



PVC재질 프로파일의 생산, 발생 및 재활용, 처리에 기반한 물질흐름도 검토

배재근[†] · 정오진

서울과학기술대학교 에너지바이오대학 환경공학과
접수일(2012년 5월 11일), 수정일(2012년 5월 17일), 게재확정일(2012년 5월 23일)

Investigation on Material Flow Diagram for PVC(poly vinyl Chloride) Profile Based Production, Generation, Recycling and Treatment

Chaegun Phae[†] and Oh Jin Jung

School of Energy and biotech., Environment Engineering,
Seoul National University of Science and Technology

(Received May 11, 2012, Revised May 17, 2012, Accepted May 23, 2012)

요약 : 본 연구에서는 현실적으로 실현가능한 플라스틱 제품의 재활용률을 산정하기 위하여 PVC프로파일에 대한 물질흐름도를 작성하는 것을 목적으로 연구가 수행되었다. 이를 위해 합성수지 및 제품별 생산 현황 조사, 폐기물 발생 및 재활용 현황 조사, 재활용 실태 현황 조사, 제품별 물질흐름 검토를 거쳐 내구성 플라스틱의 발생부터 폐기까지의 조사를 실시하여 물질흐름도를 작성하였다.

제품별 재활용이 가능한 비율을 산정한 결과, PVC바닥재와 PVC프로파일의 경우 국내에서 사용된 제품의 내수량의 합이 525,448톤이고, 폐기물 배출량은 105,853톤으로 나타났다. 재생제품과 재활용원료의 생산량 합계는 76,004톤으로 제품의 내수량에 대비하면 2009년 의무량 8.5%에 비교하여 연구를 통한 재활용량은 추정량 14.46%로 산출되었다. 향후 각 품목의 연도별 사용량은 해당제품의 생산량이 현재와 크게 차이가 없을 것으로 가정하고 연도별 생산량에 대입한 후 5~20년 뒤의 물질수지도를 작성한 결과, 재활용률은 지속적으로 상승하여 바닥재 및 프로파일은 2013년에 20% 수준의 재활용률에 도달될 것으로 예측되었다.

ABSTRACT : The objective of this study was to estimate the practical recycling rate of plastic products, so that the study was conducted to build material flow diagram for PVC profile. For this objective, product generation, waste generation and recycling status were investigated. Using collected and analyzed status data, analysis of material flow by product and building material flow diagram were conducted.

As result of estimating the recycling rate by product, The sum of domestic demand was 525,448 ton and waste generation was 105,853ton in PVC flooring and profile. The sum of generation of recycling product and raw material was investigated to be 76,004ton(14.46%), which is higher compared to recycling obligation(8.5%) in 2009. To build the material flow diagram in the years(5~20years) ahead, prediction of future demand was based on the assumption that there will be no difference in annual generation of current and future. As the recycling rate of flooring and profile increases, it is estimated to reach 20% in 2013 according to the material flow diagram.

Keywords : PVC Profile, durability plastic, voluntary agreement, recycling

I. 서 론

우리나라의 폐기물관리는 1960년대와 1970년대의 오물청소법 시대를 거쳐서 1978년 환경보전법이 제정되어 사업장폐기물이 관리되었다. 이후 1986년 폐기물관리법이 제정되어 선진

국형 폐기물정책을 수립하기에 시작했으며, 이 법에서는 특히 재활용 개념이 처음 도입되었다. 1993년에 「자원의절약과재활용촉진에관한법률」이 제정되면서 폐기물관리체제가 본격적으로 정착되었으며, 이후 폐플라스틱 등의 폐기물관리를 위하여 폐기물부담금 및 예치금제도, 쓰레기종량제, 생산자책임재활용제도 등의 관련제도들이 도입되었다.

폐기물부담금제도는 폐기물 발생을 억제하고 자원낭비를 막기 위하여 유해물질을 함유하고 있거나 재활용이 어렵고

[†]Corresponding Author. E-mail: phae@seoultech.ac.kr

폐기물 관리상의 문제를 초래할 가능성이 있는 제품의 제조·수입업자에게 그 폐기물 처리에 드는 비용의 일부를 부담하게 하는 제도이다.

최근에는 폐기물부담금을 부과하는 제품에 대하여 규제를 강화하기 위해 환경부에서 「자원의절약과재활용촉진에관한법률」 시행령을 개정하면서 폐기물부담금 산출기준을 대폭 인상시켰다. 플라스틱 제품에 대한 폐기물부담금 부과율은 종전 합성수지투입 kg당 3.8~7.6원이었으나, 2008년 1월부터 합성수지투입 kg당 75~150원으로 약 20배 이상 상승하였다. 그에 따라 플라스틱 제품의 평균가격이 kg당 1,500원~1,800원 수준인 상황에서 폐기물부담금을 kg당 150원이나 부과하게 되어 플라스틱 업계에서는 폐기물부담금의 인상률뿐 아니라 제도자체를 수용하기 어려워하고 있다.

이러한 부담금에 의한 문제점을 해결하기 위하여 환경부에서는 2008년부터 폐기물부담금 대상제품 중에서 사업자가 재활용이 가능하다고 판단되는 제품에 대해 사업자 스스로 협약을 체결하여 재활용의무량을 부여하는 자발적 협약 제도를 만들어 플라스틱 제품 등의 재활용을 유도하였다.

자발적협약 내에서 목표재활용률은 해당제품의 연도별 생산량, 국내 출고량, 시장 점유율, 합성수지 투입량 등을 고려하여 산정하고 있으나, 관련제품인 단열재용 스티로폼, 전선피복, PE관, PVC관, PVC바닥재, PVC프로파일 등은 내구재인 건축용 자재로서 한번 사용 후에는 수십년이 지난 후에 배출되어 생산량에 대비하여 재활용률을 산출하는데 어려움이 따르고 있다.

현재 자발적 협약 내에서 설정되어 있는 재활용률에 대한 세부적인 근거가 부족한 것으로부터 업체가 자발적으로 실현 가능한 플라스틱 제품의 재활용률을 산정하고, 해당제품의 생산 및 폐기물 처리경로를 조사하여 신뢰성 및 합리성이 있는 자료의 확보가 필요하다. 자발적 협약 내에서 제시되어 있는 의무재활용에 대하여 근거가 부족한 실정이며, 제품의 현실적인 재활용률을 산정하기 위해서는 생산, 사용되는 플라스틱 및 사용되고 난 뒤 폐기 혹은 재활용되는 플라스틱에 관한 물질 흐름 경로를 객관적이고 과학적으로 분석이 요구된다.

본 연구에서는 해당제품의 처리현황에 대한 기존 통계자료들을 조사·검토하고, 이후 해당제품의 처리현황에 대한 표본 조사를 실시하여 내구성 플라스틱의 자발적 협약제도의 발전 방안에 이용될 수 있는 기초자료를 확보하기 위하여 실시되었다. 본 연구에서는 자발적 협약을 실시하고 있는 품목 중에서 내구성 재료로서 분류되는 ‘단열재용 스티로폼, 전선피복, PE관, PVC관, PVC바닥재, PVC프로파일’에 대하여 플라스틱의 생산, 이용, 폐기, 재활용 등을 조사하여 최종적으로 물질흐름도를 작성하였으며, 본 연구에서는 PVC재질 프로파일에 대하여 소개하기로 한다.

II. 조사·분석 내용 및 방법

1. 합성수지 생산 현황 분석

조사대상의 내구성 플라스틱으로 제조되어진 제품은 다양한 합성수지와 연관관계를 가지고 있으며, 특히 PE, EPS, PVC와 연관관계를 가지고 있다. 본 연구에서는 국내에서 생산되는 합성수지에 대하여 생산현황을 조사하였다. 합성수지의 특성에 따라 사용되는 용도를 전기, 전자, 토목 등의 산업계와, 용기류, 포장재, 생활용품 등의 생활계로 구분할 수 있으며, 세부분류 내에서 성형용, 피복용, 건축자재용, 문구 및 완구용 등으로 분류되고 있다. 각각의 합성수지가 생산되는 용도 및 특성에 따라 최종제품의 생산까지의 전과정에 대해 조사하였다.

2. 제품별 생산 및 사용현황 분석

수지에 각종 안정제 등의 첨가제를 첨가하여 다양한 제품을 생산하게 되며, EPS를 이용하여 단열재스티로폼, 샌드위치 판넬 등을, PVC를 이용하여 전선, 관, 창문틀, PE를 이용하여 관 등의 다양한 제품을 생산하게 된다. 본 연구에서는 수지 및 제품의 용도별 수요현황을 분석하여 제품 사용량을 조사하였으며, 해당제품의 플라스틱 생산업체 표본조사를 실시하여 해당제품의 플라스틱 제조업체에 대하여 설문조사를 실시하여 통계의 신뢰성을 높이도록 하였다.

3. 제품별 폐기물 발생 현황 분석

해당제품의 폐기물 발생 현황을 분석하기 위하여 폐기물로 발생되는 시점에서부터 조사를 실시하였으며, 건축물의 철거 업체를 방문하여 설문 및 현장조사를 실시하였다. 또한 건설 폐기물 중간처리업체를 방문하였으며 설문 및 현장조사를 통하여 건축물의 철거 시 발생하는 플라스틱 제품의 물질 흐름을 분석하였다. 또한 해당제품의 단순처리 또는 재활용 현황을 분석하기 위하여 내구성 제품의 반입이 많은 건설폐기물의 소각시설 및 매립시설 총 7시설을 방문하여 반입되는 폐기물에 대하여 표본조사를 실시하였다. 또한 해당제품의 내구성과 사용연수를 고려하여 해당제품이 폐기물로 발생하는 양을 추정하였다.

제품의 수명이 긴 플라스틱 제품을 내구성을 갖는 플라스틱이라 할 수 있으며, 제품수명이 긴 플라스틱 제품은 그에 대한 생명주기를 고려하여 발생량을 추정하여야 한다. 고장률 함수를 기본 개념으로 이용하여 2006년 환경부에서 진행한 ‘제품 등의 자원순환성 향상 방안’ 연구에서 내구성을 가지는 가전제품의 폐기비율의 누적확률함수를 식 (1)과 같이 나타내었다. 함수의 형태는 $f(x) = ax(x-b)^2$, $F(2L) = 1$, $f(2L) = 0$ 으로 가정하고 제품의 수명이 된 시점에서 31.25%가 폐기된다.

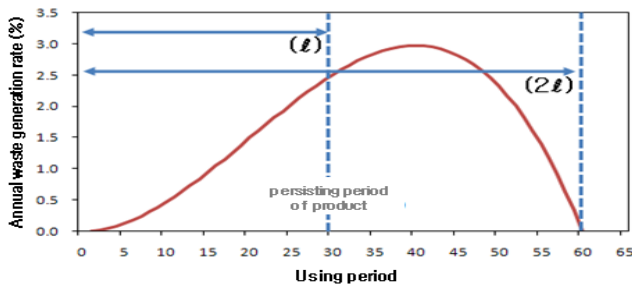


Figure 1. Annual incidence estimator of disposal products (life time : 30years)

$$\text{폐기비율의 누적확률 함수 } F(x) = -\frac{3}{16l^4}x^4 + \frac{1}{2l^3}x^3 \quad (1)$$

또한 식 (2)와 같은 연도별 폐기비율함수를 이용하여 제품의 연도별 생산량과 사용연수에 따라 폐제품의 연도별 발생량을 산출 할 수 있다. 내구성을 갖는 제품의 폐기비율의 누적확률함수와 연도별 폐기비율 함수를 이용하여 해당제품의 내구연수를 대입하고 사용연수를 대입하면 해당제품의 사용연수에 따라 배출되는 폐기물 발생량의 누적비율과 제품에 따른 연도별 폐기물 발생비율을 추정하는 것이 가능하다.

$$\text{연도별 폐기비율 함수 } F(x) = -\frac{3}{4l^4}x^3 + \frac{3}{2l^3}x^2 \quad (2)$$

4. 제품별 재활용 실태 현황 조사

해당제품이 폐기된 후 처리되는 실태를 분석하기 위하여

폐기물 발생 현황 분석에서와 같이 해당제품이 폐기물로 발생 되는 시점에서부터 조사를 실시하였다. 건축물의 철거 시 유가물에 한해서 수집하는 고물상을 방문하여 현장조사 및 설문 조사를 실시하였다. 또한 해당제품을 반입하여 재활용하는 업체를 방문하여 조사를 실시하여 해당제품의 폐기 후 재활용되는 경로에 대하여 분석하였다.

5. 제품별 물질흐름 검토

이와 같이 합성수지 생산 현황 조사, 제품별 생산 및 사용현황 조사, 제품별 폐기물 발생 현황 조사, 제품별 재활용 실태 현황 조사를 실시하여 해당제품별 물질의 흐름도를 작성하고 폐기되는 제품에 대한 재활용률을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 합성수지의 생산 및 용도별 출하 현황

합성수지의 생산량을 Table 1에 나타내었다. 현황은 2003년부터 2008년 까지 수지의 생산, 수출, 수입현황이며, 수지의 생산량은 PS 재질을 제외하고 매년 증가하고 있는 추세를 보여주고 있다. 전체 합성수지생산량에 대해서 PE와 PP의 생산량이 절반 이상을 차지하고 있으며, 전체적으로 수입되는 양은 미비하나 수출되는 양이 높은 것을 알 수 있다. 자발적협약 대상인 플라스틱 6개 제품군에 사용되는 합성수지는 PE, PVC, EPS로서 LDPE, HDPE, PVC 등은 그 생산량이 크게 증가하지 않으나, 점진적으로 증가추세를 보여주고 있다. PE, PP, PS, ABS, PVC의 총생산량은 2008년 기준 10,560,584톤이며,

Table 1. Status of generations and exports and imports (2008)

(unit: ton)

synthetic resins		generation	import	export	stock	domestic consumption
PE	LDPE	694,512	18,723	216,190	79,001	453,232
	LLDPE	913,606	9,386	408,927	62,538	498,365
	HDPE	2,057,606	9,017	1,203,909	130,538	878,269
	sub total	3,665,724	37,126	1,829,026	272,077	1,829,866
PP		3,267,303	23,171	2,026,392	204,684	1,276,117
PS		646,805	29,536	461,074	42,071	206,277
EPS		348,393	2,463	134,954	11,219	221,462
ABS		1,234,095	7,237	1,092,780	62,968	154,285
PVC		1,398,264	27,624	533,906	81,372	858,477
total		10,560,584	127,157	6,078,132	674,391	4,546,484

수출량과 재고량을 제외하고 합성수지의 수입량을 합한 후 국내에 소비된 주요 범용수지의 총량은 4,546,484톤으로 나타났다. 본 연구 대상인 PVC는 140만이 생산되어 60만톤이 수출되고, 85만톤이 국내에서 이용되고 있다.

Table 2에는 PVC의 연도별 수급추이를 나타내었다. 2004년부터 2008년까지 최근 5년간 연평균 PVC의 총 생산량은 1,344천톤으로 나타났다. 최근 5년간 PVC의 생산, 수출, 국내수요량의 수급추이에서 나타난 것과 같이 2004~2005년에는 총 생산량이 크게 변하지 않았으나, 이후 점차적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 국내에서 사용되는 PVC의 사용량과 생산되어 수출되는 제품의 사용량이 점차적으로 증가한 것에 기인한 것으로 판단된다.

Table 3에는 PVC의 용도별 출하 비중을 나타내었다. PVC는 캘린더성형으로 사용된 양이 2008년 기준 34.6%로 나타나 꾸준히 가장 높은 비중을 차지하였고, 뒤이어 이형압출이 31.6%로 높게 나타났다. 또한 PVC프로파일 등의 사용이 증가함에 따라 이형압출의 비중이 점차 증가하고 있는 실정이다.

2. PVC의 용도별 사용량

PVC는 2008년 기준 약 858천톤이 사용되었다. PVC 수지의 경우 생활계 및 농업계에서는 이용되지 않고 산업계 제품을 생산하는데 주로 사용되는 것으로 나타났다. 캘린더성형을 이용하여 경질·연질 시트/필름, 레자, 데코 시트, 랩 등을 생산하는데 연간 약 339천톤을 사용하였다. 수도관, 하수관, FG관, FC관, 전선관, 이중벽관, 이음관 등을 생산하는데 연간 약 114천톤이 사용되었다. 전선 및 케이블의 피복 등을 생산하는데 연간 약 115천톤, 전기전자 부속품에 15천톤이 사용되었으며, 호스 등에 16천톤, 건축물의 창틀과 문틀 등을 생산하는데 연간 약 134천톤이 사용되었다. 이외에 이형압출에 74천톤, 기타 용도 제품들을 생산하는데 연간 약 5만2천톤이 사용된 것으로 나타났다.

3. PVC의 용도별 생산 및 제품 생산

3.1 생산업체 현황

환경부와 자발적 협약을 체결하고 PVC바닥재 및 PVC프로

Table 2. Annual changes of demand and supply of PVC

(unit: ton)

	generation	release			stock	import	omestic consumption
		domestic	export	sub total			
2004	1,254,718	838,324	392,291	1,230,615	65,461	21,298	859,813
2005	1,333,815	839,455	499,482	1,338,937	60,340	50,768	890,223
2006	1,361,309	855,506	517,841	1,373,347	48,306	47,516	903,022
2007	1,374,178	950,604	462,755	1,413,359	48,409	26,301	976,905
2008	1,398,264	830,853	533,906	1,364,759	81,372	27,624	858,477

Table 3. Annual release weight of PVC profile

(unit: %)

	calendar	pipe& component	profile extrusion	extrusion film/sheet	compound	shoes	hosepipe	others	total
2004	39.5	12.8	24.2	1.7	12.3	0.0	1.9	7.6	100
2005	37.3	11.9	28.2	1.2	11.8	0.0	1.3	8.3	100
2006	35.8	10.9	30.3	1.0	11.0	0.1	1.4	9.5	100
2007	36.8	12.3	32.0	0.9	11.2	0.0	2.0	4.8	100
2008	34.6	12.9	31.6	1.5	12.6	0.1	1.8	4.9	100

Table 4. functional release weight of PVC (2008)

(unit: %)

	calendar	pipe& component	profile extrusion	extrusion film/sheet	compound	shoes	hosepipe	others	total
rate	34.6	12.9	31.6	1.5	12.6	0.1	1.8	4.9	100

파일을 생산하는 업체는 총 10개 업체이다. 10개 업체 중 3개 업체는 PVC바닥재와 PVC프로파일을 모두 생산하고, 7개 업체는 각각 1개의 품목을 생산하고 있다.

3.2 제품생산 현황

석유화학 통계자료에서 제시되고 있는 PVC수지의 2008년 생산량은 1,398,264톤이다. 이중 533,906톤을 수출하고, 27,624톤의 원료를 수입하여 국내에서 PVC수지를 이용하여 제품을 생산하는데 사용된 양은 858,477톤이다. Table 4에는 PVC수지의 용도별 출하 비중을 나타내었다. PVC수지의 용도는 캘린더, 파이프&부품, 이형압출, 압출필름/시트, 화합물, 신발, 호스 등으로 나눌 수 있다. PVC바닥재는 캘린더 성형의 용도에 해당하며, 2008년 기준 PVC수지의 전체 사용량 중 34.6%의 양이 소비된 것으로 나타났다. PVC프로파일은 이형압출의 용도에 해당하며, 2008년 기준 PVC수지의 전체 사용량 중 31.6%의 양이 소비된 것으로 나타났다.

이와 같이 석유화학 통계자료에 의하면 PVC수지가 국내에 858,477톤이 소비되어 캘린더 성형의 용도로 34.6%가 사용되어 2008년 PVC바닥재를 생산하는데 297,033톤 중 일부가 사용된 것으로 나타났다. 또한 이형압출의 용도로 31.6%가 사용되어 2008년 PVC프로파일을 생산하는데 271,279톤 중 일부가 사용된 것으로 나타났다. Table 5에는 환경부와 자발적 협약을 체결하여 재활용의무를 이행중인 ‘한국바이닐환경협의회’의

내부자료 중 협약 체결 사업자의 연도별 PVC바닥재 및 PVC프로파일 생산현황을 나타내었다.

자발적 협약 체결 사업자는 2008년 53,205톤의 PVC수지 신원료를 사용하여 372,424톤의 PVC바닥재를 생산하였고, 299,416톤을 국내에 출고하였다. 또한 PVC프로파일을 생산하는데 자발적 협약 체결 사업자는 134,200톤의 PVC수지 신원료를 사용하였으며, 187,591톤의 PVC프로파일을 국내에 출고한 것으로 조사되었다. PVC프로파일의 경우 통계청에서 ‘플라스틱샤시마’ 품목으로 통계를 작성하고 있으며, 2008년 국내에서 생산된 PVC프로파일의 총 생산량은 236,814톤이고 10,782톤의 재고를 제외하고 226,032톤이 출고되어 사용된 것으로 나타났다.

3. PVC프로파일의 사용실태

PVC프로파일이 사용되는 용도별 종류로는 일반적으로 하이사시로 부르는 창호로 사용되며, 창틀, 문틀로 사용되어 건축물의 구조에 부착되는 창틀, 유리 등을 끼워 실제 문의 역할을 하는 창문 그리고 방충망 등 기타 부속으로 구분되어 사용되는 것으로 조사되었다. 생산, 판매 및 시공업체 실태조사 결과 PVC프로파일의 내구연수는 아파트의 재건축 기간을 기준으로 하여 약 30년인 것으로 조사되었으며, 설치 시 발생하는 시공로스의 비율은 창틀이 0.5%, 창문과 기타 부속 등은

Table 5. Annual generation of PVC profile

(unit: ton)

	PVC profile				
	company status			data(Statistics Korea)	
	generation	release	raw material input	generation	release
1995	61,819	61,951	48,322	83,811	83,312
1996	65,879	66,425	51,811	86,148	84,671
1997	75,661	75,687	59,036	91,067	87,973
1998	57,193	57,726	45,026	64,149	64,795
1999	76,482	75,493	57,375	83,660	80,478
2000	98,595	98,431	74,808	123,936	122,021
2001	155,100	150,079	114,060	178,002	170,811
2002	189,968	189,029	143,662	205,093	204,012
2003	178,659	174,707	137,333	202,528	201,165
2004	185,453	183,406	142,104	206,731	205,357
2005	192,592	184,196	127,550	214,121	209,780
2006	199,000	185,000	130,407	233,268	228,357
2007	-	186,139	129,214	256,813	235,563
2008	-	187,591	134,200	236,814	226,032

*09 company status of voluntary agreements and data of Statistics Korea

Table 6. Investigation result of actual use of PVC prople

use	persisting period	loss of construction	using rate	production time(year)
window frame	30년	0.5%	50%	1976
window	30년	1%	40%	1976
others	30년	1%	10%	1976

1%인 것으로 조사되었다. PVC프로파일의 용도별 사용비율을 조사한 결과 창틀이 약 50%, 창문과 기타 부속이 각각 40%와 10%의 비율로 사용 및 판매되고 있는 것으로 조사되었다.

4. 폐플라스틱의 발생 및 처리경로

4.1 폐플라스틱의 발생 및 처리 현황

플라스틱 제품은 일반 가정에서의 일상생활과 건설업 및 산업현장 등 광범위한 분야에서 사용된다. 폐제품은 해당되는 각 배출경로를 통해 배출되어 수집·운반 등의 이동경로를 거쳐 재활용 불가능한 제품은 매립·소각으로 최종 처리되며, 재활용 및 재사용이 가능한 제품에 대하여는 해당 합성수지별 재활용시설에서 재활용 되는 것이 일반적이다. 각종 폐기물 중의 폐플라스틱의 발생 및 처리현황을 Table 7에 나타내었다.

Table 7. Generation and treatment status of waste plastic

(unit: ton/day)

		2003	2004	2005	2006	2007	
domestic waste plastic	total	3,956.4	4,086.2	4,078.2	4,510.2	4,530.9	
	combustible	sub total	2,605.7	2,641.9	2,490.0	2,721.3	2,859.1
		landfill	1,615.9	1,582.8	1,278.5	1,310.6	1,196.5
		incineration	931.3	1,020.9	1,172.4	1,319.7	1,569.0
		recycling	58.5	38.2	39.1	91.0	93.6
	recycling product	sub total	1,350.7	1,444.3	1,588.2	1,788.9	1,671.8
		landfill	36.1	40.1	14.8	13.4	0.0
		incineration	16.3	10.8	12.2	12.8	0.0
		recycling	1,298.3	1,393.4	1,561.2	1,762.7	1,671.8
	industrial waste plastic	total	4,320.5	4,561.1	5,790.3	6,858.5	6,176.5
landfill		380.8	321.6	208.0	285.4	204.3	
incineration		2,993.8	3,071.0	3,957.7	4,245.7	3,381.5	
recycling		945.9	1,168.5	1,624.6	1,369.8	2,589.9	
others		0.0	0.0	0.0	957.6	0.8	
construction waste plastic	total	1,445.3	1,687.2	1,003.5	946.8	947.7	
	landfill	371.3	305.2	91.7	1.6	0.7	
	incineration	750.9	947.8	574.2	792.2	792.1	
	recycling	323.1	434.2	337.6	153.0	154.9	

Table 8. Survey results of treatment rate of PVC profile

PVC profile		window frame	window	others
	disposal	10%	5%	5%
separation	90%	95%	95%	

4.2 해당제품의 폐기 후 처리비율

본 연구에서의 PVC프로파일은 건축물의 구조재 및 내장재로 사용되는 제품이다. 따라서 해당제품의 폐기 시 단일품목으로 100% 분리 배출되지 않는 특징이 있으며, 예로 건축용 단열재의 경우 건축물의 외벽 내부에 설치되어 있으므로 폐기 시에 단열재 단일품목을 분리하여 선별이 어려우며, 비교적 폐제품 회수율이 높은 바닥재의 경우에도 건축물 철거 시 고물상 등의 유가물 수집업자가 100% 회수하지 못하는 실정이다.

이와 같이 해당제품의 폐기 후 분리 배출되는 비율과 혼합 배출되는 비율을 조사하기 위하여 건축물 등의 철거전문업체를 대상으로 설문을 실시하였으며, 조사한 결과를 종합적으로 정리하여 Table 8에 나타내었다. PE 및 PVC의 관의 경우에는 분리회수 비율이 낮은 것을 알 수 있으며, 창문 및 창문틀의 경우에는 매우 높은 것을 알 수 있다.

4.3 폐기물중의 관련 제품의 함량 비율의 조사분석

폐기물의 소각시설과 매립시설에 반입되어 있는 폐기물을 대상으로 성분분석을 실시한 결과 페플라스틱류는 생활계에서 배출하는 식품용기류, 식품포장재, 위생주방용기, 사무용품 등이 대부분을 차지하는 것으로 분석되었다. 이외 본 연구에서의 해당제품인 PVC관, PVC바닥재, PVC프로파일은 소각 및 매립시설에 반입되는 양이 매우 적은 것으로 나타났다.

표본조사를 실시한 각 시설의 폐기물처리량이 상이하기 때문에 아래 표에 나타난 바와 같이 각 시설별 최근년도 폐기물처리량과 표본조사를 통하여 분석된 각 해당제품의 조성 비율을 이용하여 각 조성별 가중치평균 조성비를 분석하였다.

해당제품이 폐기되는 현황분석을 위한 표본조사를 실시한 결과 소각 및 매립시설에 반입되는 폐기물 중 각 해당제품별로 0.01%~0.08%의 비율로 포함되어 폐기되고 있는 것으로 나타났다. 표본조사를 통하여 소각 및 매립시설에 해당제품이 반입되는 것으로 조사되었으나, 그 양은 매우 적은 것으로 분석되어 건축용으로 사용되는 단열재용 스티로폼, 전선피복, PE관, PVC관, PVC바닥재, PVC프로파일의 경우 재사용이 불가능하여 폐기되는 현황은 매우 낮은 것으로 분석되었다.

표본조사를 바탕으로 해당제품의 가중평균을 산출한 결과를 이용하여 환경부에서 발표하는 ‘전국 폐기물 발생 및 처리 현황’의 생활계 및 사업장계 폐기물 발생량에 대입하여 해당제품의 발생량을 산출하였다. 그 결과를 아래 표에 나타내었으며, PVC프로파일은 5.53%, 94.47%로 각각 산출되었다.

4.4 PVC프로파일의 폐기물 발생량 추정

용도별 사용된 PVC프로파일의 연도별 생산량과 사용연수, 그리고 교체주기(내구연수)를 이용하여 ‘폐기비율의 누적확률 함수’와 ‘연도별 폐기비율 함수’에 대입하여 올해년도에 발생할 PVC프로파일의 폐기물의 양을 추정하였다.

6개 PVC프로파일 생산, 판매 및 시공업체 실태조사 결과, 창틀과 창문 그리고 기타 샴시는 한번에 교체하기 때문에 교체주기(내구연수)는 동일하며, 실태조사 결과 30년의 교체주기로 나타나 과거 60년간의 생산량을 대입하여 폐기물 배출량

Table 11. Generation ratio of domestic and industrial waste on sample survey

		domestic	industrial	total
PVC propile	weighted average(%)	0.008	0.024	
	calculation(ton/year)	1,470	25,125	33,027
	generation rate(%)	5.53	94.47	100

Table 12. Investigation result of actual use of PVC propile

use	persisting period	loss of construction	using rate	production time(year)
window frame	30years	0.5%	50%	1976
window	30years	1%	40%	1976
others	30years	1%	10%	1976

Table 9. Generation status of PVC profile on sample survey (industrial waste facility)

		A incineration facility	B incineration facility	C treatment facility	analysis results	
PVC propile	generation (kg)	0.1	-	0.21	total (kg)	0.31
	composition ratio (%)	0.04	-	0.05	weighted average composition ratio(%)	0.024
recent treatment (ton)		33,834	28,668	4,489	total (ton)	66,991

Table 10. Generation status of PVC profile on sample survey (domestic waste facility)

		D landfill facility	E landfill facility	F landfill facility	G landfill facility	analysis results	
PVC propile	generation (kg)	-	0.018	0.08	-	total (kg)	0.098
	composition ratio (%)	-	0.009	0.04	-	weighted average composition ratio(%)	0.008
recent treatment (ton)		14,042	73,803	13,889	44,190	total (ton)	145,924

을 산출하여야 하지만, PVC프로파일의 최초 생산시기가 1976년이므로 이전 33년간의 생산량에 대하여 폐기물 발생량을 추정하였다.

올해연도에 발생될 폐기물의 양은 제품의 폐기 후 폐기물처리 계통으로 포함되지 못하고 화재 등의 이유로 발생하는 ‘수거불가 폐제품’ 20%를 제외하여 창고는 4,584톤, 창문은 3,667톤, 기타는 917톤이 배출될 것으로 추정되었다.

4.5 해당제품의 폐기물 발생량

4.5.1 표본조사를 통한 해당제품 재활용현황

본 연구에서의 해당제품인 단열재용 스티로폼, 전선피복, PE관, PVC관, PVC바닥재, PVC프로파일의 폐제품을 수집하여 재활용원료, 재활용제품, RPF를 생산하는 재활용업체에 대하여 표본조사를 실시한 결과를 Table 15에 나타내었다.

재활용업체에서는 대부분이 단열품목을 대상으로 폐제품을 수집하고 있었으며, 재활용공정에 투입하기 전 타 품목을 선별하고 있었다. 공정에 투입된 폐제품은 대부분 분말형태의 재활용원료로 재생산되었으며, 일부 업체에서는 합성수지 신

원료를 합하여 재생제품을 생산하는 것으로 조사되었다. 반입되는 폐제품은 재활용공정을 통하여 95% 이상 재활용원료 혹은 재생제품으로 생산되고 있는 것으로 조사되었다.

표본조사를 통하여 폐PVC프로파일의 처리현황을 조사한 결과를 Table 16에 나타내었다. 합성수지 신원료의 사용량과 첨가물의 투입량을 제외한 폐PVC프로파일의 처리량과 처리방법에 가중치를 두고 폐PVC프로파일의 처리현황을 분석한 결과 재활용원료로 98.43%가 생산되고, 재활용업체 내에서 물질을 순환시켜 재사용하거나 타 재활용업체에 판매하는 용도로 0.23%가 순환되는 것으로 나타났다. 소각으로 1.34%가 최종처분 되는 것으로 분석되었다.

4.5.2 생산부터 폐기까지의 물질수지도

생산부터 폐기까지 물질의 흐름도를 작성한 결과를 Figure 2에 나타내었다. PVC프로파일은 226,032톤이 사용되었으며 10,863톤의 폐기물이 발생하여 소각 및 매립으로 719톤이 폐기되고 폐제품을 이용하여 재생제품과 재활용원료가 10,104톤 생산되는 것으로 분석되었다.

Table 13. Estimation of window frame waste generation (Life time : 30years)

(unit: ton)

	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
1976		0	1	1	2	4	5	7	9	11	13	15	18	20	23	26	29	32	35	38	41	44	47	50	53	56	59	62	65	67	70	72	74	76	
1977			0	1	2	3	4	6	8	10	12	15	17	20	23	26	30	33	36	40	43	47	50	54	57	61	64	67	70	73	76	79	82	84	
1978				0	1	2	3	5	6	9	11	14	17	20	23	26	30	34	37	41	45	49	53	57	61	65	69	73	76	80	83	87	90	93	
1979					0	1	2	3	5	7	10	13	16	19	22	26	30	34	38	43	47	51	56	60	65	69	74	78	83	87	91	95	98	102	
1980						0	1	2	4	6	8	11	14	18	21	25	30	34	39	43	48	53	58	63	69	74	79	84	89	94	99	103	108	112	
1981							0	1	2	4	7	9	13	16	20	24	29	34	39	44	49	55	61	66	72	78	84	90	95	101	107	112	117	122	
1982								0	1	3	5	8	11	14	18	23	28	33	38	44	50	56	62	69	75	82	88	95	102	108	115	121	127	133	
1983									0	1	3	6	9	12	16	21	26	31	37	43	50	57	64	71	78	85	93	100	108	115	123	130	137	144	
1984										0	2	4	6	10	14	19	24	29	36	42	49	57	64	72	80	89	97	106	114	123	131	140	148	156	
1985											0	2	4	7	11	16	21	27	33	40	48	56	64	73	82	91	101	110	120	130	139	149	159	168	
1986												1	2	5	8	13	18	24	31	38	46	55	64	73	83	93	104	114	125	136	147	158	169	180	
1987													1	2	5	9	14	20	27	35	43	52	62	72	83	94	106	118	130	142	155	167	180	192	
1988														1	3	6	11	16	23	31	39	49	59	70	82	94	107	120	134	147	161	176	190	204	
1989															1	3	7	12	19	26	35	45	56	67	80	93	107	121	136	152	167	183	199	216	
1990																1	4	8	14	21	30	40	51	63	76	91	106	122	138	155	172	190	208	226	
1991																	1	4	9	16	24	34	45	58	72	87	103	120	138	157	176	196	216	236	
1992																		1	5	10	18	27	38	51	66	82	99	117	136	157	178	200	222	245	
1993																			1	5	11	20	31	44	58	75	93	112	133	155	178	202	227	252	
1994																				2	6	13	23	35	49	66	85	105	127	151	176	202	229	258	
1995																					2	9	20	35	53	75	100	128	159	193	229	267	306	348	
1996																						2	9	20	35	54	76	102	130	162	196	232	271	311	
1997																							2	9	21	36	56	79	106	136	168	204	241	282	
1998																								2	7	15	27	41	58	78	100	124	150	178	
1999																									2	9	19	33	51	72	97	124	154	186	
2000																										3	13	29	51	78	110	147	188	233	
2001																												5	18	41	71	109	154	205	263
2002																												6	22	48	85	130	184	245	
2003																													5	22	48	83	128	181	
2004																													6	22	49	85	131		
2005																															6	23	50	87	
2006																															6	25	54		
2007																															6	25			
2008																																6			
total		0	1	2	5	9	15	24	36	51	71	96	127	165	210	265	330	407	497	602	726	871	1040	1236	1461	1717	2012	2351	2743	3194	3712	4303	4974	5730	
estimated volume		0	1	2	4	7	12	19	29	41	57	77	102	132	168	212	264	325	397	482	581	697	832	989	1169	1374	1610	1881	2194	2555	2970	3442	3979	4584	

Table 14. Estimation of window waste generation (Life time : 30years)

(unit: ton)

	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1976		0	0	1	2	3	4	5	7	9	10	12	14	16	19	21	23	26	28	31	33	35	38	40	43	45	47	50	52	54	56	57	59	61
1977			0	1	1	2	3	5	6	8	10	12	14	16	19	21	24	26	29	32	35	37	40	43	46	49	51	54	56	59	61	63	65	67
1978				0	1	1	2	4	5	7	9	11	13	16	18	21	24	27	30	33	36	39	43	46	49	52	55	58	61	64	67	69	72	74
1979					0	1	2	3	4	6	8	10	12	15	18	21	24	27	31	34	38	41	45	48	52	56	59	63	66	69	73	76	79	82
1980						0	1	2	3	5	7	9	11	14	17	20	24	27	31	35	39	43	47	51	55	59	63	67	71	75	79	83	86	89
1981							0	1	2	3	5	8	10	13	16	19	23	27	31	35	39	44	48	53	58	62	67	72	76	81	85	90	94	98
1982								0	1	2	4	6	9	11	15	18	22	26	31	35	40	45	50	55	60	65	71	76	81	87	92	97	102	106
1983									0	1	3	5	7	10	13	17	21	25	30	35	40	45	51	57	62	68	74	80	86	92	98	104	110	115
1984										0	1	3	5	8	11	15	19	24	29	34	39	45	51	58	64	71	78	84	91	98	105	112	118	125
1985											0	2	3	6	9	13	17	22	27	32	38	45	51	58	66	73	81	88	96	104	111	119	127	134
1986												0	2	4	7	10	14	19	24	30	37	44	51	58	66	74	83	91	100	109	118	127	135	144
1987													0	2	4	7	11	16	22	28	35	42	50	58	66	75	85	94	104	114	124	134	144	154
1988														1	2	5	9	13	18	25	32	39	47	56	66	75	86	96	107	118	129	140	152	163
1989															1	3	6	10	15	21	28	36	45	54	64	74	86	97	109	121	134	147	160	172
1990																1	3	6	11	17	24	32	41	51	61	73	85	97	110	124	138	152	167	181
1991																	1	3	7	12	19	27	36	46	57	69	82	96	110	125	141	157	173	189
1992																		1	4	8	14	22	31	41	53	65	79	94	109	125	142	160	178	196
1993																			1	4	9	16	25	35	47	60	74	90	106	124	142	162	181	202
1994																				1	5	10	18	28	40	53	68	84	102	121	141	162	184	206
1995																					2	7	16	28	42	60	80	103	127	154	183	213	245	278
1996																						2	7	16	28	43	61	81	104	130	157	186	217	249
1997																							2	8	17	29	45	63	85	108	135	163	193	225
1998																								1	6	12	22	33	47	62	80	99	120	142
1999																									2	7	15	27	41	58	77	99	123	149
2000																										3	10	23	40	62	88	117	150	187
2001																											4	15	32	57	87	123	164	211
2002																											4	18	39	68	104	147	196	
2003																												4	17	38	67	102	145	
2004																													4	18	39	68	105	
2005																														5	18	40	70	
2006																														5	20	43		
2007																															5	20		
2008																																5		
total		0	1	2	4	7	12	19	29	41	57	77	102	132	168	212	264	325	397	482	581	697	832	989	1169	1374	1610	1881	2194	2555	2970	3442	3979	4584
estimated volume		0	0	1	3	6	10	15	23	33	46	62	81	105	135	170	211	260	318	386	465	557	666	791	935	1099	1288	1505	1756	2044	2376	2754	3183	3667

Table 15. Recycling status of PVC profile on sample survey(2008)

(unit: ton)

		raw material input		foreign material output	additives input	recycling	recycling of disposal products
		disposal products	other raw material				
PVC profile	P corp	700.0				700.0	700.0
	T corp	3,600.0				3,600.0	3,600.0
	U corp	878.0		9.0		869.0	869.0
	V corp	850.0		127.5		722.5	722.5
	W corp	1,200.0				1,200.0	1,200.0
	X corp	4,800.0			48.0	4,752.0	4,752.0
	Y corp	1,733.0			32.0	1,701.0	1,701.0

Table 16. Treatment status of waste PVC profile

(unit: ton)

	landfill		incineration		recycling raw material		reuse		throughput
P corp	-	-	-	-	700	100.0%	-	-	700
T corp	-	-	-	-	3,600	100.0%	-	-	3,600
U corp	-	-	9	1.0%	869	99.0%	-	-	878
V corp	-	-	127.5	15.0%	722.5	85.0%	-	-	850
W corp	-	-	-	-	1,200	100.0%	-	-	1,200
X corp	-	-	48	1.0%	4,752	99.0%	-	-	4,800
Y corp	-	-	-	-	1,701	98.2%	32	1.8%	1,733
analysis results	sub total	weight-composition ratio	sub total	weight-composition ratio	sub total	weight-composition ratio	sub total	weight-composition ratio	total
	-	-	184.5	1.34%	13,544.5	98.43%	32	0.23%	13,761

Table 17. Current status of waste and recycling by products

(unit: ton)

	domestic demand	waste generation	incineration	landfill	recycling product	recycling raw material
Polystyrene for heat insulator	127,932	16,587	9,505	294	1,447	5,341
Covering of electric Wire	127,178	19,258	7,865	164	156	11,036
PE pipe	195,004	11,359	3,415	64	414	7,465
PVC pipe	193,578	16,315	5,715	231	131	10,239
PVC flooring	299,416	94,990	28,199	897	186	65,715
PVC profile	226,032	10,863	703	16	24	10,080

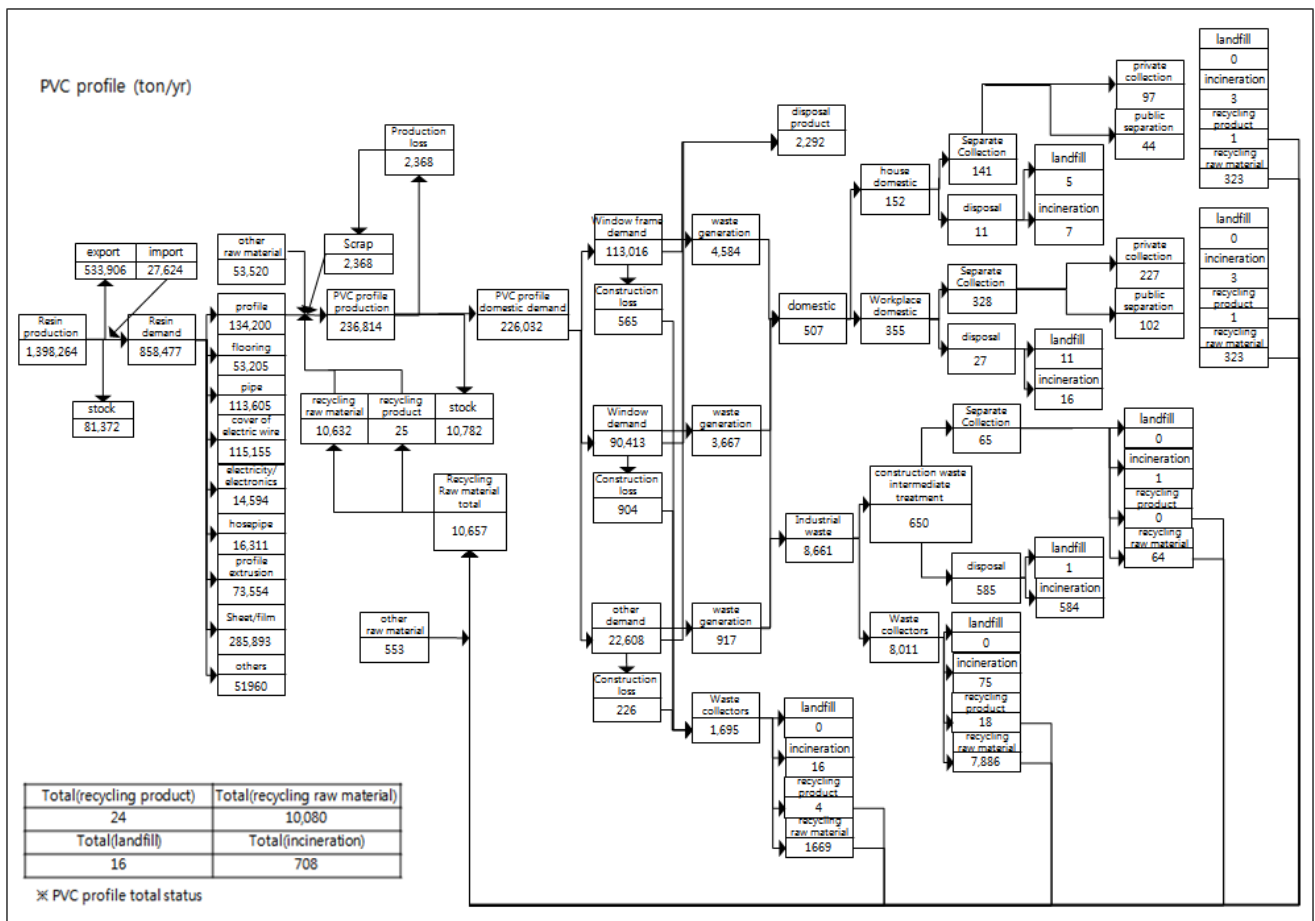


Figure 2. Mass balance for life cycle of PVC profile

IV. 결 론

본 연구에서는 현실적으로 실현가능한 플라스틱 제품의 재활용률을 산정하기 위하여 PVC프로파일에 대한 물질흐름도를 작성하는 것을 목표로 연구가 수행되었다. 이를 위해 ① 합성수지 생산 현황 조사, ② 제품별 생산 및 사용현황 조사,

③ 제품별 폐기물 발생 현황 조사, ④ 제품별 재활용 실태 현황 조사, ⑤ 제품별 물질흐름 검토의 전체 5단계를 거쳐 내구성 플라스틱의 발생부터 폐기까지의 조사를 실시하였다.

제품별 재활용이 가능한 비율 산정한 결과, PVC바닥재와 PVC프로파일의 경우 국내에서 사용된 제품의 내수량의 합이 525,448톤이고, 폐기물 배출량은 105,853톤으로 나타났다. 재

Table 18. Estimation result of recycling ratio by mass balance

(unit: ton)

		domestic demand	waste generation	incineration	landfill	recycling product	recycling raw material	recycling rate	'09 duty rate
2009	PVC flooring	299,416 (100%)	94,990 (31.72%)	28,199 (9.42%)	897 (0.30%)	186 (0.06%)	65,715 (21.95%)	14.46%	8.5%
	PVC profile	226,032 (100%)	10,863 (4.81%)	703 (0.31%)	16 (0.01%)	24 (0.01%)	10,080 (4.46%)		
2014	PVC flooring, profile	525,448	157,149	43,913		113,174		21.54%	
2019		525,448	204,654	55,807		148,739		28.31%	
2024		525,448	246,133	64,786		181,177		34.48%	
2029		525,448	288,044	73,011		214,788		40.88%	

생제품과 재활용원료의 생산량 합계는 76,004톤으로 제품의 내수량에 대비하면 재활용이 가능한 비율은 14.46%로 분석되었다.

향후 각 품목의 연도별 사용량은 현재와 동일하게하고, 내구연수·폐기물 발생비율·분리배출비율 등 물질수지도의 영향인자는 본 연구에서 실시한 실태조사 결과를 바탕으로 각 LC품목에 맞게 설정하였다. 해당제품의 생산량이 현재와 크게 차이가 없을 것으로 가정하고 연도별 생산량에 대입한 후 5~20년 뒤의 물질수지도를 작성한 결과를 Table 18에 나타내었다. 현재 각 품목별 재활용이 가능한 비율이 낮으나, 향후 현재와 같은 생산량을 생산할 시 재활용률은 지속적으로 상승하여 바닥재 및 프로파일은 2013년에 20% 수준의 재활용률에 도달할 것으로 예측되었다.

본 연구를 통하여 추정된 2009년 의무 재활용량은 PVC바닥재와 PVC프로파일의 합계가 76,004톤으로 분석되었다. 전술한 것과 같이 제품의 사용기간이 길고, 제품의 최초 생산시기가 최근일수록 배출되는 폐기물의 양이 적으며, 폐기물로 배출된 후에도 제품의 특성 및 사용처에 따라서 재활용체제로 흘러가지 못하고 폐기되는 부분이 있기 때문에 현재 부과되고 있는 재활용 의무율에 대한 이행 가능성은 현실적으로 낮은 것으로 판단된다. 프로파일에 대해서는 09년도 의무량 8.5%에 비교하여 연구를 통한 재활용량은 추정량 14.46%로 산출되었다. 다른 내구성제품에 비교하여 수월하게 목표량을 달성 가능할 것으로 판단되었다.

자발적협약은 3년 이내 20%의 재활용률을 달성하고, EPR 제도로의 전환을 하는 것이 주요한 시행목적으로 되어있다. ‘향후 품목별 재활용률 예측’에서 전술한 것과 같이 해당제품의 재활용체계가 잘 구축되고 충분히 사용되어 폐기물의 발생량이 증가하면 출고량 대비 20% 이상 수준의 재활용이 가능할 것으로 판단되나, 본 연구에서의 해당제품인 내구성을 가지는 플라스틱 제품의 경우에는 3년 이내 20%의 재활용률 도달 시 EPR로 전환하는 것은 현실적으로 실현 가능성이 낮은 실정이다. 각 품목별 점진적으로 재활용기반구축이 가능한

기간을 자율적으로 제시하도록 하여 자발적 협약의 기간을 단기간으로 하지 말고 장기간으로 진행하고 EPR전환 요건으로 20%의 재활용률은 의미가 없으므로 각 품목별 재활용률을 재설정하고 3년이라는 기간의 설정 없이 재활용체계 기반구축 시에 EPR로 전환시키는 것이 필요하다.

본 연구에서의 해당제품은 생산시기, 내구연수, 국내 시장 여건, 폐제품의 재활용 기술 등 각각의 제품특성에 따라 제품의 생산에서부터 폐기, 재활용까지의 재활용기반구축에 소요되는 시간이 다를 수 있으므로, 각 제품의 특성에 맞는 기간을 설정하고 장기간 재활용 제도를 관리할 필요성이 있는 것으로 판단되었다. 또한 자발적 협약은 업계가 자율적으로 참여하는 수단인 것으로부터 업계에서 자율적으로 장기적인 마스터플랜 계획을 수립, 제출하도록 유도하여 업계의 계획을 검토하여 자발적 협약의 장래 방향을 설정하고, 규제 및 제약조건의 설정보다는 업계의 자율적인 실천과 실행을 유도하는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Korea Petrochemical Industry Association, Statistics for petrochemical Industry, 1992~2009.
2. Statistics Korea, Statistics for various synthetic resins production and shipment, 2008.
3. Ministry of Environment, Statistics for generation and treatment of waste, 1998~2008.
4. Ministry of Environment, Manual for voluntary agreement of plastic waste recovery and recycling, 2009.
5. Korea Plastic Recycling Association, Statistical research on the plastic of the production, use, disposal, treatment, 2006.

6. Korea Plastic Technical Research Business Cooperative, A study on waste generation and disposal of architectural PE pipe, 2009.
7. Korea Federation Plastic Industry Cooperative, Korea electric Wire Industry Cooperative, Korea Institute of procurement, A study on plastic waste treatment charge system, 2007.
8. Korea Environment Corporation, A study on standard for Mixing Ratio of voluntary agreement item and process loss probability in plastic waste treatment charge system, 2008.
9. Ministry of Knowledge Economy, A study on appropriate rate for plastic waste treatment charge, 2009.
10. Koresan ministry of education, Science and Technology, Ministry of Environment, Application of life Cycle Assessment Techniques to Recycling of waste Plastics, 2003.