소각처리 또는 원료회수 방식보다는 플라스틱류와 함께 폐기물 SRF로 만들어 에너지회수 방식으로 처리하는 편이 더 효과적이다. Kim<sup>18)</sup>은 생활폐기물 매립장으로 반입되는 종량제 생활폐기물과 사업장 생활폐기물을 적절하게 혼합하면 저위발열량, 회분량 및 염소함량이 적합한 SRF를 생산할 수 있다고 보고하였다.

한편 한국제지공업연합회 자료에 의하면 2012년도 국내 종이생산량 11,654천 톤 중 국산폐지 사용량이 8,044천 톤으로 이용률은 69.0%로 집계되었다. 또한 전체 폐지사용량 9,492천 톤 중 수입폐지 사용량이 1,448천 톤으로 이용률은 15.3%로 나타났다<sup>19)</sup>. 이처럼 폐지도 수입을 해야 하는 현실과 종량제봉투 내 종이류의 물리적 조성비가 23.0%임을 감안한다면 종이류가 종량제봉투 내에 혼입되지 않고 분리배출될 수 있는 방안을

모색하여야 한다.

철캔류는 기존방식인 매립처리 시 4,699 Million Btu의 에너지가 소비되고, 대안방식인 재활용처리 시 177,043 Million Btu의 에너지가 절감된다. 따라서 기존 방식에서 대안방식으로 전환하여 처리하면 181,741 Million Btu의 에너지가 절감된다. 결과적으로 철캔류는 매립 대신 재활용 되어야 한다. 우리나라 철강산업의 에너지 소비량이 2010년 기준으로 약 920,238만 Billion Btu로 전체 에너지 소비의 12%, 산업부문의 20%를 차지하고 있다<sup>20)</sup>. 우리나라는 자동차, 조선 및 전자 등의 철강 수요산업이 발달했기 때문에 조강 생산량을 줄이기는 어려운 실정이다. 따라서 철캔 및 철스크랩의 재활용을 통한 에너지 절감이 필요하다. 한국환경공단 발표자료인 「재활용지정사업자의 재활용실적 (2012년도)」에 의하면 2012년도 내수용 금속캔류 제품 생산량은 272천 톤이며, 이 중 폐철캔류 사용량은 143천 톤으로 재활용률이 약 53%에 불과하며 이 결과는 환경부 고시 재활용률인 65%에도 미달하는 수치이다<sup>21)</sup>. 또한 2012년도 철스크랩 (폐철캔류 포함) 사용량은 32,896천 톤이며, 이 중 수입 철스크랩 사용량이 6,224천 톤으로 약 19%를 차지하고 있다. 이처럼 철캔류의 재활용률이 낮고 철스크랩도 수입하는 상황임을 감안한다면 중량제봉투 내 철캔류가 혼입되지 않도록 해야 하며 재질 분류마크의 의무표기 및 철저한 분리수거를 통해 철캔류의 재활용률을 높여야 한다.

알루미늄캔류는 기존방식인 매립처리 시에는 376 Million Btu의 에너지가 소비되고, 대안방식인 재활용처리 시 108,343 Million Btu의 에너지가 절감된다. 따라서 기존방식에서 대안방식으로 전환하여 처리하면 108,719 Million Btu의 에너지가 절감된다. 결과적으로 알루미늄캔류도 매립 대신 재활용 되어야 한다. 알루미늄캔류로부터 재생 알루미늄 1톤을 생산하는데 필요한 에너지 (163만 kcal)는 보크사이트로부터 알루미늄 지금 (ingot) 1톤을 생산하는데 필요한 에너지의 3%에 불과하기 때문에 알루미늄캔류의 재활용은 매우 중요하다<sup>22)</sup>. 한국 금속캔자원협회 자료에 의하면 2011년도 알루미늄캔류의 생산량은 55천 톤으로 2004년도 생산량인 16천 톤에 비해 약 344% 증가하였다<sup>23)</sup>. 하지만 2011년도 알루미늄캔류의 재활용률은 80%로 2004년도 재활용률인 75%와 비교해 5%정도 높아진 수준이다. 이처럼 중량제봉투에 혼입되어 폐기되는 알루미늄캔류의 재활용도 중요하지만 투피스 (몸통과 뚜껑) 철캔류의 경우 알루미늄 뚜껑이 철캔류 몸통과 붙어 있어 제대로 분리되지

못하고 철캔류와 같이 처리되고 있다. 따라서 철캔류에서 알루미늄 뚜껑의 분리회수방안과 재질 분류 마크의 의무표기 등의 조치가 필요하다. 또한 빈 깡통을 넣으면 일정한 금액이 반환되는 역자동판매기 등을 발생원별로 적극 설치하여 재활용률을 높여야 한다.

유리류는 기존방식인 매립처리 시에는 3,383 Million Btu의 에너지가 소비되고, 대안방식인 재활용처리 시 13,596 Million Btu의 에너지가 절감된다. 따라서 기존 방식에서 대안방식으로 전환하여 처리하면 16,979 Million Btu의 에너지가 절감된다. 결과적으로 유리류도 매립 대신 재활용 되어야 한다. 한국환경공단 발표자료인 「재활용지정사업자의 재활용실적 (2012년도)」에 의하면 2012년도 내수용 유리용기 생산량은 702천 톤이며, 이 중 국산폐유리 사용량은 529천 톤으로 재활용률이 약 75%에 불과하다<sup>21)</sup>. 또한 국내에는 관유리 (창유리, 거울 등)시장에서 연간 1,400천 톤의 유리가 소비되며 유리용기시장의 두 배에 이른다<sup>24)</sup>. 하지만 국내에 선 폐관유리 재활용시장이 형성되지 못하고 있다. 이처럼 유리류의 재활용률이 낮은 이유로는 유리제품은 용도에 따라 구성성과 특성이 달라 재활용처리가 쉽지 않으며 수거비용과 운반비용이 많이 든다는 점이다. 하지만 파손되지 않은 유리병은 수회 재사용 (reuse)할 수 있고 매립된 유리류는 분해되지 않는다는 점을 고려한다면 에너지 절감 효과는 작지만 유리류의 재활용처리는 필요하다.

가연성 기타류는 기존방식인 소각처리 시에는 407,881 Million Btu의 에너지가 절감되고, 대안방식인 재활용처리 시에는 111,066 Million Btu의 에너지가 소비된다. 따라서 기존방식에서 대안방식으로 전환하여 처리하면 518,947 Million Btu의 에너지가 소비된다. 결과적으로 가연성 기타류는 소각처리방식이 에너지 절감에 더 효과적이다. 이유는 가연성 기타류에는 음식물류, 기저기류 및 섬유류 등이 포함되며 음식물류인 경우 대부분 사료와 퇴비 원료로 사용할 수 없는 껍질류 등이었고 기저기류는 대부분 일회용 위생용품으로 주 원료는 펄프지만 이를 둘러싸고 있는 합성수지 때문에 재료분리가 쉽지 않았으며 섬유류는 대부분 속옷류 등으로 의류수거함을 통한 회수가 어렵다.

결론적으로, 에너지 절감 효과와 현상황 (자원의 종류, 분류비용, 시장가치 등)을 고려한 폐자원별 최적 처리방안은 다음과 같다. 알루미늄캔류, 철캔류 및 유리류는 매립처리보다 재활용처리가 효과적이며, 종이류와 플라스틱류는 단순 소각처리보다 폐기물 고품원료 (SRF)

**Table 6.** Total Changes in GHG Emission between MSW Management Options (unit: MTCO<sub>2</sub>E)

Component	Tons Generated (Ton/year)	(A)		(B)	(C)	GHG Reductions	
		(Landfilling)	(Incineration)	(Recycling)	(Recycling & Incineration)	(B-A)	(C)
Aluminum cans	709	28		-6,305	-6,305	-6,333	-6,333
Steel Cans	8,865	355		-15,958	-15,958	-16,312	-16,312
Glass	6,383	255		-1,787	-1,787	-2,043	-2,043
Mixed Papers	81,562		-38,217	-289,109	-38,217	-250,892	-38,217
general	21,632		-10,600	-76,143	-10,600	-65,544	-10,600
residential	31,206		-14,979	-109,846	-14,979	-94,867	-14,979
offices	28,724		-12,639	-103,119	-12,639	-90,481	-12,639
Mixed Plastics	54,966		68,707	-53,866	68,707	-122,574	68,707
Combustible Etc	191,493		-26,809	-	-26,809	-	-26,809
Total	354,617		4,319	-367,028	-20,369	-398,154	-21,008

(A) Baseline Scenario, (B) Alternative Scenario, (C) Optimal Scenario

로 만들어 에너지회수 방식으로 처리하는 편이 더 효과적이고, 가연성 기타류는 재활용처리보다 단순 소각처리가 효과적이다. 따라서 본 연구에서 제안한 폐자원별 처리방식을 적용 시 연간 총 에너지 절감량은 2,068,948 Million Btu로 분석되었다.

에너지 절감량을 등가의 원유량으로 에너지 환산(1 Million Btu = 5.8 Barrels of Oil)한 후, 2012년도 원유의 연평균 수입 가격 (104.9 \$/bbl)과 연평균 환율 (1126.43 ₩/\$)을 적용하여 산출한 폐자원의 경제적 기대효과는 다음과 같았다. 절감된 2,068,948 Million Btu의 에너지량은 356,715 배럴의 원유 사용을 대체한 효과와 같으며 연간 약 422억 원의 비용을 절감한 효과와 같다.

### 3.4. 온실가스 저감 효과

3.1항에서 산출된 폐자원을 기존방식 (매립 또는 소각)으로 처리하는 경우와 대안방식 (재활용)으로 전환하여 처리하는 경우에 예상되는 온실가스 배출량을 Table 6에 나타내었다. 기존방식으로 처리 시 총 4,319 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 배출 되었고 대안방식으로 전환하여 처리 시 총 398,154 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 저감되었다. 대안방식으로 전환하여 처리 시 폐자원별 온실가스 저감량은 종이류가 -250,892 MTCO<sub>2</sub>E (일반지역 -65,544 MTCO<sub>2</sub>E, 주거지역 -94,867 MTCO<sub>2</sub>E, 사무지역 -90,481 MTCO<sub>2</sub>E)로 가장 컸고 플라스틱류

-122,574 MTCO<sub>2</sub>E, 철캔류 -16,312 MTCO<sub>2</sub>E, 알루미늄캔류 -6,333 MTCO<sub>2</sub>E, 유리류 -2,043 MTCO<sub>2</sub>E 순이었다. 가연성 기타류는 구성성분들이 다양하여 재활용처리에 따른 온실가스 배출 계수가 결정되지 않아 온실가스 배출량을 산출할 수 없었다<sup>9)</sup>.

종이류는 기존방식인 소각처리 시 38,217 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 저감되고, 대안방식인 재활용처리 시 289,109 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 저감된다. 따라서 기존 방식에서 대안방식으로 전환하여 처리하면 250,892 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 저감된다. 물론 종이류도 재활용처리방식이 소각처리방식보다 온실가스 저감에 효과적이다. 왜냐하면 폐지는 펄프의 사용량을 대체하므로 산림의 훼손을 줄일 수 있고, 산림은 대기 중에 존재하는 이산화탄소를 격리 (forest carbon sequestration) 시켜 온실가스를 저감시키는 역할을 하기 때문이다. 하지만 종량제봉투 내 종이류는 재활용자원으로서의 가치가 낮아 단순 소각처리 또는 펄프로 재활용하기보다는 플라스틱류와 함께 SRF로 만들어 에너지회수 방식으로 처리하는 편이 더 효과적이다.

플라스틱류는 기존방식인 소각처리 시 68,707 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 배출되고, 대안방식인 재활용처리 시 53,866 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 저감된다. 따라서 기존 방식에서 대안방식으로 전환하여 처리하면 122,574 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 저감된다. 플라스틱류는 소각처리 시 온실가스 저감에는 부정적이나 종량제봉투 내 플

라스티류가 대부분 필름류 포장재이고 1회용 봉투도 상당량 포함되어 있어 단순 소각처리하기보다는 RPF로 만들어 에너지회수 방식으로 처리하는 편이 더 효과적이다.

철캔류는 기존방식인 매립처리 시 355 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 배출되고, 대안방식인 재활용처리 시 15,958 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 저감된다. 따라서 기존방식에서 대안방식으로 전환하여 처리하면 16,312 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 저감된다. 결과적으로 철캔류는 매립 대신 재활용 되어야 한다. 우리나라 철강산업의 이산화탄소 배출량은 2008년을 기준으로 8,600만 MTCO<sub>2</sub>E로 국가 전체의 약 14%, 산업부문의 약 29%를 차지한다. 또한, 철광석으로부터 1톤의 철강을 생산하는 데에는 약 1.6톤 ~ 2.4톤의 이산화탄소가 배출되며, 원료로서 철스크랩을 사용하는 전기아크로에션 약 0.9톤의 이산화탄소가 배출된다<sup>20)</sup>. 이렇듯 철강 생산이 온실가스를 대량 배출함에도 불구하고 국내 철캔류의 재활용률이 낮은 이유는 철캔류와 알루미늄캔류가 섞여 수거되면 철캔류를 손으로 골라내거나 자석을 돌려 쏘아내야 하므로 경제성이 떨어지고, 철캔류는 소비자에게 색상을 더 선명하게 보이기 위해 주석도금과 페인트 코팅을 입힌 위에 인쇄하므로 이와 같은 불순물들을 분리하기가 어렵다. 따라서 철캔류의 재활용률을 높이기 위해선 분리수거 세분화, 재질 식별 의무화 및 제품 설계 단계에서부터 재활용 개념의 도입이 필요하다.

알루미늄캔류는 기존방식인 매립처리 시 28 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 배출되고, 대안방식인 재활용처리 시 6,305 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 저감된다. 따라서 기존방식에서 대안방식으로 전환하여 처리하면 6,333 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 저감된다. 결과적으로 알루미늄캔류는 매립 대신 재활용 되어야 한다. 우리나라는 보크사이트 및 알루미늄 지금을 전량 수입하고 있는데 보크사이트는 대부분 수산화알루미늄 (Al(OH)<sub>3</sub>) 제조용으로 사용되며 알루미늄 지금은 가공하여 알루미늄제품으로 만드는 2차 생산이 대부분이다<sup>25)</sup>. 따라서 우리나라의 경우 보크사이트에서 알루미늄 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)를 생산하는 1차 생산에 비해 온실가스 배출량은 비교적 작지만 2004년도부터는 탄산음료 및 주류 등에서 알루미늄캔류의 사용량이 급증하고 있어 제조공정에서 배출되는 온실가스량도 함께 증가하고 있다. 알루미늄캔류의 재활용률을 높이기 위해서는 단순히 알루미늄캔류의 회수뿐만 아니라 투피스 철캔류에 사용된 알루미늄 뚜껑 및 손잡이가 반드시 회수되어 재활용될 수 있도록 방안을

모색해야 한다.

유리류는 기존방식인 매립처리 시 255 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 배출되고, 대안방식인 재활용처리 시 1,787 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 저감된다. 따라서 기존방식에서 대안방식으로 전환하여 처리하면 2,043 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 저감된다. 결과적으로 유리류는 매립 대신 재활용되어야 한다. 유리류는 유리제조에 필요한 원료물질을 값싸고 손쉽게 구할 수 있고 주거지역에서 배출되는 유리류는 대부분 유리컵, 세라믹 및 단열유리 등으로 이것들은 녹는 온도가 서로 다르기 때문에 재활용되기 어렵다. 또한, 유리는 단위부피당 무게가 많이 나가 수송비용도 많이 발생한다. 따라서 유리류는 파손되지 않은 유리병처럼 수회 재사용 (reuse)하여 발생원 감량 (source reduction)을 할 수 있다면 온실가스 저감에 효과적이겠지만 재활용처리되는 경우에는 온실가스 저감 효과를 크게 기대하기는 어렵다. 그럼에도 불구하고 매립처리된 유리류는 분해되지 않아 매립장 안정화에 도움이 되지 않는다는 점을 고려한다면 유리류의 재활용처리는 필요하다.

결론적으로 본 연구에서 제안한 폐자원별 처리방식을 적용 시 연간 총 온실가스 저감량은 21,008 MTCO<sub>2</sub>E로 분석되었다. 저감된 21,008 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스량은 1년 동안에 승용차 1대가 배출하는 이산화탄소량이 약 5.1톤임을 고려할 때, 약 4,119대의 승용차를 운행하지 않은 효과와 같다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 종량제봉투 내 폐자원에 대한 최적 처리방안을 도출하기 위해 인천광역시를 대상으로 종량제봉투에 혼입되어 폐기되는 자원에 대한 현황을 조사하였고, 폐자원에 대한 처리방식별 에너지 절감 및 온실가스 저감 효과를 U.S. EPA WARM을 이용하여 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 종량제봉투 안에는 재활용 가능자원이 4.5% (알루미늄캔류 0.2%, 철캔류 2.5%, 유리류 1.8%), 소각 등으로 에너지회수가 가능한 자원이 92.5% (종이류 23.0%, 플라스틱류 15.5%, 가연성 기타류 54.0%) 및 매립이 필요한 불연성 기타류가 3.0%로 분석되었다.
2. 폐자원별 최적 처리방안은 알루미늄캔류, 철캔류 및 유리류는 매립처리보다 재활용처리가 효과적이며, 종이류와 플라스틱류는 단순 소각처리보다 SRF로 만들어 에너지회수처리 하는 편이 더 효과적이며, 가연성 기타

류는 재활용처리보다 단순 소각처리가 효과적인 것으로 분석되었다.

3. 본 연구에서 제안한 폐자원별 처리방식을 적용하면 2,068,948 Million Btu의 에너지가 절감되고, 21,008 MTCO<sub>2</sub>E의 온실가스가 저감되는 것으로 분석되었다. 총 에너지 절감량을 경제적 효과로 환산하면 연간 약 422억 원의 비용절감 효과가 있으며, 총 온실가스 저감량을 승용차의 이산화탄소 배출량으로 환산하면 연간 약 4,119대의 승용차를 운행하지 않은 효과와 같은 것으로 분석되었다.

4. 종량제봉투 내 가연성 물질이 연료로써 활용 가능 여부를 알아보기 위해 저위발열량을 측정된 결과 종이류와 플라스틱류를 적절하게 혼합하면 SRF로 활용이 가능하고, 기계적·생물학적 처리공정인 MBT시설과 연계한다면 큰 효과를 기대할 수 있을 것으로 기대된다.

### References

1. Ministry of Environment, 1995 : Environment White Paper
2. Ministry of "Environment, 2013 : Environment White Paper
3. Korea Energy Economics Institute, 2013 : Yearbook of Energy Statistics
4. Korea Energy Management Corporation, 2013 : New & Renewable Energy Statistics 2012
5. Ministry of Trade, Industry & Energy, 2014 : 2th National Energy Basic Plan
6. Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, 2014 : National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea
7. Korea Environment Corporation, 2013 : Status of the national waste generation and treatment 2012
8. Hwang, J. S., et al., 2005 : *Introduction of Waste Treatment*, 2nd. ed., pp. 58-65, DongHwa Technology Publishing Co., Korea
9. U.S. EPA., 2006 : Solid Waste Management and Greenhouse Gases A Life-Cycle Assessment of Emission and Sinks
10. Ministry of Environment, 2013 : 4th National Waste Survey (2011~2012)
11. Ham, S. C., 2009 : Activation Plane of the Recycling of Packaging Films, *J. Soc. Sci.*, 26 (1), pp. 1-28.
12. Incheon Development Institute, 2007 : Status of Automated Waste Collection System and Scheme of Management hereafter
13. Ministry of Environment, 2013 : Standards of the quality and grade of solid refuse fuels
14. Ham, K. J., et al., 2009 : Quality Assessment by MSW Type for High-quality and Low-pollution RDF, *J. Environ. Impact Assess.*, 18 (6), pp. 453-460.
15. Min, B. H., et al., 2010 : A Study on the new MBT management system with variations of MSW's seasonal emission characteristics, *J. of KORRA*, 18(4),
16. Jo, M. H., Lee, B. J. and Lee, J. Y., 2012 : Effect of Modified MBT Process on the RDF Yield and Characteristics, *Kor. Solid Waste Eng. Soc.*, 29 (8), pp. 785-792.
17. Min, D. K., 2006 : A Study on the Estimation of Recycling Cost of Waste Plastics, *J. Korea Soc. of Environ. Admin.*, 12 (2), pp. 69-76.
18. Kim, J. K., 2009 : Study on applicability of RDF in Municipal Waste Landfill Site, *J. Environ. Sci.*, 18 (10), pp. 1181-1187.
19. [http://www.paper.or.kr/n\\_indu/indu\\_02.asp](http://www.paper.or.kr/n_indu/indu_02.asp)
20. Korea Institute for Industrial Economics & Trade, 2012 : Global Environmental Changes and Response Strategies of the Steel Industry
21. Korea Environment Corporation , 2013 : Specify recycling business recycling performance (2012)
22. Chung, J. H., 2001 : The Point at Issue of the Recycle Policy and the Course of Policy in Our Nation", The Graduate School of International Business & Commerce, Paichai University, pp. 33-34.
23. <http://can.or.kr/pds/data.asp>
24. Kim, J. Y. and Yoo, K. Y., 2013 : *Recycling City*, 1st ed., Hanulbooks, Korea.
25. Korea Energy Management Corporation, 2009 : Good Practice Guidelines for Estimation of Greenhouse Gas Emissions of Non-ferrous Metals Industry

---

### 박 상 준

- 서울시립대학교 화학공학과 석사
- 현재 서울시립대학교 화학공학과 박사과정

---

### 김 의 용

- 서울대학교 화학공학과 박사
  - 현재 서울시립대학교 화학공학과 교수
-