

환경사업의 기회와 기술개발

여 중 기
LG화학 기술연구원

1. 머리말

산업화가 지금처럼 전세계적으로 파급되지 않았을 때에는 일부 지역에서 부분적으로 환경오염이 있었다더라도 지구 자체의 자정 능력이 있었기 때문에 그를 치유할 수 있었다. 하지만 오늘날에는 전세계적으로 산업화가 이루어지고 그 양과 질이 심화됨에 따라 지구 자체가 오염된 환경을 치유할 수 없는 상태에 도달했다(그림 1 참조). 따라서 이제는 모든 사람들이 환경오염에 대해 나름대로의 위기의식을 느끼게 되었고, 이로 인하여 국제, 국가적인 차원에서 여러 형태의 자발적 협력과 강제적인 규제를 가하거나 환경오염을 줄이는 생산방법의 규격을 도입하는 등 이를 해결하려는 노력이 진행되고 있다. 현재로도 산업체 혹은 기업체에서 환경문제를 고려하지 않는 산업활동은 도저히 생각할 수도 없으며 환경문제를 무시하는 산업활동은 그 기업체의 생존을 위협하는 수준까지 와 있다.

여러 산업중 석유화학산업의 경우 환경문제가 기업체의 산업활동에 미치는 영향은 특히 심각한 형편이다. 고분자 산업에서 환경문제는 상당히 오래 전부터 해결해야 할 issue로 대두되었고, 이를 해결코자 하는 기술개발 및 투자 등 크고 작은 여러 행동들이 취해져 왔다. 그러나 현 시점에서 생각해 볼 때 환경문제는 너무나도 빨리 장래 기업활동에 있어서 경쟁력의 관건이 되는 문제로 우리 코앞에 다가왔다. 하지만, 이 시점에서 분명히 인식해야 할 것은 환경문제가 기업체에겐 장애요소가 아니라 하나의

기회요소로써 작용할 수 있다는 점이다. 본고에서는 LG 화학에서 환경문제 해결을 위해 연구개발 및 상업화 차원에서 추진 중인 몇 가지의 노력을 실제 예를 중심으로 소개하고 고분자 산업에서 환경문제가 어떻게 기업 발전에 기여요소로 작용할 수 있는가를 다루고자 한다.

2. 환경기술의 발전 방향 및 환경산업의 규모

환경과파괴와 환경 오염에 대응하는 기술은 그림 2에 제시한 것과 같이 크게 세 가지로 생각해 볼 수 있다. 이 중 가장 단순한 것은 최종 폐기물을 적절히 처리해서 오염의 정도를 줄이는 “end of pipe technology” 기술이며 지금까지의 대부분의 기술이 이 범주에 속한다. 그러나 여기에서 좀더 발전된 개념으로 현재 관심을 쏟고 있는 기술은 “cleaner technology” 기술이다. 이 기술은 우리의 생산과 산업활동에서 input 자체를 줄여 폐기물의 output도 줄이는 새로운 공정을 개발한다던가 새로운 logic을 개발하는, 즉 환경을 오염시키는 원인 자체를 극소화하자는 개념으로 현재 활발한 논의와 연구 개발 및 적극적 행동이

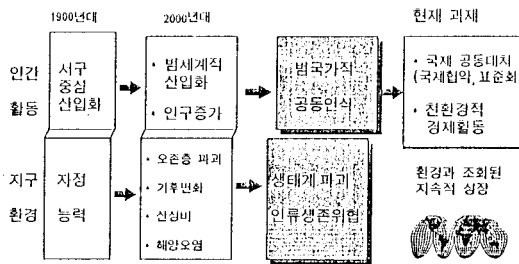


그림 1. 환경과 지구경제.

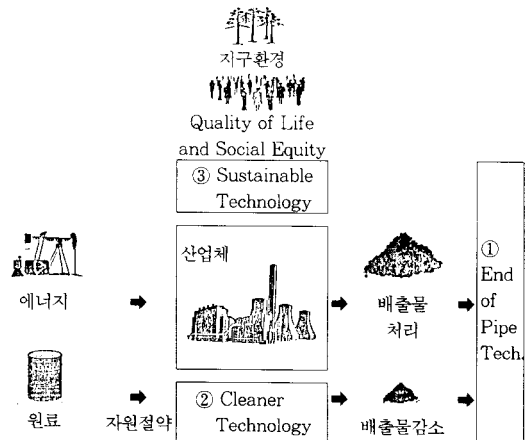


그림 2. 환경기술의 분류 및 발전방향.

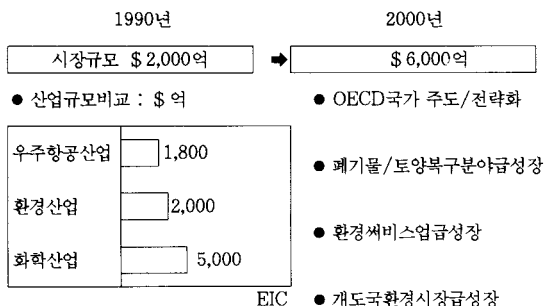


그림 3. 세계 환경산업시장 전망.

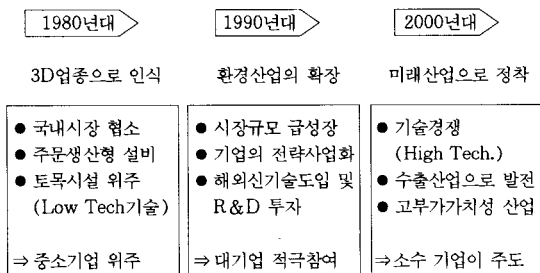


그림 4. 국내 환경사업의 발전방향.

시도되고 있다. 그러나 이러한 차원을 넘어서 앞으로의 산업활동이 궁극적으로 지향해야 할 기술은 산업활동이 지구 환경자재와 조화를 이루면서 행해져야 한다는 개념을 가지는 “sustainable technology” 기술이다. 이는 산업활동을 삶의 질이나 사회의 균등성 측면에서 고려하고 모든 제품에서 “life cycle assessment”를 생각해야 한다는 개념을 지닌 기술로 앞으로의 산업활동은 이러한 개념과 연계되지 않으면 더 이상 존립할 수 없을 것이다.

현재로도 환경관련 산업의 규모는 매우 엄청나다. 그림 3에 제시한 것과 같이 1990년에 그 규모가 이미 우주항공 산업을 능가했으며 화학 산업의 1/2~1/3에 도달했다. 2000년대에는 시장 규모가 6,000억불에 달하여 전체 화학 산업의 규모와 같아질 것으로 예상된다. 이와 같이 급성장이 예상되는 분야이기는 하나 현재에도 OECD 국가들이 시장을 주도하고 있고 앞으로도 그럴 것으로 예상된다. 2000년대에는 그림 4에 요약된 것과 같이 기술 경쟁력을 지닌 선진국의 몇몇 소수 기업이 시장을 주도할 것으로 예상되어 이 분야에 후진을 면치 못하고 있는 우리로서는 이에 대한 적절한 대비가 필요한 실정이다.

3. 고분자와 관련된 환경기술

고분자와 관련된 환경기술은 크게 폐기물 처리 분야와

분 야	주 요 과 제	유 망 신 기 술
폐기물처리 분야	페플라스틱처리	열분해/소각에너지회수
	유해물처리	재료 리사이클링/상용화제
	폐액 및 폐기물처리	Catalytic Extraction Processing(MMT)
환경소재분야	생분해성수지	Supercritical Wet Oxidation
	투명방음수지	
	진공단열수지	
	분리막수지	

그림 5. 고분자/환경기술 분야.

환경 친화적인 소재 분야로 구분되며 그 개략적인 내용을 그림 5에 제시하였다.

3.1 폐기물 처리분야

3.1.1 페플라스틱 처리

우리가 생산, 소비하고 있는 플라스틱은 최종 소비 후 결국은 페플라스틱으로 남게 되어 적절한 방법을 사용해야 이를 처리해야 한다는 숙제를 풀어야 한다. 현재 플라스틱의 사용량이 증가함에 따라 페플라스틱 발생량도 증가하고 있어 페플라스틱의 처리가 심각한 문제로 대두되고 있다. 산업 폐기물과 생활 폐기물로 구분되는 페플라스틱은 수지 메이커에서 최종 소비자에 이르기까지 여러 단계에서 발생되고 있는데 문제는 그 발생 형태가 매우 무질서하다는 점이다. 우리나라의 경우 부분적으로 리사이클링이 이루어지고는 있으나 아직까지 체계적인 처리가 이루어지지 못하고 있어 향후 어떠한 방법으로든 이를 해결해야만 할 것이다. 현재 사용되고 있는 처리방법으로는 매립, 단순 소각과 재료를 리사이클링하여 재생하는 방법이 쓰이고 있으나, 궁극적으로는 이차 오염을 야기시키지 않는 안전한 처리방법이 강구되어야 한다.

현재 산업체에서는 단순 소각이 가장 광범위하게 사용되고 있으며 향후에도 가장 많이 채택될 전망이다. 하지만 단순 소각시 여러 가지의 유해한 가스가 발생하는데 그들 중 탄산가스에 인한 2차오염을 논하기 이전에 생각해야 할 가장 심각한 문제는 소각시 화학 반응에 의해 다이옥신류가 생성된다는 점이다. 우리나라에서는 아직까지 다이옥신류를 정확히 분석하고 모니터링하는 체계가 갖추어지지 않아 의외로 이 문제가 심각하게 부각되지 못하고 넘어가는 경향이 있다. 그러나 실제 이는 매우 심각한 문제이다. LG화학에서도 엄청난 다이옥신을 공기 중으로 그대로 방출하는 처리방식을 채택하고 있다고 해도 과언이 아니다. LG화학뿐만 아니라 국내 대부분 기업들의 폐기물 소각설비에서도 다이옥신이 처리되지 않고 그대로 공기 중으로 방출되고 있다. 하루 빨리 이를 해결하고자 하는 기술개발 노력과 투자가 필요하며 이를 위하여 기업에서도 회생을 감수할 각오를 해야 한다.

이와 같이 유해한 물질을 생성하는 방법인 단순 소각이

아닌 2차 오염이 없는 안전한 페플라스틱 처리 방안으로 몇 가지를 생각할 수 있다. 이 중 가장 경제성이 있는 방법으로는 페플라스틱을 열분해(pyrolysis), 즉 소각시켜 유용한 자원을 얻는 방법이다. 페플라스틱을 열분해시켜 1) 고분자 단량체를 회수하여 다시 원료로 사용하거나, 2) 가스 성분으로 회수해서 에너지로 사용하거나, 3) 용제류 등 다른 공업적 용도로 사용하는 것이 가장 이상적이고 안전한 리사이클링 방법이라 생각된다. 이렇게 페플라스틱을 에너지원을 포함한 유용한 물질로 리사이클링하는 기술을 “chemical recycle” 혹은 “closed recycle”이라 부른다. 그러나 이러한 안전한 리사이클링 방법은 나름대로 기술이 요구되고 리사이클링 자체가 비용을 유발한다는 점에서 공해를 유발시키지 않으면서도 경제적인 리사이클링 기술의 개발이 주요 과제이다. 일본의 경우 2000년에는 리사이클링에 의해 에너지를 회수하는 방법이 가장 많이 사용되고 단순 소각과 매립은 줄어들 것으로 예상되며 2010년에는 페플라스틱의 70% 이상을 유용한 자원으로 재생하면서 2차오염을 극소화하는 방향으로 리사이클링 방법이 발전될 것이다.

비록 R & D 단계이나 현재 LG화학에서 이와 관련하여 연구하고 있는 사항을 소개하자면 그 개략적 내용은 그림 6과 같다. 각 생산 공정에서 발생하는 산업 폐기물이나 혹은 일상 생활에서 발생하는 생활 폐기물을 취합하여 열분해시켜 그로부터 나오는 물질을 건류하여 단량체, 용매, 혹은 가스 등을 얻고자 하는 것이 현재 연구 중인 열분해 공정의 개략적 내용이며 이 공정의 개략도를 그림 7에 제시하였다. 반응기는 유동층상의 반응기를 사용하며 페플라스틱은 일정 크기의 pellet이나 flake 형태로 잘게 분쇄한 후 반응기에 투입해 유동층상에서 열분해 반응을 일으킨다. 반응온도는 약 600~750 °C이며 투입되는 페플라스틱의 종류와 최종적으로 얻고자하는 물질이 무엇이나, 즉 용매나 단량체나 오일류나 가스류나에 따라 운전조건이 달라진다. 고온의 유동층상에서 페플라스틱을 건류시키면 여러 가지 물질들이 분해되면서 증발하게 된다. 증발물은 응축과정을 거치면서 용매나 단량체류는 응축되어 회수된다. 응축되지 않는 가스류들 중 일부는 유동층상의 반응기에 다시 carrier 가스로 투입하여 이용하고 나머지는 고온의 반응온도를 얻는데 필요한 연료 가스로 쓰인다. 이 process의 장점은 경제성이 매우 탁월하다는 점이다. 지금 우리 주위에는 여러 가지의 연소 및 열분해 방식에 의한 페플라스틱의 리사이클링 방법이 있으나, 지금까지의 대부분의 기술들은 process의 경제성이 나쁘고 또한 초기 설비 투자에 대규모의 자본이 요구된다는 약점이 있다. 이에 반하여 이 방식은 초기 설비 투자가 적고, 또한 운전 비용도 매우 저렴해 향후 이 process가 상당히 유망하리라 예상하고 있다.

최근 LG화학에서는 이 공정에 의한 pilot plant를 만

- 국내 페플라스틱 일반계 150만톤/산업계 70만톤
발생량 : 95년 년 12% 증가추세
- 장기전망 매립 및 단순소각 ➡ * 화학적 재활용
* 에너지회수
- 열분해처리의 장점 * 폐기물의 재자원화
* 2차 오염이 없음
- 열분해공정의 종류 * 유동층식
* 액상 Bath식/Hydrogenation
- LG화학 개발에 * 대상플라스틱-PE/PP/PS
* 유동상식/oil & gas회수(600~700 °C)
- * Pilot Test수행 ➡ 상용규모 건설예정
- 향후과제 분리수거를 통한 원료조달

그림 6. 페플라스틱 열분해(Pyrolysis).

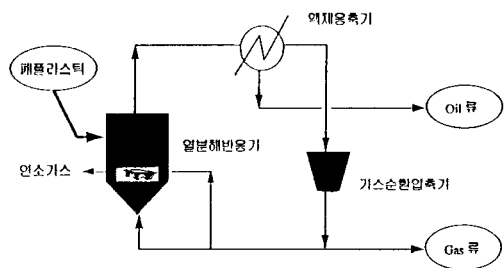


그림 7. 유동상식 페플라스틱 열분해 공정.

들어서 운전하고 있는데 그 내용을 상세히 설명하면 다음과 같다. 투입한 페플라스틱은 고온의 유동층상에서 먼저 chain scission에 의한 해중합(depolymerization)이 일어나고 계속적으로 여러 가지 2차적인 화학반응이 일어나면서 단분자인 단량체류나 용매류로 변환된다. 현재 사용되고 있는 process에 의해서는 BTX성분이 주된 방향족 화합물이 많이 생성된다. 물론 운전 조건을 조절함에 따라 생성되는 방향족류의 비율은 조절이 되지만, 현재에 사용하고 있는 고온하의 운전 조건에서는 2차적인 반응으로 주로 cyclization 반응이 일어나므로 인하여 PE와 같은 선형의 고분자를 feed로 사용해도 BTX성분이 50% 이상 생성된다. 일반적으로 최종 생성물질은 60-70%가 BTX성분이고 나머지 20-30% 정도가 가스인데 가스 중 상당히 많은 부분이 carrier 가스나 연료 가스로 사용되고 5% 미만만이 vent 가스로 공기 중으로 태워 배출된다. 그 외에 heavy oil과 무기물 등의 고체 성분들이 소량 남는다. 현재까지의 결과에 의하면 feed의 90% 이상이 회수 가능하여 매우 희망적이다. 마지막으로 남은 해결해야 할 기술적인 bottle neck은 유기물과 무기물의 두 가지 고체 성분을 어떻게 처리하느냐 하는 점이다. 고온에서 운전하기 때문에 시간이 지남에 따라 특히 heavy oil류에 의한 coking이 일어난다. 따라서 앞으로는 어떻게 decoking을 하고 고체물의 생성을 줄여 decoking의 빈도수를 적게 하느냐 하는 것이 마지막으로 남은 기술상

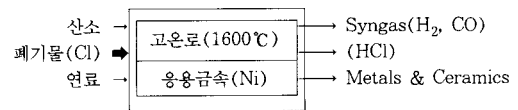
해결해야 할 점이다. 현재로는 5,000톤만 처리할 수 있어도 경제성이 있는 걸로 판단하고 있다. 이는 현재 LG 화학 여천공장에서 폐기물 처리업자에게 톤당 25-35만 원의 돈을 주면서 산업폐기물 처리를 맡기고 있는 것을 근거로 하여 계산을 한 것이다. 1998년부터는 10,000톤 규모의 처리시설을 가동할 계획이다.

3.1.2 Catalytic extraction processing을 통한 유해물 처리

폐기물에 따라서는 소각이나 열분해 방법으로는 처리가 불가능한 물질들이 있다. 보통 염소와 같은 할로젠 원소를 포함한 유기화합물, 무기물의 경우 방사선 원소가 들어 있는 흔히 방사선 폐기물이라고 불리는 물질들은 소각이나 열분해 방법을 통한 처리에는 대단한 위험이 따른다. 이렇게 소각으로 매우 독성이 강한 물질이 생성되거나 경우에 따라서는 여러 가지 다이옥신류가 발생하는 물질의 경우 완전 제거가 불가능하기 때문에 가능한 한 최대한으로 부피를 줄여서 영구 매립하거나 또는 유리화 물질로 만들어 폐기하는 방법이 사용된다. 석유화학산업에서 발생하는 폐기물의 경우 염소화합물을 포함한 여러 폐기물이 이에 해당하며, 그 중 가장 많은 양을 차지하고 있는 것이 PVC이다. "Catalytic extraction process"는 이러한 유해물, 특히 폐PVC를 처리하기 위한 process로 개략적으로 용광로를 사용하여 금속을 가공하는 process와 유사하다고 생각할 수 있으며 process에 사용되는 반응기 자체도 그 형태가 용광로를 닮았다. 이 process는 화공기술자가 개발한 process가 아니고 처음부터 용광로를 다루고 금속을 가공하는 금속기술자가 개발한 process로 그후 점차 발전되어 현재는 **그림 8**과 같은 상용화된 process까지 나와 있다. 반응기는 1,600 °C의 용강으로 내부는 용융금속상이 있고 그 위에는 투입된 페플라스틱이 가스화되어 가스 phase를 형성하고 있다. 이렇게 두 가지 상으로 이루어진 것이 실제 모습이다. 염소를 함유하지 않은 폐기물을 처리하는 경우 철 성분을 주로 하는 용융금속이 사용되고 염소를 함유한 폐기물을 처리할 경우에는 니켈성분이 많은 용융금속이 사용된다. 여기에서 용융금속은 폐기물을 분해할 뿐만 아니라 여러 가지 형태로 촉매로서의 작용을 한다. 유기폐기물의 경우 궁극적으로 대부분 syngas형태, 즉 수소와 일산화탄소의 혼합물로 배출이 되고 나머지는 금속과 세라믹 성분에 녹아 있게 된다. 문제는 금속과 세라믹 성분에 용융된 폐기물의 양, 즉 나중에 고형분으로 배출되는 폐기물의 양이 어느 정도인가에 따라서 얼마나 자주 금속 용융물을 교환해야만 하는지가 결정된다. 일반적인 유기물 처리시에는 우리가 그렇게 염려하지 않아도 될 정도로 금속용융물의 사용기간이 길다. 현재까지 LG 화학의 경험에 의하면 금속용융물을 1년 이상 교환없이 사용이 가능했다.

이 방법은 특히 PVC와 같이 염소를 포함하고 있는 유

- 단순 폐기물처리 → 완벽한 리사이클링을 통한 재생산으로 개념전환



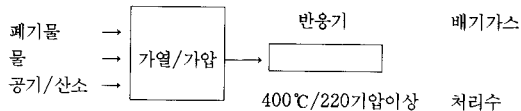
- 특징 : 완전 무공해처리(Dioxin free)/유용자원의 회수(Syngas)
- 주요 적용예
 - 폐액/페플라스틱 처리
 - 저준위 방사선 폐기물 처리
 - 소각재 처리
 - 석유화학 유해폐기물처리
 - Biosludge처리

그림 8. Catalytic extraction processing (Molten Metal Technology).

기폐기물을 거의 완전하게 처리할 수 있는 방법으로 이 기술은 Molten Metal Technology(MMT)사에서 개발해 부분적으로 상용화했으며 미국에서도 특히 저준위 방사선 폐기물 처리에는 MMT사의 기술이 많이 이용되고 있다. 우리나라와 같이 핵 발전소가 많아 저준위 방사선 폐기물이 많이 배출되고 있는 경우 처리 후 최종적으로 유리화시킬 물질의 부피를 최소화시키는 방법을 사용하는 것이 가장 이상적인 해결책이 되리라 생각되므로 이 방법이 매우 유용하리라 생각된다. PVC의 경우 국내 년 생산량이 현재로도 50만톤이고, 2000년도에는 100만톤에 달할 것으로 예상되고 있어 어떻게 하든 안전한 폐PVC 처리방법을 개발하지 않고는 조만간 환경운동에 부딪쳐서 커다란 어려움을 맞을 것으로 예상된다. 하루 빨리 이를 기업의 생존 문제와 연관지어 생각해야만 한다. 현재 PVC류의 처리방법으로는 이 방법이 가장 이상적이라 판단된다. PVC와 같은 염소화합물을 제조하는 업체의 경우 처리해야 할 폐기물의 양이 50,000톤/년이 된다면 이 방법을 사용한 폐기물 처리는 충분히 경제성이 있다고 생각된다. 기술을 개발한 MMT사는 venture기업이지만 미국정부에서도 그 기술을 인정해 도움을 받고 있을 정도로 고도의 기술을 보유한 회사로 판단된다. 하지만 현재는 기술료를 너무 비싸게 요구하고 있어 기술 도입에 어려움이 있다. LG화학은 MMT사가 보유한 기본기술에 LG화학의 PVC쪽 용융기술을 접목하여 유용한 유기폐기물 처리기술을 개발하려는 구상을 가지고 있다.

3.1.3 Supercritical wet oxidation(SWO)

이 방법은 (pseudo-)supercritical condition을 사용해 주로 폐PVC와 VCM 및 기타 염소화합물을 처리하는 방법이다. 폐PVC를 대상으로 이 기술을 살펴보면 다음과 같다. **그림 9**에 제시한 것과 같이 PVC를 고온 고압 하에서 물과 섞으면 supercritical condition에서는 물이 가스처럼 작용해 PVC에 많이 용해되게 되고, 이런 상태에서 PVC가 분해되면서 상당히 많은 양의 VCM이 생



- 특징 : Flameless Oxidation
 - 이차오염없음 (NOx, SOx, dioxin)
 - 에너지 효율성
- 응용대상 : 유해폐기물처리
 - 수용성유기폐액
 - 페플라스틱 depolymerization
- 주요기술 : 고온고압공정기술
 - 장치부식-반응기제질

그림 9. Supercritical wet oxidation.

성되는데, 생성된 VCM은 배출되지 않고 물에 용해된 채 남게 된다. 따라서 VCM이 용해된 물을 회수한 후 후처리를 거쳐 VCM을 추출하여 재사용하게 된다. 기타 탄산가스와 여러 가지 고형물이 생성된다. 이 방법은 단순 연소나 기타 방법 사용시 야기되는 다이옥신의 발생이나 NOx 및 SOx의 발생이 전혀 없다는 장점이 있다. 또한 무엇보다도 물을 사용하기 때문에 고온 고압에서 운전해도 상당히 경제성이 있는 process라는 장점이 있다. 현재로는 기술개발의 초기 단계이지만 앞으로 해결이 어려운 폐PVC 처리에 또 다른 유망한 처리 방법이 되리라 생각된다.

3.2 환경 친화적 소재

환경 친화적 소재에 해당되는 물질은 매우 다양하고 현재까지 많은 연구와 기술적인 진보가 이루어져 왔다.

이 분야에 해당되는 소재에 대해서는 지금까지 많은 자료가 발표되었으므로 여기에는 그 중 주요한 물질의 종류와 특성만을 표 1에 요약하여 제시한다.

표 1. 환경 친화적 소재의 종류와 특성

	생분해성수지	고공단열수지	투명방음수지
개발 필요성	페플라스틱 공해문제의 완화=친환경적 플라스틱	고효율단열로써 에너지사용 절감. 단열재사용 절감	조방권이 확보되는 소음 저감재료 필요
요구 특성	높은 생분해도/기계적물성	open-cell 구조/고강도 가늘진공도 및 진공도 유지 기능	투명성, 차음성(흡음성), 기계적 물성, 내마모 및 내오염성
사용 수지	PHB, PCL 등의 지방족 폴리에스터, PVOH, starch 등의 천연고분자(+polyolefin 등의 합성 고분자)	각종 발포제 및 fiber	PMMA, PC, PVC, PS, SAN 등
주요 용도	각종 1회용 플라스틱제품	냉장고 등 단열성능이 요구되는 분야	투명방음벽/유리대용품

4. 맺는말

이제 환경문제는 기업의 생존을 좌우하는, 더 이상은 미룰 수 없는 급박히 해결해야 할 과제로 우리 앞에 다가와 있습니다. 하지만 우리는 환경문제가 화학관련 기업에게 장애요소가 아니라 하나의 기회요소로써 작용할 수 있다는 긍정적인 생각을 가지고 환경문제를 해결하기 위한 적극적인이고 능동적인 행동을 취해 우리가 처해 있는 위기를 극복해 나가야 합니다.