

환경과 고분자

임 승 순

1. 서 론

지구가 탄생된 이래 45억년, 인류가 탄생된 이래 약 350만년의 시간이 흘렀다고 알려져 있다. 물과 녹색으로 가득 찬 아름다운 지구라고 하는 환경 속에서, 인류는 대기, 해양, 토양 및 동식물로 이루어지는 생태계로부터 모든 각종의 자연의 혜택을 누리면서 문명, 문화를 구축하여 왔다. 그런데, 최근에 이르러 이러한 문명의 발전을 이룩한 인간 생활과 생산 활동이 유일무이한 지구환경에 엄청난 피해를 주고 있다. 이와 같이 지구환경에 피해를 주는 요인은 매우 많으나, 그 중에서도 인간의 생활과 생산 활동 그 자체가 최대의 요인이며, 이에 따른 환경의 변화가 생태계에 심각한 악영향을 미치고 있다. 특히, 세계 제 2차 대전 이후 산업의 발전에 따라 파생된 플라스틱을 포함한 인공 물질이 환경을 오염시켜, 세계적으로 큰 사회문제가 되고 있다. 현대 생활에 있어서 플라스틱 제품의 편리성은 두 말할 필요가 없을 정도로 생활에 밀착되어 있다. 만약 플라스틱 사용에 따라, 이러한 편리성을 상회하는 사회적 문제가 정말로 존재한다면, 우리 인간은 플라스틱 사용에 관하여 재고할 필요가 있을 것이다. 그러나, 도대체 무엇이 문제인가를 신중히 검토를 한 예는 없는 것 같다.

일반적으로 플라스틱 폐기물 문제의 경우 일반폐기물 특히, 도시 쓰레기중의 폐플라스틱 처리에 관련된 문제를 가 르키는 일이 많다. 이러한 문제가 극히 최근 close up되고 있는 것은 다음의 2가지 원인에 의한 것이 아닌가하고 생각할 수 있다.

첫째로, 플라스틱 폐기물의 배출량 자체가 최근 증가 일로에 있다는 것. 둘째는, 플라스틱 수요가 증가하고 있는 중에 일회용의 용도가 증가하고 있는 것에 기인한다고 할 수 있다.

그중에서 첫번째에 관하여서는 쓰레기 조성을 엄밀하게

측정한 예는 거의 없으나, 국내의 경우 도시 쓰레기 중 플라스틱류의 함유량은 대략 15% 전후이다. 단, 쓰레기로서 배출되는 플라스틱 제품은 포장용 필름과 발포성형이나 중공성형 된 것이 많아 부피단위로 보았을 경우 15 중량%를 훨씬 상회하여 금방 눈에 띄기 때문이다. 또한, 소재 특성상 도시 쓰레기속에 있어도 비교적 완전한 형태를 유지하고 있는 것이 많다는 것도, 실제 이상으로 플라스틱 폐기물이 증가하고 있는 듯한 인상을 주기 때문이다.

둘째의 경우, 용도의 다양화, 특히 일회용 용도의 증가에 관하여 생각하여 보면, 최근 500만톤 이상 생산되고 있는 플라스틱 중에서 PP, PE로 대표되는 폴리에틸렌 수지와 PS 등이 특히 신장율이 크다. 이들은 성형성이 아주 좋다는 것 외에 소각처리가 비교적 용이하고 포장용을 중심으로한 일회용 용도에 많이 사용되고 있다. 그러나, 이러한 일회용 용도의 플라스틱이 증가하고 있는 배경에는 여러가지 사회 구조, 생활 양식, 가치관의 변화, 가격 변화와 이들을 종합한 수요의 변화가 있기 때문에, 플라스틱 뿐만 아니라 다른 소재도 현저하게 증가하고 있다는 것을 잊어서는 안 된다. 이상과 같은 상황은 도시 쓰레기가 급증하는 가운데, 플라스틱 폐기물에 관하여서는 막연한 소각에 지나지 않는다고 하더라도 소각하면 소각로가 손상이 되고, 매립하여도



임승순

1972 한양대학교 섬유공학과(학사)
1975 동경공업대학교
유기재료공학과(석사)
1978 동경공업대학교
유기재료공학과(박사)
1982~ 한양대학교 섬유공학과 교수
현재

Environmental Effect of Polymer

한양대학교 섬유공학과 (Seung Soon Im, Dept. of Textile Eng., College of Eng., Hanyang University, Seoul 133-791, Korea)

분해하지 않는다는 비판을 받아 왔다. 물론 재활용과 recycle 등의 방안이 제시되고 있기도 하다.

따라서 본고에서는 플라스틱 폐기물의 처리 방안과 플라스틱의 장점을 살려, 지구환경 정화에 이용될 수 있는 재료도 포함하여 간략하게 기술하고자 한다.

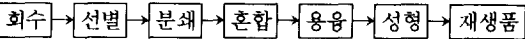
2. 플라스틱 폐기물의 처리 방법

플라스틱 폐기물 문제에 관하여서는 통일된 기본 방향을 제시하기가 쉽지는 않다. ‘금속’이라고 하는 광의의 소재 개념 안에 알루미늄이 있다. 알루미늄중 극히 일부인 알루미늄 강통의 recycle에 초점이 맞춰지고 있는 것과 같이, ‘플라스틱’이라고 하는 광의의 소재 개념중 ‘폴리스티렌’, ‘PET’ 등을 대상으로 하는 경우에도, 극히 일부분을 점하고 있는 발포 폴리스티렌의 sheet 또는 용기라든지 PET bottle 등에 한정하여 취급되어야 한다고 생각한다. 이와 같은 사고하에서, 플라스틱 폐기물 취급은 개별제품마다 구체적인 대응책을 검토하여야 한다. 하지만, 현실상 매우 어렵다. 따라서, 대응책으로는 가능한 품목별로, 재 자원의 촉진, 소각 및 소각시에 발생하는 열에너지의 유효 이용 추진, 폐기물의 배출량(즉 사용량) 자체의 감량화 및 분해성 플라스틱 사용 등 크게 4개로 집약할 수 있는 것이

아닌가 하고 생각한다.

2.1 재자원화

페플라스틱의 재자원화 기술로서는 재생 이용을 중심으로 한 각종 기술이 개발되어져 보급되고 있다. 재생 이용은 옛부터 행하여져 기술적으로도 상당한 수준에 도달하고 있다. 현재로서는 산업계의 페플라스틱을 대상으로 행하여지는 것이 일반적으로 그 공정은 다음과 같다.



특히 회수는 플라스틱 종류별로 분별 회수되어 제품품질에 맞춰 혼합 사용된다. 또, 용융, 성형공정에서는 virgin재료의 성형과는 다른 전용의 용융성형기 등이 개발되어 사용되기도 한다. 선진국의 경우 재생품에 관한 규격도 제정되어 품질 관리가 행하여지고 있다. 일본에서는 재생품인 경우 페플라스틱 자체가 복합재가 많고, 플라스틱끼리의 혼합과 제품품질과의 관계, 생산비 등과 연계하여 용도개발을 진행하고 있기 때문에 두께가 있는 토목건축용자재를 중심으로 한 제품이 많다.

한편, 가정 쓰레기에서 분별 수집한 페플라스틱의 재생 이용은 현 단계에서는 그다지 행하여지지 않고 있는데, 이는 분별수집을 포함하여 재생비용, 제품품질, 제품의 용도 개발에 문제가 많은 것에 기인한다. 재생공정에는 세정, 탈수, 건조는 물론이고 플라스틱의 분리공정이 필요하게

표 1. Chemical-process recycling

Process	Developer	Targeted feedback	Commercial status
해중합, 축합계고분자 가수분해			
Glycolysis	General Motor	polyurethane	실험단계
	Good year	PET bottle	상업화
	Mobay	polyurethane foams	실험단계
	Aahen 기술연구소	자동차seats	실험단계
Methanolysis	Du Pont	Mixed PET	실증plant
	Eastman	Mixed PET	실증plant
	Hoechst Celanese	PET bottle	상업화
Transesterification Addition-type polymers	Oxide Synergistics Industries	Mixed PET Mixed PET	상업화 실증plant
열분해	Battelle Labs	혼합열가소성수지	실증plant
	태양에너지연구소	혼합열가소성수지	실증plant
	동경공업대학	polyolefins	실험단계
Refinery recycling	Amoco Chemical	혼합열가소성수지	실증plant
	Chebrion Chemical	혼합열가소성수지	실증plant
	Mobil Chemical	혼합열가소성수지	실증plant
	Fuji Recycle	polyolefins	상업화
수소화	UK-Wesseling	혼합열가소성수지	실증plant
계면動電, 가스화	Mid-Ohio Technologies	Mixed PET	실증plant
용융금속浴	Molten Metal Technologies	의약품, wire와 cable, 중금속포함물질 등의 발효물	상업화
선단적 열분해	Whyne Technology	plastic-rich solid waste	실증plant
	SMC Automotive Alliance/SPI	열경화성수지	실증plant
용융분리	Argonne Labs	자동차 shredder residue	실증plant
	Rensselaer Univ.	혼합열가소성수지	실증plant
	Brooklyn Eng. Univ.	열경화성수지	실험단계

된다. 이러한 문제점을 최소화하기 위한 노력도 행하여져, 최근 독일의 Ciba Additive GmbH에서는 페플라스틱의 분별 수집을 피하기 위하여 페플라스틱을 위한 전용상용화제를 개발 판매하고 있다.

이상의 처리 방법은 수치로서 재생 이용하는 material recycle에 관한 것인데 전술한 바와 같은 여러가지 제약과 자원으로서의 유효 이용이라는 관점에서 열분해 및 해중합을 이용한 chemical recycle도 장래에 유망한 recycle방법으로 주목되어져 검토되고 있다. 표 1에 예로서 이미 상업화되어 있는 것 및 현재 개발중인 것을 나타냈다. 열분해란 환원 분위기에서 유기 물질을 가열함으로써 물질을 구성하고 있는 고분자의 결합상태를 절단하여 저분자물질로 분해하는 반응으로, 생성물은 gas, 기름 또는 char이다. 이는 PE, PP, PS 등과 같이 비극성 플라스틱이나 일반 폐기물 중 혼합 페플라스틱 분해에 적합한 process로, 오염이 많이 되어 material recycle이 곤란한 경우에 이용된다. 열분해 기술은 반응온도에 따라 1) 유화 process(450~500°C), 2) 가스화 process(700°C), 3) 고온용융 process(1200°C 이상) 등이 있다.

반면에 해중합에 의하여 단량체를 재생하는 방법은 PET 등의 열가소성 폴리에스터, Nylon 6, 66 등의 폴리아미드, PMMA, α -메틸스티렌, 폴리아세탈 등의 해중합형의 고분자에만 적용이 가능하다.

2.2 소각열의 회수

최근의 플라스틱 제품은 laminate 외에 알로이, 블랜드 등 여러가지로 복합화가 행해지고 있는데, 이들은 분리해서 recycle하는 것은 현실상 불가능하다. 또, wrap film, 봉투류처럼 다른 일반 폐기물 속에 분산되어져 버려지는 것의

회수는 사실상 불가능하다. 이처럼 재자원화에 적합하지 않는 플라스틱 폐기물은 소각에 의한 처리를 주로하여 효과적으로 열에너지원으로서 이용하기 위한 기술 향상을 도모하여야 한다. 또한 소각물에 대해서도 소각하기 쉽도록 사전 검토를 행할 필요가 있는데, 다음과 같은 사항에 유의하여 계획한다. ① 발열량(4,000~10,000kcal/kg) ② 기초적 성질(열가소성, 열경화성) ③ 유해성분(염분, 불소, 중금속) ④ 형상(필름, 용기, 부품, 소재) ⑤ 연소성(자기소화성, 착화온도, 연소 공기비) ⑥ 위험성(자연발화, 부착물) ⑦ 불연성분(glass, 금속, 회분) ⑧ 경도 ⑨ 다른 폐기물과의 동시 처리 여부 등이다. 이들을 고려하여 고형연료로서 이용하는 기술도 개발 보급되어 있는데, 회수에서부터 이물질 분리와 조립고화 기술이 중요하다. 표 2에 예를 나타내었다.

2.3 감량화, 장수명화

플라스틱 폐기물로 된 후에는 recycle이나 소각 열에너지 회수의 각종 방법을 강구한다고 하여도, 기본적으로는 폐기물로서의 배출량 자체를 조금이라도 억제해 나가는 것이 폐기물 처리 문제에 바람직하다. 이를 위해서는 필요한 기능을 만족한 후에 사용될 단위의 감량화나 장수명화를 꾀하는 것이 필요하다. 특히 플라스틱제 포장자재에 관해서는 과잉 포장 대책의 일환으로 용도를 음미하여, 가능한한 포장재료의 적정사용량을 결정해야만 한다.

2.4 분해성 플라스틱

분해성 플라스틱에 관해서는 생·광분해성 등 각각이 검토되고 있으며 일부 상품화 되고 있음은 주지의 사실이다. 그러나, 부분적으로 분해해서 발생하는 이차물질에 대한 평가, 기능적인 면과 가격적인 면에서 기존 소재를 대체할 수 있는 가능성을 검토해야 할 사항도 많다.

표 2. Solid Fuel Production and Utilization Business

Technology Source	Raw materials	Utilizing organization	Use
Mitsubishi Rayon Engineering	Waste plastics + Pulp wastes + paper wastes	Ichikawa Kankyo Engineering	Demonstration experiment
Daiichi Nenryo Kogyo	Waste plastics + Bark and wood wastes	Forest Corporation in Higashikawa Cho (Hokkaido)	Household heating
Toyo Nenki	Waste plastics + Household refuse	Kawai Cho (Akita)	Fuel for sewage sludge incineration
Ebara	Combustible refuse collected separately	Narashino City (Chiba)	Auxiliary fuel
Daiichi Nenryo Kogyo	Waste agricultural PE films + Bark and wood wastes	Forest Corporation in Izumo City (Shimane)	Greenhouse fuel for grape cultivation

3. 페플라스틱과 환경문제

페플라스틱 처리상, 소각하면 유해 gas를 발생하고, 매립하여도 썩지 않아, 자연 순환계에 포함되지 않는 등, 환경 오염의 주범인 듯한 인상을 주고 있으나, 이들과 관련하여 플라스틱이 다른 소재와 비교할 때 환경에 대하여 적합한 것인가하는 조사연구가 유럽, 미국 등지에서 진행되고 있다. 특히, 플라스틱 용기, 포장재가 다른 소재인 종이나 강통, 유리병 등과 비교하여 제조에서부터 사용, 최종적인 처리, 처분에 이르기 까지 에너지 소비의 비교, 대기 수질 등 환경오염에 대한 영향 등을 정량적으로 비교하는 연구가 활발하게 진행되어 플라스틱을 사용함으로써 에너지 소비도 작고, 환경에 대해서도 적합하다는 data를 나타내고 있다. (표 3, 4)

또 이밖에도 에너지 소비에 대해서 석유로 환산하여 비교한 예를 표 5에 나타내었다.

표 3. NAPCOR 연구소에 의한 용기와 재료별 에너지와 환경에의 영향

용기/Recycle 수준에 관한 가정	전에너지 소비량 (백만Btu)	대기에 방출 (1lb)	페 수 (1lb)	고형 폐기물 (1lb)	고형 폐기물 (ft³)
virgin원재료로 제조한 용기					
PET	21.2	62.0	10.8	513.1	31.2
16oz(480ml)	33.9	98.7	16.6	939.7	56.2
1 liter	27.3	78.9	13.6	687.9	42.9
2 liter	20.1	59.0	10.3	478.9	29.0
3 liter	19.7	57.4	10.4	463.8	28.1
Aluminum	50.0	137.0	44.1	1,938.0	40.4
12oz	50.0	137.0	44.1	1,938.0	40.4
Glass	49.1	217.4	21.1	7,000.0	142.8
10oz oneway	42.0	189.6	20.7	5,725.7	117.4
16oz oneway	35.1	157.0	16.9	4,721.2	96.9
16oz returnable	61.7	271.5	24.8	9,066.3	184.4
1 liter oneway	37.0	172.1	17.5	5,354.6	110.1
현재recycle 비율로 제조한 용기					
PET	NA	NA	NA	NA	NA
16oz	31.6	92.3	15.9	814.6	46.1
1 liter	25.5	74.1	13.1	592.1	35.1
2 liter	18.9	55.8	10.0	415.1	23.9
3 liter	18.6	54.2	10.1	403.3	23.0
Aluminum	32.9	91.7	26.9	1,068.1	21.5
12oz	32.9	91.7	26.9	1,068.1	21.5
Glass	NA	NA	NA	NA	NA
10oz oneway	41.7	183.8	20.4	5,273.2	109.2
16oz oneway	34.8	152.0	16.6	4,347.6	90.2
16oz returnable	15.4	53.8	8.2	1,505.5	29.7
1 liter oneway	36.7	165.2	17.2	4,915.7	100.9
100% recycle로 제조 또는 사용 했던 용기					
PET	14.6	44.8	9.2	189.5	4.0
16oz	22.3	66.9	13.4	363.6	8.5
1 liter	18.1	54.6	11.3	232.5	4.9
2 liter	14.0	43.0	8.8	176.6	3.7
3 liter	13.9	42.5	9.1	173.3	3.6
Aluminum	15.9	46.3	9.7	198.2	3.2
16oz	15.9	46.3	9.7	198.2	3.2
Glass	20.9	73.5	10.6	762.3	12.6
10oz oneway	38.7	130.0	17.0	1,198.4	19.4
16oz oneway	32.4	107.7	13.8	985.2	16.2
16oz returnable	11.6	37.9	6.4	521.3	8.8
1 liter oneway	33.8	102.3	14.0	965.6	13.9

Source : Frankline Associates, 1989

NA : 입수불가능

4. 환경 정화 고분자

생태계와 자연환경의 조화를 장기적으로 유지해 나가기 위해서는 인간의 활동에 의하여 파생되는 오염 원인 물질의 환경 중에서 저동을 명확하게 하고, 그 제어 방법 중의 하나가 옛부터 알려졌던 고분자 금속착염(macromolecule-metal complex)이다.

현재 플라스틱이 지구환경문제 중에서 논란이 되고 있는

표 4. 경쟁재료로 5만자루 생산시 환경에의 영향 비교

에너지/오염 parameter	재 료		
	PE ^{a)}	craft지 ^{b)}	종이조합시 ^{c)}
에너지(Giga Joule)			
제조공정	29	67	69
재료생산	38	29	29
합계에너지 소비량	67	96	98
대기오염배출(kg)			
SO ₂	9.9	19.4	28.1
NO ₂	6.8	10.2	10.8
유기물	3.8	1.2	1.5
CO	1.0	3.0	6.4
먼지	0.5	3.2	3.8
폐수부하(kg)			
COD	0.5	16.4	107.8
BOD ^{c)}	0.02	9.2	43.1
유기물(폐놀제외)	0.003	NA	NA
폐놀	0.0001	NA	NA
염소유기화합물	NA	NA	5.0

주) a) 두께 50μ인 0.4m²의 PE film(18g)

b) 90g/m²인 0.4m² 종이(36g)

c) 표백craft지 60%, 차craft지 25%, 백상지 15%의 조합

d) process 에너지 소비량은 pulp잔재(폐지 등)를 연소하여 얻어지는 20Giga Joule포함

e) BOD 5일 이내

Source : West German Fedral Office of the Environment, Berlin, 1988

표 5. 생산에서 소비까지 에너지 소비비교

Shopping bag 1,000개		1 liter bottle 1,000병	
생산에 필요한 석유량(kg)		생산에 필요한 석유량(kg)	
plastic제	32	plastic제	100
종이제	47	종이제	230
plastic제에 의한 절약	32%	plastic제에 의한 절약	56.5%

Source : AMPE

표 6. 고분자금속착염의 기능

기 능	예
기 능	금속이온의 분리, 유기금속의 회수, 방사성핵종이온의 분리, 해수미량원소의 포집, 회토류의 분리, 분리해석, 생활활성물질의 분리, 광학분할, Cyan, 약취물질분리, 고분자미세구조 분별, CO, CH ₂ =CH ₂ 등의 대기분리, 능동수송 등
촉 매	산화반응, 환원반응, oligomer화반응, 중합, 촉합, 가수분해, 광반응, 전기화학반응 등
에너지교환	Mechano chemical system, 광합성모형, 광이성화에 의한 축열, Photo-chromism, Electro-chromism, 광전도체, 전지, 감광체, 전자파흡수, 반사재
전 자	반도체, 도전체, 초전도체, 유전체, 액정, Electro-chromism 등의 표시소자, 센서, 분자소자, 전극소자, 자성체, 기억소자, 양자소자
광	광전도체, 감광성, 광화학 Hole Burning(PHB), 비선형 광학재료, 액정, 발광소자, 광방안정소자, 파장변환, 광자기기록, 인공광합성, 태양전지, 고밀도기록소자
열	내열성, 방열성, Thermo-chromism, 광이성화에 의한 축열
생 리	금속효소모델, 효소공정, 백금착염의 고분자화 등의 의약, 농약, 인공장기, 생체센서

것은 지구온난화, 산성비, 및 해양오염 등이다.

온난화의 주 요인으로서 탄산가스, 유기 halogen 화합물, 메탄, 이산화질소 등을 들 수 있다. 이들은 대기중에서 안정하고 수명이 길기 때문에 멀리까지 운반되어져 대기중에 축적되어, 적외선을 흡수해서 기온의 상승을 초래한다고 생각되고 있다. 또한 산성비의 원인은 공장이나 자동차로부터 대기 중으로 방출되는 유황산화물(SO_x)이나 질소산화물(NO_x)이다. 예를 들면 유황산화물이 산화되어 황산으로 되고, 그 황산이 비에 녹아 산성비가 된다. 이들은 중금속 이온과 친화성이 좋으므로 착체기술에 의하여 각종 gas의 제거라는 면에서 상당한 장점이 있다고 생각된다. 이외에도, 산업폐기물 및 폐액으로부터 중금속이온이나 독성 유기용제 제거에 고분자 금속착염이 사용되고 있다. 고분자 금속착염의 기능을 표 6에 열거하였다.

5. 결 언

플라스틱의 생산량, 소비량의 증대와 더불어 사용 후 쓰레기로 배출되는 양도 증가일로에 있다. 특히 플라스틱은 일회용 용도분야의 배출이 많아, 쓰레기 증가의 원흉인 것처럼 인식되어지고 있다. recycle, 소각 등과 함께 한편에서는 생분해성 플라스틱 연구개발이 쓰레기 처리 문제와 관련되어 진행중에 있다.

또 해외에서는 플라스틱 사용 규제와 회수, recycle 법규제도 일부 실시되고 있는데, 특히 미국에서의 deposit 제도, 이태리의 생분해성이 아닌 shopping bag에 대한 과세와 용기회수 recycle 등, 점차적으로 플라스틱에 대한 건제가 강화되고 있다. 최근 국내에서도 쓰레기 종량제와 더불어 스티로폴 사용 규제 등 환경부의 폐기물 처리법이 강화되고 있다. 따라서 플라스틱이 금후에도 발전을 계속하기 위하여서는 후처리를 고려한 제품개발도 필요하지만, 이제부터라도 환경에의 영향을 고려한 recycle 기술의 개발 등에 많은 투자가 요구되며, 일반인들에 대한 플라스틱의 역할과 환경문제에 대한 계몽도 병행하여야 한다고 생각한다.