환경(Ecology)과 플라스틱 리사이클

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 최병길
(nspack@reseat.re.kr)

1. 서론

○ 플라스틱은 우수한 특성으로 자동차, 가전 OA기기, 포장, 건축을 비롯하여 여러 분야에서 사용되고 있지만 폐기물처리 등의 문제가 있다. 이 때문에 1995년에 제정된 용기포장 리사이클법 이후 3R(Reduce, Reuse, Recycle)을 키워드로「순환형 사회 형성 추진 기본법」및 리사이클 관련법이 차례로 정비되어 「지속 가능한 발전」을 목표로 국가적으로 본격적인 활동이 이루어지고 있다.

○ 2007년도의 원유 사용량 중에서 플라스틱으로서 이용되고 있는 것은 6.6%뿐이며 그 외 대부분의 원유는 연료로서 사용되고 있다. 또한 자원을 소비하여 화학제품이 제조될 시에 온실가스(GHG: Greenhouse gas)가 배출되는데 플라스틱을 제조하고 사용할 시에 배출하는 GHG 배출량은 플라스틱 이외의 소재에서 대체제품을 제조하고 사용할 시의 GHG 배출량보다 적다.

○ 자원 절약의 하나의 방법으로서 플라스틱 리사이클이 있다. 자원채굴에서 폐기물처리에 이르는 플라스틱의 라이프사이클 전체의 에너지 소비량은 리사이클 방법으로 약 30% 정도 절약할 수 있다.

2. 플라스틱 폐기물의 실태

○ 일본의 2007년의 수지 생산량은 1,465만 톤이며 그 중 994만 톤이 폐기물(일반폐기물 502만 톤, 산업폐기물 492만 톤)로 배출되어 그 배출량의 73%가 유효하게 이용되고 있다. 그 유효하게 이용된 플라스틱 폐기물의 리사이클 방법은 MR(Material recycle), CR(Chemical recycle), TR(Thermal recycle)으로 각각 22%, 3%, 48%(합계 73%)이다.

3. 플라스틱 리사이클의 방법

○ MR(Material recycle): 플라스틱 폐기물을 플라스틱 그대로 원료로 하여 새로운 제품을 만드는 기술이며 지금까지 주로 산업폐기물이었지만 최근에는 가정과 상점, 사무실에서 나오는 폐기물도 대상이 되고 있다.

○ CR(Chemical recycle)

- 원료・모노머화 기술: 사용한 PET병을 화학적으로 분해하여 에틸렌글리콜과 메틸알코올에 의해 폐 PET 수지를 원료인 테레프탈산디메틸, 특히 테레프탈산까지 되돌려 PET 수지를 제조하는 기술이다.

- 용광로 환원제(용광로 원료화 기술): 코크스와 부원료를 용광로에 넣고 철광석을 녹여 철광을 생산할 때 플라스틱을 환원제로서 사용하는 기술로 염화비닐을 포함하지 않는 플라스틱은 입자 상태로 코크스와 함께 화로에 넣고, 염화비닐수지를 포함한 플라스틱은 무산소 상태에서 약 350℃의 고온으로 하여 용광로를 상하게 하는 염화수소를 분해한 후에 마찬가지로 화로에 넣는다.

- 코크스로(Coke oven) 화학연료화: 플라스틱 폐기물을 100℃로 가열하여 입자 상태로 석탄과 혼합하여 코크스로의 탄화실에 투입한다. 무산소 상태이기 때문에 플라스틱은 구워져 코크스(용광로환원제, 연료)와 그때 생성하는 탄화수소유(화학원료), 코크스로가스(발전용 원료)를 제조한다.

- 가스화 기술: 플라스틱 폐기물을 산소와 증기로 가열하여 탄화수소, 일산화탄소, 그리고 수소를 제조하는 기술로 2단계 프로세스가 있다. 제 1단계의 저온가스화 용광로에서는 600~800℃로 가열된 모래가 순환되어 투입된 플라스틱이 모래와 접촉 분해하여 탄화수소, 일산화탄소, 수소, 타르가 생성되고, 계속해서 2단계의 고온가스화 용광로에 도입된 가스는 1,300~1,500℃에서 증기와 반응하여 일산화탄소와 수소 주체의 가스가 된다. 이 합성가스는 수소, 메탄올, 암모니아, 초산 등의 화학공업원료가 된다.

- 유화(油化): 플라스틱 폐기물을 열분해조에서 분해 중합하여 기름으로 만드는 프로세스이다. 제조와 반대의 프로세스로 석유로 되돌리는 기술이다.

○ TR(Thermal recycle): 쓰레기 소각발전, 쓰레기 소각열을 이용하여 시멘트 킬른(Kiln)원 연료화, RPF(Refuse Plastic Fuel: 고지와 플라스틱을 원료로 한 고형원료), RDF(Refuse Derived Fuel: 쓰레기로부터 만들어진 고형원료) 등이 있다.

4. LCA(Life-cycle assesment)를 이용한 최적의 리사이클 방법의 선정

○ LCA: 제품의 라이프사이클 전 과정에서 투입자원, 환경부하 및 그것들에 의한 지구와 생태계로의 환경영향을 정량적으로 평가하는 방법이다. 구체적으로는 자원 채취, 제조, 사용, 폐기의 제품의 라이프사이클에 있어서 자원과 에너지를 투입한 결과, 폐기물 등의 환경부하물질이 방출됐을 시의 지구환경으로의 영향을 평가하는 것이며 각 단계 프로세스에서의 인벤토리데이터가 있으면 모두를 누적하여 LCA 데이터를 산출한다.

○ 리사이클 방법 선정을 위한 판단기준

- 용기포장 리사이클 법에 의해 플라스틱 용기포장을 MR 우선의 방침으로 분별 수집·처리를 하여 왔다. 그러나 PET병 이외의 용기 리사이클 플라스틱은 혼합물이어서 처리가 곤란하여 처리비용이 급증하여 반드시 좋은 처리방법이라고는 할 수 없다.

- 에너지에 관한 리사이클 효과는 리사이클하지 않은 경우의 에너지와 리사이클 할 경우의 에너지의 차이이며 전자의 에너지가 클수록 후자의 에너지가 작을수록 크다. 전자의 에너지를 크게 할 때에는 리사이클 수지의 신규수지 대체율을 높이며 후자의 에너지를 작게 할 때에는 리사이클 공정에서 제조 공정을 단축하거나 흡수율을 올려 손실을 줄이거나 열효율을 향상시켜 리사이클의 에너지를 감소시킨다.

- 신규 수지에 관한 재료 리사이클 수지의 품질지표인 대체율(리사이클 수지의 신규 수지 대체율)에 따라 리사이클 방법을 선정한다. 즉 고품질의 리사이클 제품인 대체율이 80% 이상의 경우는 MR이 우수하지만 대체율 60% 이하에서는 RPF와 같은 TR이 바람직하며 특히 저품질의 리사이클 제품인 대체율 30% 이하에서는 MR보다 폐플라스틱 발전과 같은 TR이 우수하다. 중간적인 대체율의 경우는 CR이 바람직하다.

- CO_2 (환경부하 물질)의 관점에서 대체율이 100%에 가까운 영역은 MR, CR이 유효하며 90% 이하에서는 RPF와 같은 TR이 유효하며 30% 이하에서는 폐플라스틱 발전과 같은 TR이 유효하다. 그 중간 영역에 대해서는 CR이 바람직하다.

- TR은 열효율에 의해 리사이클 효과가 크게 다르다, 쓰레기 발전, 폐플라스틱 발전의 발전효율은 10~30%이지만 고형연료의 RPF화는 열효율이 88%로 높고 TR의 리사이클 적용범위가 넓다.

○ 리사이클 방법 선정을 위한 판단기준 적용사례

- 리사이클 제품이 고품질인 경우: 백색 트레이(PSP 트레이)는 단일 소재로서 회수되기 때문에 품질이 좋고 대체율이 100%에 가까워 CR, TR보다 MR이 좋다.

- 리사이클 제품이 저 품질인 경우
  - 소각 발전(TR-Ⅰ)의 경우는 에너지 회수량은 발전효율에 크게 의존하고 있으며 13% 정도이다. 그러나 2007년도 기준으로 CO_2 는 약간 증가하면서도 에너지 회수량은 꽤 높아지고 있다.
  - 소각 발전(TR-Ⅰ)과 용기 플라스틱의 RPF화(TR-Ⅱ)와의 병용의 경우와 소각 발전(TR-Ⅰ)과 용기 플라스틱 CR의 병용의 경우는 CO_2 환산 배출량이 감소하고 에너지 회수량이 증가한다.
  - 소각 발전(TR-Ⅰ)과 MR과의 병용의 경우는 그 효과가 적다.

- 이상과 같이 리사이클 방법으로서 MR을 선정할지는 MR제품의 품질 즉 대체율을 기준으로 대체율의 레벨에 입각하여 CR 또는 TR이 선

정된다. 최종적인 선정은 LCA 방법에 의해 환경부하 물질의 양뿐이 아니라 안전성, 경제성을 모두 종합적으로 고려하여야 할 것이다.

5. 환경(ECO)의 함정

○ 비닐봉지는 환경에 정말로 나쁜 것인가

- 과잉의 비닐봉지 사용은 바람직하지 않다. 그러나 비닐봉지를 모두 폐기하고 반복 사용 가능한「마이백(My Bag)」으로 교체하면 정말로 환경부하가 줄어드는가를 검토한 사례가 있다. 일반적으로 비닐봉지와 마이백의 소재는 각각 폴리에틸렌, 폴리에스테르가 사용되고 있는데 봉지 1장당 라이프사이클 전체의 CO_2 배출량은 후자가 전자에 비교하여 약 50배 정도 많기 때문에 마이백을 50회 이상 재사용해야 효과가 있다.

- 실제로 비닐봉지는 쇼핑백으로서 사용된 후에 더러운 것을 담기 위해 또 최종적으로는 쓰레기봉지로서 사용되는 경우가 있다. 이처럼 2,3회 사용되기 때문에 만약 비닐봉지가 없으면 새로운 봉지를 제조하게 되어 CO_2 배출량은 더욱 많아질 것이다.

○ 바이오플라스틱은 정말로 환경에 좋은 것인가

- 환경대응 플라스틱으로서 옥수수로 제조된 PLA(Polylactic acid)를 중심으로 바이오플라스틱의 이용이 늘어나고 있는데 기계적 강도 등의 문제점도 많다. 그 해결책으로서 기존의 석유화학계 플라스틱과의 혼합화, 복합화가 활발하게 진행되고 있다. 예를 들면 PLA의 강도를 ABS 수지와의 혼합으로 개선하고 있다.

- 앞으로는 PLA 중심에서 사탕수수로 제조한 폴리에틸렌(PE)을 시작으로 바이오로의 대체가 기대되고 있다. 예를 들면 화장품용기를 PLA와 석유화학수지의 PE와의 적층구조로 PLA의 강도를 개선하고 있는데 앞으로는 이 PE를 사탕수수로 만든 PE로 대체하는 것을 계획하고 있다. 식물을 가공하여 플라스틱이 제조되고 있기 때문에 가공 시의 에너지를 정확히 평가할 필요가 있다.

- 앞으로 인구 증가가 예상되기 때문에 바이오플라스틱용 식물의 생산이 식량 생산의 장애가 되면 안 된다. 특히 식물은 다량의 물을 소비하고 있어 현재의 석유화학 플라스틱을 바이오플라스틱으로 대체할 경우 물 문제가 대두될 것이다.

6. 결론

○ 환경문제는 종종 감정적으로 판단하는 경우가 많은데 LCA 등의 과학적인 평가를 기반으로 안전성, 경제성을 가미한 종합적인 시각으로 다루어야 한다.

출처 : 西原 一, “エコロジーとプラスチックリサイクル”, 「プラスチックス(日本)」, 60(10), 2009, pp.34~44

ReSEAT

◁ 전문가 제언 ▷

○ 우리나라 생활계 플라스틱의 재활용 목표를 보면 2006년 170만 톤에서 2010년에는 200만 톤이 재활용될 것으로 예상되고 있으며, 이 가운데 매립소각은 85만 톤에서 55만 톤으로 줄어들고, 에너지 회수, 발전, 유화, 가스화, 고형화 연료 등 리사이클 기술을 이용하는 처리는 85만 톤에서 145만 톤으로 증가할 것으로 예상되고 있다.

○ 우리나라에서도 플라스틱 폐기물에 대하여 1979년 합성수지 폐기물 처리 사업법이 제정되고 1980년에 한국자원재생공사가 설립되면서 플라스틱 리사이클에 대한 관심이 커지고 있다. 1992년 자원절약과 재활용 촉진에 관한 법률의 제정과 1993년 제품의 포장방법과 포장재 재질 등의 기준에 관한 법률이 발효됨으로써 발생원의 감량화, 폐플라스틱의 재활용을 위한 노력이 계속 이루어지고 있다.

○ 국내의 열분해 기술 개발은 90년대 초, 자동차용 폐윤활유와 폐타이어를 대상으로 시작되었고 폐플라스틱에 대해서는 기초 연구가 실시된 정도였으며, 90년대 후반에 들어 폐플라스틱의 환경 문제 및 재자원화의 필요성이 인식되면서 폐플라스틱의 열분해 유화를 위한 기술이 개발되기 시작하였다.

○ 국내에서도 생산자 책임 재활용제도(EPR)의 법률이 제정되어 2003년도부터 시행하고 있다. 따라서 폐플라스틱의 재활용 기술이 향후 매우 발전적인 방향으로 나갈 것으로 전망된다.

○ PLA 평가에 의하면 종이용기(즉석 컵 면의 경우 용기 재질)가 종전의 플라스틱 재질(EPS 또는 PSP)에 비해 절대 친환경이지 않다는 결과가 이미 발표되었다. 이처럼 환경에 관한 것은 여론(특히 언론기관)에 부화뇌동하지 않고 철저하게 PLA 전 과정을 철저히 평가하여 국민에게 올바른 방향을 제시하여야 할 것이다.