정보명	일본『플라스틱 용기 포장에 관한 실증 실험』
주요내용	1. 시험 개요 2. 지자체 내 플라스틱제 용기 포장 폐기물 회수 상황 3. 선별방법 검토 4. 가치평가 5. 정리
참고자료	『플라스틱 용기 포장에 관한 실증 실험』 보고서, 일본용기포장리사이클협회(2014)

플라스틱 용기 포장에 관한 실증 시험
〔２０１２년 4월~２０１４년 3월 실시〕

보고서

２０１４년 6월

공익재단법인 일본 용기포장 리사이클 협회
플라스틱 용기사업부
플라스틱 용기포장에 관한 실증시험 평가 위원회

목 차

처음으로 ····· 1

1. 시험개요 ····· 2

1.1 시험 위탁처 ····· 2

1.2 시험 결과 공표 및 평가위원회에 대하여 ····· 2

1.3 시험 계획 ····· 4

2. 지자체 내 플라스틱 용기포장 폐기물 회수 상황 ····· 6

2.1 회수 전제 조건 ····· 7

2.2 회수 실적 ····· 8

2.3 수집에 대한 환경부하 ····· 13

2.4 회수한 플라스틱 용기 포장 폐기물 조성 ····· 14

3. 선별방법 검토 ····· 25

3.1. 선별공정 분류와 시험개요 ····· 25

3.2 선별방법별 선별 결과 ····· 28

4. 가치평가 ····· 65

4.1 조성분석 ····· 65

4.2 기계적 특성 ····· 70

4.3 독일의 용기포장 리사이클 펠렛 품질(참고) ····· 72

4.4 기계적 특성과 조성 분석 결과 ····· 73

4.5 최종선별물 판매가능성 ····· 77

4.6 비용 평가 ····· 80

5. 정리 ····· 83

5.1 지자체 용기 포장 폐기물 회수 상황 ····· 83

5.2 기계적 선별 가능성 ····· 84

5.3 가치평가 ····· 86

끝으로 ····· 88

처음으로

용기포장리사이클법의 대상이 되는 용기 포장 폐기물은 가정에서 배출되는 유리병, 종이 용기 포장, 페트병, 플라스틱 용기 포장 등 4종류로 분류됨

이 중 플라스틱 용기 포장 폐기물은 다른 3종류의 재질과 비교했을 때 다음과 같은 특징이 있음

① 플라스틱의 종류가 많으며, 용기 포장도 개별 플라스틱의 특성을 활용 또는 보완하여 사용(복합소재 등)하는데, 그 결과 폐기물로 회수될 때는 잡다한 혼합물이 되어 있음(반면 유리병 등 다른 3종류의 용기 포장은 각각 단일 소재에 가까움)

② 형태를 봐도 비닐류, 블리스터, 팩, 병 등 다양하며, 이물이 혼입되기 쉬움. 또한 페트병(청량음료 등으로 한정)은 플라스틱 용기 중 하나이나, 별도 분류로 정해져 있어서 『플라스틱 용기 포장 폐기물』은 『기타 플라스틱』이라고도 함

또한 용기포장리사이클법에서는 폐기물에서부터 그 자체가 상품이었던 플라스틱 제품이나 이물질 등을 제외하고 용기 포장 폐기물만을 대상으로 하기 때문에 지자체 소관의 『보관시설』에서 『선별기준 적합물』이라고 하는 것을 요구하고 있고 『선별 기준 적합물』은 입찰의 대상이 되며, 낙찰받은 사업자가 재활용을 실시함. 따라서 이 낙찰 결과에 따라 재활용 방법이 결정됨(재활용 방법은 물질 리사이클과 4종류의 화학적 리사이클 방법으로 한정되어있음)

이상과 같은 현상이나 계획에 있어서 환경부하 저감 및 사회적 비용 절감을 목표로 한 검토가 중요하고 그러기 위해서는 다시금 리사이클의 대상이 되는 기타 플라스틱 성분과 분리 가능성을 객관적·정량적 데이터로 파악하는 것이 중요하여, 본 실증시험을 진행하기로 함

1. 시험개요

본 실증 시험에서는 소비자로부터 분리 배출된 플라스틱 용기 포장 폐기물을 그대로 가지고 와서 그 내용을 파악하는데, 수선별을 통한 내용 분석뿐만 아니라 기계선별을 중심으로 한 선별 공정에서의 선별을 진행하여 해당 플라스틱 용기 포장 폐기물이 어디까지 분리 가능한지 조사하기로 함(선별 가능성 시험). 또한 최종 선별물에 대한 내용 분석과 함께 가치 평가를 실시함

1.1 시험 위탁처

본 시험은 공모를 통해 선정된 군마현 이세사키시(소비자로부터 발생하는 플라스틱 용기 포장 폐기물 수집)와 주식회사 에코스팩토리(재활용사업자)에 위탁하여 실시함

또한 시험에 참여하는 지자체(이세사키시)와 재활용사업자는 기존의 지정법인 루트와의 인수 계약·각서 대신 일본 용기포장리사이클협회를 포함한 제3자에 의한 계약을 체결하여 해당 지자체에서 나오는 플라스틱 용기 포장 폐기물에 대하여 시험기간 동안 확실한 재활용이 이루어지는 것을 담보로 함

1.2 시험 결과 공표 및 평가위원회에 대하여

본 실증 시험 결과는 기본적으로 모두 공표하여 널리 향후 플라스틱 용기 포장 리사이클 시스템 개선을 위한 검토에 이바지하는 정보로 활용 될 것으로 예상하며, 공표된 시험내용 및 결과는 객관적으로 평가·분석된 것임이 중요하여, 외부 지식인으로 구성된 평가위원회를 설치 논의하기로 함

【평가위원회】

위 원 장 히라오 마사히코 (도쿄대학대학원 공학계 연구과 화학시스템공학 전공·교수)

위원장 대리 나카타니 준 (도쿄대학 대학원 공학계 연구과 도시공학 전공·조교수)

위 원 후지이 미노루 (독립행정법인 국립환경연구소 사회환경시스템연구센터 환경도시시스템연구실·주임연구원)

위 원 오오이시 미나코 (사단법인 일본소비생활 어드바이저·컨설턴트 협회·이사·환경 위원장)

위 원 야마와키 다카시 (사단법인 플라스틱처리촉진협회·기술개발부·부장)
→ 사카구치 슈(일반사단법인 플라스틱순환이용협회 조사연구부장)

위 원 도가미 소큐 (일본 폴리에틸렌제품공업연합회·전무이사)

위 원 다른 기기 업체 2 명

사 무 국 이세사키시 환경부 환경정책과 (지자체)

주식회사 에코스 팩토리 (재활용사업자)

공익재단법인 일본 용기포장 리사이클 협회·플라스틱 용기 사업부

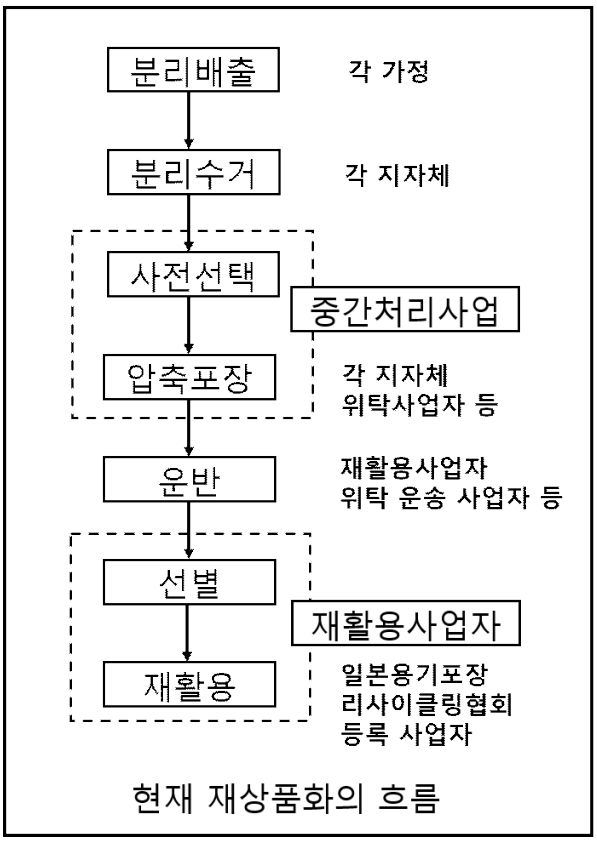
1.3 시험 계획

실증 시험은 2012년 4월부터 2014년 3월까지 2년간 실시하였으며, 전기(4월~9월)를 Phase Ⅰ으로 하고 수집물 구성비 조사 및 광학 선별기를 통한 선별 가능성 시험을 목적으로 실시함

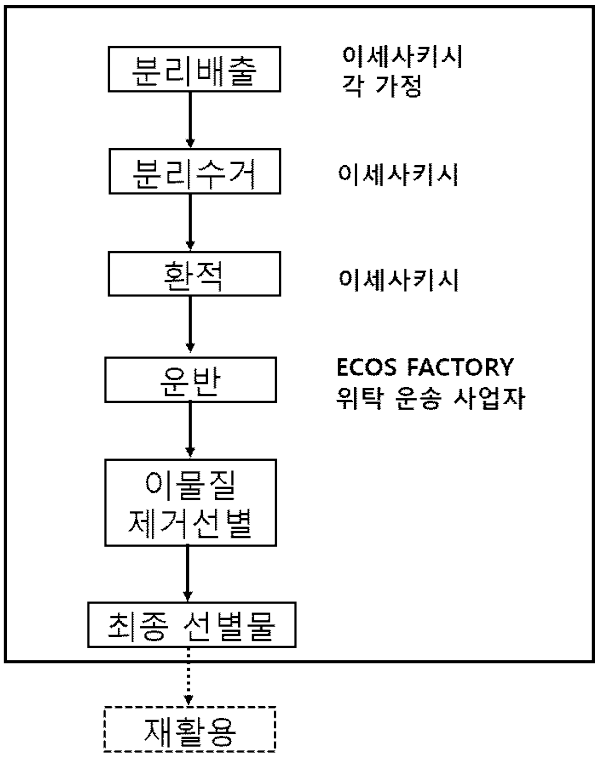
후기(2012년 10월~2014년 3월)를 Phase Ⅱ로 하고, Phase Ⅰ에서 얻은 선별 가능성 시험 결과에서 선정한 선별 조건에 대해 품질 향상·회수율 제고를 위한 세부 조건(자동선별기 센서 감도 등)을 결정하고, 실현 가능하며 효율적인 선별 방법을 검증하기로 함. 또한 이 선별 조건을 통해 얻어진 선별물에 대해 재생자원(물질 리사이클용/화학적 리사이클용)으로 평가를 실시하여 비용 대비 효과와 환경부하 저감 가능성을 제시함

【실증 시험 규모】

군마현 이세사키시가 수집하는 플라스틱 용기 포장 폐기물 약 500톤/년



현재 재상품화의 흐름



본 실증 시험 흐름

본 평가위원회는 총 8회 실시했으며 시험실시 후 검토·재검토가 필요한 경우, 위원을 통한 워킹그룹(WG)을 실시하고 있으며 2012년 6월과 2012년 9월에 2회 개최하고 있으며, 여기에서 검토된 사항은 평가위원회에서 재검토·확인을 거쳐 실증시험에 반영되고 있음

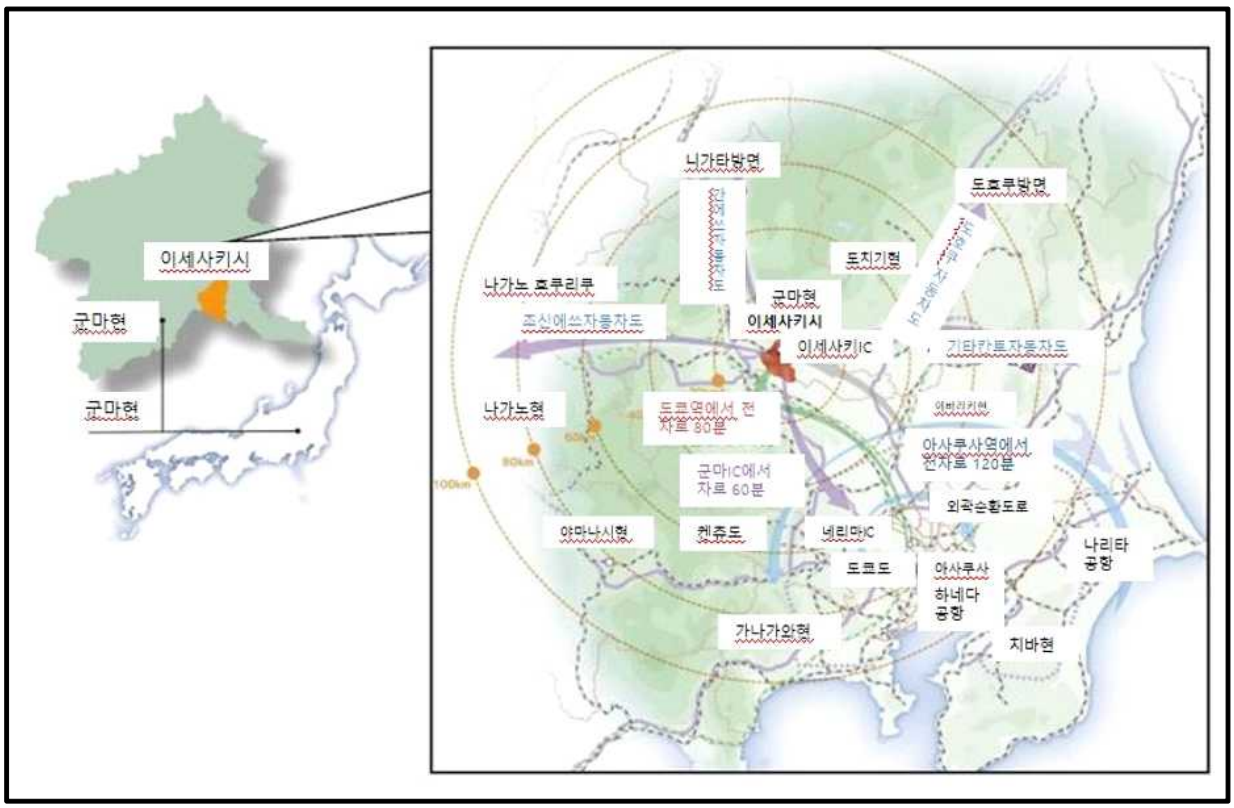
<위원회 실시 일정 및 검토 개요>

위원회	일정	위원회 제시 자료·검토항목 등
제1회	2012년 3월 22일	• 위원회 개최 요령 설명 • 『시험 계획』 설명, 검토 • 향후계획
제2회	2012년 6월 4일	• 현지 처리 실시 상황 확인 • 『실증시험』 개시 상황 보고 • 데이터 수집, 평가바업에 관한 검토
WG1	2012년 6월 14일	• 제2회 위원회 논의를 바탕으로 한 시험계획, 조건 일부 재검토
제3회	2012년 8월 21일	• 실증 시험 검토 내용 검토·확인 • 『실증시험』 실시 상황 보고
WG2	2012년 9월 4일	• 중간 정리 방침 확인 • 추기 시험 과제 정리
제4회	2012년 10월 4일	• 중간 정리
제5회	2013년 1월 18일	• 진척 보고 • 데이터 평가
제6회	2013년 4월 19일	• 2012년 정리에 대한 검토 • 향후 예정 등
제7회	2013년 8월 1일	• 진척 보고 • 향후 시험 계획 등
제8회	2014년 3월 27일	• 최종보고서 정리

2. 지자체 내 플라스틱 용기포장 폐기물 회수 상황

시험 대상이 되는 지자체인 이세사키시는 군마현 중앙부에 위치하고 있으며, 2005년에는 이세사키시, 아카호리쵸, 히가시무라, 사카이쵸 4곳의 지자체가 합병해 현재는 인구 21만명의 특례시이며, 대도시 근교에 입지하고 있어 근교 농업도 활발하여 농업 생산도 많은 지역임. 또한 최근에는 편리성이 뛰어난 간선 도로망의 특성을 살려 제조업, 대규모 상업 시설이 진출하고 있으며, 상공업이 번성하고 있음

이세사키시는 2008년도부터 지정법인에 넘겨주고 있으며, 플라스틱 용기 포장 폐기물 수거량은 500t/년 정도이며, 시민들이 분리배출하는 플라스틱 용기 포장 폐기물은 각 지역의 수집 스테이션으로 배출되고, 도시에서는 주 1회 지역별로 정해진 요일에 수거하고 있음



군마현 이세사키시 소재 및 입지 상황

2.1 회수 전제 조건

(1) 수집 대상 지역

표 2-1처럼 분리 수거 대상 지역을 4개의 블럭으로 나누어 블럭별로 주1회 회수하고 있으며 이들 지역 외에도 2005년에 합병한 아카호리쵸 (아카호리 지구)에서는 플라스틱 용기 포장 폐기물 분리수거를 실시하지 않고 있으며, 전역에서는 용기 포장 리사이클 플라스틱 분리수거는 실시하지 않고 있음

표 2-1 플라스틱 용기포장 폐기물 수집 날짜와 각 지역 특징

블럭	수집일	지구명	지역특성
A	월요일		인구는 가장 적지만 주택단지도 있어 전체 블록 인구 밀도는 높음
		기타지구	JR이세사키시역 주변 사업·업무지역·구획정리사업 실시 중
		마사토지구	교외형 GMS 진출과 주택단지 개발이 진행되어 인구가 증가
B	화요일		주거 중심으로 인구가 많음
		우에하스지구	농촌마을이 중심
		도요우케지구	주거지역이 중심, 농지도 많음
		아즈마지구(남부)	농촌마을 중심이며 농지가 많음
C	목요일		시가지, 주거지역을 포함 가장 대상인구가 많음
		미나미지구	인구가 많은 사업 지역이며, 도시 중심지
		모로지구	중심지 근처며, 농촌마을을 중심으로 시가화된 지역, 최근에는 교외형 점포도 증가
		미야고지구	농촌마을이 중심이지만 공업단지도 조성할 예정임. 서부지구는 시내에서 가장 번화한 사업지역으로 발전
		아즈마지구(복부)	택지가 진행되고 있지만 현재는 농지가 많음
		사카이지구 (사카이·시마무라·히가시지구)	시카이역 주변 사업지역
D	금요일		농촌마을로 이루어져 있으며, 인구밀도 높음
		나와지구	주거지역이 중심이 되고 있으며 농지도 많음
		사카이지구 (우네메·고우시지구)	주거·상업지역

(2) 배출 방법

소비자는 플라스틱 용기 포장 폐기물을 자원물로써 병·캔·페트병·폐지 등과 같은 요일에 주1회, 각 지역 쓰레기 스테이션에 배출함

(3) 수집 작업

스테이션에서의 수집 작업은 이세사키 시내의 일반폐기물 처리업자 8개사로 구성된『이세사키시 환경사업 협동조합』이 담당하고 있으며, 각 회사가 담당 지역을 분담하여 수집하고 있음

(4) 수집 차량

4t 쓰레기 수집차를 각 지역 스테이션에 배차하고 플라스틱 용기 포장 폐기물을 단품 수집하고 있으며 수집 작업자 수는 1대에 2명이 타고 작업을 함

(5) 수집 데이터

수집된 데이터는 수집 담당 업체에서 매월 보고하며 표 2-2에 나온 데이터가 이세사키시로 매월 보고됨

표 2-2 수집관련 데이터

기초데이터		월별데이터	
지역별	인구	지역별	수집량
	세대수		차량가동대수
	면적		작업인원
	회수스테이션 수		작업시간
	수집루트 거리		주행거리
	사용차량 적재량		연료사용량
	지역 특기사항		기타 특기사항 (장재, 금기품 등)

2.2 회수 실적

(1) 지구별 회수 실적

2년간의 수집 실적(표 2-3, 표 2-4)과 각 지표 상황(표 2-5, 표 2-6)은 다음과 같으며, 2012년도 수거량은 517.4t, 2013년도 수거량은 509.8t으로 2011년도 협회에 넘어온 실적 511.2t과 거의 동등 수준의 실적이었음

표 2-3 수집 차량보고 데이터 집계 (2012년도)

블럭	수집지구	가동대수 (대)	수집량 (t)	주행거리 (km)	연료사용량 (L)	작업인원수 (명)	총작업시간 (hr)
A	기타지구· 미사토지구	104	91.1	4,755	1,584	208	578.0
B	우에하스지구· 도요우케지구· 아즈마지구(남부)	283	138.5	10,804	3,909	566	1,114.6
C	미나미지구· 모로지구· 미아고지구· 아즈마지구(북부)· 시카이지구(시카이· 시마무라·히가시 지구)	441	214.2	21,604	8,079	882	1,688.6
D	나와지구· 시카이지구(우네메· 고우시지구)	169	73.5	7,853	2,686	338	536.5
	합계	997	517.4	45,017	16,257	1,994	3,917.5

표 2-4 수집 차량보고 데이터 집계 (2013년도)

블럭	수집지구	가동대수 (대)	수집량 (t)	주행거리 (km)	연료사용량 (L)	작업인원수 (명)	총작업시간 (hr)
A	기타지구· 미사토지구	105	91	4,761	1,584	214	607.0
B	우에하스지구· 도요우케지구· 아즈마지구(남부)	285	137	10,896	4,042	570	1,106.2
C	미나미지구· 모로지구· 미아고지구· 아즈마지구(북부)· 시카이지구(시카이· 시마무라·히가시 지구)	425	208	20,555	13,075	850	1,631.9
D	나와지구· 시카이지구(우네메· 고우시지구)	177	73	3,154	3,154	354	540.6
	합계	992	510	21,855	21,855	1,988	3,885.8

표 2-5 각 지표의 지역별 상황 (2012년도 합계)

블럭	지구명	인구	지구면적 (km²)	인구밀도 (인/km²)	1인당 수집량 (kg·인)	차량연비 (km/L)	1대당 주행거리 (km/대)	1회출동 작업시간 (hr/대)
A	기타지구·미사토지구	24,186	11.8	2,053	3.77	3.0	45.7	5.6
B	우에하스지구·도요우케지구·아즈마지구(남부)	52,930	30.1	1,756	2.64	2.8	38.2	3.9
C	미나미지구·모로지구·미아고지구·아즈마지구(북부)·시카이지구(시카아·시마무라·히가시지구)	78,213	43.5	1,796	2.71	2.7	49.0	3.8
D	나와지구·시카이지구(우네메·고우시지구)	33,642	29.5	1,141	2.20	3.0	46.5	3.2
	합계	188,971	115.0	1,644	2.74	2.8	45.2	3.9

표 2-6 각 지표의 지역별 상황 (2013년도 합계)

블럭	지구명	인구	지구면적 (km²)	인구밀도 (인/km²)	1인당 수집량 (kg·인)	차량연비 (km/L)	1대당 주행거리 (km/대)	1회출동 작업시간 (hr/대)
A	기타지구·미사토지구	24,072	11.8	2,043	3.80	3.0	45.3	5.7
B	우에하스지구·도요우케지구·아즈마지구(남부)	53,014	30.1	1,759	2.58	2.7	38.2	3.9
C	미나미지구·모로지구·미아고지구·아즈마지구(북부)·시카이지구(시카아·시마무라·히가시지구)	78,350	43.5	1,799	2.66	1.6	48.4	3.8
D	나와지구·시카이지구(우네메·고우시지구)	33,487	29.5	1,136	2.18	2.4	43.5	3.1
	합계	188,923	115.0	1,644	2.70	2.7	44.3	3.9

(2) 각 수집 지역 특징과 1인당 연간 배출량

2012년도, 2013년도도 1인당 배출량으로보면 A지구 수집량이 가장 많았고 D지역 수집량이 가장 적은 결과가 나왔으며 본 실증 시험에서 이세사키시 1인당 배출량은 2012년도는 2.74kg/인·년, 2013년도는 2.70kg/인·년으로 거의 동등 수준의 실적이었음

(참고 : 2011년 군마현 지자체 1인당 협회에 넘겨준 실적 3.24kg/인·년)

표 2-7 각 수집지역 특징과 1인당 연간 배출량

블럭	지구명	지역특징	1인당 배출량 (2012년도) (kg/인·년)	1인당 배출량 (2013년도) (kg/인·년)
A	기타지구· 미사토지구	인구는 가장 적고 농촌마을이 중심. 인구밀도는 높음	3.77	3.80
B	우에하스지구· 도요우케지구· 아즈마지구(남부)	지자체 합병으로 가장 늦게 용기포장 리사이클 분리수거를 시작한 지역	2.64	2.58
C	미나미지구· 모로지구· 미아고지구· 아즈마지구(북부)· 시카이지구(시카아·시마무라·히가시지구)	시가지, 주거지역을 포함 가장 대상 인구가 많음	2.71	2.66
D	나와지구· 시카이지구 (우네메·고우시지구)	농촌마을이 중심이며 지자체 합병으로 이세사키시가 된 지역을 포함. 인구밀도는 낮음	2.20	2.18
	합계		2.74	2.70

이세사키시 2012년도 2.74kg/인·년 및 2013년도 2.70kg/인은 전국 인구 규모별 실적에서 보면 이세사키시와 동등 규모의 시정촌이 협회에 넘긴 양인 7.46kg/인·년 정도(참고1)를 크게 밑돌고 있는 상황임

참고 1. 2011년도 인구 규모별 1인당 배출량 (kg/인・년)

인구구분	실적배출원단위
100만 이상	9.21
30만 이상 100만 미만	7.62
10만 이상 30만 미만	**7.46**
5만 이상 10만 미만	5.97
5만 미만	6.49
전국 평균	7.86

(3) 1인당 월별 배출량 추이

그림 2-1, 그림 2-2는 블록별 1인당 월별 배출량 추이임. A블럭은 인구밀도가 높다는 점과 회수가 휴일 다음날인 월요일이라는 점 때문에 가장 배출양이 많았다고 보여지며, 2월은 모든 블록이 적었는데 이는 일수가 적다는 점과 2013년도는 폭설의 영향으로 회수 횟수 감소가 영향을 미친 것으로 보임

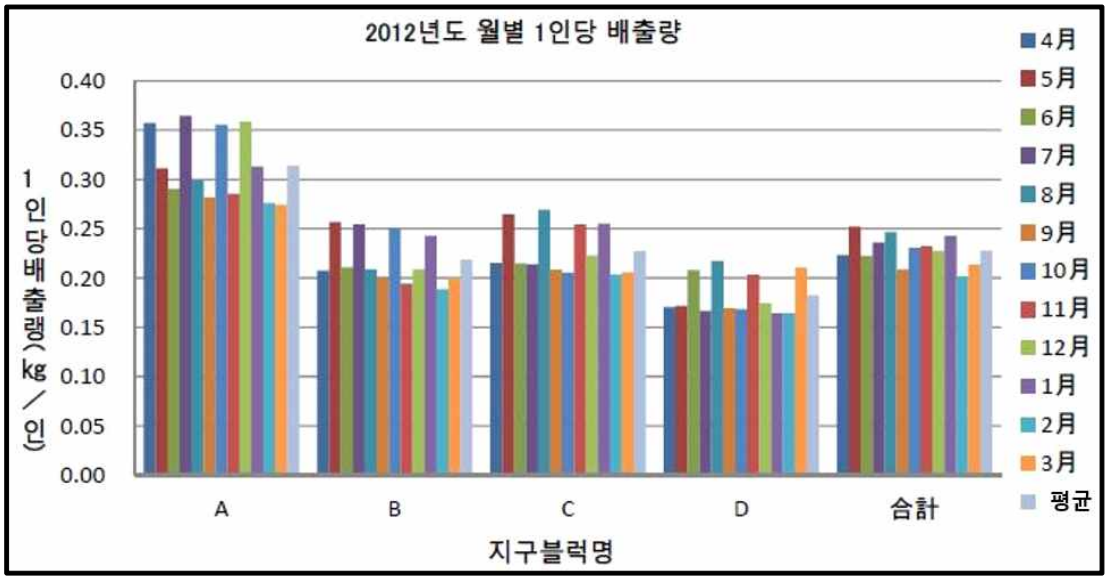


그림 2-1 2012년도 월별 1인당 배출량

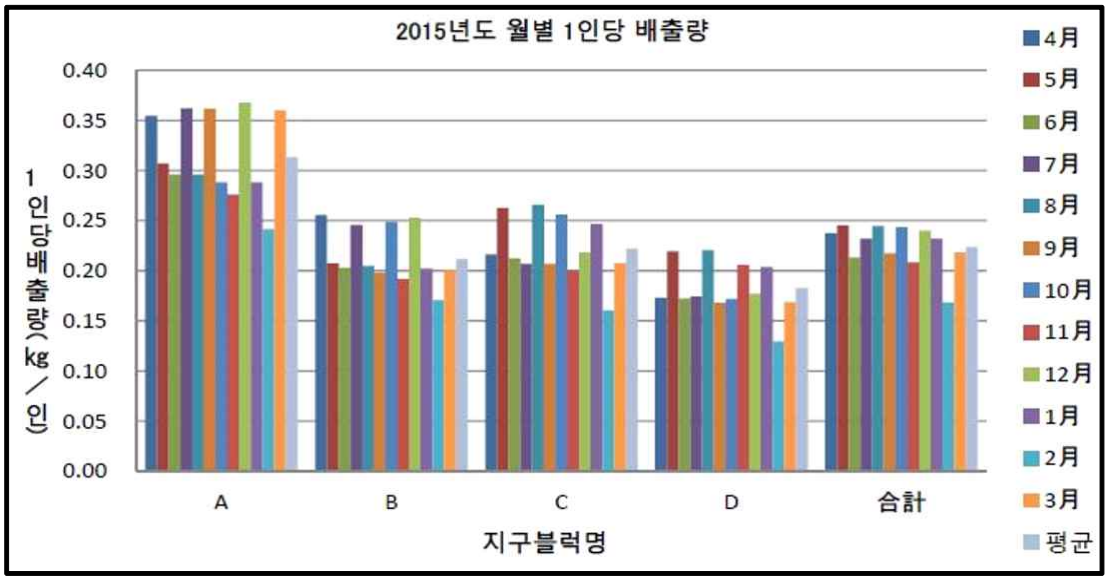


그림 2-2 2013년도 월별 1인당 배출량

(4) 수집 상황에 관한 이세사키시 의견수렴 결과에 대해

① 수집량에 대해

- 플라스틱 쓰레기 1인당 수거량은 이세사키시에서도 전국 평균을 밑도는데 군마현 전체에서도 전국 평균을 밑돌고 있는 실정
  (군마현 2011년도 실적 : 3.22kg/인·년)
- 이세사키시에서는 플라스틱 쓰레기 분리수거를 아카호리 지구 이외의 지역에서 실시하고 있으나, 지구별 수집량 차이가 크고, 특히 B블록의 도요우케·히가시, C블럭의 모로·미나미, D블록의 나와지구 수집량이 적음
- 스테이션의 쓰레기 봉투를 관찰하면 모든 봉투가 가득 차있고 어중간하게 채운 시민은 적어서 채우든지 안채우든지 둘 중 하나인 듯함
- 향후 수집량이 적은 지구를 중심으로 플라스틱 쓰레기 분리배출 지도를 강화할 예정임

② 이물·금기품에 대한 정보

- 수집단계에서 제외한 금기품 등의 기록정보는 수집사업자에게는 없었지만, 수집사업자에게 확인한 결과 페트병과 화분이나 양동이 등을 볼 수 있었다고 함
- 플라스틱 쓰레기를 분리배출하고 있는 소비자는 규칙을 지키며 내놓고 있으며 수집단계에서 남는 것들은 줄어들고 있음

2.3 수집에 대한 환경부하

(1) 실증 시험 전 중간처리(선별 보관) 시설에 대해(참고)

시가 수집한 플라스틱 용기 포장 폐기물은 이세사키시 집하장에 집적되어 처리시설로 수송되며, 2011년도까지는 중간처리(선별보관)를 도치기현 시모쓰케시의 사업자가 실시했는데, 이번 실증 시험에서는 (주)에코스팩토리와 집하장의 운송 거리가 대폭 축소되었음

[２０１１년도 중간 처리 시설]		[２０１２년도 실증 시험]
・ 장　　소 : 도치기현 시모쓰케시	⇒	사이타마현　혼조시
・ 거　　리 : 67km	⇒	24.8km
・ 소요 시간 : 2 시간	⇒	1 시간

(2) 수집에 대한 환경 부하량

이번 실증 시험 개시에 따라 이세사키시에서는 각 청소 회사에 수거차량의 연료 사용량 파악을 의뢰하고 있으며, 2012년 4월~2014년 3월의 각 수집 지역 수거에 사용된 차량연료를 집계하여 수집량 1톤당 CO_2 배출량을 산출함 (에너지절약법 고시, 지구온난화대책추진법시행령·성령에 따라 산출)

· 수집량 1t 당 82.3kg-CO2/t

(3) 압축 포장 업무의 환경 부하량

이번 실증시험에서는 기존 지자체가 실시하던 중간처리 업무와 재활용 사업자가 실시했던 재활용 업무를 동시에 실시함. 따라서 기존 중간처리 업무 시 걸렸던 표 2-8의 시설에 드는 환경 부하가 삭감된 것을 알 수 있음

도쿄 전력의 이산화탄소 배출 원단위(교토 메커니즘 크레딧 등 반영전) 0.525kg-CO_2/kwh 이기 때문에 부하율을 40%로 해서 처리 1t당 CO_2배출량을 산출함

· 처리량 1톤당 12.3kg-CO_2/t

표 2-8 중간처리설비의 설비전력

명칭	정격	처리량당
Unpacking machine	7.5kw	7.5kwh/t
수작업선별컨베이어	2.2kw	2.2kwh/t
반송컨베이어	3.7kw	3.7kwh/t
압축포장기	45.0kw	45.0kwh/t
합계	58.4kw	58.4kwh/t

2.4 회수한 플라스틱 용기 포장 폐기물 조성

(1) 상세한 시험 방법

회수한 플라스틱 용기 포장 폐기물(이하 “회수 플라스틱“이라 한다)은 표 2-9와 같이 분류하였으며, 분류 방법은 사람이 직접 하나씩 식별 표시, 재질 표시에 의한 분류를 하고, 이 방법으로 판단 할 수 없는 것은 육안이나 손가락 촉감 등의 지각 정보를 통해 판단함

· 샘플 량 : 60kg/월

· 샘플 회수 방법 : 첫번째 월요일~금요일 (수요일 제외)에 각 날마다 약 15kg를 무작위로 봉투를 뜯지 않고 회수

· 실시 횟수 : 12 회(2012년 4월~2013년 3월까지 월 1회 실시)

· 구성비 ※분석 방법 : 표 2-9에 따른 선별을 실시하여 각 단계의 중량을 측정함. 재질 선별 판단 기준은 ① 조성 표시 시인성 ② 촉감의 순으로 하고 복합 소재에 대해서는 조성 표시(언더바)에서 가장 함량이 많은 것을 주요 재질로 함. 표시가 없는 경우에는 용도(동일 용도의 다른 제품의 표시)를 통해 가능한 한 추측했으며, 오염에 대해서는 쉽게 떼어내서 계량했으며, 알 수 없는 경우 기타로 함

※ 구성비 : 위에서 설명한 바와 같이 화학 분석 등에 의존하지 않는 조성을 파악한 것으로 이 측정 결과는 엄밀한 의미에서의 “성분 비율“과 “조성비“와는 다르므로 Phase Ⅰ 시험 결과에서는 이러한 용어 대신 “구성비“라는 말을 사용하기로 함

또한, PE 또는 PP 등의 수지 명칭(약어)도 마찬가지이다 (P13에서 서술)

표 2-9 회수플라스틱 구성비 분석방법 <분류항목과판정방법>

재질	형상	용도	기타	판정방법	
				① 시각정보	③ 촉각정보
PE	필름류	상품봉투	복합있음		부드러움
			복합없음		부드러움
		판매점봉부(비닐봉투)			부드러움
		지정수집봉투			부드러움
		기타			부드러움
	병류			성형방법	
	튜브류		복합있음		
			복합없음		
	트레이류				
	컵류				
	마개류				부드러움
	제품 플라스틱				
	기타				
PP	필름류	상품봉투	복합있음		다소뻣뻣함
			복합없음		다소뻣뻣함
		기타			다소뻣뻣함
	병류				
	튜브류		복합있음		
			복합없음		
	트레이류		검은색		
			검은색이외		
	컵류				잘깨지지않음
	마개류				PET병 마개는 전부 PP로 계량
	제품 플라스틱				
	기타				
PS	필름류				사각사각거림
	병류			유제품 용기	
	트레이류	발포			
		미발포	투명		사각사각거며 깨짐
			기타		사각사각거며 깨짐
	컵류				깨짐
	제품 플라스틱				
	기타				
PET	필름류				
	병류			성형방법	
	트레이류				깨지지 않음
	기타				
PVC	필름류				늘어나지 않음
	제품 플라스틱				
	기타				
기타					

※ 본 분석, 분류 방법은 후술하는 선별 가능성 시험에 적용함

※ 시각 정보에 대해서는 조성표시 이외의 판별 방법에 대해서만 기재함

[참고] 수지약호 설명 (용기 포장 적용이 많은 수지 조성 표시 및 주요 특징)

수지약호	재질(수지)명	특징	주용도 ()안은 용기 이외
PE	HDPE (고밀도 폴리에틸렌)	내수·내약품성이 뛰어나며 희고 불투명	포장재, 병, 마개
	LDPE (저밀도 폴리에틸렌)	투명·강인하며 부드럽고 잘 늘어남	포장재, (농업용 필름)
PP	(폴리프로필렌)	비중이 작고 내열성, 강성이 우수	포장재, 식품용기, (자동차 부품, 일회용품)
PS	(폴리스틸렌)	투명한 일반용과 내충격성을 부여한 그레이드 및 발포재가 있음	식품 트레이, 식품 용기, (가전 부품)
PET	(폴리에틸렌텔레프탈레이트)	투명성, 가스베리어성이 우수	병, 트레이, 식품 용기
PVC	(폴리염화비닐)	잘 타지 않고 광택 인쇄성이 우수	랩, 필름, (파이프, 전선 피복)
PVDC	(폴리염화비닐리덴)	무색 투명, 내약품성, 가스베리어성이 우수	식품용 랩, 햄소시지 케이싱
EVAC (EVA)	(에틸렌-비닐 아세테이트 수지)	고무탄성, 접착성이 우수	스트레치 필름, 코팅재료, (농업용 필름)
EVOH	(에틸렌-비닐 알코올 수지)	산소 차단성이 우수	식품용기포장재, (연료탱크)
PA	(폴리 아미드 : 나일론)	충격성, 내유성, 내열성이 우수	식품포장재, (자동차부품)
M	(금속) 용기포장 재질 표시할 때 사용되는 기호 포장재 방습, 차광 등의 목적으로 붙여서 이용할 수 있음 대표적으로 알루미늄 호일		

※ 수지약호 및 재질 (수지명)은 JIS에 준함. 단 일부 자주 사용되는 호칭 등도 병기함

※ PE(폴리에틸렌)은 주요 HDPE(고밀도 폴리에틸렌)과 LDPE(저밀도폴리에틸렌)으로 나뉨

※ "주요 용도"는 단독이 아닌 다른 수지 등과 복합(적층)하여 사용되는 경우도 포함

※ 재질(수지) 특징 등 자세한 내용은 일본 플라스틱 공업연맹『곤니치와플라스틱』등을 참조
http://www.jpif.gr.jp/00plastics/plastics.htm

※ Phase I 에서는 화학 분석과 가치 평가 등은 실시하지 않음(Phase II 에서 예정). 회수 플라스틱 종류 판정 및 선별 실험을 통한 선별물 판별은 육안, 손가락 감촉 등의 지각 정보 및 광학선별기에 의한 분류 결과 등에 따름. 따라서, 각 수지 구성물 명칭은『그 수지종류가 주성분이라고 생각되는 혼합물』임. 따라서 본 보고서에서는 화학 분석 등에 의한 순수한 수지 명칭과 구별하기 위해 선별물 표시를 ***PE, PP, PS, PET, PVC*** 등과 같이 ***기울임체***로 표시함(『※구성비』참조)

(2) 회수 플라스틱 구성비 분석 결과

회수한 플라스틱 중 매월 약 60kg을 회수하여 수선별로 재질별 분리하며 선별한 결과를 바탕으로 ①재질별 구성비 분포, ②형상별 비율을 조사함

① 재질별 구성비 분포

PE, PP 등 각 재질 구성비 연평균 값은 PE 24~31% (평균 27%), PP 25~35% (평균 30%), PS 18~24% (평균 22%), PET 14~20% (평균 16%), PVC 1%, 기타 2~7% (평균 4%)가 되며, 기타 중에는 종이류와 금속이 포함되어 있음

재질별 구성비 분포 추이는 표 2-10 및 그림 2-3과 같음

표 2-10 재질별 구성비 분포(2012년 4월 ~ 2013년 3월)

재질	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	평균
PE	26%	25%	27%	27%	24%	26%	26%	28%	29%	29%	31%	30%	27%
PP	32%	35%	29%	33%	27%	31%	25%	29%	28%	28%	29%	28%	30%
PS	18%	21%	22%	18%	24%	20%	24%	23%	21%	23%	22%	22%	22%
PET	19%	17%	16%	17%	17%	18%	20%	15%	16%	14%	14%	15%	16%
PVC	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	1%	1%	1%	1%
기타	4%	2%	6%	3%	7%	4%	4%	4%	5%	5%	3%	4%	4%
합계	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

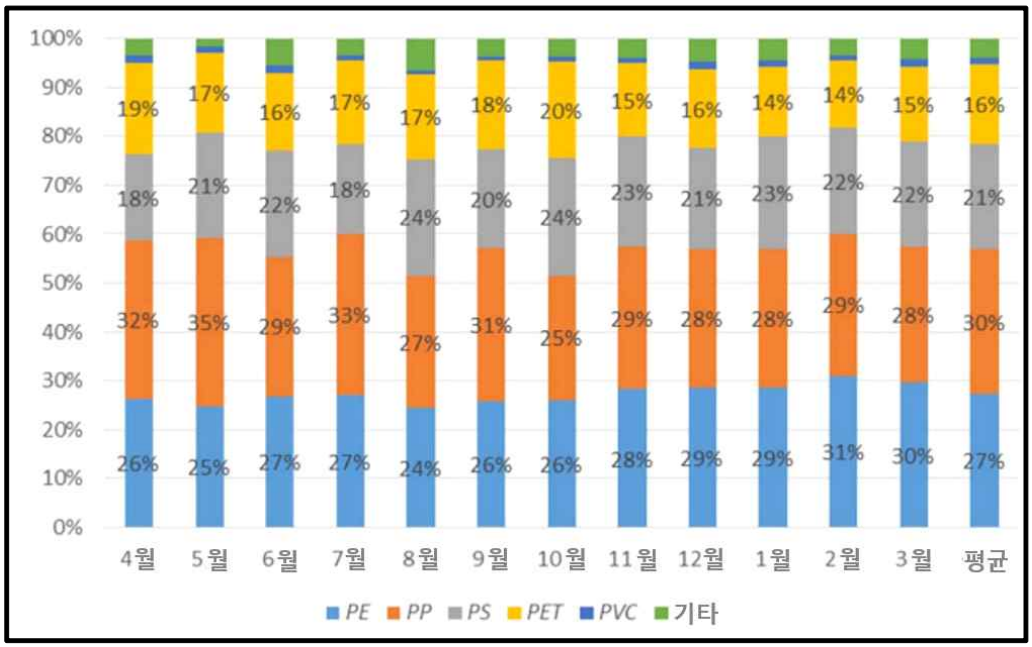


그림 2-3 재질별 구성비 분포

다음으로, PE, PP 등 각각의 재질 속에 어떤 형상이 포함되어 있는지 조사함

PE는 83.9%가 필름류, PP는 50.9%가 필름류, 41.7%가 트레이류, 컵류, 마개류의 경질 플라스틱, PS는 80.0%가 트레이류(사진 2-1), 병류는 4.9% 포함되어 있었음(사진 2-2). PET는 78.2%가 트레이류였으며(사진 2-3), 병류는 21.5% 포함되어 있었으며, 병류의 용도는 음료계, 조미료, 세제용 등 다양했으며(사진 2-4), PVC는 75.3%가 필름류였음(사진 2-5).

재질별 형상 비율은 그림 2-4와 같음

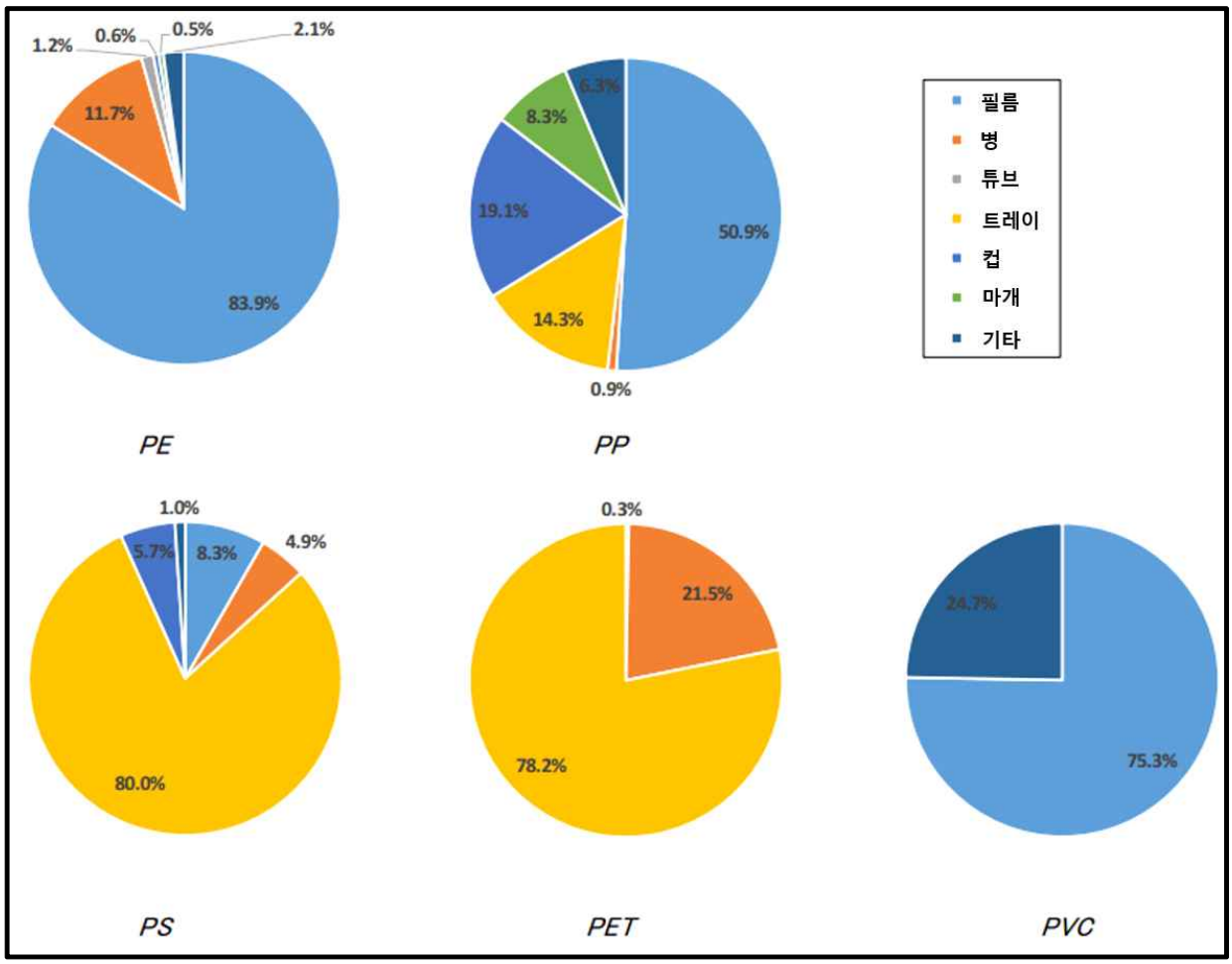


그림 2-4 재질별 형상 비율

사진 2-1 PS트레이

사진 2-2 유제품 용기

사진 2-3 PET트레이류

사진 2-4 PET병류

사진 2-5 PVC필름류

② 형상별 비율

필름류, 트레이류 등 형상별 비율에 대해 조사함

형상별 연평균은 필름류가 41%, 트레이류가 약 34%, 기타가 25%였으며, 필름류와 관련해서는 6월~10월에 걸쳐 적었고 병류, 컵류는 증가하는 추세였음

표 2-10 형상별 구성비 분포(2012년 4월~2013년 3월)

	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	평균
필름류	42%	42%	38%	38%	36%	38%	38%	42%	43%	42%	46%	44%	41%
보틀류	6%	8%	10%	13%	9%	10%	8%	6%	8%	6%	6%	7%	8%
튜브류	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
트레이류	36%	34%	32%	30%	33%	33%	38%	36%	33%	36%	35%	35%	34%
컵류	3%	8%	9%	12%	8%	10%	6%	5%	5%	6%	6%	5%	7%
캡류	6%	3%	2%	2%	3%	2%	2%	3%	2%	2%	1%	2%	3%
제품플라스틱	2%	3%	3%	1%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	1%	1%	2%
기타	5%	2%	6%	4%	7%	4%	6%	5%	6%	5%	5%	6%	5%
합계	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

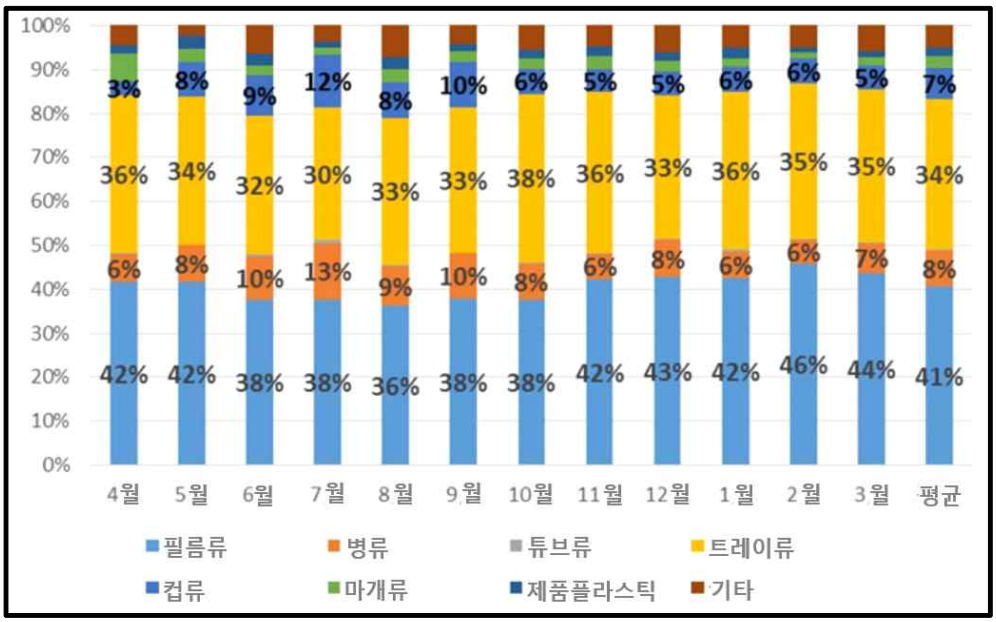


그림 2-5 형상별 구성비 분포

다음으로 각 형상에 어떤 재질의 수지가 포함되어 있는지를 조사함

필름류는 56%가 PE, 37%가 PP였으며, 트레이류는 50%가 PS, 37%가 PET였고, 컵류는 80%가 PP, 마개류는 95%가 PP였음(단, PET병의 마개에 대해서는 전부 PP로 분류하고 있음)

형상별 구성비는 그림 2-6과 같음(또한 필름, 트레이류에 대해서는 상세 내용을 정리함).

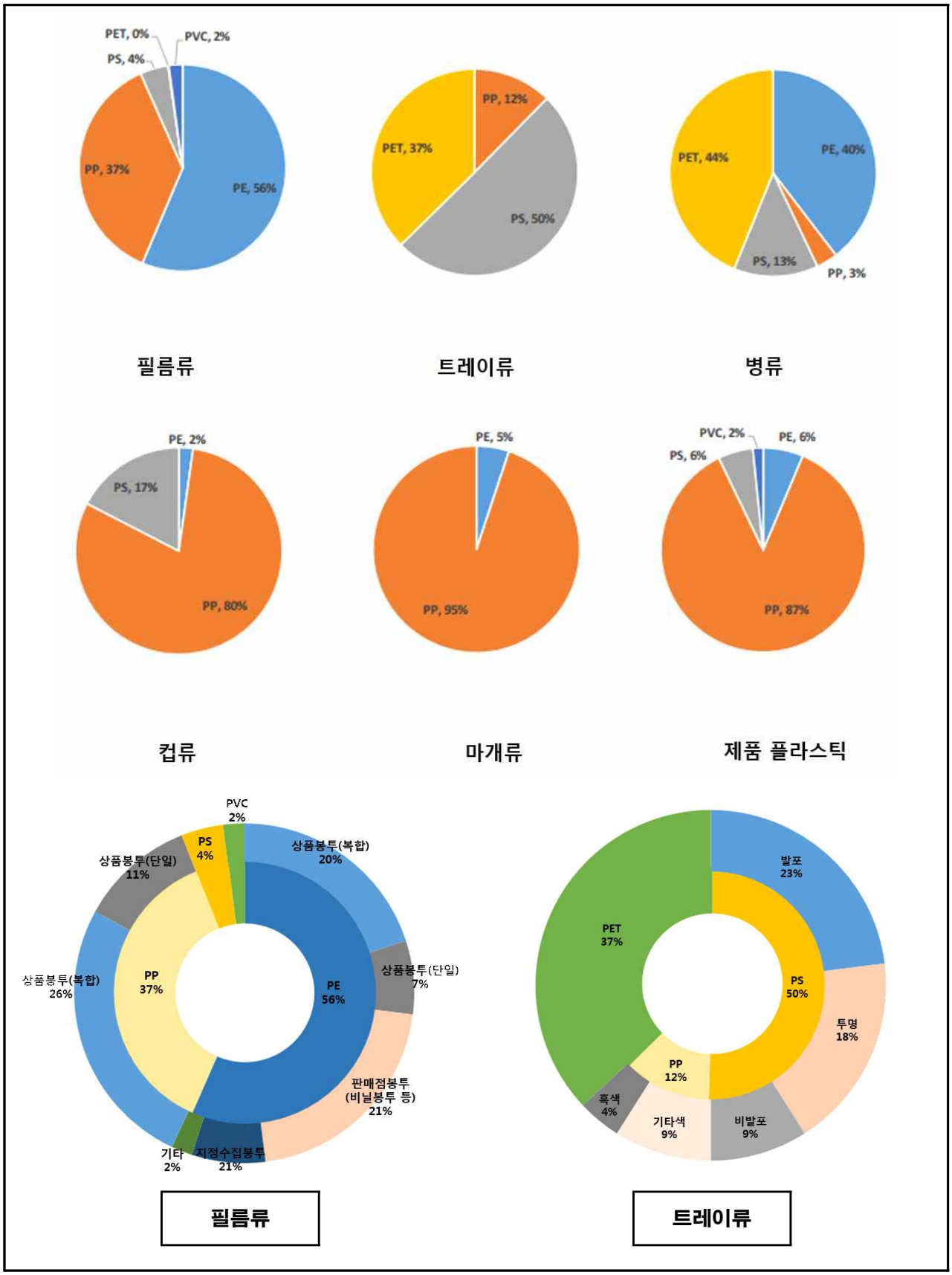


그림 2-6 형상별 구성비(평균)

③ 수거 플라스틱 이물질 분석 결과

수거 플라스틱에 포함된 이물질 중 약 30cm이상의 것을 사전에 떼어내고, 그 내역을 분석하였으며, 30cm이하의 것에 대해서는 (1)의 구성비 조사 시 분석하였으며, 2012년 7월 이후에는 공정 변경에 따라 사전 선별을 하지 않음

30cm이상의 이물질은 대상이 되는 수량 121,940kg 중 이물질로 확인된 수량은 653kg였으며(비율로는 0.54%), 내역으로는 대부분이 플라스틱 이외의 이물질이며 금속이 가장 많이 포함되어 있었음(비율로는 0.20%). (사진 2-6 참조)

30cm 이하의 이물질은 대상이 되는 수량 167,096g 중 이물질로 확인된 수량은 9,745g 였으며(비율로는 5.8%), 제품 플라스틱 및 플라스틱 이외의 이물질 비율은 반반 정도였음. 이물질 중에는 금속류나 종이류가 들어있었음 (사진 2-7, 사진2-8 참조)

이물질 분석 결과는 표 2-12, 2-13과 같음

표 2-12 이물질 분석 결과 30cm 이상 (4～6월)

※비율은 대상수량의 비율을 나타냄

분류		4월		5월		6월		합계(4~6월)	
		중량(kg)	비율	중량(kg)	비율	중량(kg)	비율	중량(kg)	비율
제품플라스틱		18.0	0.04%	21.0	0.05%	36.5	0.09%	75.5	0.06%
플라스틱 이외의 물질	금속등	148.0	0.37%	54.0	0.13%	41.0	0.10%	243.0	0.20%
	종이	0.0	0.00%	12.0	0.03%	33.5	0.08%	45.5	0.04%
	기타	134.5	0.33%	103.0	0.25%	51.5	0.13%	289.0	0.24%
합계		300.5	0.75%	190.0	0.45%	162.5	0.41%	653.0	0.54%

대상수량(kg)	40,280	41,830	39,830	121,940

사진 2-6 30cm 이상의 이물질

표 2-13 이물질 분석 결과 30cm 이하 (5～7월)

※비율은 대상수량의 비율을 나타냄

분류		5월		6월		7월		합계(5~7월)	
		중량(kg)	비율	중량(kg)	비율	중량(kg)	비율	중량(kg)	비율
제품플라스틱		2,175	3.6%	1,365	2.8%	895	1.6%	4,435	2.7%
플라스틱 이외의 물질	금속등	0	0.0%	1,540	3.1%	900	1.6%	2,440	1.5%
	종이	490	0.8%	680	1.4%	210	0.4%	1,380	0.8%
	기타	155	0.3%	555	1.1%	780	1.4%	1,490	0.9%
합계		2,820	4.7%	4,140	8.4%	2,785	4.8%	9,745	5.8%

대상수량(kg)	60,250	49,306	57,540	167,096

사진 2-7 금속류

사진 2-8 종이류

3. 선별방법 검토

3.1. 선별공정 분류와 시험개요

광학선별기를 이용한 선별시험은 최종 선별물을 몇 종류 회수하느냐에 따라 선별 공정을 Mode 1~Mode 7로 나눴음(표3-1). 물질 리사이클용 선별을 가정하는데 Mode 4를 본 전체 시험의 기본 모드로 하고 이를 3회 반복 실시했으며, 각 시험은 사전에 충분히 살펴본 샘플을 약 1t 준비하여 약 1시간에 걸쳐 광학선별을 실시, 최종선별물별 회수량(분배율)과 타겟 재질의 구성비, 회수율을 측정함(분배율, 구성비, 회수율에 대한 정의는 그림 3-1 참조).

회수량(분배율)은 시료량 전량을 회수·측정했는데 구성비, 회수율에 대해서는 각 최종 선별물에서 약 10kg 샘플을 회수하여 각각 재질별 형상별(표2-9)로 분류하여 집계 산출함

표 3-1 선별공정 분류 및 최종선별물

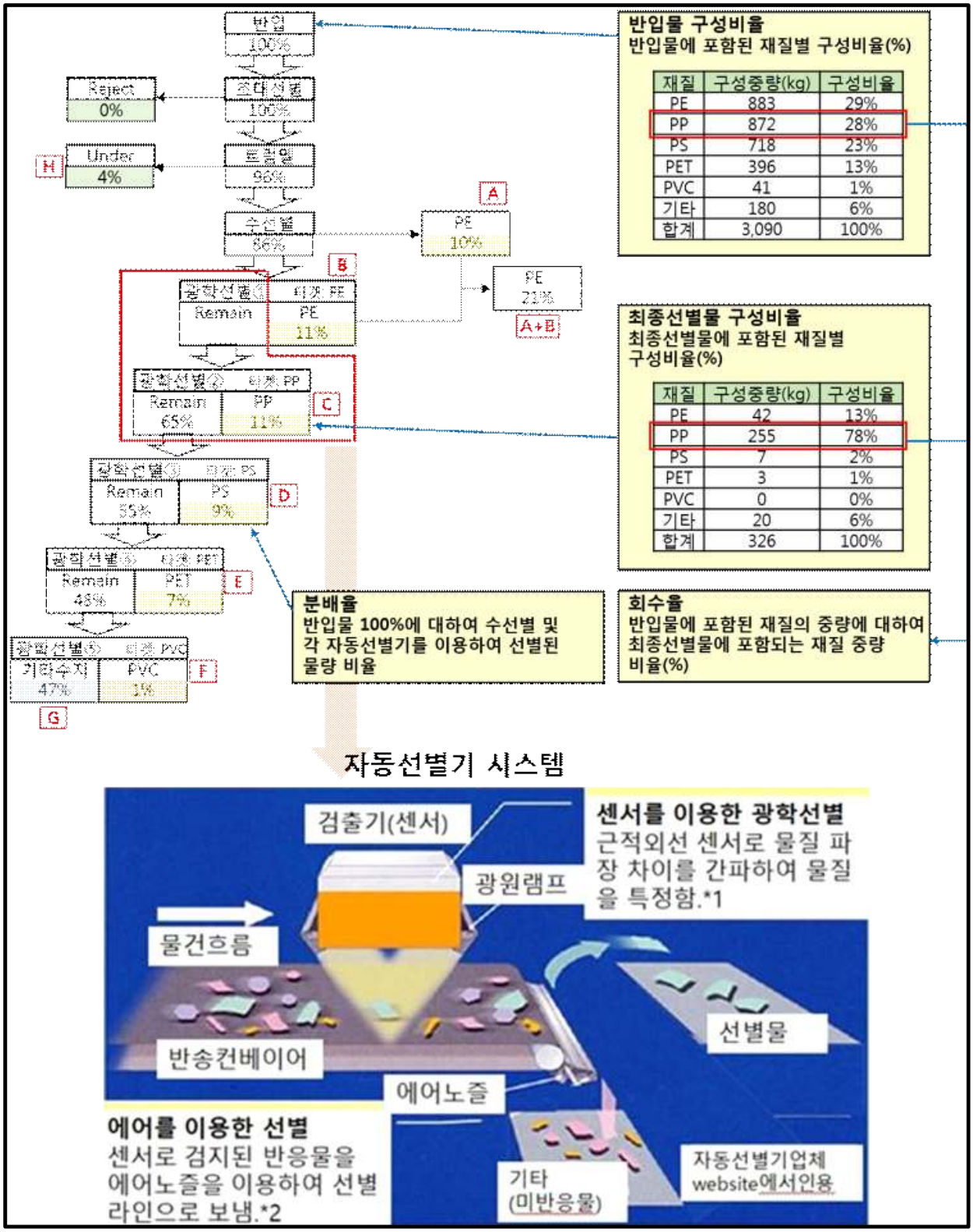
<table>
<tr><th rowspan="2">선별공정
(Select Mode)</th><th colspan="8">광학선별기를 이용한 최종선별물 재질</th></tr>
<tr><th colspan="2">PE</th><th colspan="2">PP</th><th colspan="2">PS</th><th>PET</th><th>PVC</th></tr>
<tr><td>Mode 1</td><td colspan="4">혼합품</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Mode 2</td><td colspan="4">혼합품</td><td colspan="2">○</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Mode 3</td><td colspan="2">단독</td><td colspan="2">단독</td><td colspan="2">○</td><td>○</td><td></td></tr>
<tr><td>Mode 4</td><td colspan="2">단독</td><td colspan="2">단독</td><td colspan="2">○</td><td>○</td><td>○</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Mode 5
(세분화 예)</td><td>단독</td><td>복합</td><td>단독</td><td>복합</td><td rowspan="2">발포</td><td rowspan="2">경질</td><td>○</td><td>○</td></tr>
<tr><td>HDPE</td><td>LDPE</td><td>경질</td><td>필름</td><td>○</td><td>○</td></tr>
<tr><td>Mode 6</td><td colspan="7">혼합품</td><td>○</td></tr>
<tr><td>Mode 7</td><td colspan="6">혼합품</td><td>○</td><td>○</td></tr>
</table>

주 : Mode 1,2 는 현재 용기포장 리사이클 재생처리 시설에서 이루어지고 있는 PE/PP 혼합품을 얻는 선별 방법이며 많은 물질 리사이클 사업자가 이 방법을 통한 선별을 채택하고 있음

Mode 3, 4 는 재질별로 선별물을 추출하는 방법으로 PE/PP 단일 소재를 선별하는 것이 주목적임

Mode 5는 Mode 4를 보다 세밀하게 분별하는 방법인데 Phase I 추가 시험으로 광학선별기 업체의 공장에서 실시함

Mode 6, 7은 PET, PVC 소재를 제거한 화학적/열적 기술용 원료가 되는 선별물 취득을 상정한 방법임



*1 복합소재에 대해서는 대상을 뒷면에서 검지되는 파장이 다르므로 제대로 선별되지 않을 가능성이 있음

*2 기계성능 상 에어 오차가 다소 발생할 가능성 있음

그림 3-1광학선별시험 기본 흐름

플라스틱 용기 포장 폐기물에 포함된 플라스틱 종류는

PE, PP, PS, PET, PVC와 이들의 복합 소재 등 다양하며 형태도 비닐류, 병류, 트레이류 등 다양하며, 광학선별기를 이용한 선별 시 선별 순서와 선별 설정 등 많은 요소가 선별 정확도에 영향을 미칠 수 있음. 따라서 선별 패턴으로 4패턴을 선택하여 선별 가능성 시험 ①~④를 실시하였으며, 미리 조성을 조정한 샘플을 약 50kg 만들어 이를 표준 샘플로 보조 시험 ①~③을 실시함. 보조시험은 실제 기기를 이용한 테스트를 보완하는 목적으로 업체 시험기를 이용했으며, 선별기 차이, 사전 선별에 의한 선별 정밀도 차이를 확인하기 위한 추가 시험 ①~③을 실시함. 표 3-2는 실시한 선별 가능성 시험임

표 3-2 선별 가능성 시험

	선별테마	조건	개요	비고
Ⅰ	기본시험 ＜선별가능성시험①＞	실기 A	물질 리사이클을 대상으로 한 기본실험에서는 일정한 선별 순서 PE＞PP＞PS＞PET＞PVC) 하에 실시	Mode 4
			화학적 리사이클을 대상으로 한 기본 실험에서는 PVC 선별을 목적으로 실시	Mode 6
	＜보조시험①＞	시험기A	보조시험은 PVC 제거량을 늘리는 것을 목적으로 실시	
Ⅱ	선별순서 영향 파악 ＜선별가능성시험②＞	실기 A	선별순서를 바꾸어 효과가 큰 PS	Mode 4-1
	＜보조시험②＞	시험기A	＞PE＞PP＞PET＞PVC 를 추출	Mode 4-2
	＜추가시험①＞	실기 A	선별가능성시험②와 시험 샘플을 바꿔 Mode 4-3 을 실제 기기에서 실시	Mode 4-3
Ⅲ	기기설정치 영향 파아 ＜선별가능성시험③＞ ＜보조시험③＞	실기 A 시험기A	Selectivity ˋ투입속도 검토	Mode 4
Ⅳ	2단선별 효과 파악 ＜선별가능성시험④＞	실기 A	2대 연결시켜 광학선별기로 선별 실시	Mode 4에 추가
Ⅴ	기종에 따른 영향파악 ＜추가시험②＞	실기 B	광학선별기로 선별차이를 파악하기 위해 실시	－
Ⅵ	형상선별에 따른 효과 파악 ＜추가시험③＞	독일, 시험기B	전처리로서 병계와 필름계에 형상 선별을 한 후 광학선별을 실시(단 조제한 용기포장 리사이클 폐기물을 사용)	B+Mode 4

3.2 선별방법별 선별 결과

3.2.1＜선별가능성시험①＞물질 리사이클을 대상으로 한 기본 실험

(1) 선별 시험 개요

기본적인 선별 순서에 의한 기계선별과 관련하여 각 최종 선별물의 내용과 선별 정확도를 검토함. 선별 목적은 각 최종 선별물에 포함된 타겟 재질의 구성비 및 회수율을 파악하는 것이었음

물질 리사이클을 대상으로 한 기본 실험에서는 광학선별기를 이용하여 Mode 4에서 선별 순서 PE＞PP＞PS＞PET＞PVC 순으로 선별하였으며, 선별 시험은 3회 실시하고 각각 약 1,000kg의 샘플을 사용했다. 사용한 샘플량의 총 합계는 3,090kg, 내용은 표 3-3과 같음

시험 순서는 이세사키시에서 수거한 플라스틱의 파쇄와 선별작업을 전처리로 실시한 후 처리라인에 투입함. 투입 후 큰 금속 등을 제거하는 선별작업을 실시하였으며, 그 후 트로멜(원통모양의 체로 구멍 사이즈는 50mm)을 사용하여 미세한 것을 제거, 수선별로 지정수거 봉투나 비닐봉투 등 봉투 제거를 실시한 후 광학선별기를 이용하여 선별 실시함

파쇄나 선별작업 같은 전처리는 1,000kg당 1명의 작업자가 실시하는데 5일이 걸림. 이세사시키시에서 수거한 플라스틱은 주로 봉투에 들어있는 상태였으며 이번 시험 설비에서는 봉투를 파쇄하는 것을 전제로 하는 설비가 아니어서 필요했음.

봉투류 제거에 있어서는 4명의 작업자를 배치하여 실시했는데 비닐봉투나 지정수거 봉투 오차가 있었음.

광학선별기에서 선별한 각 최종 선별물 무게에서 분배율을 파악, 타겟 재질의 구성비를 집계/분석함(각 최종 선별물에서 약 10kg을 채취해 판단)

표 3-3 물질 리사이클을 대상으로 한 기본 실험 투입 샘플 내용

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
875kg	875kg	721kg	398kg	41kg	181kg	3,090kg
28.3%	28.3%	23.3%	12.9%	1.3%	5.9%	100.0%

(2) 선별시험 결과

각 최종 선별물의 배분율은 A(PE 손으로선별) : 9.9%, B(PE) : 11.1%, C(PP) : 10.6%, D(PS) : 9.3%, E(PET) : 7.4%, F(PVC) : 1.5%, G(기타수지) : 46%였음(그림3-2참조)

또한 각 최종 선별물에 포함된 타겟 재질 구성비는 A(PE 수선별) : 84.7%, B(PE) : 80.5%, C(PP) : 77.7%, D(PS) : 86.8%, E(PET) : 93.1%, F(PVC) : 7.2%였으며, PP만 80%를 약간 밑돌았으나 그 밖에는 80%에서 93%의 구성비였고(그림3-3참조), C(PP)에 포함된 PP 이외의 재질은 PE가 가장 많은 13.2% 포함되어 있었음.

또한 각 최종 선별물에 포함된 타겟 재질 회수율은 A (PE 수선별) : 29.5%, B(PE) : 31.6%, C(PP) : 29.0%, (PS) : 34.5%, E(PET) : 53.5%, F(PVC) : 7.9%였고, PE는 수선별하는 것을 병용하고 있기 때문에 회수율은 61.1%였는데 PP, PS 회수율은 40%이하로 낮았음(그림 3-4참조)

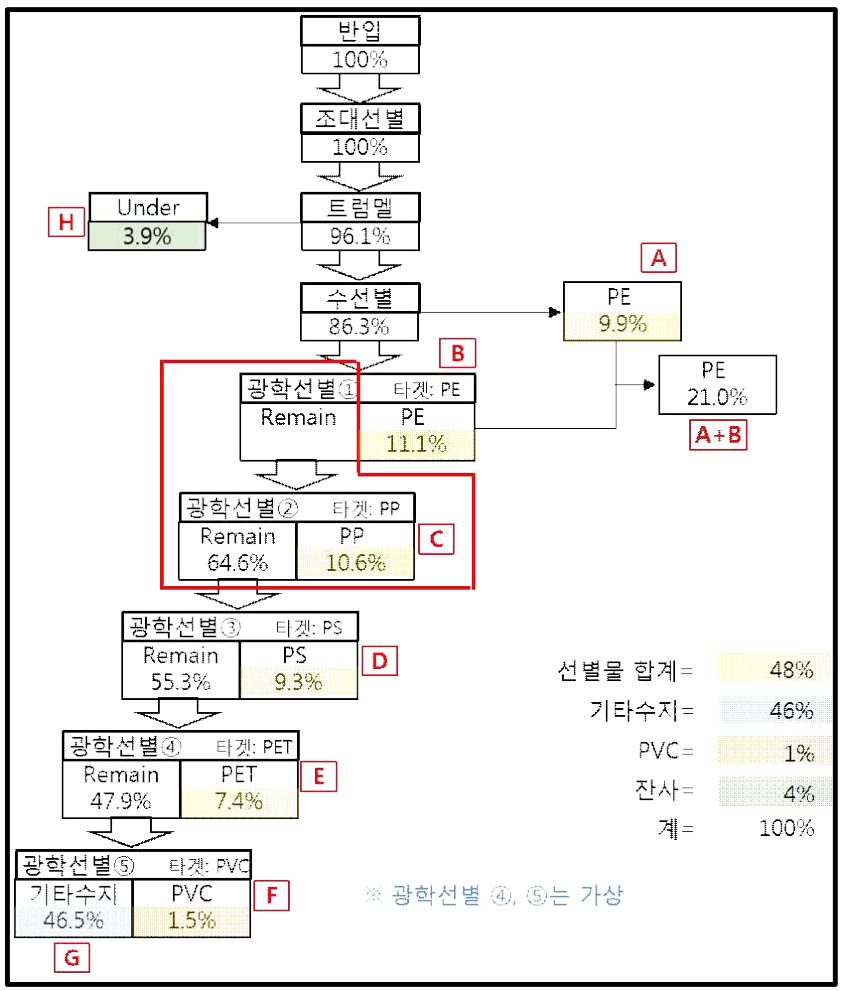


그림 3-2 각 최종선별물에 대한 배분율 (Mode 4)

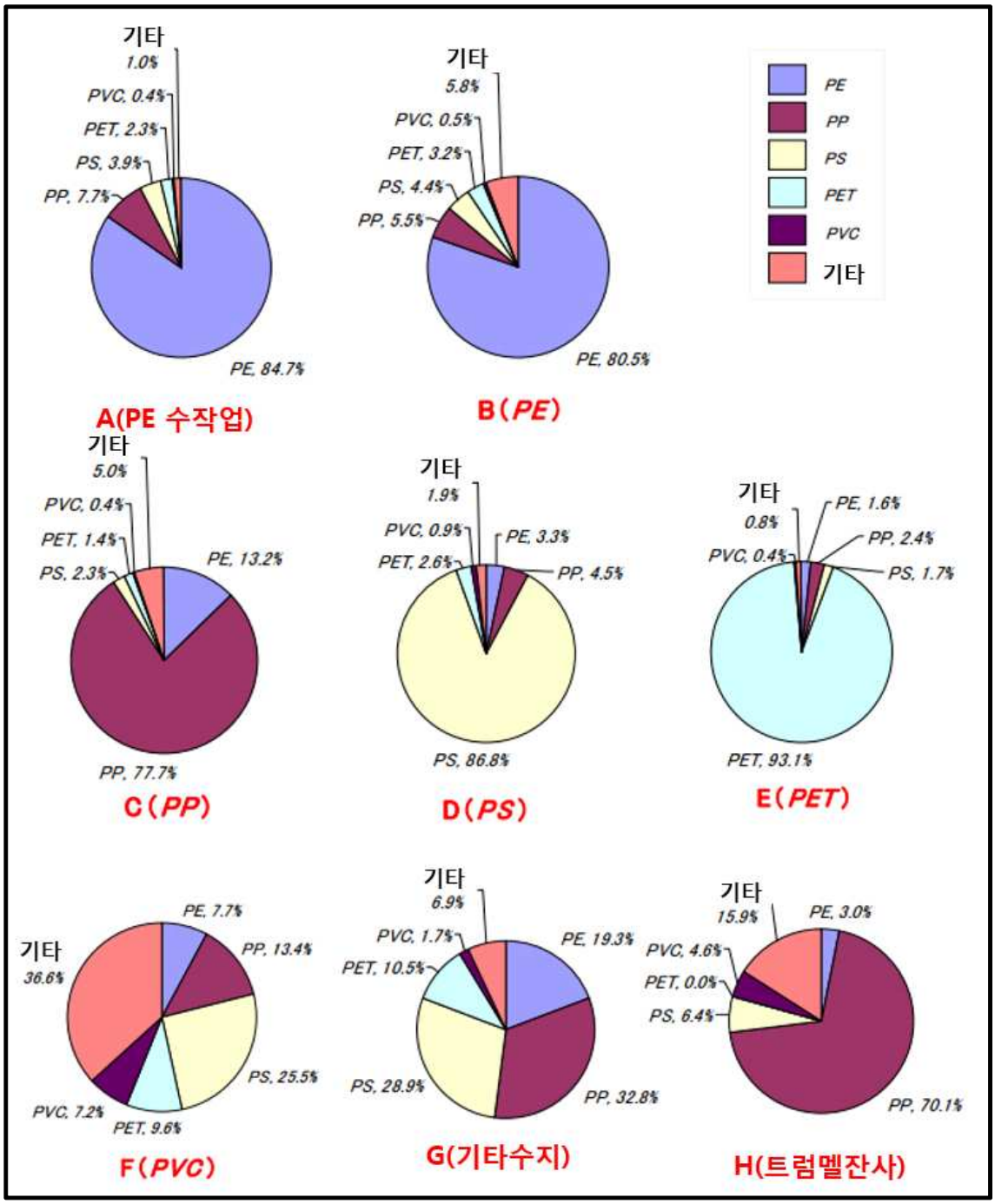


그림 3-3 각 최종 선별물에 포함된 타겟 재질 구성비 (Mode 4)

주) H(트롬멜 잔사)에서 PP 비율이 많은데 PET병 마개를 전부 PP로 가정해서 카운트했기 때문임

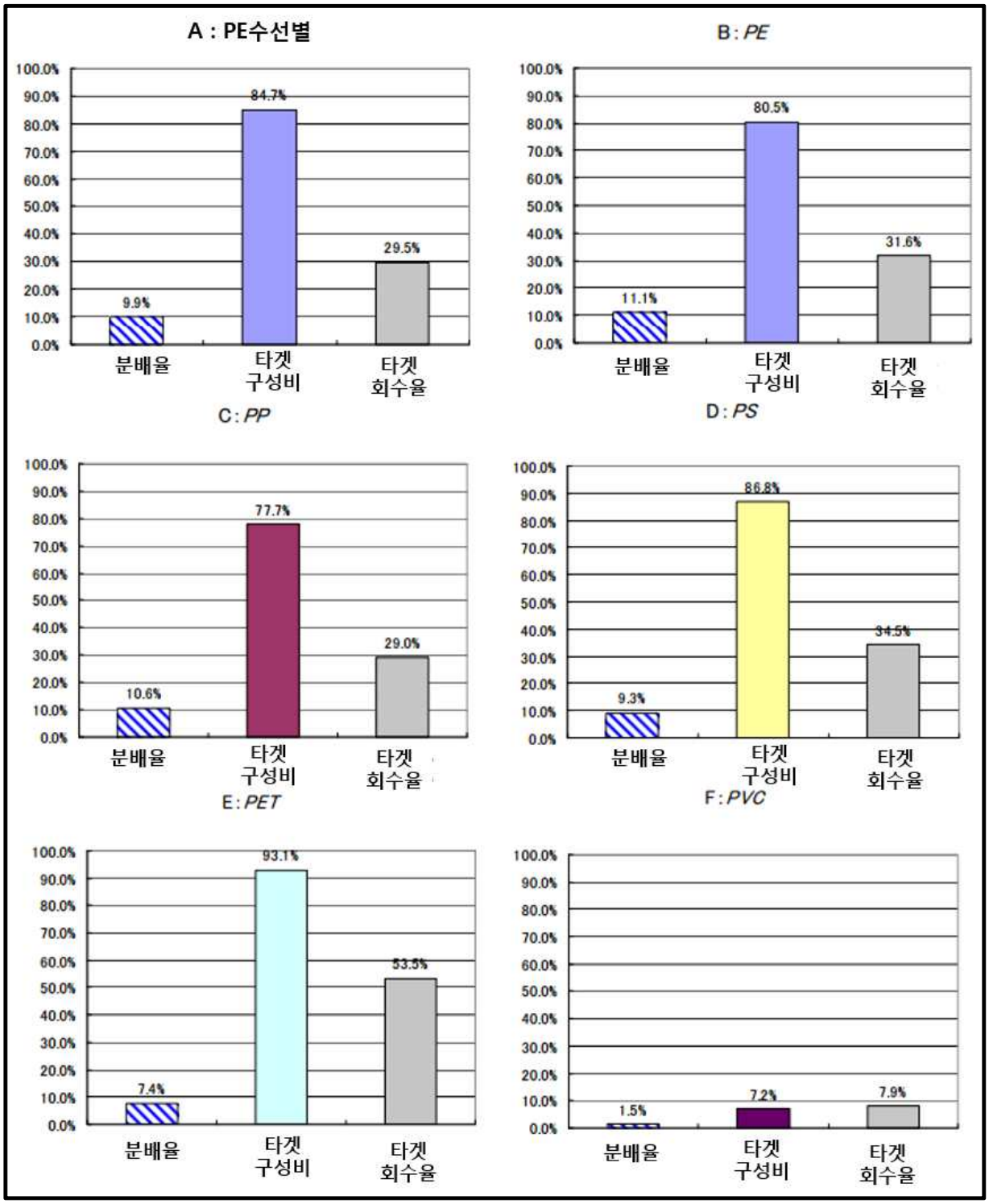


그림 3-4 각 최종 선별물의 선별성능 (Mode 4)

3.2.2 <선별가능성시험①>화학적／열적 리사이클을 대상으로 한 기본실험

(1) 선별시험 개요

화학적/열적 리사이클을 대상으로 한 기본 실험에서는 광학선별기를 이용하여 PVC만 제거하도록 선별했음(Mode 6). 선별시험에 사용된 샘플 무게는 1,513kg으로 내용은 표 3-4과 같음. 선별 목적은 최종선별물에 포함된 타겟 재질(PVC) 구성비 및 회수율을 보는 것이었으나 타겟 재질의 구성 비율을 보는 것을 목적으로 한 선별을 실시함.

시험 순서는 이세사키시에서 회수한 플라스틱 파쇄와 선별 작업을 전처리로 실시한 후 처리 라인에 투입함. 투입 후 큰 금속 등을 제거하는 조대선별을 실시하였으며, 그 후, 트롬멜(원통형 체로 구멍 크기는 50mm)를 사용하여 세밀한 것을 제거한 후 봉투류 제거를 실시하지 않고 광학선별기를 이용하여 선별을 실시함.

광학선별기를 이용하여 선별한 각 최종 선별물 무게로 분배율을 파악함과 동시에 타겟 재질의 구성비 회수율을 측정함(각 최종 선별물에서 약 10kg을 채취해 판정)

표 3-4 투입 샘플 내용 (선별전 분석 결과)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
419kg	409kg	399kg	216kg	15kg	54kg	1,513kg
27.7%	27.1%	26.4%	14.3%	1.0%	3.6%	100.0%

Mode 6의 PVC 회수 시험에서는 회수하는 PVC 구성비를 높이는 설정으로 테스트를 실시했는데 본래는 PVC 회수율을 높이는 것이 중요하다고 생각되어서 PVC 제거율을 높일 수 있는 테스트로 보조 시험 ①을 실시함. 보조 시험 ①은 제조업체 소유의 시험기를 이용하여 테스트를 실시하였으며, 사용한 샘플은 이세사키시에서 수거한 용기 포장 플라스틱 약 55kg에서 수선별하는 방법을 이용해 대형 봉투를 제거한 것들을 표준 샘플로 사용함.

표 3-5 투입 샘플 내용 (표준샘플)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
13.07kg	13.50kg	13.37kg	9.76kg	0.42kg	3.21kg	53.33kg
24.5%	25.3%	25.1%	18.3%	0.8%	6.0%	100.0%

(2)선별시험 결과

화학적／열적 리사이클을 대상으로 한 기본 실험에서는 최종 선별물에 대한 분배율은 F(PVC) : 2.1%였고(그림 3-5), 최종 선별물에 포함된 타겟 재질 구성비는 F(PVC) : 4.0%로 낮은 수치였으며(그림 3-6), 타겟 재질 수거율은 F(PVC) : 8.1%로 낮았음(그림 3-7).

그 결과 선별 전 PVC 구성비 1.0%(표 3-4)와 G(케미컬 RPF 자원) PVC 구성비 0.9%로 큰 변화는 없었으며, PVC 선별을 최종 선별물 구성비를 높이도록 선별했으나 선별물 구성비를 올릴 수 없었고 케미컬 RPF 자원 PVC 구성비는 내려가지 않았음

그러나 일반적으로는 RPF 사업자가 염화비닐 제거를 위해 광학선별기를 도입하고, PVC를 80% 제거하는 데 성공한 사업자도 많아 본 실증 시험의 설정에 문제가 있는 것으로 생각됨. 주요 원인으로는 플라스틱 용기 포장 폐기물의 염화비닐은 약 80%가 PVDC이며, PVDC의 파형을 파악하려면 광학 선별기 설정 노하우가 필요하므로 본 실증 시험에서는 표준 설정된 PVC만 제거하는 설정이었던 것으로 예상됨.

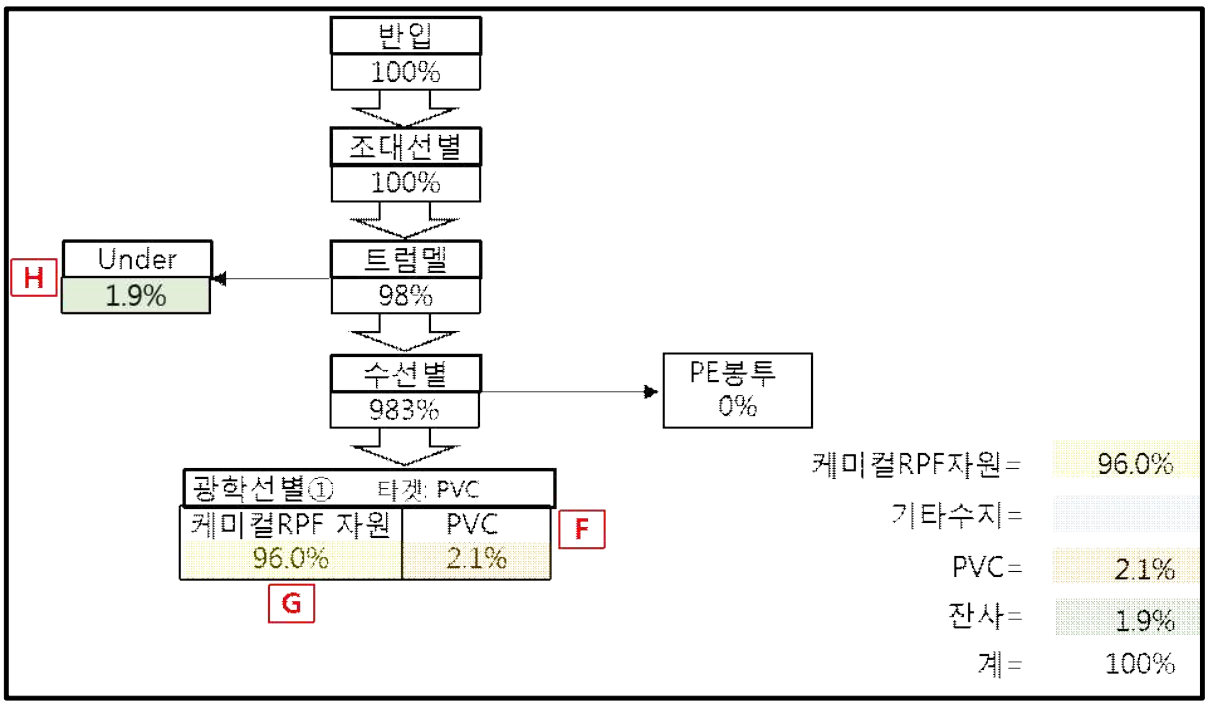


그림 3-5 최종 선별물 분배율 (Mode 6)

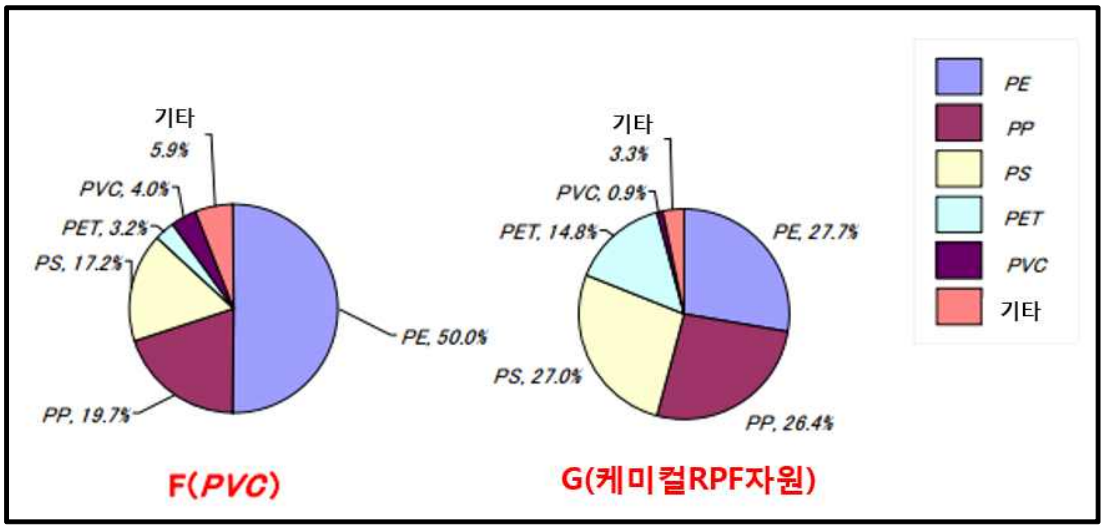


그림 3-6 최종 선별물 구성비 (Mode 6)

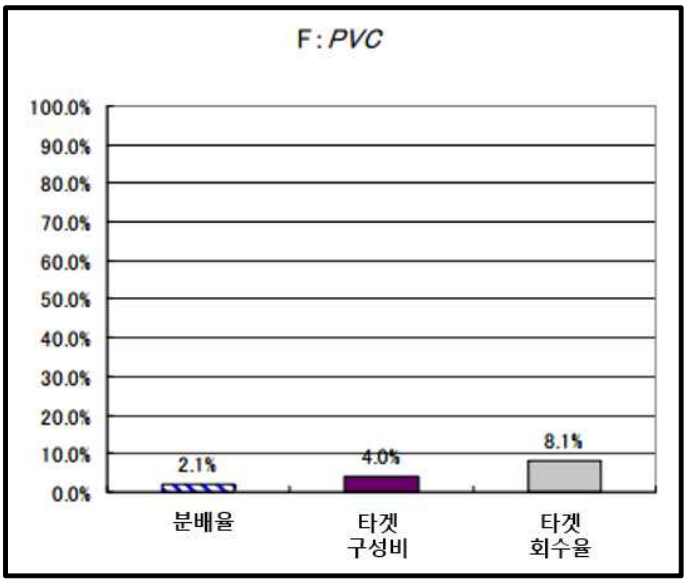


그림3-7 최종 선별물 선별성능 (Mode 6)

다음으로 회수율을 우선한 보조시험①에서는 최종 선별물에 대한 분배율은 F(PVC) : 16%였고(그림 3-8), 최종 선별물에 포함된 타겟 재질 구성비는 F(PVC) : 4.1%로(그림 3-9), 타겟 재질 회수율은 F(PVC) : 84.4%로 높았음(그림 3-10).

선별 전(표 3-5)과 G(케미컬 RPF 자원) PVC 구성비를 비교하면 0.8%→0.1%로 크게 저감되었음.

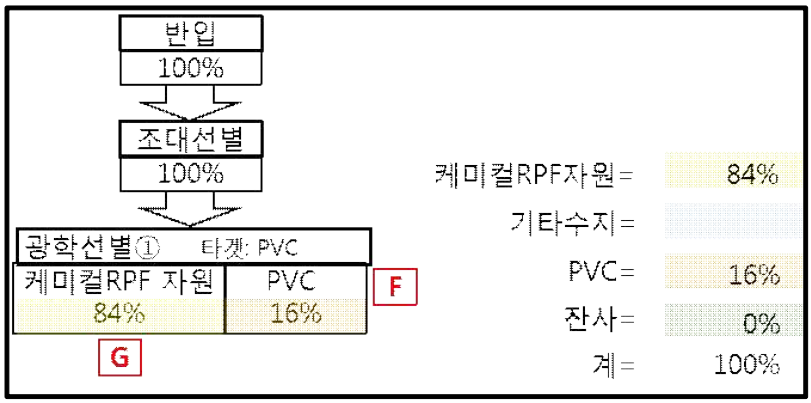


그림 3-8 최종선별물에 대한 분배율(보조시험①)

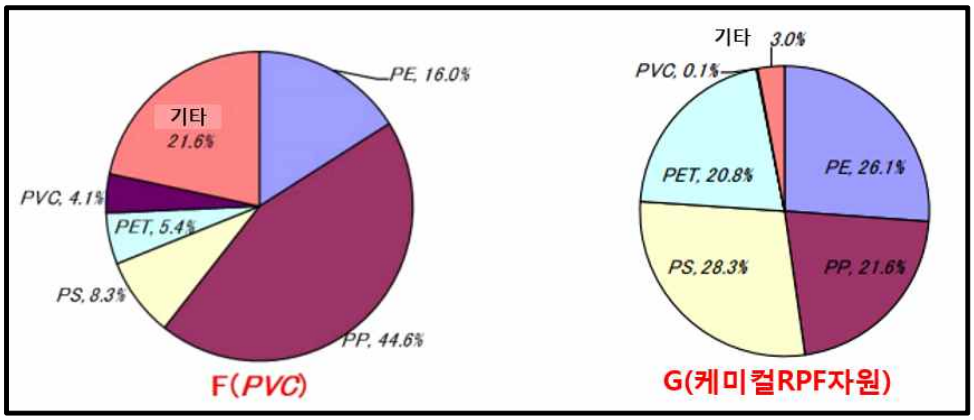


그림 3-9 최종 선별물 구성비 (보조시험①)

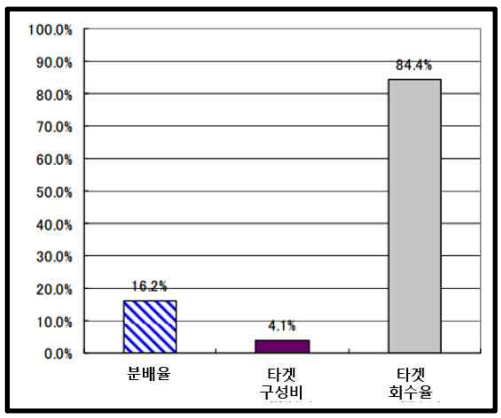


그림 3-10 최종 선별물 선택성능 (보조시험①)

이상의 결과로

· 최종선별물 (PVC) 구성비가 낮은 이유는 PVC 제거물(주로 랩)에 다른 재질이 다량 수반되기 때문으로 보임

· 다른 재질 수반을 용인한다면 PVC 제거율을 높일 수 있고 케미컬 RPF 자원 선별이 가능할 것으로 확인됨

3.2.3＜선별가능성시험②＞선별순서 영향

(1)선별시험 개요

선별가능성시험①에서는 선별순서를 일정(PE＞PP＞PS＞PET순)하게 시험을 실시했는데 선별 순서 변경에 의한 타겟 재질 구성비, 회수율에 끼치는 영향을 파악하는 것을 목적으로 하고 Mode 4 를 기분으로 한 선별 순서를 다음과 같이 설정하여 Mode 4-1, 4-3시험을 실시함

① Mode 4-1　PP＞PE＞PS＞PET

② Mode 4-2　PS＞PET＞PE＞PP

③ Mode 4-3　PS＞PE＞PP＞PET

선별 시험에 사용 된 샘플은 샘플에 의한 오차를 없애기 위해 같은 샘플을 사용하여 반복 실시하였으며, 선별 검사 후 회수물에서 집계/계산한 샘플 무게는 Mode 4-1:1,000kg, Mode 4-2:1,044kg, Mode 4-3:1,904kg로 내용은 표 3-6과 같음

선별 순서는 Mode4 와 같으나 PVC 선별 광학선별기 설정만 회수율 우선으로 함

표 3-6 투입물에 포함된 각 재질 중량

(Mode 4-1)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
321kg	268kg	264kg	145kg	10kg	40kg	1,048kg
30.6%	25.6%	25.2%	13.8%	0.8%	3.8%	100.0%

(Mode 4-2)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
352kg	267kg	237kg	134kg	8kg	46kg	1,044kg
33.7%	25.6%	22.7%	12.9%	0.8%	4.4%	100.0%

(Mode 4-3)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
589kg	492kg	465kg	264kg	31kg	63kg	1,904kg
30.9%	25.8%	24.4%	13.9%	1.7%	3.3%	100.0%

또한, 사용 원료의 영향을 줄이기 위해 표준 샘플을 사용하여 보조 시험 ②를 실시하였으며, 보조 시험 ②는 업체 소유의 시험기 A를 이용하여 아래의 선별 순서를 넣어 바꾸어가며 3가지 시험을 실시함

Base : PE > PP > PS >PET (B)

패턴① : PS > PET > PE > PP (①)

패턴② : PET > PS > PE >PP (②)

이때 광학 선별기 설정은 실기 A에서의 시험 조건 설정과 동일하게 실시하여 표 3-9에 표시된 샘플을 이용하여 테스트를 실시함

표 3-9 투입 샘플 구성비

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
13.07kg 25%	13.50kg 25%	13.37kg 25%	9.76kg 18%	0.42kg 1%	3.21kg 6%	53.33kg 100%

최종 선별물에 대해서는 최종 선별물마다의 회수량(분배율)과 선별된 내용의 구성비, 타겟 재질의 회수율을 측정했다. 회수량 (분배율)은 공급시료량 전량을 회수·측정했는데 구성비, 회수율에 대해서 최종 선별물에서 약 10kg의 샘플을 회수하여 각 재질별 형상별(표 2-9)로 분류하여 집계/계산함

(2)선별시험 결과

그림 3-11에 각 타겟 구성비를 선별 패턴별로 나타내었으며, 그림 3-12는 각 타겟 회수율을 선별 패턴별로 나타냄

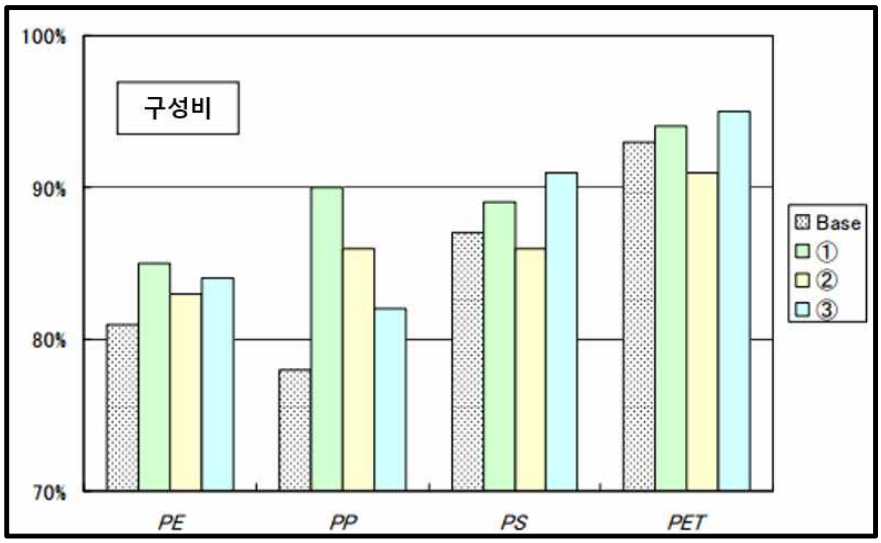


그림 3-11 선별패턴에 따른 타겟 구성비 비율

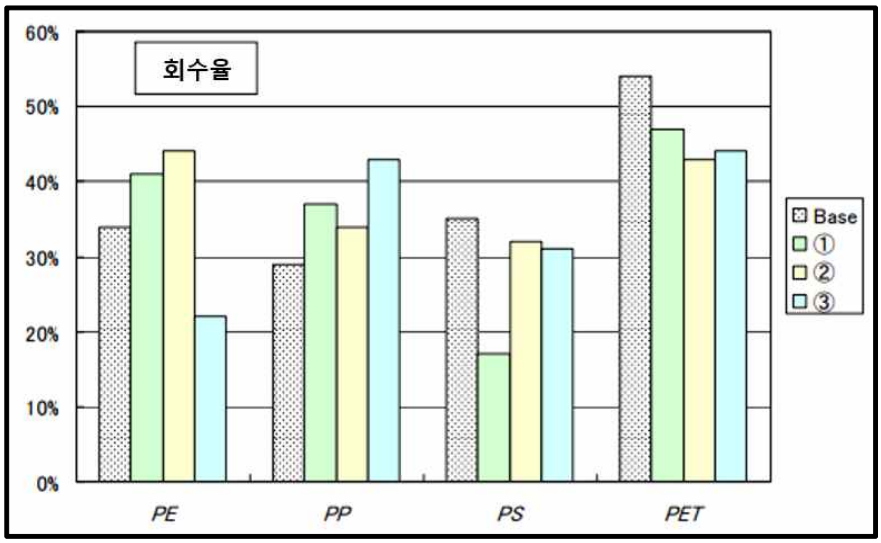


그림 3-12 선별 패턴에 따른 타겟 회수율 비교

＜선별순서＞				
BaseMode4	1	2	3	4
① Mode4-1	2	1	3	4
② Mode4-2	4	3	1	2
③ Mode4-3	2	3	1	4

또한 그림 3-7에는 상기 패턴의 타겟 재질 구성비와 회수율의 관계를 나타냄

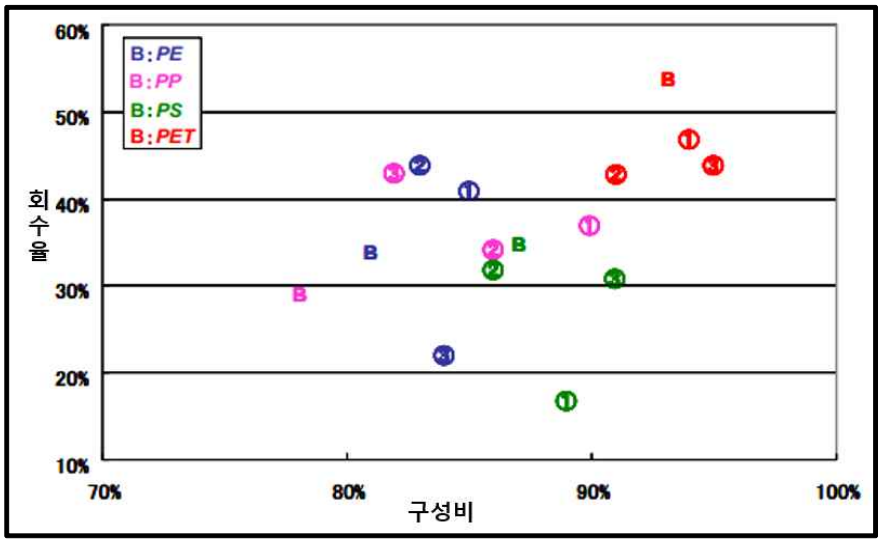


그림3-13 선별 패턴에 따른 타겟 구성비와 회수율 관계

※ 그림 속 플로트 기호(B, ①, ②, ③)는 선별 패턴을 나타내며 타겟별로 색으로 구별함

이러한 선별 순서에 따라 선별한 결과, 아래와 같은 사실이 밝혀졌음

- 지금까지 경험으로 이루어지던 선별 순서(Base)에 비해 선별 순서 변경은 구성비 및 회수율 향상에 기여할 가능성이 있음

· 공정의 질을 높이는 관점에서 최종 선별물 중 타겟 재질의 구성비가 높은 것이 바람직함

공정 전체적으로 주요 성분인 PE 또는 PP를 주체로 생각하면 Mode 4-1, 즉 먼저 PP를 타겟으로 한 선별방법이 좋은 결과를 보여주고 있으나 PS 구성비가 Base보다 저하하고 있으며 원인 규명과 대응책의 검토가 필요함

· 구성비와 회수율의 명확한 상관관계는 찾아 낼 수 없음(그림 3-13 참조).

바람직한 것은 이 두 가지가 향상하는 선별 패턴을 발견하는 것인데 향후 우선 정밀하게 선별 할 수 있는 패턴에 대해 최종 선별물의 화학적 분석과 가치 평가를 실시함과 동시에 이 패턴을 반복 시험할 필요가 있다고 생각함

·광학 선별기의 선별 정도 등 설정 조건의 영향 파악도 필요함

다음으로 보조시험② 선별결과를 그림 3-18에 나타냄

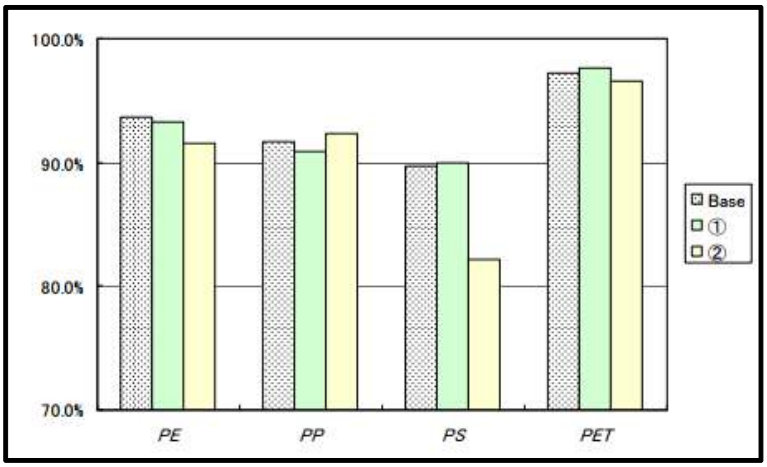


그림 3-18 선별순서와구성비

선별순서와 회수율을 그림 3-19에 나타냄

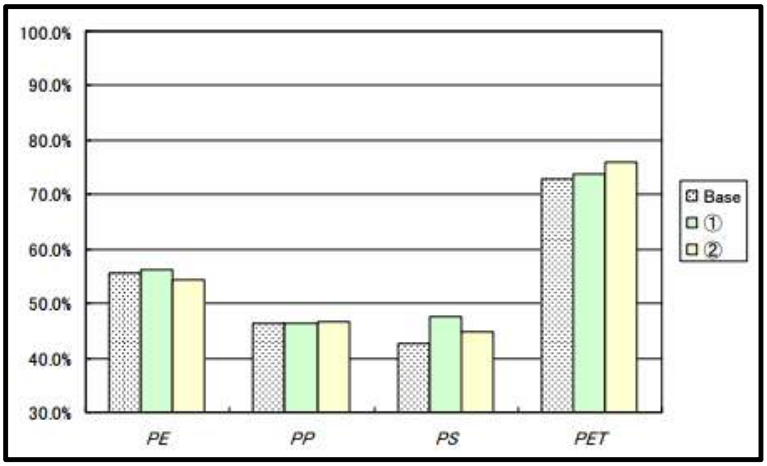


그림 3-19 선별순서와 회수율

보조 시험 ②에서는 선별 순서를 변경한 경우의 영향이 실기를 사용했을 경우와 비교해서 줄었으며, 실기를 이용한 테스트와의 주요 차이는 투입한 샘플의 광학선별기 상에서의 분산이며, 제대로 분산되어 있으면 순서에 따른 영향이 적은 것으로 나타남. 보조 시험 ②에서도 PS를 먼저 선별한 경우 PS 회수율이 가장 높으며, 이 때문에 선별 순서를 고려할 때 선별하기 쉬운 재질과 회수율을 높이고 싶은 재질을 먼저 선별하는 것이 좋다고 생각됨

(3)추가시험① (Mode 4-3) 개요 및 결과

Mode 4-3가 회수율, 구성비 향상에 기여할 가능성이 높다고 생각되기 때문에 다른 샘플을 준비하여 다시 선별 검사를 실시함. 사용한 샘플은 표 3-7과 같으며, 선별기 설정은 Mode 4-3과 같으나, PVC 선별에 대해서만 구성비 우선으로 선별 설정하고 있음

표 3-7 투입물에 포함된 각 재질 중량

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
316kg	309kg	216kg	131kg	8kg	30kg	1,011kg
31.3%	30.6%	21.4%	13.0%	0.8%	3.0%	100.0 %

각 최종 선별물 배분율은 A(PE 수작업선별) : 9.2%, B(PE) : 9.1%, C(PP) : 14.1%, D(PS) : 10.2%, E(PET) : 7.0%, F(PVC) : 2.7%, G(기타수지) : 47.8%였음(그림 3-14참조)

각 타겟 재질 구성비는 A(PE 수작업선별) : 86.6%, B(PE) : 87.6%, C(PP) : 82.6%, D(PS) : 87.4%, E(PET) : 94.8%였음

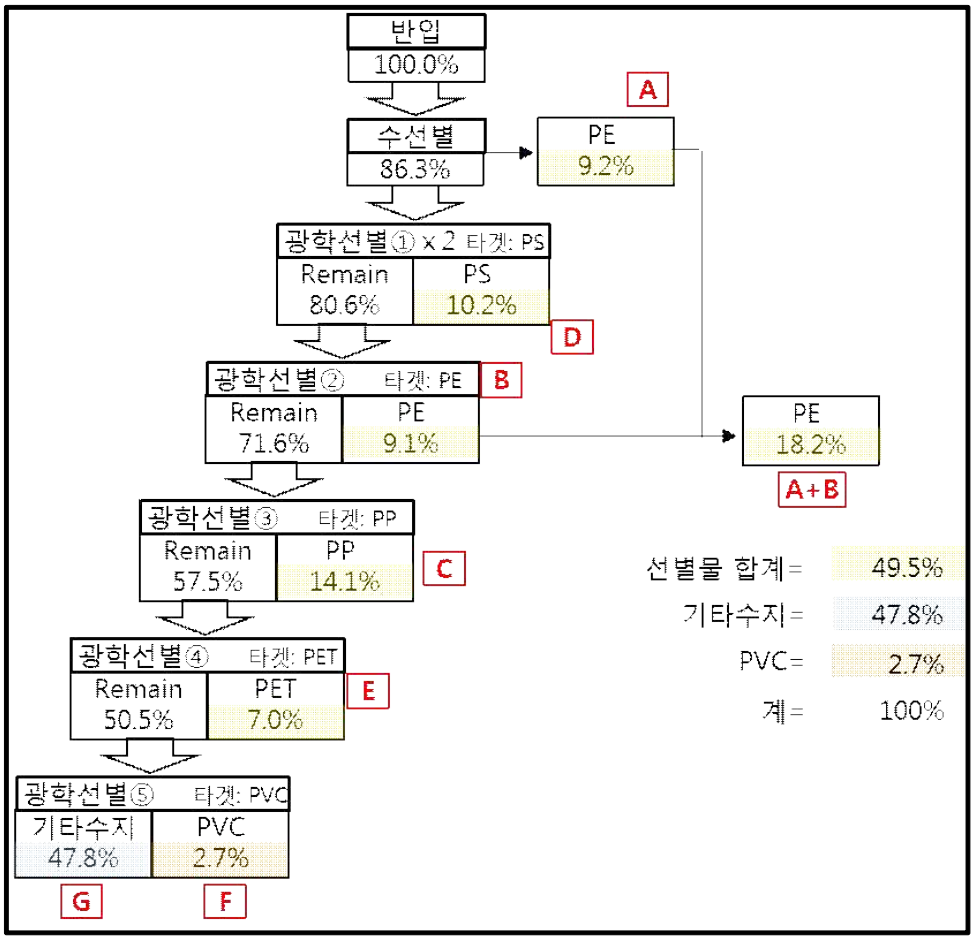


그림 3-14 Mode 4-3 을 통한 시험 결과 (각 최종 선별물에 대한 분배율)

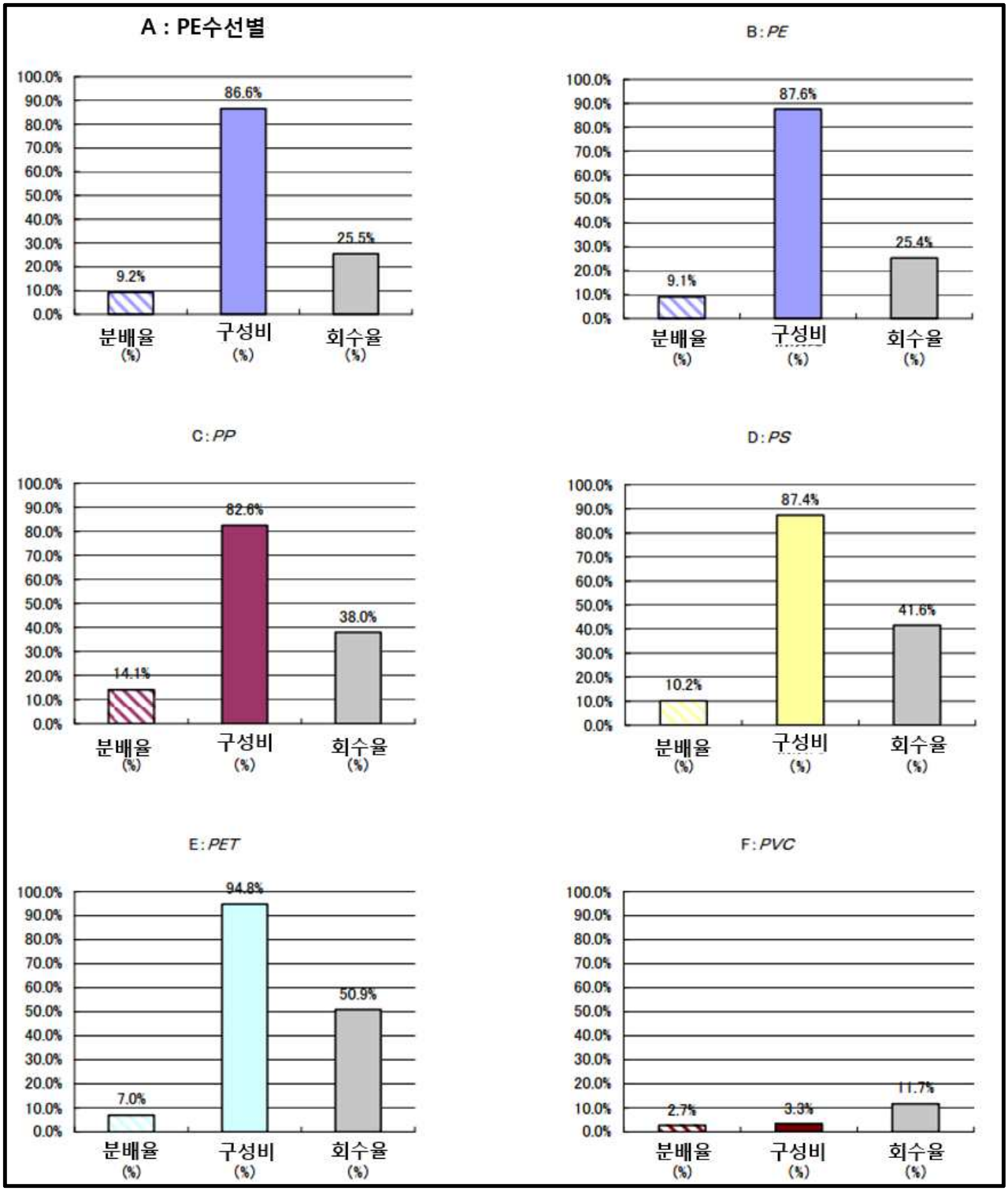


그림 3-15 각 최종 선별물 분배율, 구성비, 회수율

선별 가능성 시험 ②에서 실시한 Mode 4-3과 추가 시험 ①에서 실시한 Mode 4-3 배분율, 구성비, 회수율을 비교함(표 3-8). PS 구성비가 91.3%⇒87.4% PS 회수율이 31.1%⇒41.6%이며, Mode 4-3은 PS를 먼저 선별하고 있으므로 먼저 선별하는 수지의 편차가 커졌을 가능성이 있음. 따라서 선별 순서를 고려할 때 비교적 선별하기 쉬운 수지 (PS, PET)를 먼저 선별하는 것은 유효하다고 생각됨

기타 수치는 선별 가능성 시험 ②, 추가 시험 ①과 샘플이 달라도 대체로 가까운 수치로 선별 시험 결과는 일정한 확실성이 있는 것으로 보임

표 3-8 분배율, 구성비, 회수율 정리

●추가시험① (Mode 4-3)

구성 재질	분배율 (%)	구성비 (%)	회수율 (%)
A : PE (수선별)	7.9	90.4	23.0
B : PE	8.2	84.3	22.4
C : PP	13.7	81.7	43.5
D : PS	8.3	91.3	31.1
E : PET	6.4	94.8	43.8
F : PVC	4.3	19.3	49.6

●선별가능성시험② (Mode 4-3)

구성 재질	분배율 (%)	구성비 (%)	회수율 (%)
A : PE (수선별)	7.9	90.4	23.0
B : PE	8.2	84.3	22.4
C : PP	13.7	81.7	43.5
D : PS	8.3	91.3	31.1
E : PET	6.4	94.8	43.8
F : PVC	4.3	19.3	49.6

또 그림3-16, 3-17 에서는 Phase I 에서 실시한 Mode 4와 추가시험②에서 실시한 Mode 4-3를 비교함

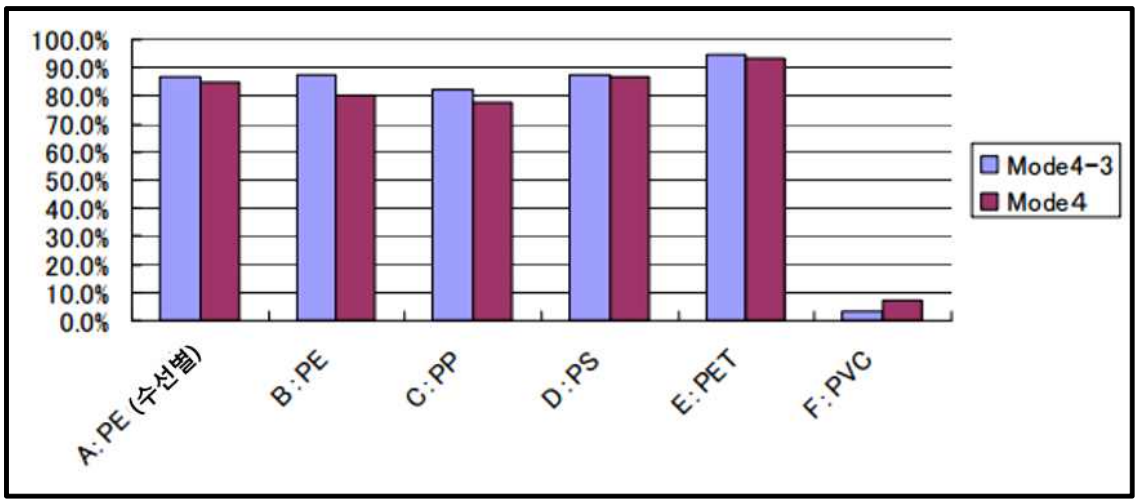


그림 3-16 Mode 4-3、Mode 4 구성비 비교

Mode 4-3과 Mode 4를 비교하면 구성비는 모두 Mode 4-3이 더 높으며 선별 순서를 검토 한 Mode 4-3은 구성비에 좋은 효과를 주고 있음

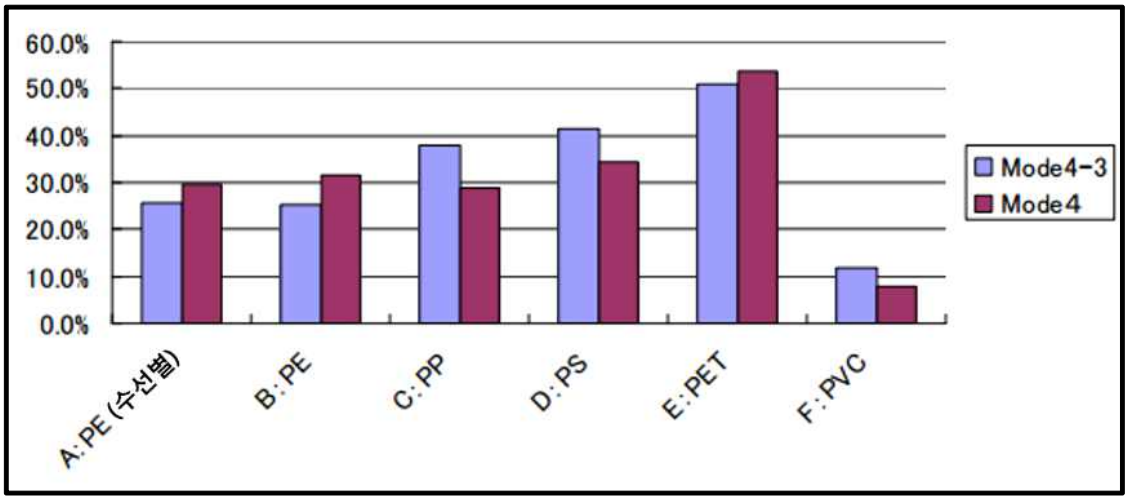


그림 3-17 Mode4-3、Mode4 회수율 비교

Mode 4-3, Mode 4에서의 회수율을 비교하면, PS, PP 회수율이 증가하고 있으며, PE, PET에서 감소하였으며, 선별 순서를 먼저한 PS는 회수율이 높아질 것으로 예상되어(앞서 선별된 수지에 다른 수지로 회수되지 않기 때문에), 그대로의 결과였음. 또한 선별 순서를 뒤로한 PE는 먼저 선별한 PS에 혼입되어 회수율이 떨어진 것으로 보이며, PP에 대해서는 선별 순서를 뒤로 했음에도 불구하고 회수율이 높아 먼저 선별한 PS, PE 에 잘못 회수되는 영향보다 PS, PE가 제거된 상태(PP 구성비가 높은 상태)에서의 회수율 향상 효과가 더 큰 것으로 생각됨. 이상의 결과로 상대적으로 선별이 어려운 PP 선별 순서는 뒤로 가져가는 것이 유효할 가능성이 큼

Mode 4-3은 Mode 4 대비 구성비, 회수율이 높아지는 것을 계속해서 알 수 있는데 구성비는 여전히 80%대이며 구성비를 더 향상시키기 위해서는 Selectivity 및 투입 속도 재검토가 필요하다고 생각됨

3.2.4<선별가능성시험③>기기 설정값 영향 파악

(1)선별시험 개요

Mode 4-3을 기준으로 Selectivity, 투입속도를 변경하여 3가지 시험을 실기 A와 시험기 A에서 각각 실시함

* Selectivity 란 광학선별기 기기설정 중 하나로 Selectivity 를 높인 경우 대상이 되는 수지를 보다 엄밀하게 인식할 수 있다.

Mode 4-3H Selectivity를 높인 설정 (＝구성비율우선)

Mode 4-3H, Mode 4-3H에서 투입 속도를 느리게 설정 (1.0t/ h ⇒0.5t/ h)

Mode 4-3L Selectivity를 낮춘 설정 (＝수거율우선)

선별시험에 사용한 샘플은 선별 시험 후 수거물에서 집계／산출한 샘플 중량에서 나온 것이며 내용은 3-10과 같음

표 3-10 투입물에 포함된 각 재질 중량

(Mode 4-3)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
316kg 31.3%	309kg 30.6%	216kg 21.4%	131kg 13.0%	8kg 0.8%	30kg 3.0%	1,011kg 100.0%

(Mode 4-3H)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
287kg 31.3%	247kg 27.0%	206kg 22.5%	132kg 14.4%	13kg 1.4%	32kg 3.5%	918kg 100.0%

(Mode 4-3H′)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
134kg 28.3%	148kg 31.4%	100kg 21.1%	63kg 13.4%	6kg 1.3%	21kg 4.4%	472kg 100.0%

(Mode 4-3L)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
222kg 24.6%	239kg 26.5%	182kg 20.2%	198kg 22.0%	18kg 2.0%	42kg 4.6%	902kg 100.0%

최종 선별물에 대해서는 최종 선별물 별 수거량 (분배율)과 선별된 내용의 구성비, 타겟 재질 수거량을 측정했다. 회수량 (분배율)은 공급 시험량 전량을 회수・측정했는데 구성비, 회수율에 대해서는 최종 선별물에서 약 10kg의 샘플을 회수하여, 각각 표 2-9로 분류하여 집계/산출함

또한, 사용 원료의 영향을 줄이기 위해 표준 샘플을 사용하여 보조 시험 ③을 실시했다. 보조 시험 ③은 업체 소유 시험기 A를 사용함

광학 선별기 설정은 Selectivity를 High, Middle, Low의 3조건으로 하고 선별물을 추출하였으며, 센서 선별 조건은 High=구성 비율 우선, Low=회수율 우선, Middle=중간 정도의 3 패턴으로 변화시켰다. 이때 광학 선별기 설정은 실기 A에서의 시험 조건과 동일하게 설정하여 실시하며 수거한 수지 구성비, 분배율, 회수율을 측정했다. 사용한 샘플 내용은 표 3-11과 같음

표 3-11 투입 샘플 구성비

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
13.07kg 25%	13.50kg 25%	13.37kg 25%	9.76kg 18%	0.42kg 1%	3.21kg 6%	53.33kg 100%

(2)선별시험 결과

각 타겟 선별물의 구성비는 그림 3.20과 같음. Mode 4 대비 모두 구성비가 향상을 보였으나, Mode 4-3, Mode 4-3H, Mode 4-3H'에서는 구성비에 큰 차이가 보이지 않았으며 Selectivity, 투입 스피드 재검토를 통한 구성비 향상은 보이지 않았다. 한편, Mode 4-3L에서는 PE, PP의 구성비가 특히 크게 떨어지는 결과가 됨

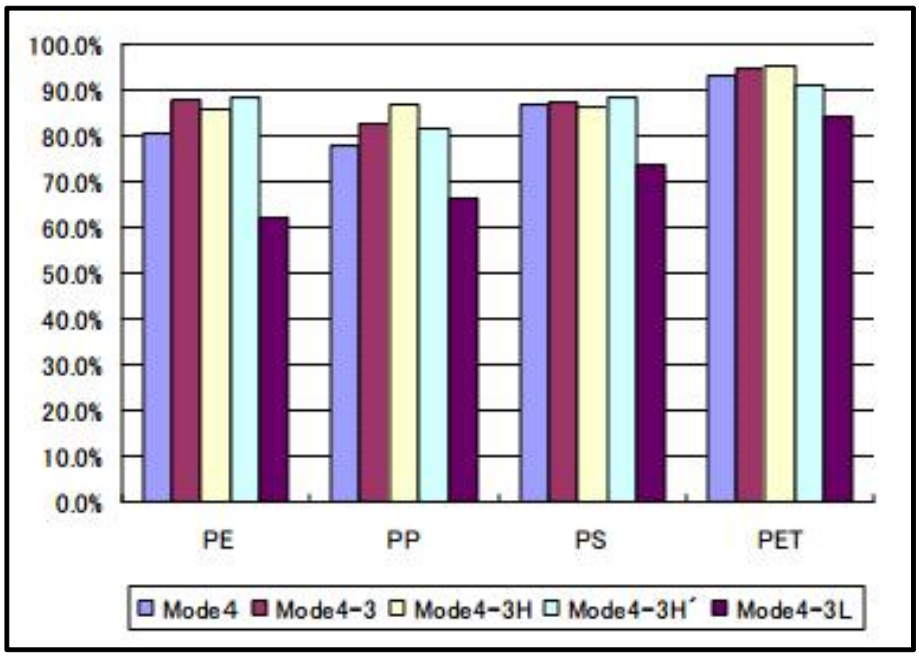


그림 3-20 타겟 구성비 비교

PS, PP 수거율은 Mode 4-3L에서 크게 상승했고 PE는 감소했다. PE 수거율 감소는 바로 앞에서 실시한 PS 선별 시 실수로 회수된 PE 양이 늘어난 것이 원인의 하나라고 생각되며, Mode 4-3H'에 대해서도 PE 수거율은 낮았으나, 이것은 PE (수작업 선별)에 의한 PE 수거량이 많았던 것이 원인임

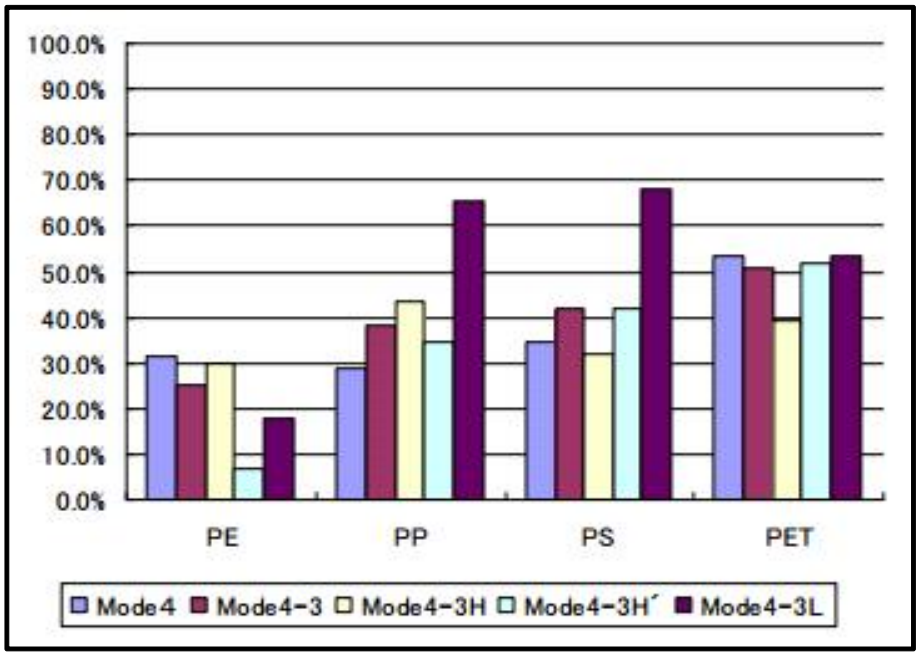


그림 3-21 타겟 수거율 비교

다음으로 시험기 A를 이용한 보조 시험 ③에서는 Selectivity High시 각 최종 선별물의 분배율은 B(PE):14%, C(PP):13 %, D(PS):13% E(PET):14%, G(기타 수지):43 %로 나타남(그림 3-22 참조).

또한 각 최종 선별물에 포함된 타겟 재질 구성비는 B(PE):95.7%, C(PP):90.2%, D(PS):89.2%, E(PET):96.3%로, 모두 실기 A를 이용한 경우보다 높은 구성비를 보임(그림 3-23 참조).

또한 각 최종 선별물에 포함된 타겟 재질 수거율은 B(PE):55.3%, C(PP):47.2%, D(PS):49.4%, E(PET):75.2%로 나타났으며, 수거율도 실기 A를 이용한 경우보다 모두 높은 결과를 얻을 수 있었음(그림 3-34 참조).

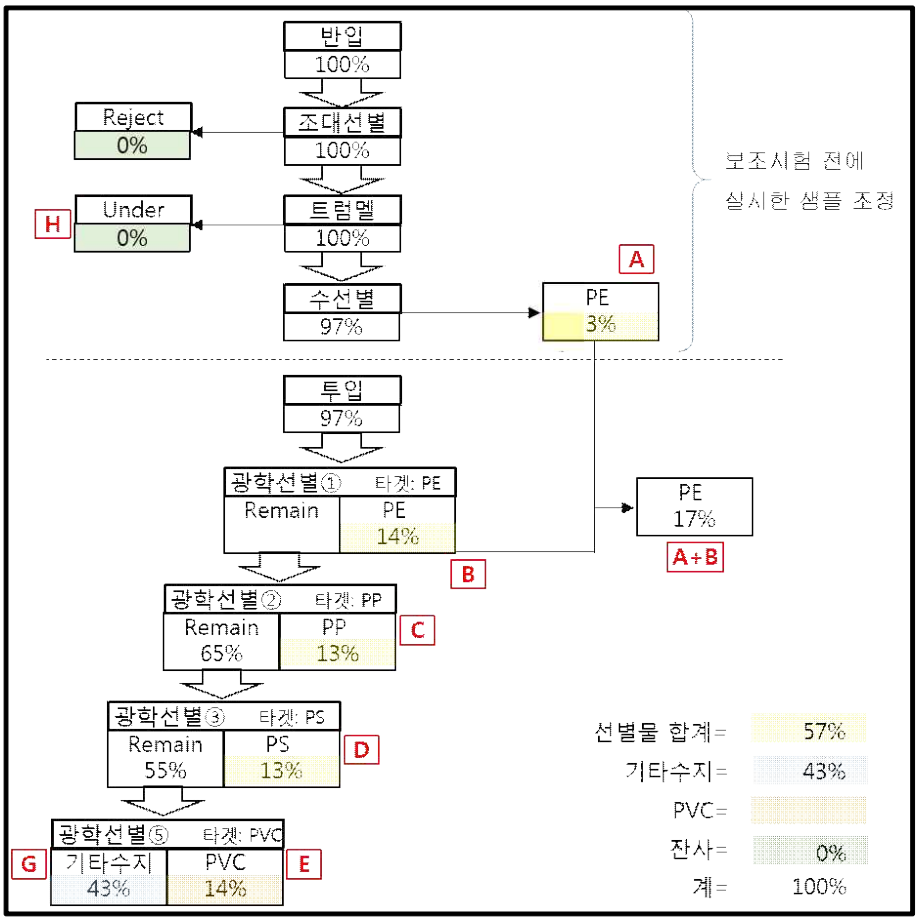


그림 3-22 보조시험③ (SelectivityHigh에 의한 시험 결과(각 최종선별물의 분배율)

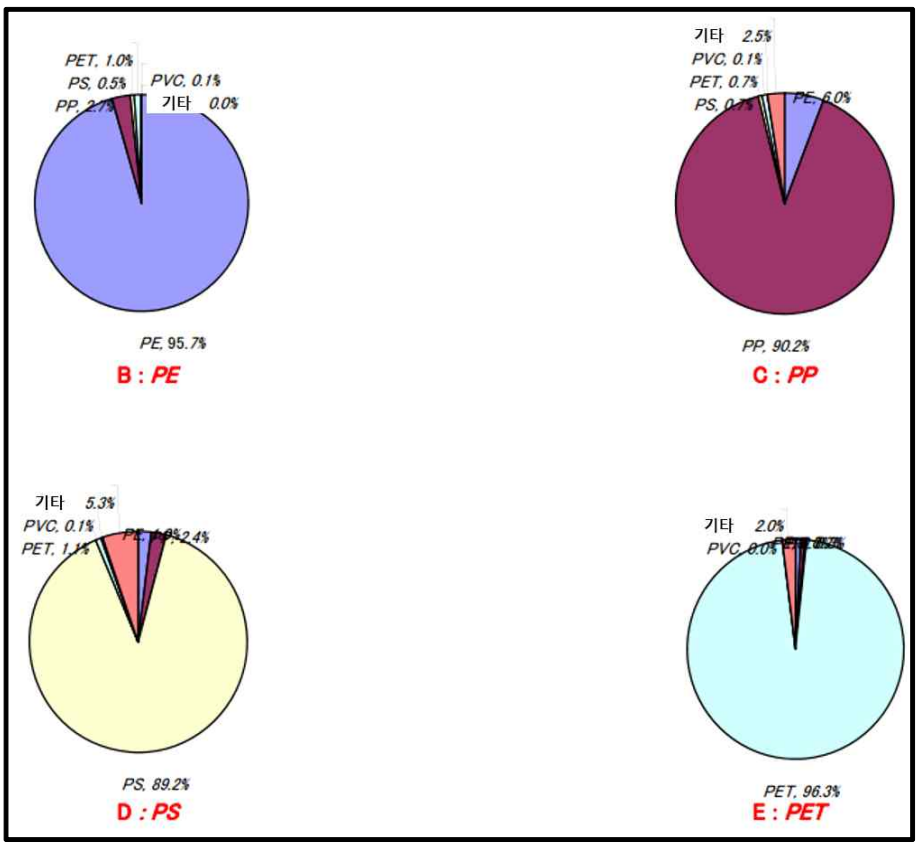


그림 3-23 보조시험③ (Selectivity High에 의한 시험결과(구성비)

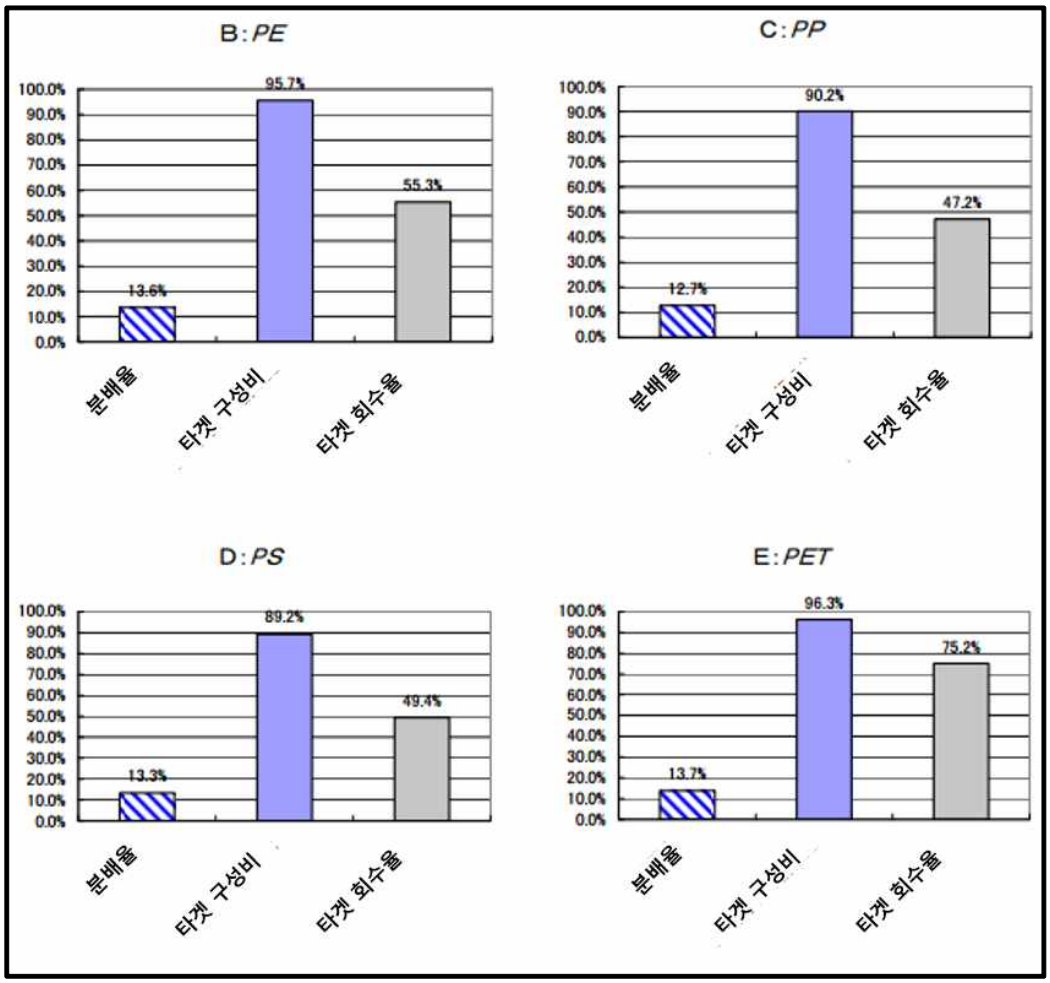


그림 3-24 보조시험③ (Selectivity High) 분배율, 구성비, 회수율

다음으로 보조시험③에서의 Selectivity를 High, Middle, Low로 변화시켰을 때의 PE, PS 구성비와 회수율의 관계가 그림3-25와 같으며, Selectivity High시 구성비가 가장 높고 회수율은 낮은 결과가 되었음

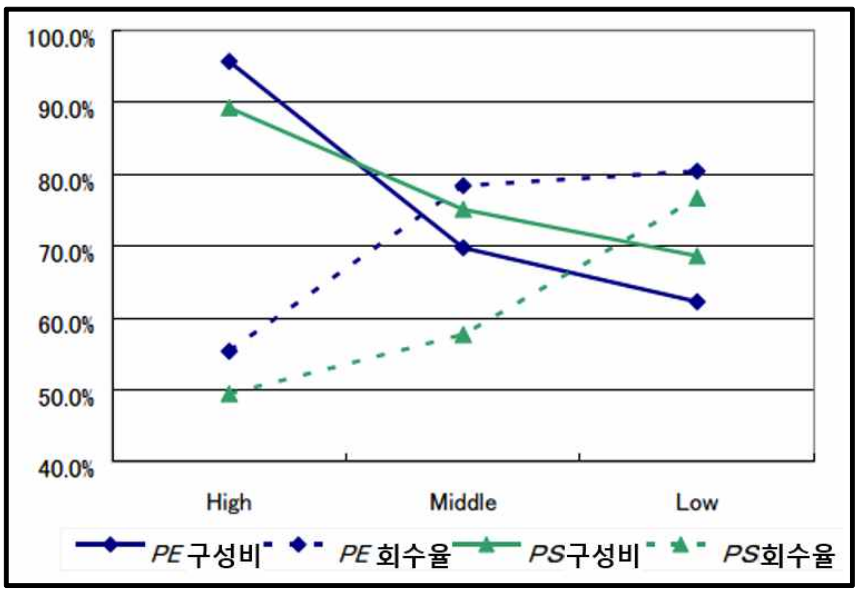


그림 3-25 Selectivity와 구성비 · 회수율

이상으로 광학선별기에 의한 선별에서는 구성비 향상에는 한계가 있음과 회수율이 향상된 경우 구성비가 떨어지는 것을 알 수 있었으며, 구성비를 더 올리는 방안의 하나로 광학선별기의 2단 선별을 검토했음

3.2.5 <선별가능성 시험④>2단 선별 효과 파악

(1)선별시험 개요

지금까지의 선별시험은 광학선별기 1대에서 1종류의 수지를 선별했었는데, 광학선별기 2대에서 1종류의 수지를 선별하는 2단 선별이 분배율, 구성비, 회수율에 미치는 영향 파악을 목적으로 실시함

사용한 샘플은 광학선별기에서 미리 PE 또는 PP를 선별 회수한 샘플을 사용하였으며, 2단 선별 시 기기설정은 Selectivity를 변경한 3패턴(High, Middle, Low)으로 함. PE와 PP의 2단선별에 사용된 샘플구성비는 표3-12, 표3-13과 같음

표 3-12 PE 2단 선별 시 투입물에 포함되는 각 재질 중량

2단째 설정(High)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
112.60kg 75%	18.70kg 13%	8.80kg 6%	3.10kg 2%	0.70kg 0%	5.60kg 4%	149.50kg 100%

2단째 설정(Middle)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
102.20kg 75%	16.80kg 12%	7.90kg 6%	2.70kg 2%	0.60kg 0%	5.20kg 4%	135.50kg 100%

2단째 설정(Low)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
67.10kg 75%	11.10kg 12%	5.20kg 6%	1.80kg 2%	0.40kg 0%	3.40kg 4%	89.00kg 100%

표 3-13 PP 2단 선별 시 투입물에 포함되는 각 재질 중량

2단째 설정(High)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
14.50kg 12%	88.70kg 76%	8.40kg 7%	2.50kg 2%	1.10kg 1%	1.30kg 1%	116.50kg 100%

2단째 설정(Middle)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
15.50kg 12%	95.70kg 76%	9.00kg 7%	2.70kg 2%	1.10kg 1%	1.40kg 1%	125.50kg 100%

2단째 설정(Low)

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
18.10kg 13%	105.80kg 75%	10.70kg 8%	3.10kg 2%	1.30kg 1%	1.50kg 1%	140.50kg 100%

(주 : 2단째 선별은 1단째와 같은 수지를 선별하는 것으로 하며Selectivity 설정을 변경하여 실시한다)

최종 선별물에 대해서는 최종 선별물 마다의 회수량(분배율)과 선별된 내용 구성비, 타겟수지 회수율을 측정하였으며, 회수량(분배율)은 공급시료 전량을 회수측정했는데 구성비, 회수율에 대해서는 최종 선별물에서 약 10kg의 샘플을 회수하여 각 재질별 형상별(표2-9)로 분류하여 집계/산출함

(2) 선별시험 결과

PE 2단 선별 시 결과는 그림 3-26과 같음

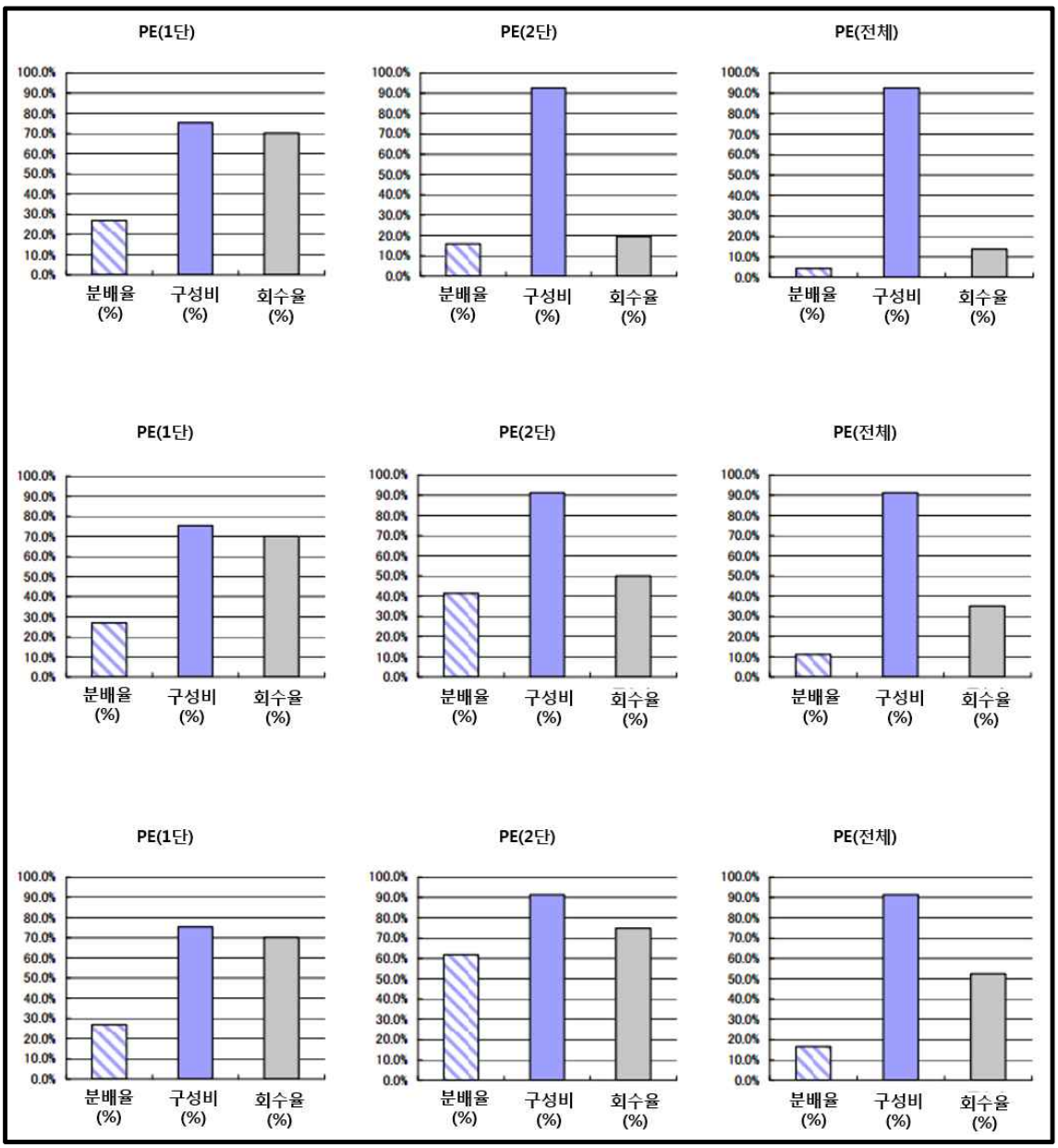


그림 3-26 각 최종 선별물 분배율, 구성비, 회수율

(위에서부터Selectivity High、Middle、Low)

2단 선별을 실시했을 경우, 2단째 Selectivity을 Low, Middle, High로 변경해도 모두 구성비 90% 이상의 결과를 얻을 수 있었고 1단 선별보다 구성비가 증가함. 한편, 회수율은 Low, Middle, High와 Selectivity를 늘리는 것보다 저하함

이상으로 2단째 Selectivity을 Low로 하면(그림 3-26의 오른쪽 하단) 구성비는 유지되고, 회수율 향상이 가능해진다 것을 알 수 있었음

다음으로 PP 2단 선별 시 결과는 3-27과 같음

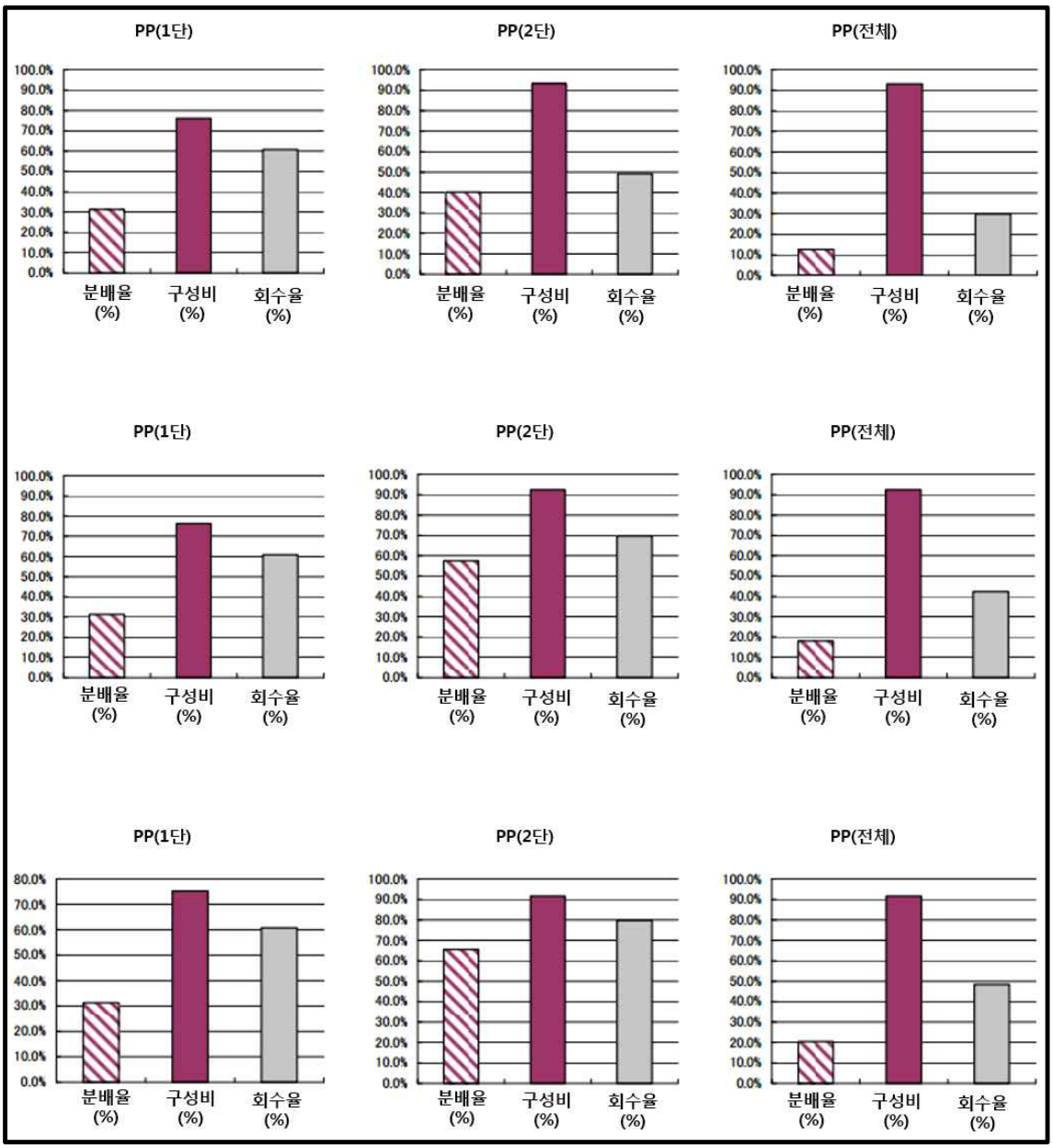


그림 3-27 각 최종 선별물 분배율, 구성비, 회수율
(위에서부터 Selectivity High、Middle、Low)

PE와 마찬가지로 2단째 Selectivity를 변경해도 구성비에 영향은 없었으나 Selectivity를 엄격하게 하면 회수율이 떨어졌다. PP도 2단 선별을 실시함으로써 구성비, 회수율이 향상되어, 2단 선별은 효과적인 선별 방법이라 생각됨

3.2.6 <추가시험②>기종에 따른 영향 파악

(1)선별시험 개요

광학선별기 업체 차이에 따른 차이를 고려하기 위해 다른 업체의 광학선별기(실기B)를 이용하여 실시함.

광학선별기(실기B)를 여러 대 사용하여 표3-13에 표시된 샘플에서 최종 선별물로 PE, PP, PS, PET, PVC를 회수하였으며, 최종선별물의 분배율, 구성비, 회수율을 분석함(추가시험②-1). 또 다른 업체의 광학선별기(실기B) 특징은 1대의 기계에서 3종 선별을 실시할 수 있으며, 그 조합이 최종 선별물의 배분율, 구성비, 회수율에 큰 영향을 미칠 수 있어 flow를 연구하여 선별시험을 실시함(추가시험②-2).

추가시험②-1에 사용된 샘플은 표준샘플을 사용하였고 그 내용은 표 3-13과 같음.

표3-13 투입 샘플 구성비

PE	PP	PS	PET	PVC	기타	합계
13.07kg 25%	13.50kg 25%	13.37kg 25%	9.76kg 18%	0.42kg 1%	3.21kg 6%	53.33kg 100%

(2)선별시험 결과

추가시험②-1에서는 분배율은 B(PE) : 28%, C(PP) : 16%, D(PS) : 16%, E(PET) : 15%, F(PVC) : 6%였음(그림3-2참조)

각 타겟 재질 구성비는 B(PE) : 59.6%, C(PP) : 88.2%, D(PS) : 90.7%, E(PET) : 85.0%, F(PVC) : 9.2%였음(그림 3-29참조).

각 타겟 재질 회수율은 B(PE) : 80.0%, C(PP) : 53.8%, D(PS) : 64.0%, E(PET) : 73.3%, F(PVC) : 63.7%였다 (그림3-30참조) G(기타)는 PVC를 타겟 재질로 하며 그 구성비, 제거율을 의미함

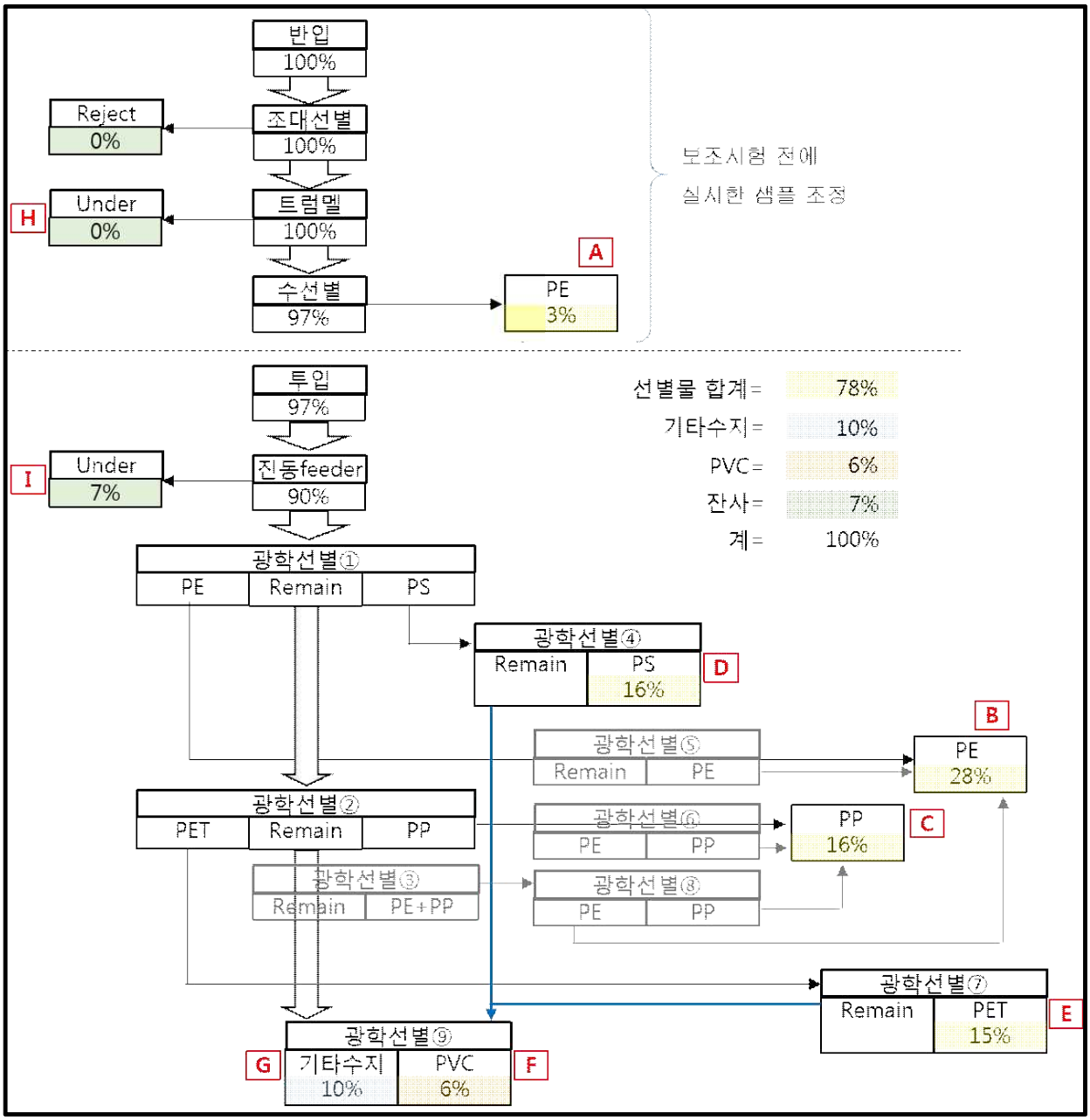


그림 3-28 추가시험3-1에 의한 시험 결과(각 최종 선별물의 분배율)

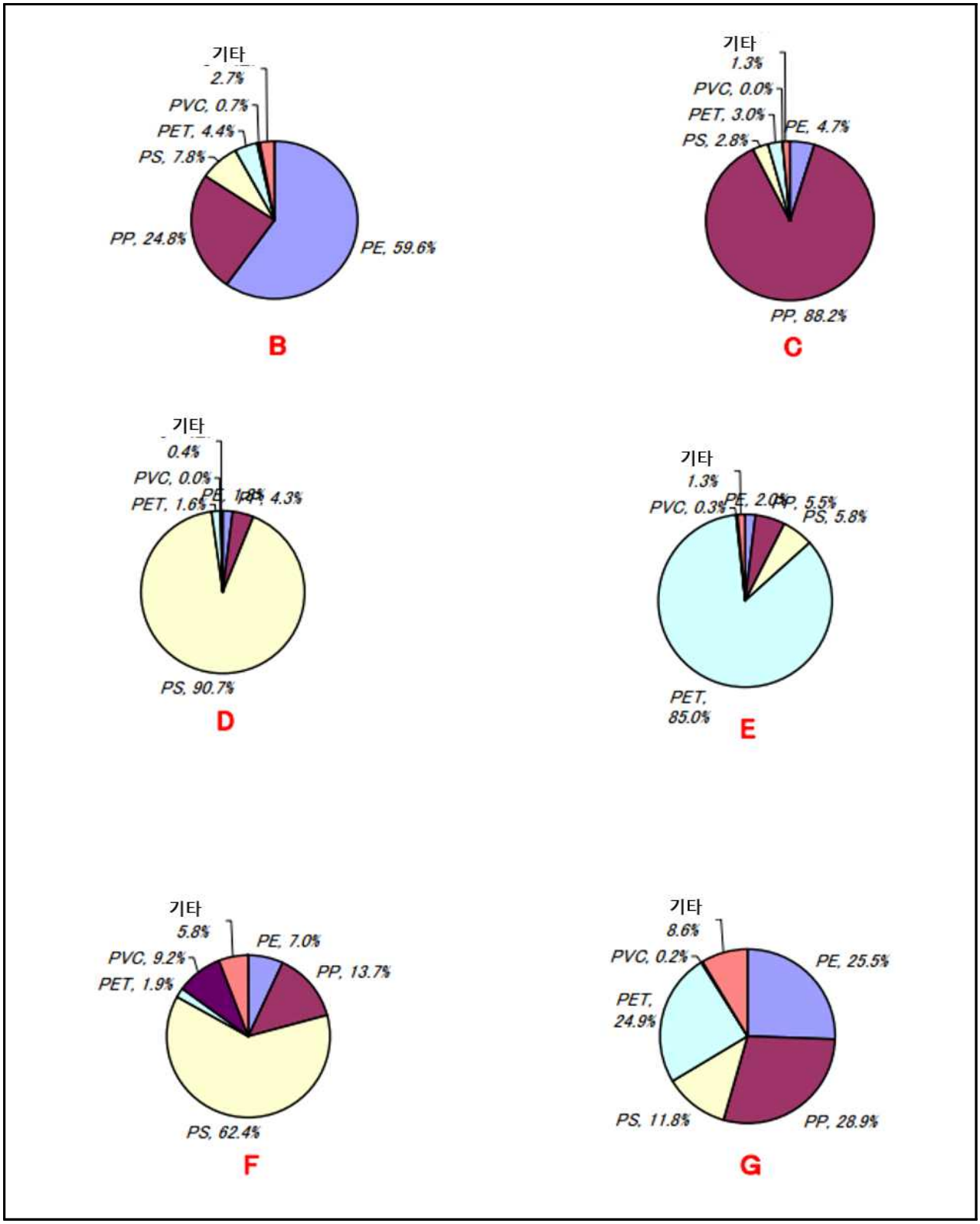


그림 3-29 추가시험③-1 각 최종선별물 내용 (재질구성비)

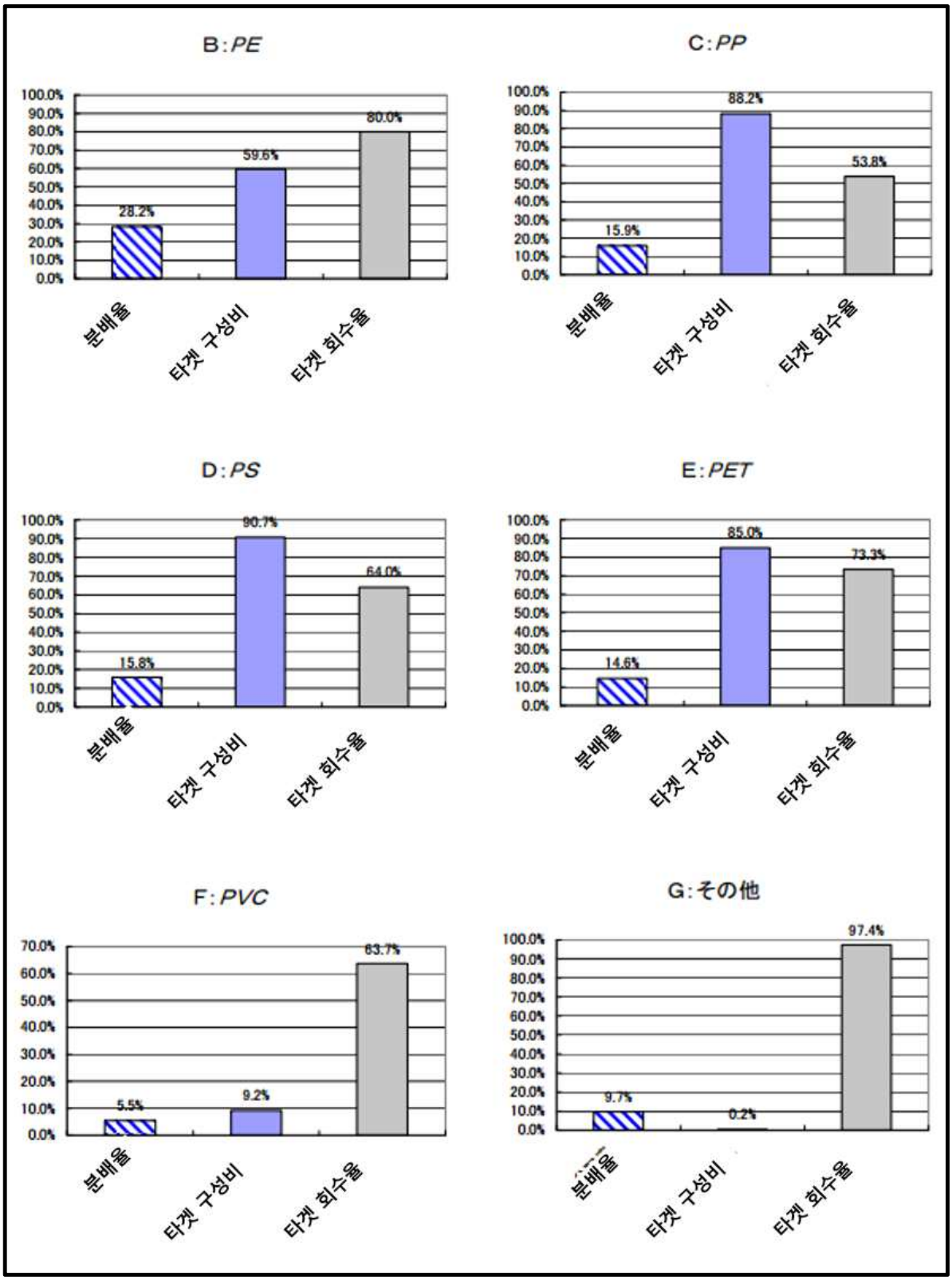


그림 3-30 각 최종선별물의 분배율, 구성비, 회수율

다음으로 추가시험②-2 결과임

각 타겟 재질 분배율은 B(PE) : 31%, C(PP) : 18%, D(PS) : 16%, E(PET) : 16%, F(PVC) : 7%였음 (그림3-31참조).

각 타겟 재질 구성비는 B(PE) : 69%, C(PP) : 87%, D(PS) : 97%, E(PET) : 99%, F(PVC) : 24.1%였음 (그림3-32참조) .

각 타겟 재질 회수율은 B(PE) : 89.1%, C(PP) : 56.0%, D(PS) : 72.6%, E(PET) : 66%, F(PVC) : 87.5%였으며, (그림3-30참조), G(기타)는 PVC를 타겟 재질로 하며 그 구성비, 제거율을 나타냄

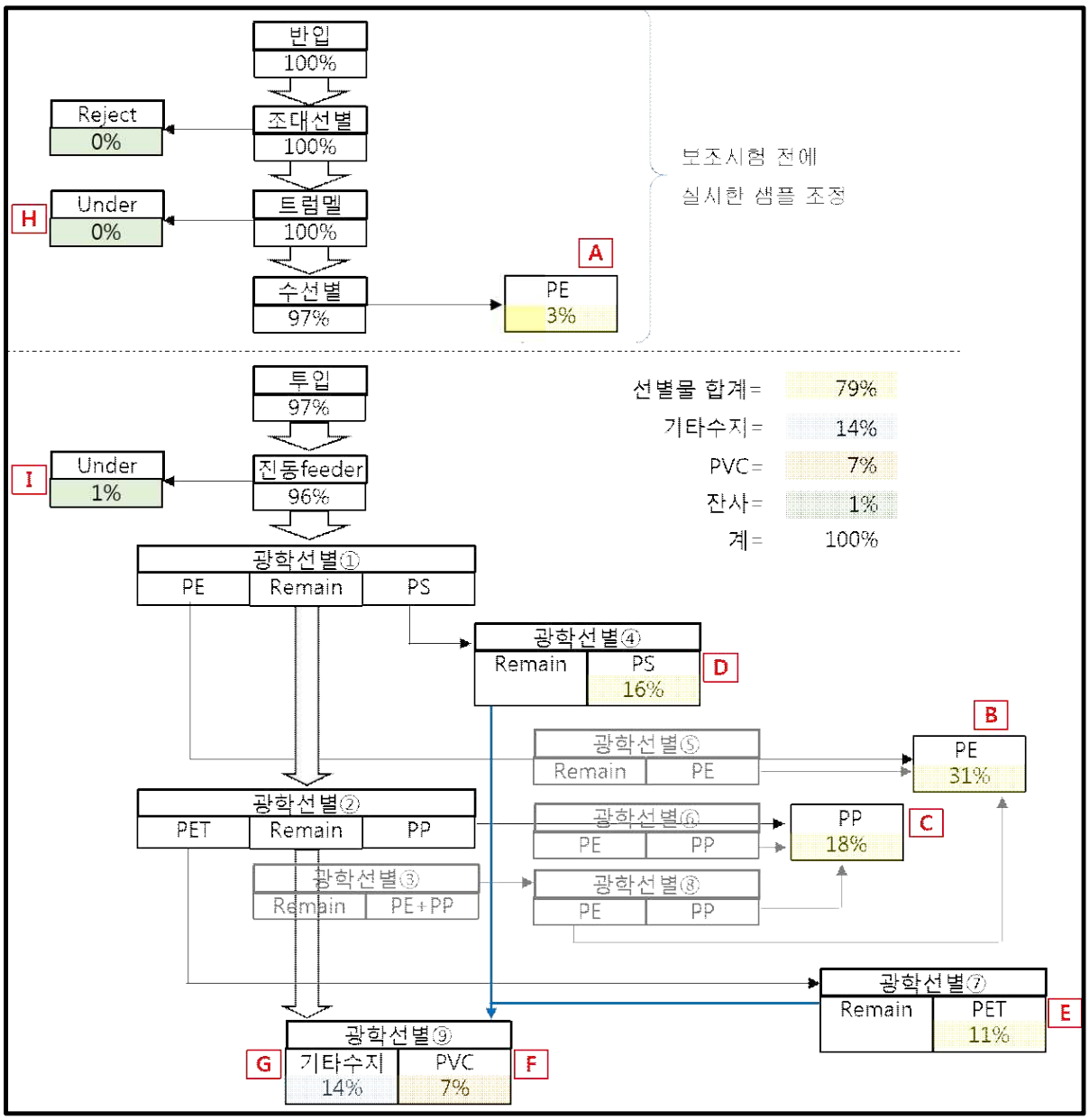


그림 3-31 보조시험②-2에 의한 시험 결과 (각 최종선별물의 분배율)

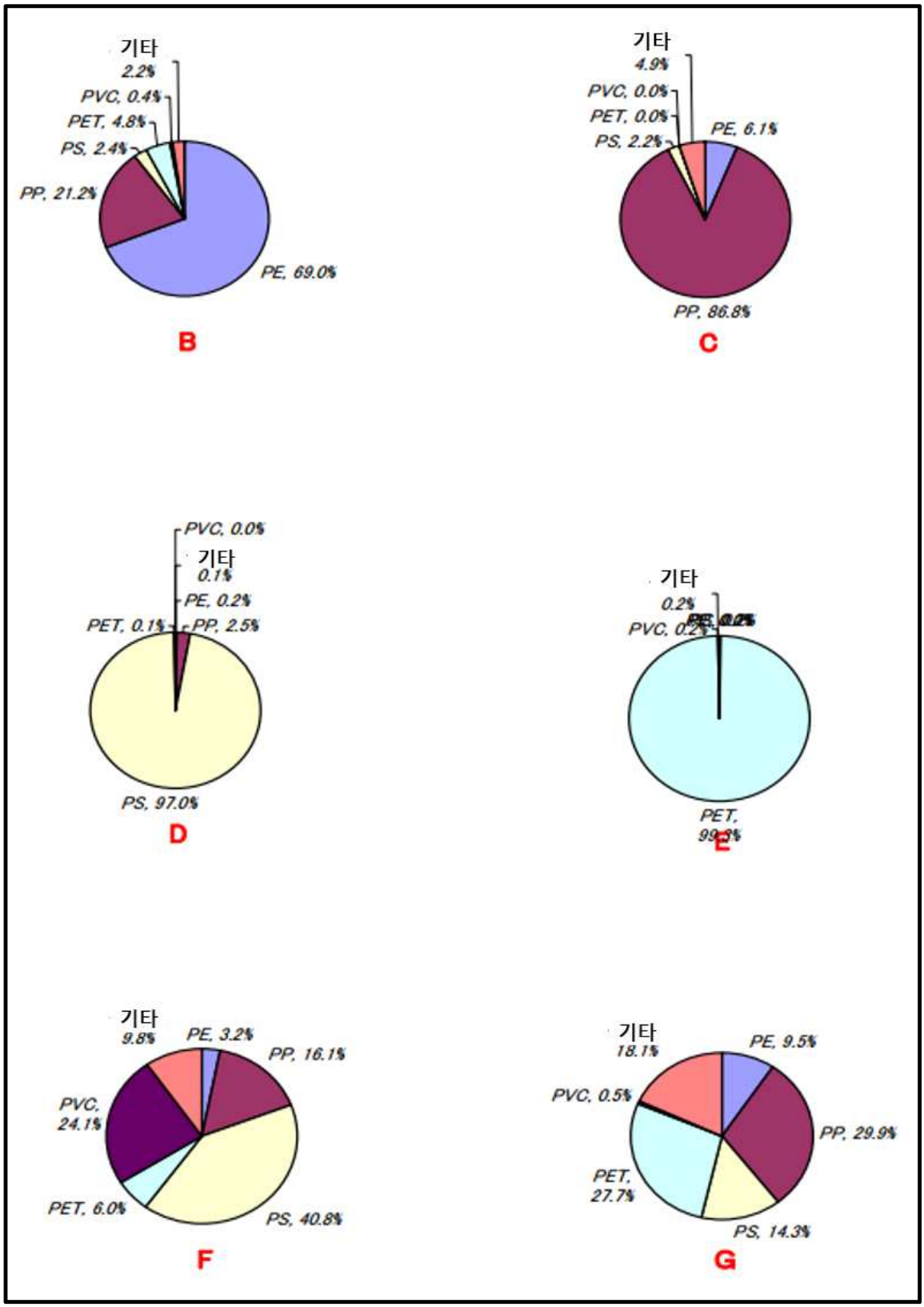


그림 3-32 각 최종선별물의 내용 (재질구성비)

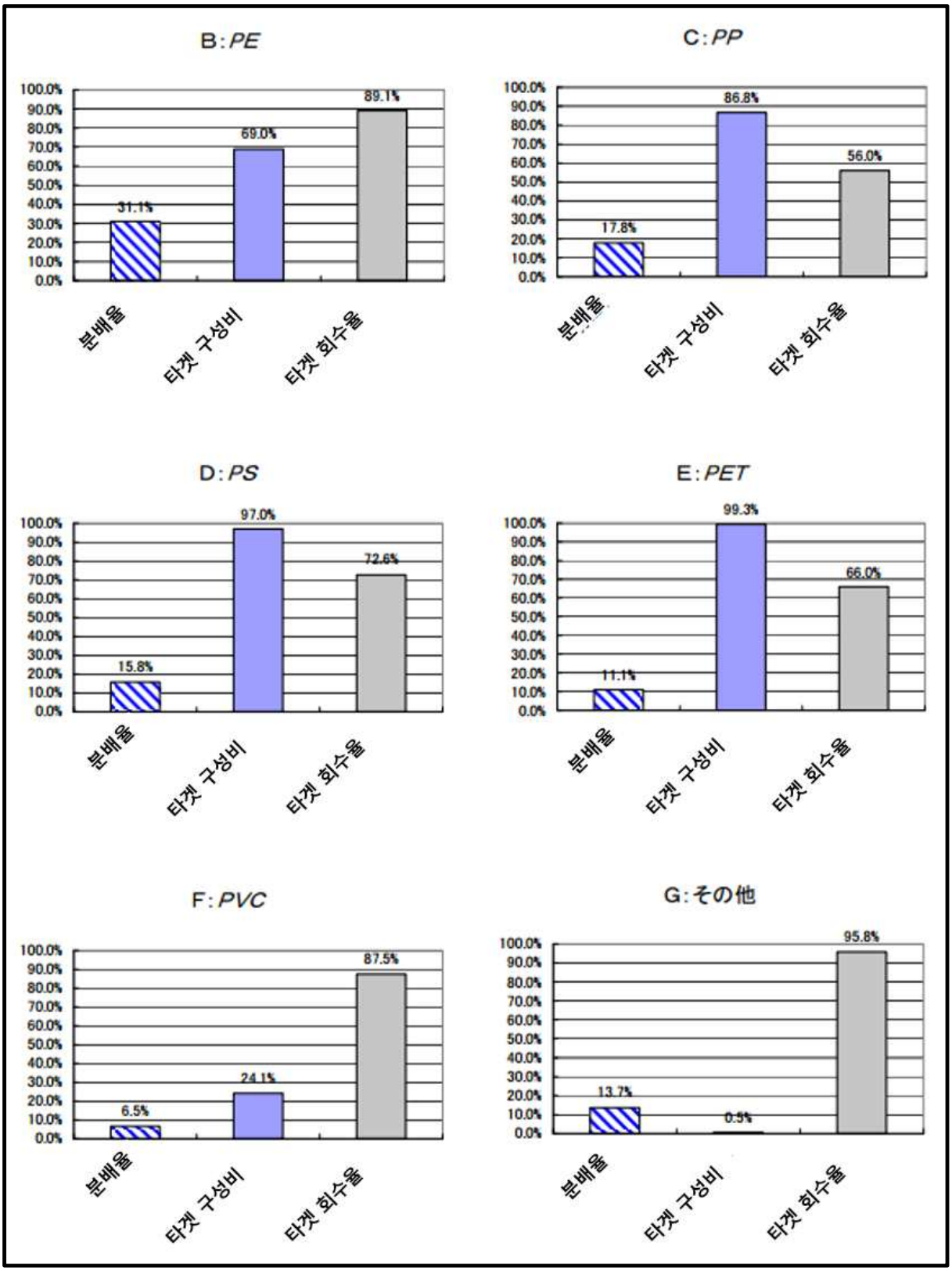


그림 3-33 각 최종 선별물의 분배율, 구성비, 회수율

3.2.7＜추가시험③＞형상선별에 다른 효과 파악

(1)선별시험 개요

지금까지의 선별시험에서는 사전 선별로 수작업 선별을 통한 대형봉투 제거만을 실시해왔는데 이를 기계화하는 것을 목적으로 Ballistic separator를 이용한 형상선별 + 광학선별을 통한 시험을 실시함(단, 선별순서는 PET> PE> PP> PS). 투입한 샘플 구성비는 표3-14과 같으며, 표 3-14(상단표)는 Ballistic separator 선별 테스트용으로 필름류 40%, 경질 플라스틱이 60%가 되도록 조제한 샘플 조성임. 본 시험에 사용된 PP, PE, PS, PET의 경질 플라스틱 일부는 사용 전에 제품을 구입하여 시험재료로 하였으며(국외 실험이기 때문에), Ballistic separator 시험 후, 중량물(=주로 경질계)을 회수하여 광학선별기 시험재료(구성비는 표 3-14(하단표)와 같다)로 함

* Ballistic separator는 필름류(경량물), 병, 트레이류 등(경질계 플라스틱) 및 미세물질의 세가지로 형상 선별하는 설비로 유럽에서 많이 사용되고 있는데, 일본에서는 플라스틱 계열 용도로는 거의 사용되지 않고 있음

표 3-14 투입물에 포함된 각 재질 중량

(Ballistic separator에 투입된 원료 내역)

	필름	PP경질	PE경질	PS	PET	기타	합계
중량(kg)	26.31kg	10.32kg	5.67kg	11.35kg	11.35kg	0.00kg	65.00kg
비율(%)	40%	16%	9%	17%	17%	0%	100%

(Ballistic separator통과 후 경질계 수지 내역)

	필름	PP경질	PE경질	PS	PET	기타	합계
중량(kg)	7.80kg	15.35kg	7.83kg	11.73kg	0.00kg	0.21kg	42.92kg
비율(%)	18%	36%	18%	27%	0%	0%	100%

(2)선별시험 결과

Ballistic separator 투입율을 100%로 했을 경우의 각 최종 선별물의 분배율은 A(경량물)(필름계) : 21.5%, B(PET) : 20.4%, C(PP경질) : 21.7%, D(PE경질) : 12.9%, E(PS) : 12.3%, F(기타 수지) : 8.1%였으며(그림3-34참조), 각 타겟 재질 구성비는 B(PET) : 97.2%, C(PP경질) : 93.8%, D(PE경질) : 83.4%, E(PS) : 94.2%였음(그림3-35참조).

각 타겟 재질 회수율은 B(PET) : 96.1%, C(PP경질) : 75.6%, D(PE경질) : 78.4%, E(PS) : 84.5%였음(그림3-36참조).

또한, PP(경질), PE(경질)는 Ballistic separator중량물쪽 (=주로 경질수지)이므로(경질)로 했으나, 실제로는 필름 등 연질수지도 포함되어 있음.

단, 본 시험에서는 조제한 샘플(상기 기술)을 사용하였으므로 참고 데이터로 함(다른 테스트 결과와의 비교에는 주의할 필요가 있음).

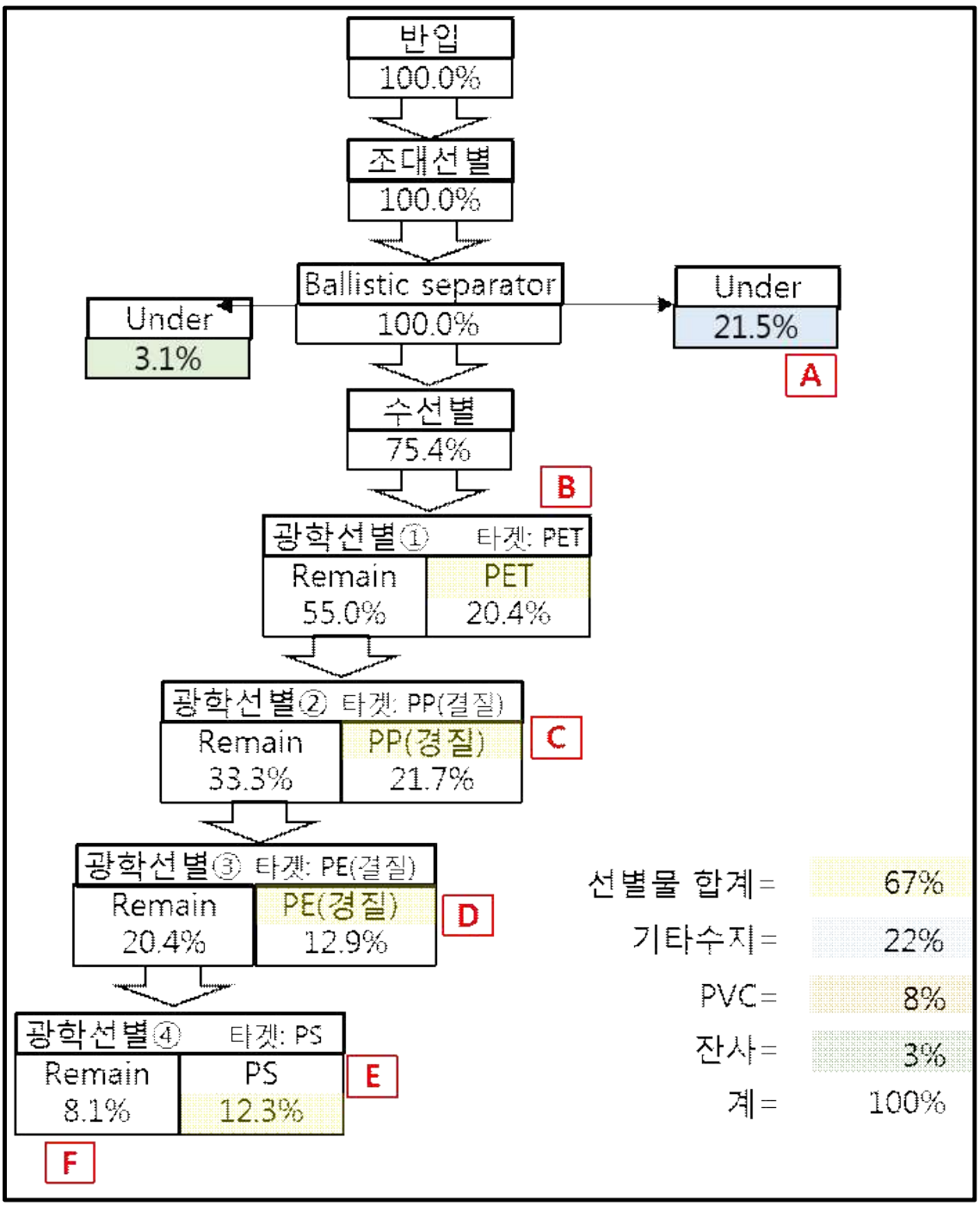


그림 3-34 형상선별 후 광학선별기를 통한 시험결과(각 최종 선별물에 대한 분배율)

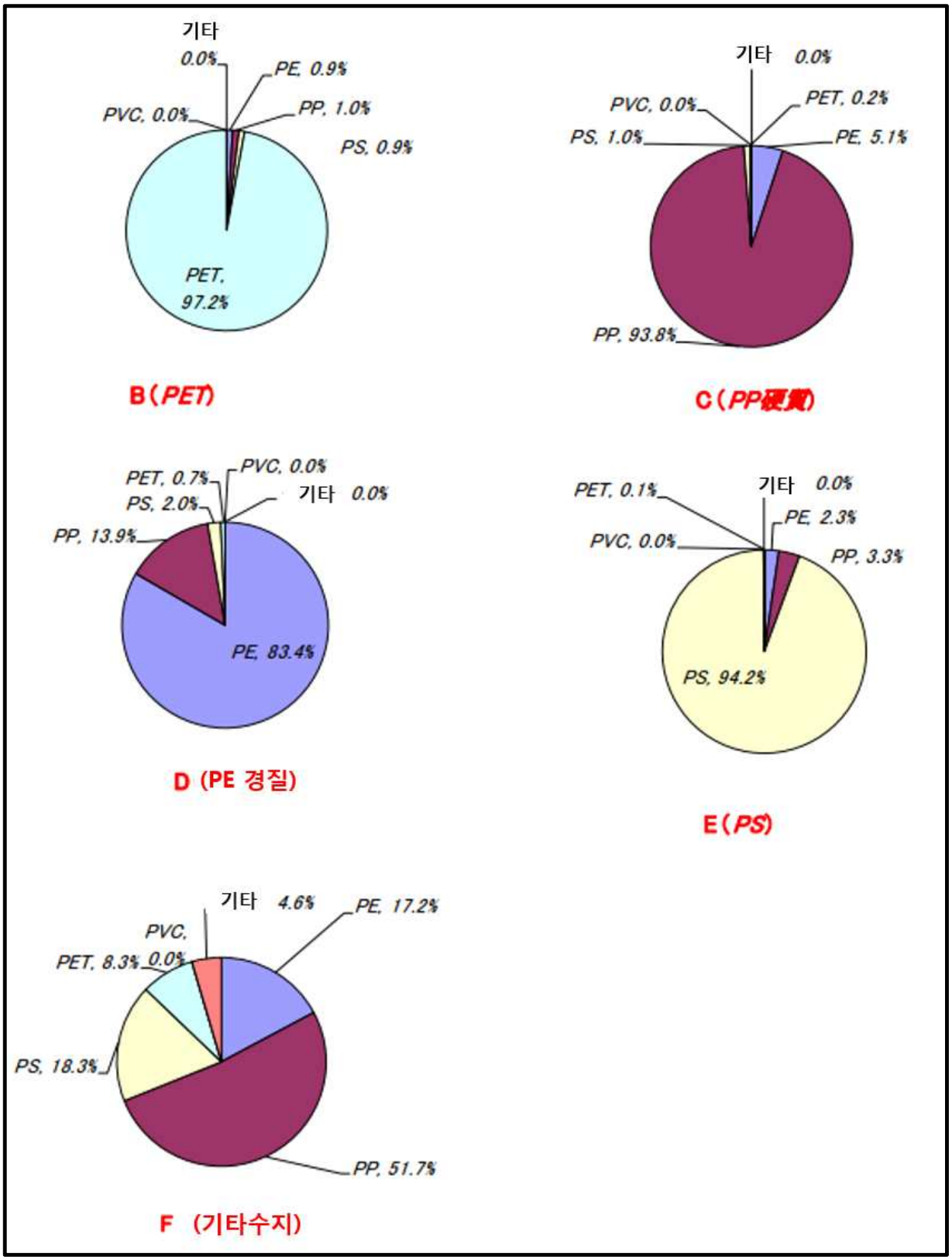


그림 3-35 형상선별 후 광학선별기를 통한 각 최종 선별물 내용 (재질구성비)

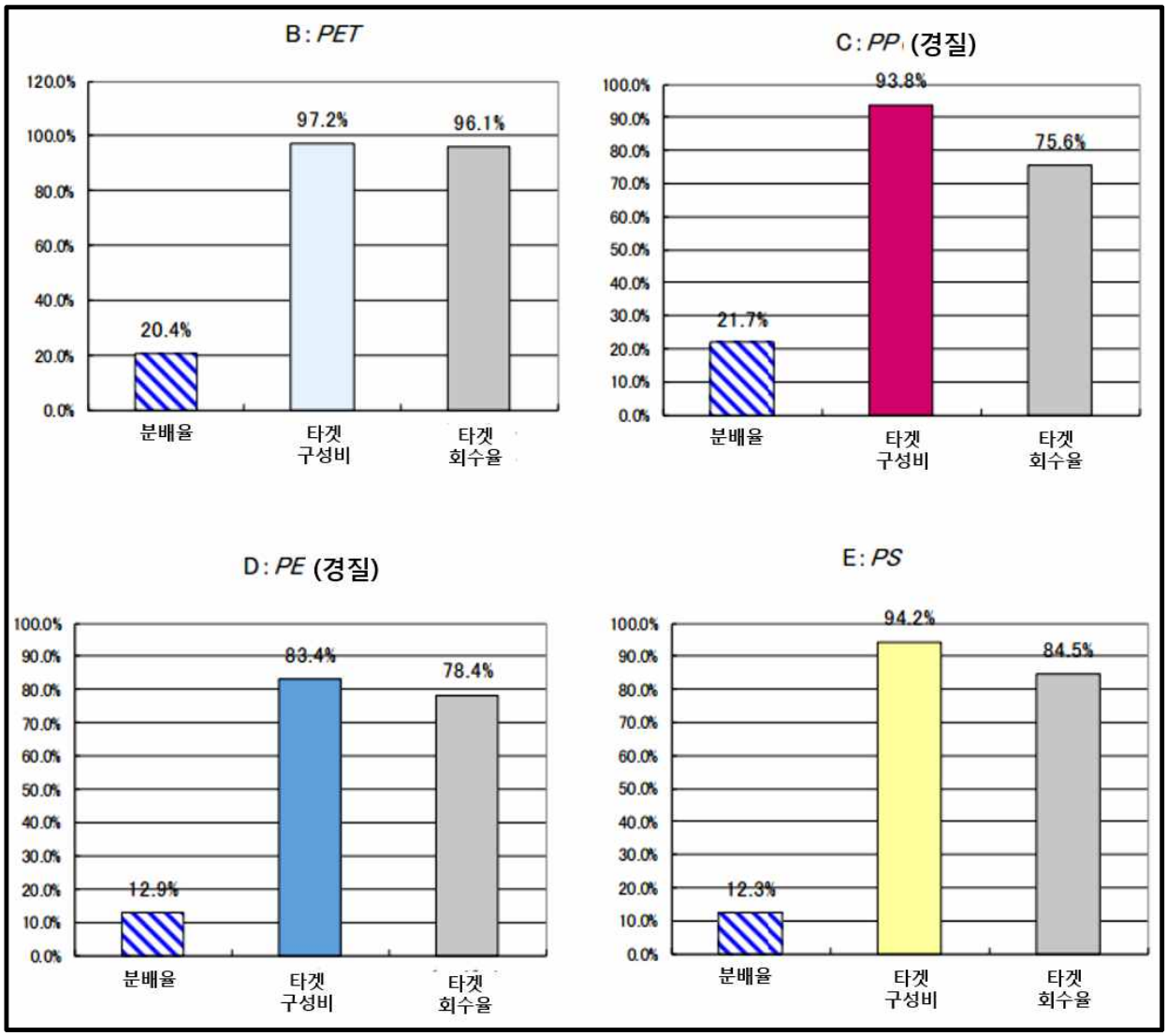


그림 3-36 각 최종 선별물의 분배율, 구성비, 회수율

4. 가치평가

4.1 조성분석

4.1.1 플라스틱 용기 포장 폐기물(피선별물)의 조성 분석 결과

최종선별물을 비교평가 하기위해 시험에 제공된 피선별물인 플라스틱 용기 포장 폐기물을 2-4장 및 표 2-9(P15)에 준한 방법으로 PE 필름류(복합있음), PE 필름류(복합없음), PE(판매점봉투, 지정수거봉투), PE병류, PP필름류(복합있음), PP필름류(복합없음), PP트레이류, PP컵류 8품목으로 분류하여, 각각의 성분을 분석함

조성 분석은 8개 품목(표 4-1. 4-2 ①~ ⑧)당 약 10kg을 분쇄한 후 판상으로 성형한 것에서 약 20mg을 채취하여 시료로 삼아 테트라클로로에탄(120℃)에 용해 후 １Ｈ-ＮＭＲ측정(정성・정량분석이 가능한 화학분석방법)을 통해 가용분의 성분 조성을 산출함

장치 :	일본전자제　ＥＣＸ４００Ｐ형　　핵자기공명장치
측정핵 :	^{1}Ｈ
측정용매 :	중수소테트라클로로에탄（화학시프트값：5.91ppm）
내부표준물질 :	내부표준물질：폴리디메틸실록산

표 4-1 재질별 형상 비율 (PE)

No.	재질	형상	용도	기타	형상비율	비율
①	PE	필름류	상품봉투	복합있음	8.13%	93.7%
②	PE	필름류	상품봉투	복합없음	2.98%	
③	PE	필름류	지정수거봉투/상품봉투		11.18%	
④	PE	보틀류			3.19%	
-	PE	기타			1.70%	6.3%
합계					27.18%	100.0%

표 4-1 재질별 형상 비율 (PE)

No.	재질	형상	용도	기타	형상비율	비율
⑤	PP	필름류	상품봉투	복합있음	10.37%	84.4%
⑥	PP	필름류	상품봉투	복합없음	4.66%	
⑦	PP	트레이류			4.23%	
⑧	PP	컵류			5.64%	
-	PP	기타			4.59%	15.6%
합계					29.49%	100.0%

표4-3 은 분석 결과이다.

표 4-3 회수한 용기포장리사이클 플라스틱 품목별 조성 분석 결과 (NMR)

No.	종류	형상	용도	기타	조성분석 (wt%) 주1						
					PE	PP	St유닛	BD유닛	PET	PVC (주2)	불용해성분
①	PE	필름류	상품봉투	복합있음	72%	14%	< 1	< 1	6%	2%	6%
②	PE	필름류	상품봉투	복합없음	84%	8%	< 1	< 1	2%	1%	5%
③	PE	필름류	지정수거봉투/상품봉투		91%	6%	< 1	< 1	1%	1%	< 1
④	PE	병류			90%	6%	< 1	< 1	< 1	1%	3%
⑤	PP	필름류	상품봉투	복합있음	9%	79%	< 1	< 1	3%	2%	6%
⑥	PP	필름류	상품봉투	복합없음	6%	84%	< 1	< 1	1%	2%	7%
⑦	PP	트레이류			21%	68%	1%	< 1	< 1	4%	5%
⑧	PP	컵류			20%	72%	2%	< 1	< 1	3%	2%

주1 수치는 각 성분조성값의 소수점이하를 반올림한 결과를 기재

주2 3.0 ~ 4.5ppm 를 모두 PVC 로 취급하므로 실제보다 많게 예상한 것으로 보인다.

주3 St 유닛은 스타이렌유닛, BD 유닛은 뷰타다이엔 유닛을 가리킴. 각 스타이렌계 수지, 뷰타다이엔구조를 가지는 고무 성분 등을 나타냄.

상기 결과를 통해

1) 각 PE 품목의 PE%는 PE 필름류(복합있음) : 72%, PE필름류(복합없음) : 84%, PE 필름류(판매점 봉투, 지정수거봉투) : 91%, PE병류 : 90%였음

2) PE 필름류(복합있음)에서는 다른 PE 품목과 비교해서 PET나 불용해 성분이 많았으며, 불용해 성분에는 탈크 등 무기물 외에 PA등 수지도 포함됨

3) 각 PP 품목의 PP%는 PP 필름류(복합있음) : 79%, PP필름류(복합없음) : 84%, PP 트레이류 : 68%, PP 컵류:72%였음

4) PP 트레이류, PP 컵류는 유연성 부여 등이 목적으로 생각되는데 PE나 PS계 수지를 브랜드하므로 PP 순도가 낮고 PE의 조성비율이 높아졌음

5) 불용해 성분에는 탈크 등 무기물 외에 세정공정을 거치지 않기 때문에 오염 유래 성분, 종이류 등이 포함되어 있다고 생각됨

4.1.2 최종선별물 조성분석 결과

Mode 4-3로 선별한 최종선별물(PE, PP)을 4.1.1와 같은 NMR 를 통한 조성분석을 실시함

그 결과 표 4-4와 같이 타겟 수지 PE의 PE wt%는 86%, PP의 PP wt%는 77%였음

표 4-4 Mode4-3최종선별물의 조성분석 결과

	Mode	수지	조성분석 (wt%) 주1						
			PE	PP	St유닛	BD유닛	PET	PVC (주2)	불용해성분
	Mode4-3	PE	86%	8%	2%	< 1	< 1	1%	3%
	Mode4-3	PP	15%	77%	5%	< 1	1%	1%	2%

주1~3은 표 4-3과 동일(생략)

4.1.3 최종선별물과 피선별물의 조성비교

광학선별은 재질만으로 판정하고, 형상 등 품목 차이는 감지되지 않음. 따라서 Mode 4-3과 같은 선별공정을 통한 최종선별물(PE, PP)에는 각각 표 4-1과 표 4-2와 같은 "품목"이 혼합되어 있음

그래서 이러한 품목이 혼합되었을 때의 순도(PE%, PP%)를 표 4-1, 표 4-2의 중량비율 및 표 4-3을 이용하여 각각의 수지/품목에 대한 성분분석(wt%) 값의 가중평균이 된다고 가정하여 "이론 구성값"을 산출함(표 4-5).

표 중 "재질" 이라는 PE, PP가 최종선별물 타겟 수지 종류임.

표 4-5 이론조성값

재질	조성분석 (wt%) 주1							비고
	PE	PP	St유닛	BD유닛	PET	PVC (주2)	불용해성부	
PE	84	9	< 1	< 1	3	1	3	①~④ 가중평균
PP	13	77	1	< 1	1	3	5	⑤~⑥ 가중평균

주1~3은 표 4-3와 동일(생략)

이에 따르면

1) 표 4-3 ①~④ (모두 PE)를 가중평균한 PE에서는 PE=84%

2) ⑤, ⑥(PP 필름류)을 가중평균한 PP에서는 PP=77%

이론조성값(표 4-5)와 Mode 4-3 최종선별물(표 4-4)의 NMR 분석 결과를 비교함(그림 4-1, 그림 4-2). 즉 이론조성값은 품목별 분석결과를 품목형상 비율로 가중평균한 것으로, Mode 4-3 최종선별물의 조성값은 선별공정을 거친 각 타겟 최종선별물의 분석 결과이며, 이를 비교함으로써 광학식 선별기의 선별 능력을 파악할 수 있음

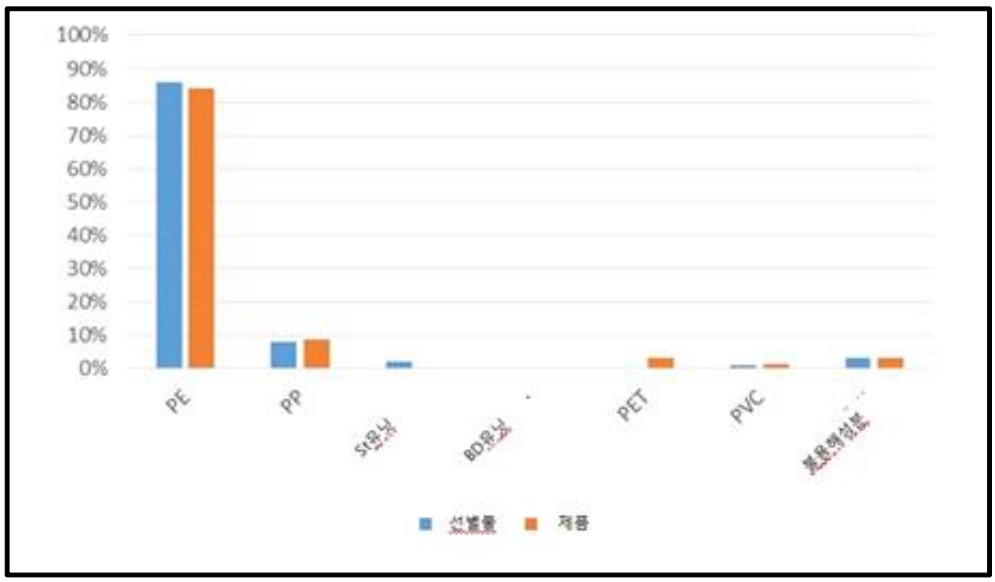


그림 4-1 최종선별물 PE조성과 대응하는 이론 조성 비교

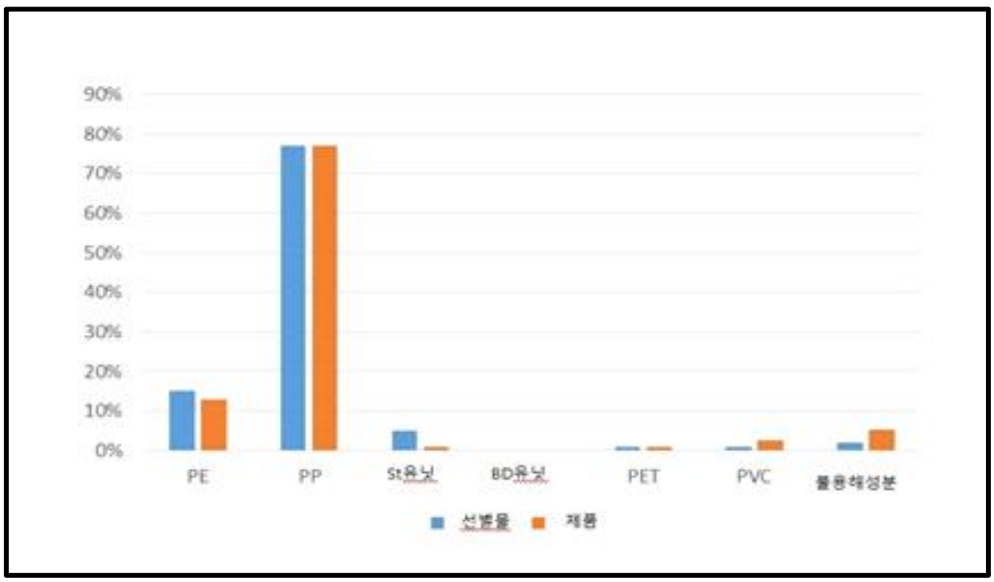


그림 4-2 최종선별물 PP조성과 대응하는 이론조성 비교

그림 4-1, 4-2를 통해 선별품(=최종선별물)/제품(=회수품목 비율에 의한 이론값)이 PE에서는 102%, PP에서는 100%로 거의 회수한 제품의 순도를 얻을 수 있으므로 광학선별기를 통한 선별정밀도는 거의 양호한 것으로 보이며 단일수지로서의 순도한계는 원제품의 배합조성에 따르는 것을 시사하고 있음

【참고】

추가시험③으로 실시한 B + Mode 4의 최종 선별물(PE경질, PP경질, PS, B경)의 PE 조성분석 결과는 표 4-6과 같으며, PE 수지의 PE 조성은 91%, PE 경질수지의 PE 조성은 81%, PP 경질수지의 PP 조성은 80%, PS 수지의 PS 조성은 99%로 나타남.

* B 경... Ballistic separator로 선별된 필름류(경량물).

표 4-6 B+Mode 4의 최종선별물 조성 분석 결과

수지	Mode	조성분석 (w t %)주1						
		PE	PP	St유닛	BD유닛	PET	PVC(주2)	불용해성분
PE경질	B+Mode4	81%	13%	1%	< 1	< 1	1%	3%
PP경질	B+Mode4	15%	80%	1%	< 1	3%	1%	< 1
PS	B+Mode4	1%	< 1	99%	< 1	< 1	1%	< 1
B경	B+Mode4	39%	52%	3%	< 1	1%	3%	2%

주1~3 은 표4-3 과 같음(생략)

※ 이러한 결과도 Mode4-3와 같이 '이론조성값'과 비교평가해서 선별정밀도는 양호하다고 판단할 수 있음.

※ Ballistic separator는 PE, PP필름류를 정밀하게 회수할 수 있을 것으로 생각됨.

(단, 본 시험의 피선별물은 제조된 것이며, 봉투 등이 감합등 되지 않고 모두 분리했으며 선별도 실험실 수준이므로 참조정보라 생각함).

4.2 기계적 특성

4.2.1 회수한 용기포장 리사이클 플라스틱 및 최종선별물의 기계적 특성

본 실증실험 샘플에 사용한 회수한 용기포장 리사이클 플라스틱과 선별시험으로 Mode 4-3에서 선별된 최종 선별물의 기계적 특성을 측정하였으며, 또한 B+Mode 4에서 선별된 최종선별물, 기존 운용되고 있는 용기포장 리사이클 펠릿에 대한 기계적 특성도 참고 정보로 기재함

표 4-7 실험 샘플로 사용한 용기 포장 리사이클 플라스틱의 종류별 기계적 특성

No.	종류	형상	용도	기타	기계적특성								
					MFR	인장항복강도	인장파단신도	영률	횡절강도	굽은탄성률	IZ충격강도(23℃)	회분	밀도(주1)
					JIS－K7210	JIS－K 716 1	JIS－K 716 1	JIS－K 716 1	JIS－K 7171	JIS－K 7171	JIS－K 7110	JIS－K 2272	JIS－K 7112
					g/10min	Mpa	%	Mpa	Mpa	Mpa	KJ/㎡	%	g/㎤
①	PE	필름류	상품봉투	복합있음	0.81	9.1	30	440	13.1	405	34.2	3	0.913
②	PE	필름류	상품봉투	복합없음	0.72	11.5	75	510	12.2	360	40.4	0.6	0.945
③	PE	필름류	지정수거봉투/상품봉투		0.44	14.6	250	610	16.5	520	39.7	2.1	0.95
④	PE	보틀류			0.41	22.1	20	710	21.5	820	11.1	1.9	0.963
⑤	PP	필름류	상품봉투	복합있음	8	23.1	12	560	32.8	1070	4.6	2.5	0.905
⑥	PP	필름류	상품봉투	복합없음	7.2	26.6	15	550	37.8	1285	4.9	2	0.875
⑦	PP	트레이류			2	30.8	25	750	39.5	1470	7.4	4.6	0.947
⑧	PP	컵류			2.6	31.2	13	770	43.3	1620	9.1	1.2	0.928

표 4-8 Mode 4-3의 최종선별물 (PE)의 기계적 특성

수지		기계적특성								
		MFR	인장항복강도	인장파단신도	영률	횡절강도	굽은탄성률	IZ충격강도(23℃)	회분	밀도(주1)
		JIS－K7210	JIS－K 716 1	JIS－K 716 1	JIS－K 716 1	JIS－K 7171	JIS－K 7171	JIS－K 7110	JIS－K 2272	JIS－K 7112
		g/10min	Mpa	%	Mpa	Mpa	Mpa	KJ/㎡	%	g/㎤
PE	평균	0.32	13.3	30	571	16.2	588	25.2	2.9	0.92
PE	최대	0.44	14.5	35	760	18.4	685	33.4	4.0	0.95
PE	최소	0.21	11.5	24	365	12.4	420	16.2	1.8	0.89

표 4-9 Mode 4-3의 최종선별물 (PP)의 기계적 특성

수지		기계적특성								
		MFR	인장항복강도	인장파단신도	영률	횡절강도	굽은탄성률	IZ충격강도(23℃)	회분	밀도(주1)
		JIS－K7210	JIS－K 716 1	JIS－K 716 1	JIS－K 716 1	JIS－K 7171	JIS－K 7171	JIS－K 7110	JIS－K 2272	JIS－K 7112
		g/10min	Mpa	%	Mpa	Mpa	Mpa	KJ/㎡	%	g/㎤
PP	평균	3.13	22.5	9	530	32.4	1236	4.5	2.3	0.92
PP	최대	3.70	24.6	10	650	34.2	1317	5.5	2.9	0.92
PP	최소	2.80	19.5	8	420	31.0	1160	3.7	1.8	0.91

주 1 밀도는 성형 플레이트에서 측정하므로 발포 상태 샘플은 회분/원료 베이스간의 상간이 맞지 않을 수도 있음

표 4-10【참고】B+Mode 4 최종선별물의 기계적 특성

수지		기계적특성								
		MFR	인장항복강도	인장파단신도	영률	횡절강도	굽은탄성률	IZ충격강도(23℃)	회분	밀도(주1)
		JIS－K7210	JIS－K 716 1	JIS－K 716 1	JIS－K 716 1	JIS－K 7171	JIS－K 7171	JIS－K 7110	JIS－K 2272	JIS－K 7112
		g/10min	Mpa	%	Mpa	Mpa	Mpa	KJ/㎡	%	g/㎤
PE경질	B+Mode4	0.50	22.0	85	1100	25.0	995	11.3	1.4	0.96
PP경질	B+Mode4	6.40	22.0	15	1050	33.0	1115	6.9	1.8	0.90
PS	B+Mode4	3.40	25.0	3	2100	47.0	2250	3.6	3.4	1.04
B경	B+Mode4	4.60	19.2	58	965	24.8	860	6.8	1.8	0.94

주 1 밀도는 성형플레이트에서 측정하므로 발포상태 샘플은 회분/원료 기반의 상간이 맞지 않을 수도 있음

표 4-11【참고】기존 용기 포장 리사이클 펠릿의 기계적 특성

수지		기계적특성								
		MFR	인장항복강도	인장파단신도	영률	횡절강도	굽은탄성률	IZ충격강도(23℃)	회분	밀도(주1)
		JIS－K7210	JIS－K 716 1	JIS－K 716 1	JIS－K 716 1	JIS－K 7171	JIS－K 7171	JIS－K 7110	JIS－K 2272	JIS－K 7112
		g/10min	Mpa	%	Mpa	Mpa	Mpa	KJ/㎡	%	g/㎤
PE/PP혼합	(n=7)	4.2	20.4	67.9	845	23.4	776	5.1	1.4	0.94
PP	(n=6)	7.8	20.3	9.5	1008	29.9	1047	4.8	2.6	0.94
PE	(n=6)	0.66	14.7	40.3	698	19.5	720	6	1.9	0.96
PS	(n=1)	19.5	35.7	2	2848	75.8	2278	4.9	-	1.06

* PE/PP 혼합 용기 포장 플라스틱을 의도적으로 PE, PP 선별하지 않고, PS, PET 등의 비중이 1 보다 큰 수지를 의도적으로 제거하여 생산한 것.

※ 또한 본 실증실험의 가치평가에서는 기계적 특성 이외의 특성 평가는 실시하지 않음.

4.3 독일의 용기포장 리사이클 펠렛 품질 (참고)

추가시험③은 독일에서 실시하였으며, 아울러 본 실증시험의 '가치평가' 참고 정보로 삼기 위해 유럽에서의 플라스틱 용기포장 리사이클 및 재생 펠렛에 관한 조사를 실시함. 유럽에서는 소팅센터(분류센터)에서 수지 등의 선별을 실시하고 있으며, 선별 후 수지에 대해서는 용기포장 베일의 인수 보증회사(DKR)가 베일 인수 기준을 정하여 인수를 실시하고 있음(표 4-12 참조).

표 4-12 유럽 내 용기포장 베일 인수 기준

		Plastic Films	Mixed Plastic Bottles	Polyolefin Plastic Bottles	PP	PE	PS	EPS	Mixed Plastics	Mixed Plastics New
순도		92%	94%	94%	94%	94%	94%	97%	90%	90%
불순물	합계	8%	6%	6%	6%	6%	6%	3%	10%	10%
	금속,무기물로 100g보다 무것운것	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	기타 금속	< 0.5%	< 0.5%	< 0.5%	< 0.5%	< 0.5%	< 0.5%	< 0.5%	< 2%	< 2%
	PE	-	-	-	< 1%	-	-	-	-	-
	PP	-	-	-	-	< 3%	-	-	-	-
	EPS	-	-	-	< 0.5%	< 0.5%	< 1%	-	-	-
	Plastic films	-	-	-	< 2%	< 5%	-	-	-	-
	PVC	-	-	-	-	-	-	-	< 0.5%	< 0.5%
	종이, 골판지상자	-	-	-	-	-	-	-	< 5%	< 5%
	PET	-	-	-	-	-	-	-	< 4%	< 3%
	기타 플라스틱	< 4%	< 3%	< 3%	-	-	< 4%	-	-	-
	기타	< 4%	< 3%	< 3%	< 3%	< 3%	< 2%	-	< 3%	< 3%
	예) 유리, 종이, 골판지상자,판지, 알루미늄 증착 플라스틱, 다른소재(고무, 돌, 나무, 섬유, 기저귀), 유기물									
납입형태	형태	더미	더미	더미	더미	더미	더미	1㎥ 가 2.5㎥ 본 투더미	더미	더미
	틀용적	78.62㎥	78.62㎥	78.62㎥	78.62㎥	78.62㎥	78.62㎥	78.62㎥	78.62㎥	78.62㎥
	부피비중	0.29 t/㎥	0.18 t/㎥	0.19 t/㎥	0.22 t/㎥	0.22 t/㎥	0.24 t/㎥	0.01 t/㎥	0.27 t/㎥	0.27 t/㎥
	최저적재중량	23t	14t	15t	17t	17t	19t	0.7t	21t	21t

표 4-12에 규정되어 있는 베일 등에서 리사이클한 PE 펠렛 4종류, PP 펠렛 1종류의 샘플을 입수했으므로 조성 분석을 실시함. PE 펠렛의 PE 조성은 87%~91%, PP 펠렛의 PP 조성은 89%로 모두 90% 전후로 높은 수치였음

수지	조성분석 (wt%) 주1						
	PE	PP	St유닛	BD유닛	PET	PVC(주2)	불용해성분
PE	91%	7%	< 1	< 1	< 1	1%	< 1
PE	90%	9%	< 1	< 1	< 1	1%	< 1
PE	88%	10%	< 1	< 1	< 1	1%	< 1
HDPE	87%	11%	1%	< 1	< 1	1%	< 1
PP	9%	89%	2%	< 1	< 1	1%	< 1

주1~3은 표4-3 와 동일 (생략)

이번에 입수한 샘플이 소량이었기 때문에, 기계적 특성 측정을 실시할 수 없었으며, 따라서 카탈로그에서 얻은 기계적 특성을 표 4-14에 정리함.

표 4-14 독일제 용기포장 리사이클 펠렛의 기계적 특성(카달로그 값)

수지	기계적특성								
	MFR	인장항복강도	인장파단신도	영률	횡절강도	굽은탄성률	IZ충격강도(23℃)	회분	밀도
	g/10min	Mpa	%	Mpa	Mpa	Mpa	KJ/㎡	%	g/㎤
P P	12	25.0	-	-	-	1170	-	≦2	0.91
LDP E	1	15.0	-	-	-	300	-	≦2	0.92
HDP E	1	22.0	-	-	-	760	-	≦2	0.94
Mixed Plastic	0.08*1	9.0	-	-	-	1100	-	≦5.3	-
Film Plastic	32*2	14.9	-	-	-	645	-	≦5.3	-

* 1 : 190℃/5kg g/10min

* 2 : 230℃/2.16kg cm^3/10min

* 독일의 내용 용기포장 리사이클 베일, 펠렛의 유통가격 정보 의견수렴을 실시함. 독일에서는 SC에서 선별된 '단일재질 베일'을 2.5 ~ 2.8만엔/톤으로 폐기물 재활용 관리자에게 매각되며 폐기물 재활용 관리자는 그 재생 펠렛을 8 ~ 12 만엔/톤에 판매하고 있음.

4.4 기계적 특성과 조성 분석 결과

선별시험(Mode 4)에서 얻어진 최종 선별물 PE와 PP에 대한 성형소재로서의 입지를 알아보기 위해 각각의 조성과 MFR(유동성), 기계적 특성의 관계를 그래프화함. 또한 품목별로 분리한 시료, 독일용기 포장 리사이클 플라스틱을 통한 펠렛 샘플(기계적 특성은 카탈로그값) 등에 대해서도 함께 만듬.

＜이하 그림 속 ◆ : 최종선별물 ◆ : 품목별 ◆ : 참고데이터를 나타냄＞

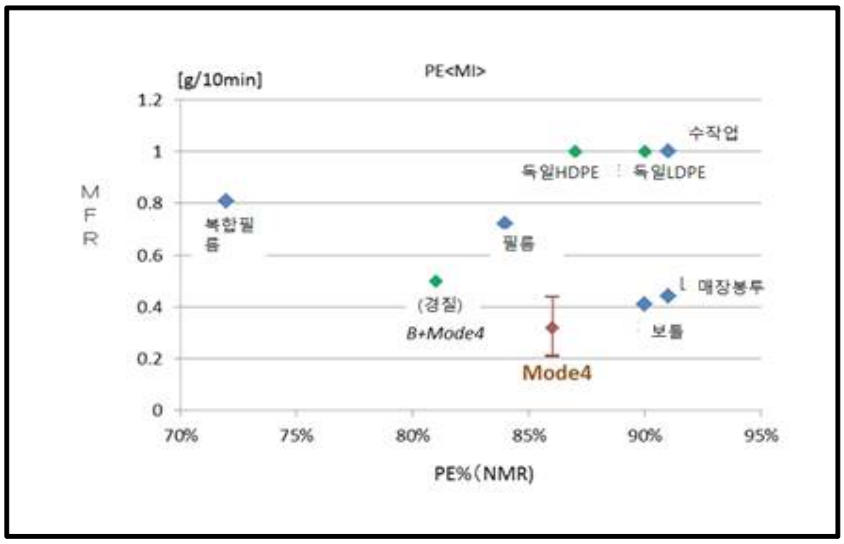


그림 4-3 최종선별물 PE조성과 유동성

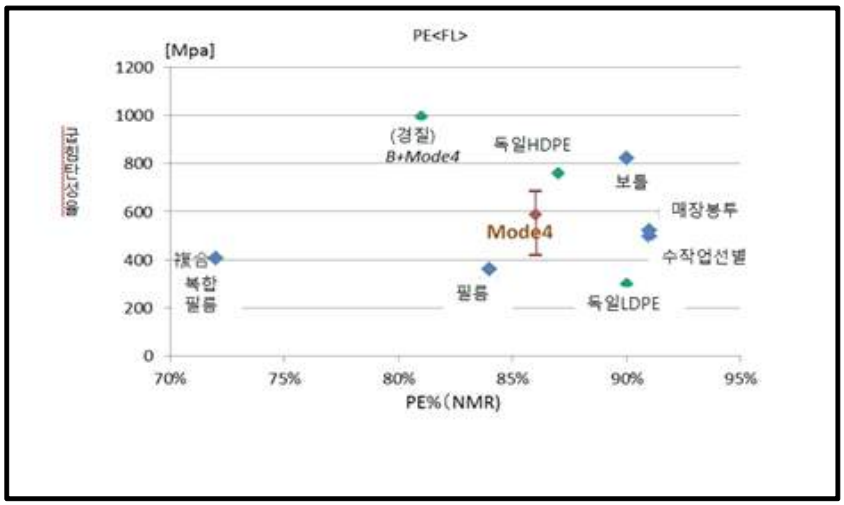


그림 4-4 최종선별물 PE조성과 굽힘 탄성율

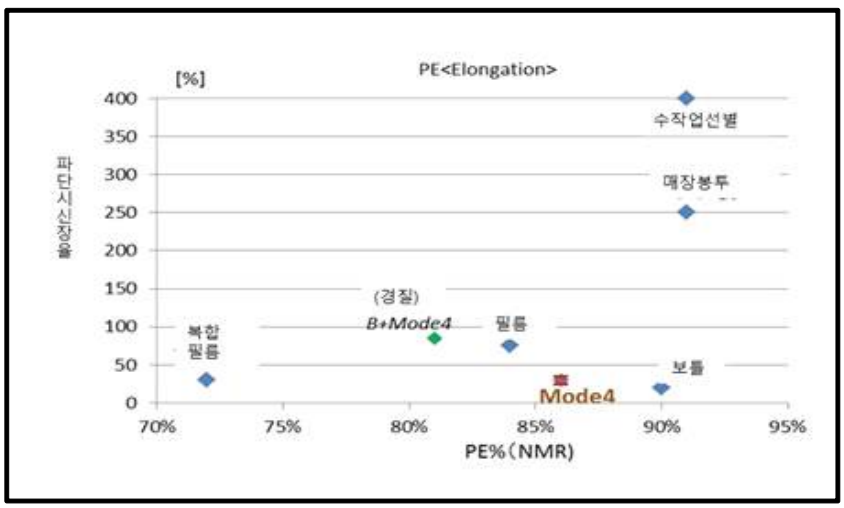


그림 4-5 최종선별물 PE조성과 인장파단 시 신장율

【PE 에 관해】이상의 그래프를 통해

1) 유동성은 0.4 정도로 매우 낮은 수치이며, 이는 최종 선별물에 포함된 낮은 MFR 품목 재질에 의한 결과로 보임.

2) 굽힘탄성률은 혼합된 재료의 평균값임.

3) 인장파단 시 신장율은 'Mode 4' 가 PE%에 의존하지 않고 낮은 수치를 보였으며, 이것은 최종선별물에 포함된 "병" 등 낮은 수치의 재질에 의한 것으로 보이는데 이와 더불어 본 PE는 비상용(非相溶)인 이종재질이 혼합된 상태이기 때문에 인장 시 응력집중을 받는 계면 등의 결함 발생이 영향을 끼치는 것으로 생각됨.

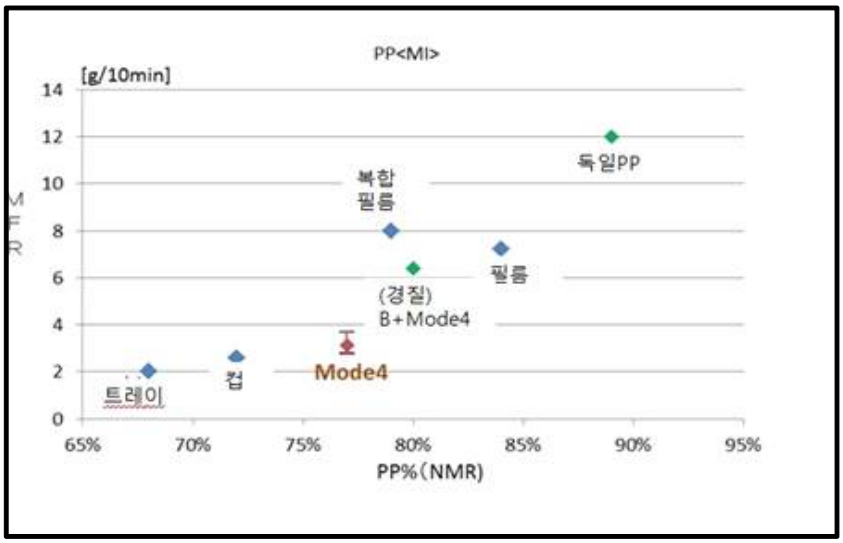


그림 4-6 최종선별물 PP조성과 유동성

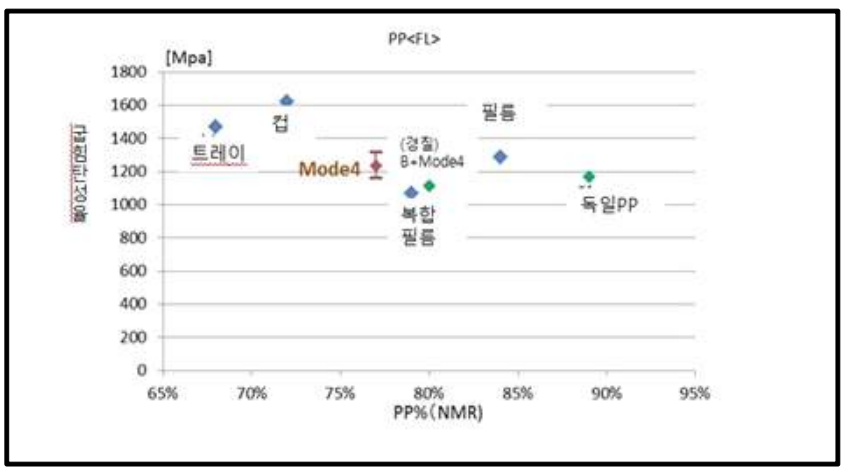


그림 4-7 최종선별물 PP조성과 굽힘 탄성율

【PP 에 대해①】이상의 그래프를 통해

1) PP%와 유동성의 관계는 PE의 경우에 비해 상관관계가 높은 것처럼 보이지만, 역시 낮은MFR 재질에 의한 결과이다. 또한, 데이터 편차는 PE보다 작아졌음.

2) 굽힘탄성율은 거의 평균값을 보이고 있으며, 또 '트레이' 나 '컵' 은 제품 제조단계에서 PP/PE 폴리머 블렌드 제품이 사용된다는 정보가 있으며, PE%가 높아도 탄성율 저하를 막을 수 있음. 이에 반해 '복합필름' 에서는 PET 등 이종 폴리머와의 복층이 있음

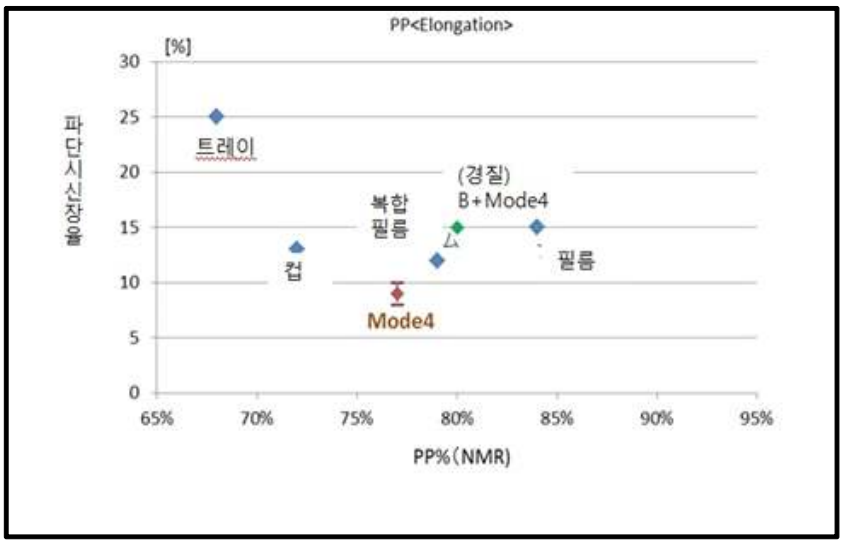


그림 4-8 최종선별물 PP조성과 인장파단 시 신장율

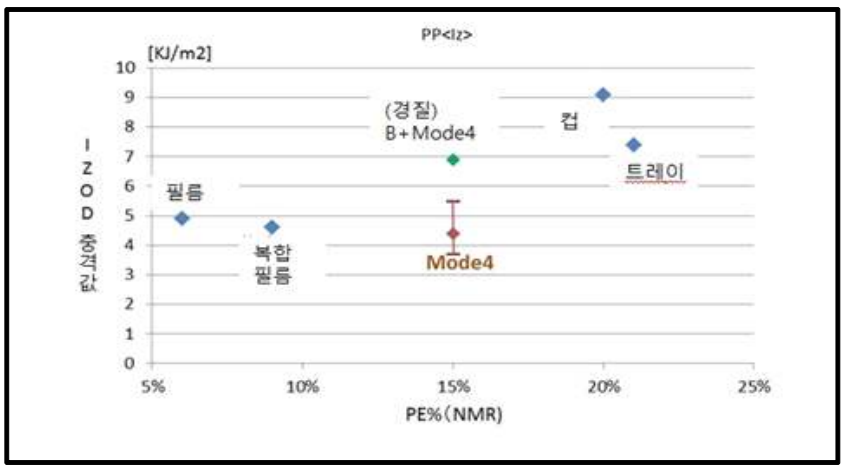


그림 4-9 최종선별물PP 조성과Izod충격값
(이 그림만 가로축이 PE%임을 주의)

【PP 에 대해②】이상의 그래프를 통해

3) 파단 시 신장율은 PE의 경우와 마찬가지로 매우 낮은 값을 보이는데 이종 재료의 혼합에 의한 영향 때문이 아닐까 생각됨.

4) PP용도로 버진이나 단일수지인 재생PP 등의 대체/부분배합이 예상되기 때문에 충격 특성에 대해서도 정리함(그림4-9). 또한, 이 그림만 X 축이 (혼합된) PE%이므로 주의하기 바람.

충격특성도[3]과 비슷한 경향을 보여 PE%가 15% 정도임에도 불구하고 낮은 값을 보임.

4.5 최종선별물 판매가능성

4.5.1 평가 방법

본 실증 시험범위는 플라스틱 용기포장 폐기물에서 선별한 최종선별물에 대한 평가까지이나 재생원료 이용처 평가를 받기 위해서는 최종 선별물을 펠레타이징한 소재로 제공할 필요가 있어 일반공정에서 재생펠렛을 샘플 제작하여 데이터시트(선별방법(소성), NMR 분석결과, 유동성, 기계적 특성, 펠렛 외관 사진 등 포함)를 첨부한 후 평가대상으로 의견수렴 실시함.

4.5.2 이용사업자에게 의견수렴

판매가능성에 대해서는 대형 복합기업 중 2개 기업에 대해 실험 취지를 설명한 후 가치 평가 실시 협조를 구하고 기타 3개사에도 추가로 의견수렴을 실시함. 청취결과 요약은 표 4-15와 같으며, 표 중 “용도“는 상대방이 상정하는 성형법, 마찬가지로 “제품 예“는 예상되는 성형품 예인데, 이 제품에 100% 이용할 수 있다는 것이 아니라, 배합재료의 일부(30% 정도라는 대답이 많음)로 적용가능성이 있다는 것을 의미함.

이러한 조건하에서 답변을 받아, PE(수작업 선별), PE(경질), PP(경질)의 평균가격은 38엔/kg이었의며, 악취와 순도가 개선되면 다시 10엔~20엔 오를 가능성이 있다는 것도 지적됨. PS는 이물질 수준이 감소하면 더 높아질 가능성이 있음.

또한 유럽산 펠렛도 의견수렴을 실시했는데 본 시험에서 만든 펠렛 평가에 차이가 없었음.

표 4-15 가치평가와 청취 결과

Mode		단가	용도	제품예	비고
Mode4-3	PE(수작업선별)	35	블로우	자동차 덕트	냄새 순도가 개선되면 +10엔~ 20엔
Mode4-3	PE(수작업선별)	35	압출	시트	
Mode4-3	PE(수작업선별)	45		문구	
	PE(수작업선별) (평균)	**38**			
Mode4-3 B+Mode4	PE PE(경질)	35	블로우	자동차 덕트	냄새순도가 클리어하면 +10엔~ 20엔
Mode4-3 B+Mode4	PE PE(경질)	35		건재, 파이프	
Mode4-3 B+Mode4	PE PE(경질)	45	압출	시트	
	PE(평균)	**38**			
Mode4-3 B+Mode4	PP PP(경질)	35			
Mode4-3 B+Mode4	PP PP(경질)	35	압출	시트	
Mode4-3 B+Mode4	PP PP(경질)	45		차내장, 차부품	
	PP(평균)	**38**			
Mode4-3 B+Mode4	PS	35	압출	건재	
Mode4-3 B+Mode4	PS	50			
Mode4-3 B+Mode4	PS	45			문구에 사용할 순도 이물질 수준의 경우 70엔
Mode4-3 B+Mode4	PS	35		건재, 행거	
Mode4-3 B+Mode4	PS	45		문구	
PS(평균)	**PS(평균)**	**42**			
Mode4-3 B+Mode4	PET	10		단섬유	색조를 신경 쓰지 않는 단섬유에 한정
PET(평균)	**PET(평균)**	**10**			

4.5.3 각 선별 Mode에서의 매출 시산

상기 청취결과와 선별 가능성 시험결과로 Mode 4-3에서의 플라스틱 용기 포장 폐기물 1kg을 투입했을 때의 매출(엔)을 산출함. 매출은 경제적 가치가 있는 물건(유가물)로 판매할 수 있는 것은 정수로, 처리비용을 지불하여 가져가게 하는 것을 음수로 기재함(표 4-16 참조).

Mode 4-3의 정수 매출은 17.3엔, 음수매출은 -10.6엔으로 정수 매출, 음수 매출 합계는 6.7엔이었음.(또한 B + Mode 4에서 유사한 계산을 한 결과, 정수 매출이 24.5엔, 음수매출이 -2.7엔, 합계 21.8엔을 기록함. 이는 매출에 영향을 주고 있는 것은 분배율이고, B + Mode 4에서는 분배율이 88.1%로 높기 때문임. 단 B + Mode 4는 전술한 바와 같이 샘플 등이 이상적인 상태에서의 테스트 결과이며, 또한 'B 경' 도 매출에 계상되는 등 때문에 참고 정보로 함).

표 4-16 Mode 4-3에서의 매출 시산

선별물	분배율	펠렛단가 (엔/kg)	매출 (엔)
PE(수작업선별)	9.2	38	3.5
PE	9.1	38	3.5
PP	14.1	38	5.4
PS	10.2	42	4.3
PET	7.0	10	0.7
RPF	0.0	8	0.0
유가물합계	49.6		17.3
PVC	2.7	-40	-1.1
기타	47.7	-20	-9.5
잔사		-20	0.0
합계	100.0	-	6.7

다음으로 Mode 4-3에서 최종선별물을 베일 상태로 해서 수지 재생회사에 매각하는 경우의 가치를 파악하기 위해 최종선별물의 가치를 추산한 결과 10.9엔/kg이었으며, 이 계산은 처리능력 50000t급 선별 공장에서 생산되는 최종 선별물(베일)을 전량 인수하는 공장이 있다고 가정하고 그 공장이 펠렛 1kg을 생산하기 위해 수지 재생회사가 필요한 비용을 24엔/kg으로 상정하여 Mode 4-3에서의 펠렛 단가의 가중평균값 34.9엔에서 차감하여 산출함(최종 선별물을 펠렛화 할 때의 수율 및 이익 등을 고려하지 않은 점에 주의할 필요가 있음).

Mode 6은 광학 선별한 화학적/열적 리사이클용 원료를 생산하는 것을 가정했다. RPF 판매가격은 칼로리 등가이기 때문에 석탄가격으로 했음(화학적은 연료이용은 아니지만, CO, H_2를 얻는 것을 목적으로 하고 있기 때문에 이와 같이 평가하고 있음). (표4-17 참조)

표 4-17 Mode 6에서의 매출 시산 (화학적/RPF용)

선별물	분배율	펠렛단가 (엔/kg)	매출 (엔)
PE(수작업선별)	0.0	38	0.0
PE	0.0	38	0.0
PP	0.0	38	0.0
PS	0.0	42	0.0
PET	0.0	10	0.0
RPF	84.0	8	6.7
유가물합계	84.0		6.7
PVC	16.0	-40	-6.4
기타	0.0	-20	0.0
잔사	0.0	-20	0.0
합계	100.0	-	0.3

4.6 비용 평가

Mode 4-3, Mode 6에서의 설비투자액 개산을 산출하여 상각기간을 8년으로 한 경우의 설비투자 비용이 그림 4-10과 같으며, Mode 4-3의 선별공정은 파쇄기, 트롬멜, 광학선별기 등이 포함되어 있음. 제품화 공정은 PE, PP, PS는 펠렛까지를 최종제품으로, 파쇄기, 세척기, 조립기(造粒機)등을 PET는 플레이크를 최종제품으로, 파쇄기, 세척기 등을 포함한 라인으로 함.

Mode 6 선별공정은 파쇄기, 트롬멜, 광학선별기 등이 포함되어 있으며, 제품화 공정은 파쇄기, 조립기(造粒機) 등이 포함되어있음.

Mode 4-3에서는 처리량 1kg 당 설비 투자비용은 선별공정이 2.1엔/kg, 제품화 공정이 2.1엔/kg이며, Mode 6에서는 선별 공정이 1.1엔/kg, 제품화 공정(RPF화)이 1.7엔/kg으로 상정함.

(또한 B + Mode 4를 산출하면 선별공정에서 3.3엔/kg, 제품화 공정에서 3.6엔/kg의 처리량 당 설비 투자비용이 나옴.)

이들은 선별 공정수 및 최종제품의 생산량에 따라 차이가 있음.

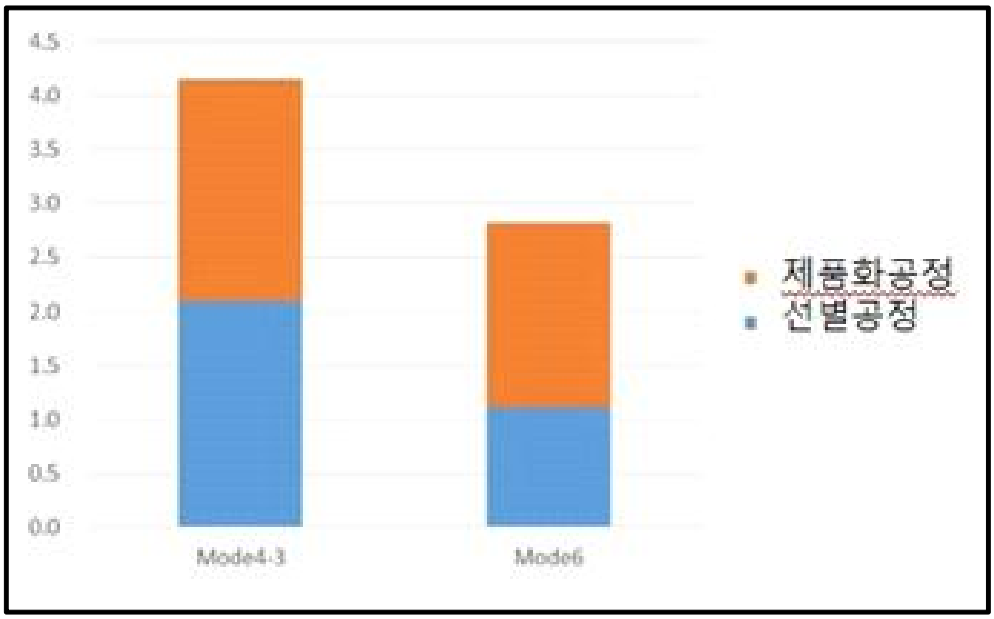


그림 4-10 Mode별 설비 투자 비용(설비규모 50,000 t /년) (단위 : 엔/kg)

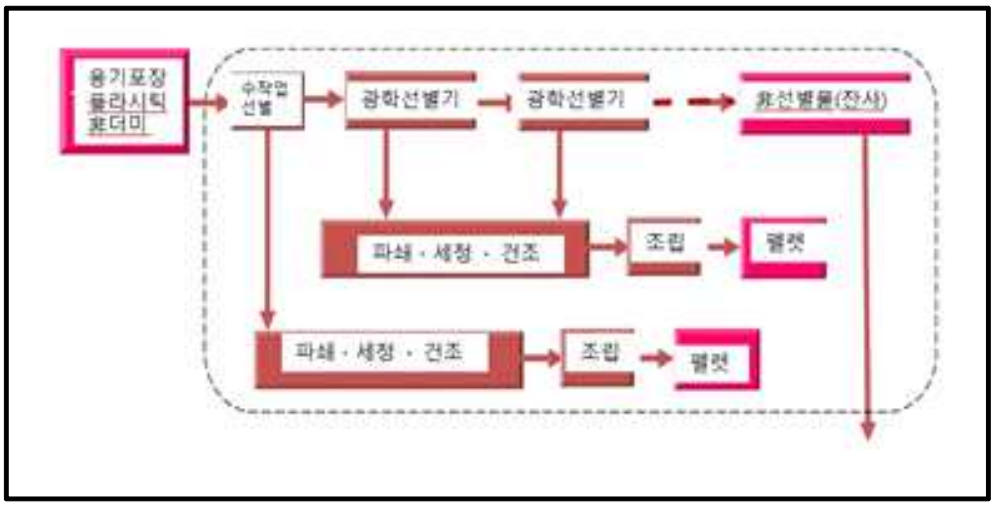


그림 4-11 Mode 4 , Mode 4-3의 boundary

(또한 B+Mode 4에서는 상기 그림의 수작업 선별 대신 Ballistic separator를 사용)

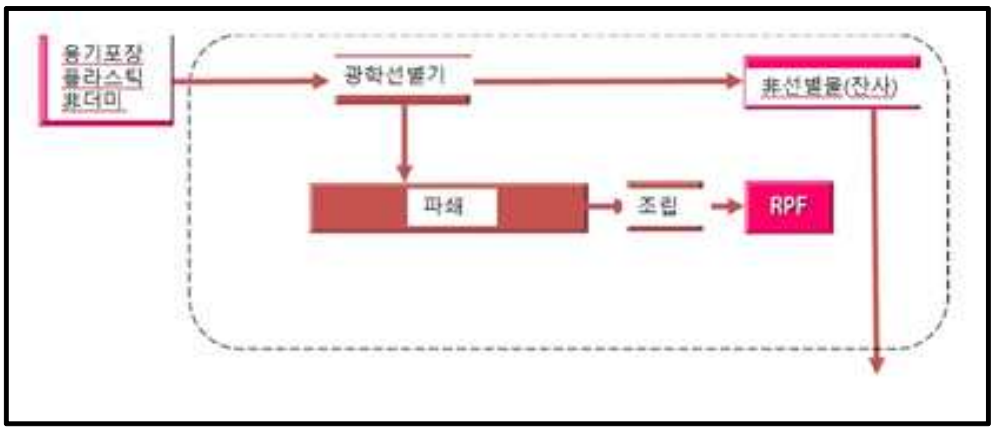


그림 4-12 Mode 6의 boundary

다음으로 Mode 4-3 및 Mode 6의 설비규모별 비용을 산출함. 산출 시 가동률을 100%로 하고 선별에 관련된 비용, 감가상각비(설비 8년 건물 38년 정액), 폐기물 처리비용을 규모별로 산출하여 합산하고 있음(그림 4-13 참조).

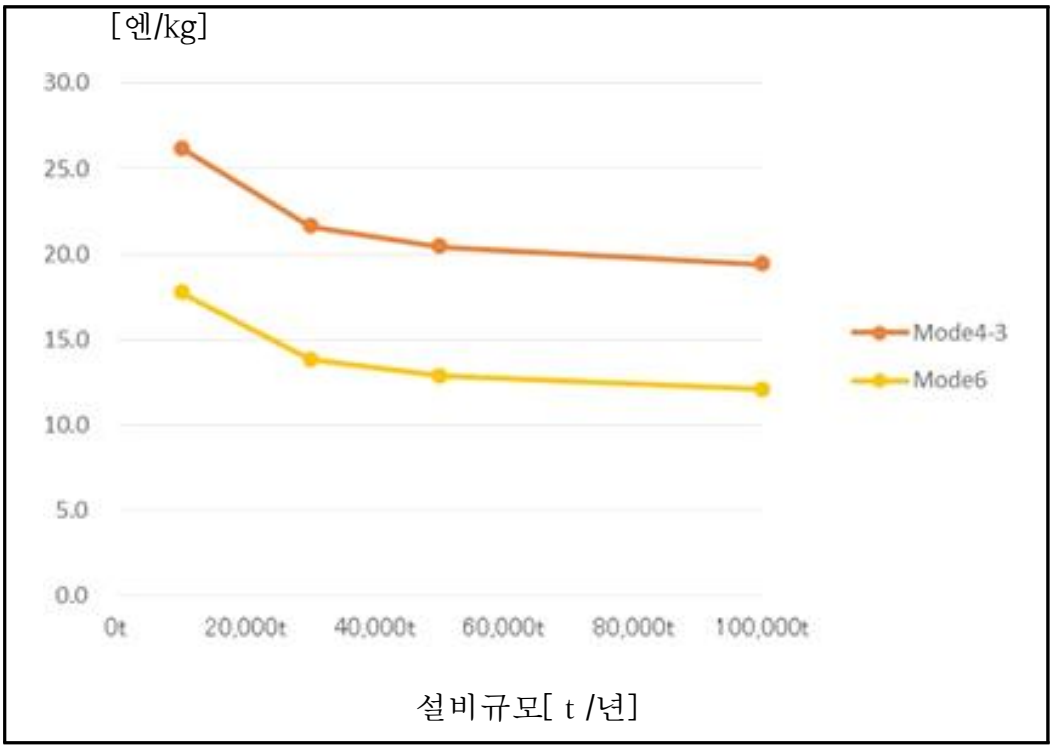


그림 4-13 각 Mode의 규모별 비용

※ 본 비용평가는 다양한 사업화나 FS를 위한 기초 데이터를 예시로 한 것임.

5. 정리

5.1 지자체 용기 포장 폐기물 회수 상황

① 지자체 플라스틱 용기포장 폐기물의 수거 데이터 파악

수집 관련 기초 데이터(수집량, 차량 가동대수, 작업인원, 작업시간, 주행거리, 연료사용량)에 대한 정보를 정리함.

2012년, 2013년 데이터를 수집함. 월별 1인당 배출량은 거의 차이가 없으며 대부분의 달에서 2년 연속 0.20 ~ 0.25kg/인·월을 기록함.

또한 이세사키시 지역수거에서는 82.3kg-CO_2/t의 환경부하량 및 실증시험에 참여하기 이전의 분리보관시설에서 베일화까지는 12.3kg-CO_2/t이라고 산정하고 이 분량이 본 실증시험에서는 삭감된 것임.

② 수거한 플라스틱 용기포장 폐기물의 구성비

수거한 플라스틱을 2012년 4월부터 2013년 3월까지 구성비를 조사하여 구성비 파악 및 계절 변동 유무를 확인함.

소재별 구성비는 PP 구성비가 평균 30%로 가장 높았고, PE : 27%, PS : 22%, PET : 16% 순이었으며, 큰 계절 변동은 보이지 않았음.

형상별 구성비는 필름류가 가장 많은 41%로 다음으로 트레이류가 34%로 많았고, 이 두 가지가 70%를 차지함.

필름재질 비율은 PE가 56%, PP가 37%, PS가 4%, PVC는 2%였으며, 이중 복합재질은 46%였음. 트레이의 재질비율은 PS가 50%, PET 37%, PP가 12%였으며, 또한 PS 트레이 중 발포 트레이가 23%, 비발포 트레이가 27%였음

③ 회수 플라스틱의 이물질 함유량

회수된 용기포장 플라스틱에 포함된 이물질은 30㎝ 이상으로는 제품 플라스틱이 0.06%, 플라스틱 이외의 이물질은 0.48%였으며, 30㎝ 이하로는 제품 플라스틱이 2.7%, 플라스틱 이외의 이물은 3.1%였음.

5.2 기계적 선별 가능성

광학선별기를 이용한 8가지의 선별방법에 대해 검토함.

선별정밀도 등의 평가는 우선 육안을 중심으로 실시함. 또한 원제품이 복합재(복층재)도 많음. 그래서 이러한 선별물을 PE, PP 등의 기울기체로 표시하거나 구성비(순도를 나타냄), 회수율 등의 단어를 정의하고 도입함으로써 선별 정밀도 및 재질의 정량적 평가가 가능해짐.

① 표준 재료 리사이클용 모델 (Mode 4)

광학선별기의 선별순서, PE 수작업선별 > PE > PP> PS > PET > PVC순으로 선별함. 타겟 수지 수거율은 48%. 회수된 재질의 구성비(≒순도)는 PE 수작업 선별이 84.7%, PE가 80.5%, PP가 77.7%, PS가 86.3%, PET가 93.1%이며, PET, PS 구성비가 높은 결과였음.

② 선별순서를 바꾼 재료 리사이클용 모델 (Mode 4-3 등)

선별순서의 영향은 있으나 체계적이지 않고 PE, PP, PS, PET 모두가 양호한 선별패턴은 존재하지 않음(PET는 항상 구성비/회수율이 높음)

그러나 평균적으로 구성비/회수율 향상을 기대할 수 있는 Mode 4-3 (선별순서 : PS> PE > PP > PET> PVC)을 그 기본조건으로 함. 또한 Mode 4-3 회수율은 49.5%, 구성비는 PE 수작업 선별이 86.6%, PE가 87.6%, PP가 82.6%, PS가 87.4%, PET가 94.8%였음.

③ 광학선별기를 활용한 화학적／열적 리사이클용 모델(Mode 6 등)

광학선별기를 이용하여 PVC를 가능한 많이 제거하는 설정으로 실험을 실시한 결과, PVC 회수율(제거율)은 84.4%로 나타남.

④ 선별기 설정 등의 영향

광학선별기, 선별정밀도 설정 및 투입속도를 변화한 4패턴으로 시험한 결과, 선별정밀도 향상에 의한 순도향상은 거의 나타나지 않았는데 투입속도를 떨어뜨린 경우, PP 및 PS의 회수비율은 향상되었지만, PE, PET에는 거의 영향이 없었음.

⑤ 광학선별기를 2단으로 하는 효과

2단 선별을 실시했을 경우, 2단째의 선별 정밀도를 고, 중, 저 설정으로 변경해도 모두 구성비 90% 이상으로 양호한 결과가 얻어졌으며, 또한 회수율은 저, 중, 고로 선별 정밀도가 올라가면서 저하함. 따라서, 2단째의 선별 정밀도를 '저'로 해서 2단 선별을 실시하면 구성비, 회수율 모두 최상의 결과를 얻을 수 있는 것으로 나타남.

⑥ 광학선별기 종류의 영향

본 실증시험에서 일반적으로 사용하는 광학선별기와 다른 업체의 광학선별기에서 기존의 PE > PP > PS > PET순으로 선별검사를 실시했는데 동등한 성능을 확인할 수 있었음.

또한 이 모델의 특징인 선별방법 (3종 선별이 기본)에 적합한 선별flow 등을 통한 시험에서는 회수율/구성비 모두 기존대비 높은 결과를 얻을 수 있었음(상세한 내용은 추가시험② 참조)

⑦ 광학선별에 대한 사전선별(형상선별) 효과

사전선별로서의 형상별 분류(기기= Ballistic separator)의 유용성을 확인할 수 있었음(추가시험③)

이상의 결과로 회수율 및 구성 비율을 향상시키기 위해서는 사전 선별로 필름계와 병계로 선별 후 병계를 다시 광학 선별기에서 선별하는 방법이 유효하다고 생각됨. 또한 광학선별기 2단 사용 등을 포함하여 채택할 기기에 적합한 처리 흐름과 조정이 중요하다고 생각함.

5.3 가치평가

① 수거한 용기포장 리사이클 플라스틱 및 최종선별물의 조성 분석

플라스틱 용기 포장 폐기물의 품목별 조성 및 광학선별에 의한 최종 선별물 조성을 분석(NMR) 비교함. 최종 선별물은 PE의 PE%=86% 정도, PP의 PP%=77% 정도였고 이러한 결과는 피선별물 중의 품목별 분석값을 가중평균하여 얻은 '이론값'과 거의 일치하는 것으로 나타남.

이상에서 본 실증시험에서의 광학선별에 의한 정밀도는 거의 양호하다고 생각되는데, 순도의 한계는 용기 포장 리사이클 폐기물 중 원제품 조성(혼합품이나 복층재료 등이 많음)에 의한 것으로 생각됨.

② 회수한 용기 포장 리사이클 플라스틱 및 최종선별물의 기계적 물리 특성

PE : 유동성이 매우 낮으며, 또한 굴곡탄성율과 유동성의 편차가 큼. 이것은 PE%가 86%인 것과 함께 PE에서는 LDPE, LLDPE나 HDPE 등 많은 품종이 섞여 있는 것도 영향을 주고 있는 것으로 보여 파단 시(인장) 신장율도 30% 정도로 작은 값이 됨.

PP : 유동성이 낮은 4g/10min 이하이나 이것은 PP%에 비례하며 PE와 같은 차이는 없음. 굴곡탄성률은 거의 1200Mpa 정도이며 독일에서 저술된 용기 포장 리사이클 펠렛과 동등하나 파단 시 신장률은 PE와 마찬가지로 매우 작은 값이며, Izod 충격값에서도 잔존하는 PE 함유량에 비해 낮은 값이 되었음.

③ 최종선별물(에서의 재생 펠렛) 판매가능성

대형 복합회사에 복합배합 재료로서의 이용가치에 대한 의견수렴을 실시한 결과, PE(수작업 선별), PE, PP의 평균단가는 38엔/kg이었으며, 악취 및 순도가 개선되면 10~20엔/kg 향상될 가능성이 있음이 지적됨. Mode 4-3 계산에서는 최종선별물(베일)은 10.9엔/kg으로 상정됨.

화학적 리사이클은 이미 탈염소등이 열분해 등에 의해 시스템화되어있어 수요와 기대감은 작았음.

④ 비용 평가

본 실증시험(Mode 4-3 등)에서 얻어진 재생펠렛 가치평가 결과 평균 34 엔/kg 정도로 매도 가능한 것을 알았으며, 또한 용기 포장 리사이클 플라스틱 폐기물에서 이들 유가물을 얻을 수 있는 비율은 약 50%였음. 또한 모의로 용기 포장 리사이클 플라스틱 폐기물을 이용하여 독일에서 실시한 실험(Ballistic separator→광학선별)에서는 60% 정도의 수율 향상 가능성이 제시됨(Ballistic separator에서 선별된 B경(19% 정도 회수)도 일부 가치가 있다고 생각되나 여기에서는 제외함).

끝으로

① 본 실증시험에서는 가정에서 배출된 플라스틱제 용기포장폐기물을 그대로 투입해 재자원화하는 것이 기술적으로 가능하다는 것을 확인함.

② 재료 리사이클을 대상으로 한 경우의 최종선별물의 순도는 PP = 77 %, PE = 86 % 정도였는데 이것은 용기 포장 리사이클 폐기물 중의 원제품의 재료 조성에 의한 것으로 보임(표 4-3, 표 4-4).

③ 위 순도의 최종선별물을 얻을 경우, 용기 포장 폐기물의 약 50%의 재자원화가 가능(그림3-2)하게 됨. 또한 선별flow등을 개선하면 60% 정도의 재자원화율 향상 가능성이 보임(PE + PP 혼합 플라스틱 이용은 포함되지 않은 경우).

④ 최종선별물을 펠렛화한 재생재료의 가치는 자동차관련 부품 등의 성형에 적용되는 소재의 일부 배합재료로 쓰는 것을 상정하고 35엔~45엔/kg 정도로 평가됨.

⑤ 플라스틱 용기 포장 폐기물을 수지 재생회사가 인수(매각)할 가능성이 있다고 생각되는 부분까지의 선별에 소요되는 비용은 약 20엔/kg(설비규모 50000t/년, 가동률 100%, 수집비용 별도 경우)으로 산정됨(그림4-13).

⑥ 마찬가지로 화학적/열적 리사이클을 대상으로 한 경우 약 84%의 재자원화(RPF화)가 가능하며, 이때의 선별비용은 약 13엔/kg (설비규모 50000t/년, 가동률 100%, 수집 비용 별도 경우)로 산정됨(그림4-13).

주1 : 본 실증시험에서는 이세사키시에서 수거된 플라스틱 용기 포장 폐기물만을 대상으로 실시함. 이세사키시의 회수물은 이물질 혼입이 적고 양질인 것이 특징이며, 유의할 필요가 있음.

그러나 일반적으로 용기 포장 리사이클 플라스틱 이외의 이물질은 광학선별기 등에 투입되기 전에 제거되는 것이 일반적이기 때문에 이 사전선별을 통해 이후의 기술적인 결과에 대해 충분히 활용 가능할 것이라 생각됨.

주2 : 본 보고서 비용평가는 다양한 사업화와 FS를 위한 정보제공으로 기초적인 데이터를 예시한 것이며, 따라서 가동률을 100%, 시설 감가상각 기간을 8년 등의 조건으로 명시함. FS는 실제로 설정되는 조건 등의 고려가 필요함.