펄프사출성형 연구개발과 포장재 적용

Pulp Injection and Application Possibilities of PIM to Packaging Materials

横井秀俊 / 동경대학 생산기술 연구소

1. 펄프 사출성형(PIM)

펄프사출성형(통칭 PIM : Pulp Iujection Molding)은 펄프와 전분을 주성분으로 하는 재료를 사출성형하여 지질의 3차원 입체 성형품을 실현하는 새로운 가공기술이다. 이 기술은 이미 10년 전인 1998년에 대보공업(주)에 의해 '종이 섬유를 이용한 제품 성형 방법 및 금형'으로 개발되었다. 오랜 기술 개량의 역사 아래 저환경부하의 성형기술을 요망하는 사회적 니즈에 의해 최근 급속하게 각광을 받고 있으며 여기에서는 구체적인 공정의 개략과 PIM 성형물의 특성에 관하여 소개한다.

1-1. PIM 공정개략

〔그림 1〕에 PIM의 공정개략도를 〔그림 2〕에 PIM 성형재료를 나타낸다.

PIM 성형재료는 펄프와 수용성 결합재인 전분을 주성분으로 하는 원료에 물을 가하여 혼련하여 생산하다. 대표적인 주원료는 펄프 60wt%와 전분 30wt%에 수용성 폴리비닐알코올(PVA) 10wt%를 조정제로 혼합한 것이며 이것에 물을 가하여 최종적인 수분비율이 30~40wt%가 되도록 조정한다. 그러나 PVA는 첨가하지 않아도 PIM 성형은 가능하다.

이 PIM 성형재료를 열가소성 수지와 마찬가지로 사출성형기의 회전스크류도 가소화 하고 금형캐비티 내에서 사출, 충전하여 형상화한다.

그때 실린더 내에서 100℃ 미만으로 설정, 유지된 성형재료는 100℃ 이상(일반적으로 150~180℃)으로 승온된 금형 내로 사출된다.

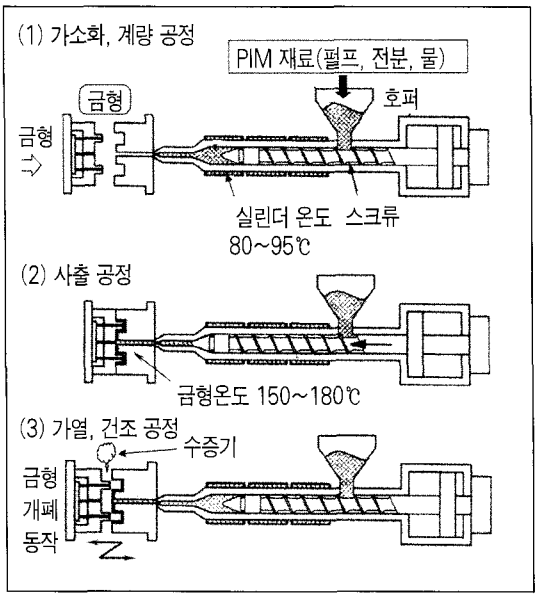
상술한 바와 같이 성형재료에는 주료 소재의 결합과 유동성 부여를 위해서 30~40wt%의 수분이 포함된다.

형내 충전 후의 캐비티내에서는 이 수분을 가열, 증발시키고 동시에 호화한 전분을 건조 시켜 형상이 고정된다.

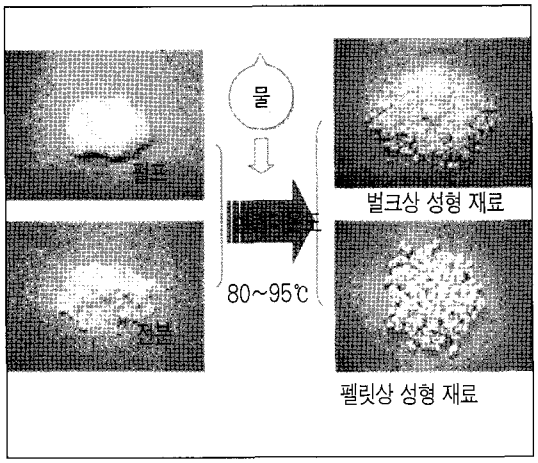
여기서 어떻게 수분을 건조시키는가가 기술적인 과제로 된다. 금형표면에서 성형재료로 열을 전달하면서 형상을 부여하기 위해서는 금형을 닫고 있을 필요가 있다.

반대로 수증기 배출을 촉진시키기 위해서는 금

〔그림 1〕 펄프사출성형(PIM) 성형공정



〔그림 2〕 PIM 성형재료의 제조 공정



형을 열어야 한다. 이 상반된 요건을 충족시키기 위해서 여기서는 조금이나마 금형을 개폐시키는 조작을 반복적으로 하기로 하였는데 이른바 '캐비티 형상의 가열면을 이용하여 성형재료를 다림질 하는 것에 의해 호화된 펄프 섬유 집합체를 건조시킨다' 라고 하는 성형공정이라고 할 수 있다.

PIM 전용 사출성형기와 금형의 외관사진을 〔사진 1〕에 나타낸다. 언뜻 보기에 이들은 일반 범용 플라스틱 사출기 및 금형과 비슷하다. 그러나 실린더 냉각팬의 부여, 단척의 전용스크류와 실린더, 금형 개폐기능 부여 등 전용기로서의 특수 사양이 있으며 금형에도 많은 히터나 유온조용 배관이 설치되어 있다.

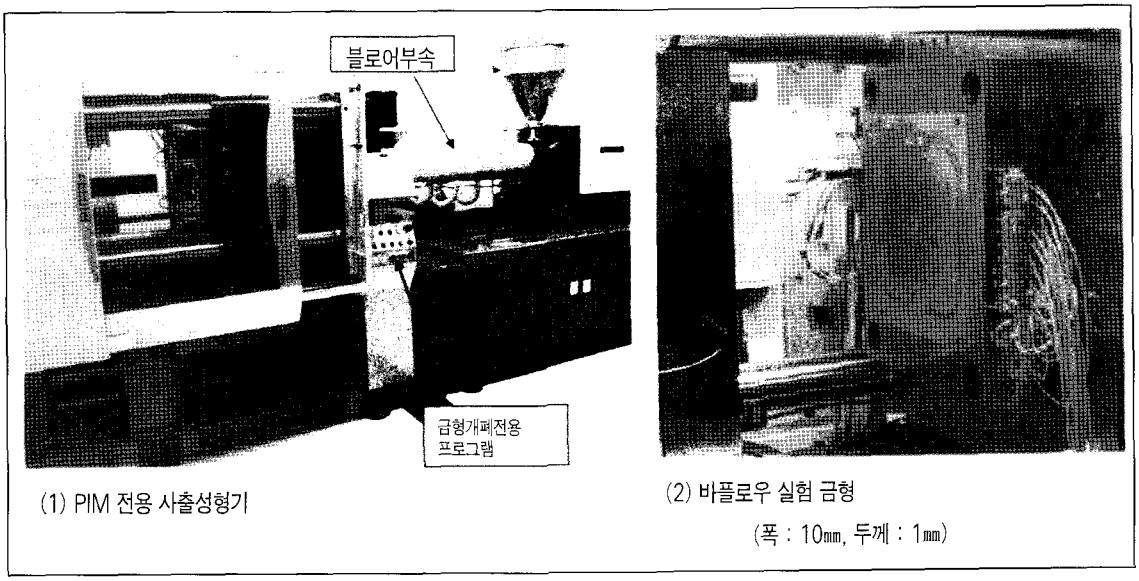
1-2. PIM 성형물의 특징

PIM 성형물의 일반적인 특징은 ① 낮은 비중(0.8~0.9) ② 낮은 비대전성 ③ 박육성형(0.2~0.5mm) ④ 수지보다 길은 유동장(판두께 1mm의 유동장이 80mm 이상) ⑤ 범용수지 레벨의 높은 치수 정밀도 ⑥ 높은 내열성(약 200도)과 지연성(예를 들면 FMVSS 302 자동차 내장재료의 연소성 준거시험에서의 연소속도 : 39mm/min) ⑦ 일반쓰레기로서의 처분가능 ⑧ 높은 생분해성능(약 6개월 후 토중 완전분해) ⑨ 제품원료로 리싸이클 용이성 ⑩ 가스멸균가능 ⑪ 무해(식품용기 사용가능) 등을 들 수 있다.

한편 종이소재라고 하는 점에서 파생되는 결점은 ① 물이나 습도에 약하고 습기(혹은 건조)에 의해 변형되기 쉬운 것(방수지 정도의 내수성) ② 펄프섬유의 배향이나 편재에 의해 기계적 특성의 오차나 표면성상의 기복이 나오기 쉽다는 것 ③ 월드라인의 강도가 낮다는 것 등이 있으나 최근에는 소각 쓰레기로서 폐기하기 쉽고 물로의 가용성 재생이용의 간단 등 환경대응 기술로서 평가를 받아 급속하게 주목받기 시작하고 있다.

〔사진 2〕는 이러한 PIM의 성형물 예(시작품 포함)이다. 폐기 시에 분리수거 수고를 없애기

〔사진 1〕 펄프사출성형기와 금형외관

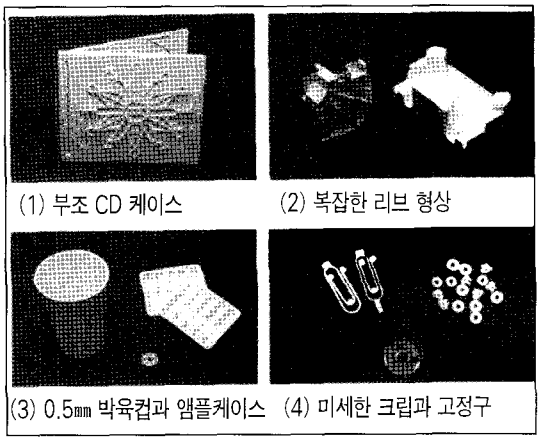


(1) PIM 전용 사출성형기

(2) 바플로우 실험 금형
(폭 : 10㎜, 두께 : 1㎜)

위한 파일이 잠금쇠, 의료용 폐기물 대책에 유효한 약용 앰플 케이스, 환경 배려와 특유의 질감을 살린 CD 케이스 등 환경 이미지를 중시하는 용도에서 이미 실용화가 되어 있다. 0.2mm 박육성형도 가능하다는 등 대단히 높은 성형가공 적성도 있고 랩의 절단칼로도 사용할 수 있는 경도, PS보다도 큰 인장강도와 왜곡강성, 레이저프린트 등에 의한 인쇄특성을 재미있는 특징들을 살려나가고 있다.

〔사진 2〕 펄프사출성형물의 예



(1) 부조 CD 케이스 (2) 복잡한 리브 형상

(3) 0.5㎜ 박육컵과 앰플케이스 (4) 미세한 크립과 고정구

〔표 1〕에 범용수지와 폴리유산 PIM 성형물이 각각에 관해서 기계적 특성 비교를 나타낸다.

또 LCA(라이프싸이클어세스먼트) 수법에 의해 수지, 폴리유산과 마찬가지로 원료성분을 포함한 PIM 성형재료 제조 시의 CO_2 발생량을 산출하여 〔그림 3〕에 나타낸다.

여기에서는 일본제지 연합회 등이 공개하는 펄프 등의 소재데이터의 PIM 성형재료의 압출, 펠릿트 제조시의 사용 전력량에 근거하여 산출하고 있다.

이들이 결과에서 PIM의 CO_2 발생량은 PP의 35% 폴리유산의 39%로 환경부하가 대단히 작은 재료라는 것을 확인할 수가 있다.

〔표 1〕 범용플라스틱과의 기계적 특성비교

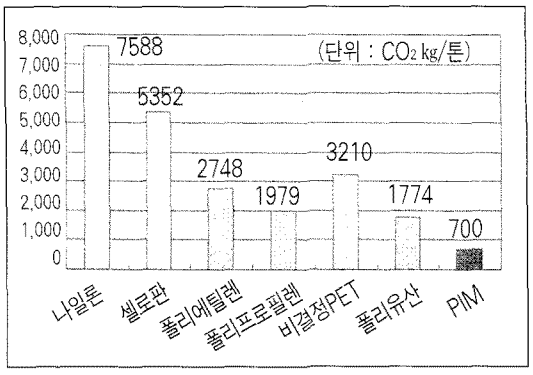
구 분	PIM 재료		범용수지		폴리유산
	신품재료	신문, 고지	PS	PP	
비중	0.85	0.78	1.05	0.9	1.25
인중강도(MPa)	29.0	19.0	28.0	19.0	69.0
신장 (%)	8.5	4.8	40	80	4.0
왜곡 강도(MPa)	24.5	35.0	47.0	33.0	100.0
왜곡 탄성율(MPa)	2,900	3,600	2,500	1,200	3,800
충격강도(kg · J/㎡)	11.5	5.6	6.0	6.6	2.1

2. 펄프사출 성형기술 연구개발

펄프사출 성형은 개발 이후의 계속적인 기술적 개량에 의해서 성형기술로 거의 확립이 되었으나 널리 일반화되어 실용화까지는 이르지 못하였다.

그 배경에는 PIM과 플라스틱 사출 성형기술과는 형태상 거의 같은 공정으로 이루어지면서 PIM의 성형재료 성형물 특성은 본질적으로 달라서 각 공정에서의 성형 현상이 거의 해명되지 않은 사정을 들 수 있다. 또 물분자는 수소 결합으로 그 증발열을 물을 0℃에서 100℃까지 가열하는데 필요한 열량의 약 5배라고 하는 상당히 큰 열량이 필요하기 때문에 수분을 증발시키는데 요하는 금형내 건조시간은 상상 이상으로 길어서 성형싸이클 및 성형에 요하는 코스트를 대폭적으로 상승시키는 요인이 되었다.

〔그림 3〕 PIM 재료 LCA 데이터 비교
(원료에서 펠릿까지 제조시의 CO_2 발생량)

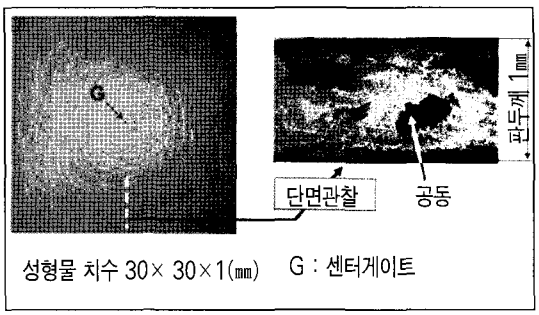


성형 현상이 복잡하게 얽혀 그 대부분이 미해명인 상태에서 단순히 '성형시간을 단축한다' 고 해도 성형재료, 금형구조, 성형기와 스크류 형상, 성형조건 등 무엇을 어떻게 하면 좋은가의 명확한 방침이 정해져 있지 않은 상태에서의 기술은 곤란한 것이다.

그래서 2005년도부터 성형 현상의 해명, 최적 성형재료와 성형조건, 금형기술의 확립, 그리고 성형싸이클을 1/3 이하로 하는 것을 목표로 하여 '민간 등의 공동연구' 제도에 의거 실시되었다.

이 성과에 의해 PIM 성형재료의 유동특성 및 PIM 성형물의 제특성평가〔그림 4〕 성형시간의 단축화, 가소화 과정과 사출과정의 검토, 금형내 현상의 가시화, 인프로세스 계측에 관하여 계통적인 연구가 진행되고 성형 싸이클도 당초 목표였던 1/3을 거의 달성하기에 이르렀다. 플라스틱의 대체를 목표로 하는 저환경부하 성형가공기술이 시스템을 넘어 종이 소재의 특성을 살린 새로

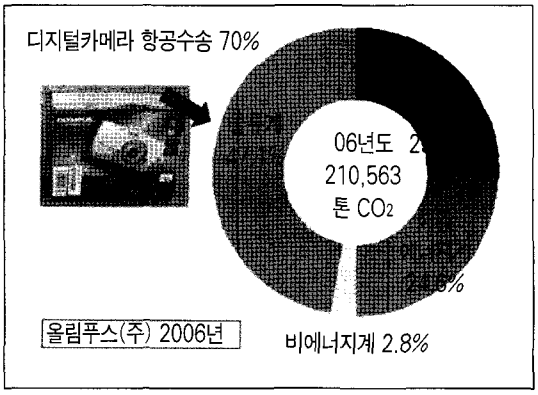
〔그림 4〕 PIM 성형물의 표면 및 단면 관찰



운 '에코성형 가공'의 가능성 탐색이 2006년도부터 생산기술연구장려회 'PIM 컨소시엄' 안에서 적극적으로 진행되고 있다.

그 중에서 펄프사출 성형은 기초 연구와 병행하는 형태로 응용기술의 개발 연구, 실용화 연구가 실시되고 있으며 부드러운 PIM 성형물, 단단하고 고강도인 PIM 성형물, 새로운 포장재나 안티러스트 커버(수출차의 브레이크 패드 녹 방지 커버), 용기류에의 적용 등 여러 가지 제품 개발이 진행되고 있다. 특히 올림푸스(주)가 연구하는 포장재로의 적용은 포장재 소형화에 의한 적재효율 향상 효과와 그에 의한 수성효율, 코스트 및 수송 CO_2 배출량(공수)의 대폭 절감 효과를 초래, 금후의 발전이 기대되고 있다.

〔그림 5〕 전체글로벌 거점에 있어서 온실효과 가스 배출량(제조계+물류계) 비율



3. 포장재 적용 연구개발 동향

3-1. 포장재 환경 보전상 문제점과 니즈

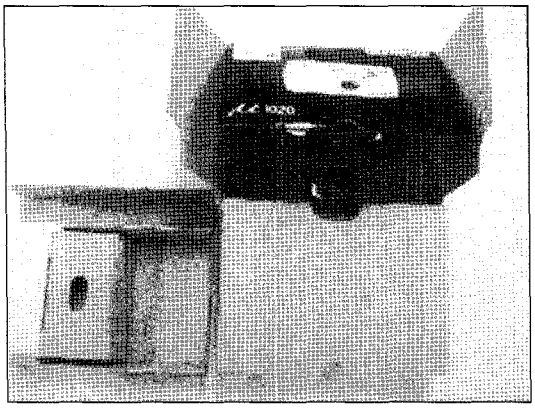
현재 전세계 레벨의 온실효과가스 배출량은 250억톤에 달한다고 추계되고 있다. 제조법에 있어서도 글로벌한 유통 형태가 일반화 되는 속에서 물류 스테이지에서 배출되는 온실효과 가스는 그 대부분을 차지하고 있다. 올림푸스(주)도 예외는 아니어서 2006년도에는 전 글로벌 거점에서 온실가스 배출량(제조계+물류계) 중 약 47.1%를 물류계가 차지하였다〔그림 5〕. 주 원인은 국제간소송에 있어서 공수(AIR)이며 모델시프트나 포장의 소형 경량화가 중요 과제로 되고 있다. 일반적으로 이용되는 포장재로는 화석 연료계 재료나 골판지계 재료가 대부분을 차지하는데 환경 보전의 관점에서는 전자에 관해서는 자원고갈이나 회수 시스템의 불충분함이 문제점으로 제시되고 후자는 완충성능의 확보에 따르는 곤포사이즈의 대형화를 들 수 있다. 이러한 상황 속에서 포장재에 대한 니즈로서는 리싸이클성이 뛰어나고 가볍고 얇아도 완충성능이 뛰어난 것에 기대를 모으고 있다.

3-2. 디지털 카메라 분야 포장 특징과 문제점

〔사진 3〕은 현행 디지털카메라의 골판지계 포장상자를 나타낸 것이다(좌: 완충재, 우: 본체)

최근에서는 각사 모두 피포장물을 포함한 총중량 500~700g 정도, 포장재 부분만으로는

〔사진 3〕 디지털카메라용 골판지계 포장상자

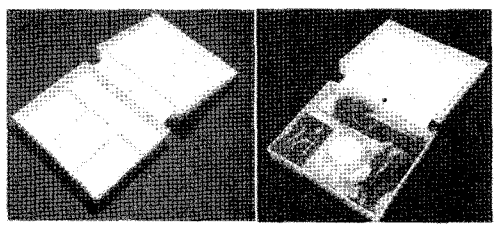


100g 전후로 설계되어 있으며 최근 수년가 소형화를 향한 많은 노력이 있었던 듯하다. 그러나 포장재료의 종류나 가공 자유도의 제약에 떠나서 포장상자의 사이즈나 중량에 한계가 있는 외에 회수, 리싸이클 등의 문제도 남아 있는 것이 현실정이다. 또 포장상자의 인쇄에 관해서는 해외의 발송처 사정에 맞추어 각각 디자인 변경하여 대응하고 있는 등 유통상의 문제도 적지 않다.

3-3. PIM에 의한 포장재 설계 사례

이러한 정밀기기 포장상의 문제의 대부분을 해결할 수 있는 기술로서 PIM이 주목된다.

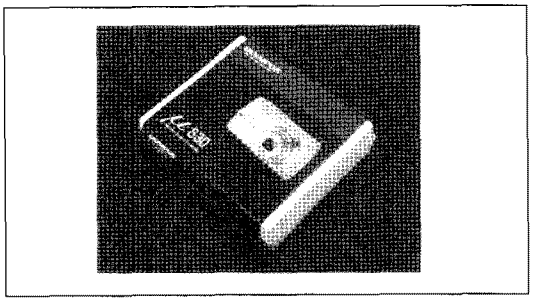
〔사진 4〕 PIM에 의한 포장재 시제작품



(1) PIM 성형물

(2) 카메라, 케이블류를 넣은 PIM 포장재

〔사진 5〕 슬리브로 포장을 완료한 패키지(시 제작품)



그 이유는 ① 리싸이클성이 뛰어난 소재라는 것 ② 사출성형이 가능하므로 디자인 자유도가 높다는 것 ③ 박육화가 가능하므로 경량화가 가능하다는 것이다. 이들의 이점을 살려서 〔사진 4, 5〕와 같은 컨셉으로 시제품을 만들었다.

〔시제품 컨셉〕

1) 사출성형의 형상자유도를 최대한으로 활용

① 코너R이나 리브 부여에 의해 포장재 강도 향상

② 프렉시블한 구조설계에 의해 완충성능과 레이아웃 효율을 향상

③ 레이아웃 효율 향상에 의해 소형화 실행 적재효율 향상

④ 현지 부분의 형성에 의해 유저의 사용 편리성 향상

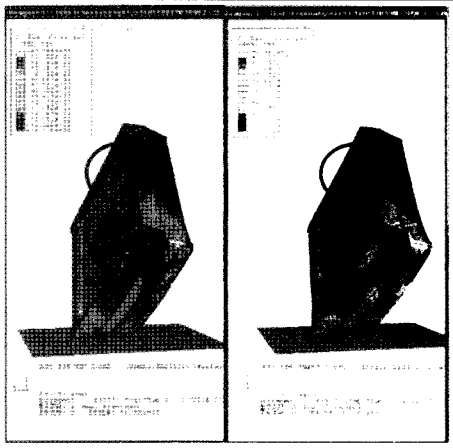
2) 이용의 확대, 공동화, 탈폐기를 겨냥한 설계 컨셉

① 수송상자가 아닌 케이스(보관 휴대)로 유저가 사용 가능(여행처에서도 충전기나 AV 케이블의 휴대용 케이스로 이용)

② 동등 사이즈의 제품이면 포장상자의 공통사용이 가능

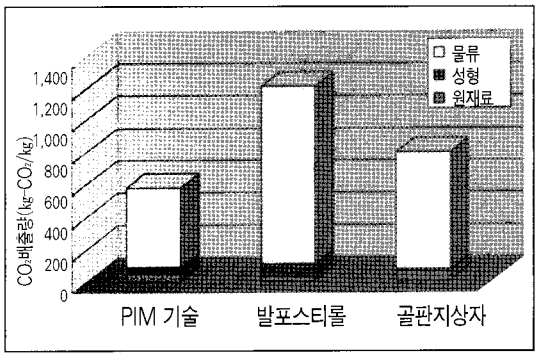
③ 기종의 차이는 슬리브에서 인쇄표현하여 인쇄면적의 축소, 경량화를 추구

〔그림 6〕 자유낙하시험에서의 응력분포 시뮬레이션



(1) 코너 R 0.7　　(2) 코너 R 3.0

〔그림 7〕 포장상자 라이프싸이클 CO_2 시산결과



3-4. 포장재 PIM 성능 및 환경 영향평가

〔그림 6〕은 시제작한 포장상자를 자유낙하시켜 지면에 충돌 시켰을 때의 응력분포를 시뮬레이션에 의해 구한 것이다. 포장상자 내측의 코너R을 제어인자를 하여 R 0.7 및 R 3.0 각 경유를 평가하였다. 그 결과 특히 원으로 둘러싸인 부분의 응력에 각각 현저한 차이가 생긴다는 것을 알 수 있으며 포장설계 연구에 의해 완충성능의 향상이 가능하다는 것이 확인되었다.

〔그림 7〕은 시제작한 포장상자를 유통시켰을때의 라이프싸이클 CO_2를 시은한 결과이다. 비교대상으로서 발포스티롤계 재료, 골판지 상자계 재료를 예로 들었다. 각 소재 모두 전체 라이프싸이클 CO_2에 차지하는 비율의 대부분은 물류계에 기인하고 있어서 소형경량화의 효과가 대단히 크다고 하는 것이 이해된다. 또 PIM은 사출성형을 가공법의 베이스로 하고 건조 공정도 있기 때문에 열에너지의 이용에 의해 전력소비가 비교적 크다고 하는 것이 우려된다.

그러나 발포스티롤계 보다도 전력 소비는 오히려 적고 골판지계에 대해서도 큰 차이가 없다는 것을 확인 할 수 있었다.

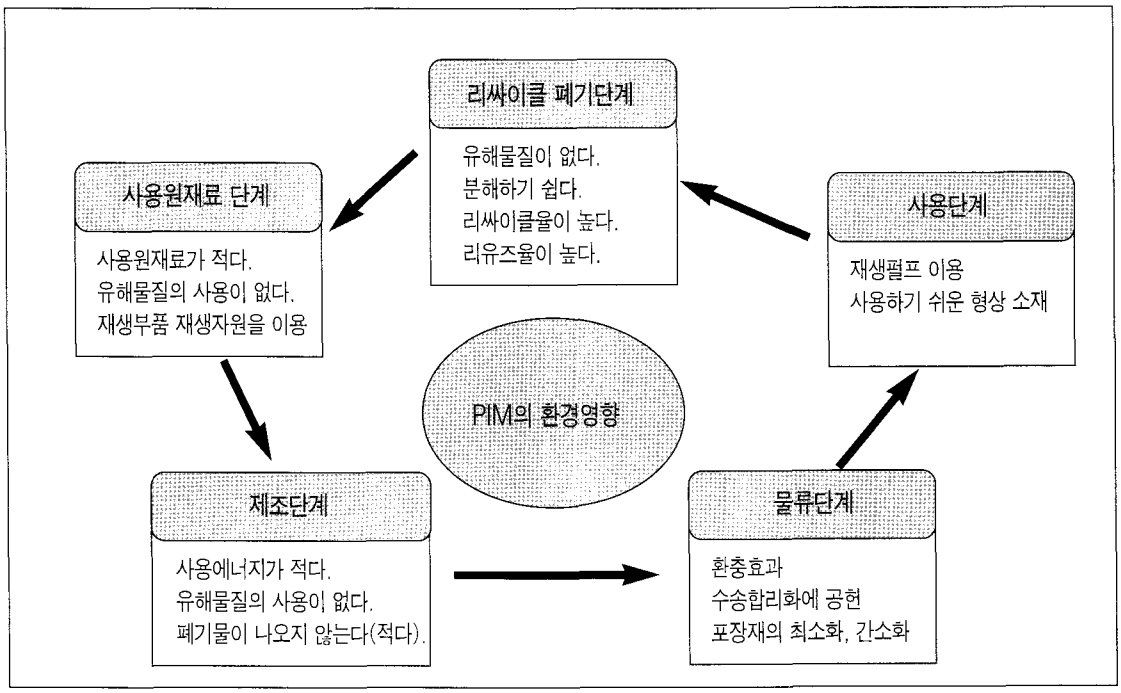
〔그림 8〕은 상정되는 모든 환경 영향에 관해서 간단히 종합한 것이다. 성에너지 3R, 유해물질의 각각의 관점에 있어서 개선효과 기대를 가질 수가 있으며 순환형 제품 제작에 적합한 기술이라는 평가를 할 수 있다.

4. 마무리

PIM은 사출성형을 가공법의 베이스로 한 기술이다. 일반적으로 사출성형은 그 설비나 금형의 초기 투자가 크고 또 양산에 이르기까지의 가동 리드 타임이 비교적 길은 것이 특징이다. 또 플라스틱의 사출성형에서는 웰드라인이나 플로우마크 등 재료 유동에 기인하는 특유의 품질 불량이 발생하고 강도 열화를 일으키는 외에 현저한 미관의 저하를 초래한다.

그리고 금형구조상 스풀, 란너 등의 불필요 부분이 많이 발생하는 등 코스트상의 문제도 있

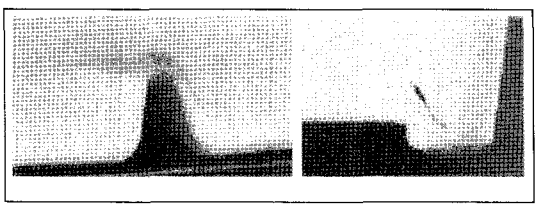
〔그림 8〕 PIM 환경영향인자 평가



다. 펄프를 성형 소재로 사용하는 경우에 있어서도 이와 같은 문제가 마찬가지로 적지 않게 발생하는 것이 현실이다(〔사진 6〕은 웰드부의 파괴 상황).

광범위한 분야에 PIM을 적용하기 위해서는 이들의 문제를 해결할 필요가 있으며 정밀기기의 포장재로서 PIM의 활용을 실현하기 위해서 현재 다음과 같은 과제를 설정하여 해결을 위한 활동을 전개하고 있다.

〔사진 6〕 낙하시험 후의 웰드부의 파괴



① 금형코스트, 가동 리드타임의 삭감

② 재료유동의 최적화에 의한 웰드라인 방지이에 의한 강도 보증

③ 재료 사용율의 향상(금형구조 개선에 의한 불필요 부분의 삭감/소형경량화에 의한 사용재료 절감)에 의한 런닝코스트 절감

이들 문제를 해결하고 정밀기기의 포장분야에도 PIM을 보급 전개해 나갈 것을 기대한다.

PIM을 더욱 더 매력적인 '에코 성형가공'으로 되고 있는 중이다. 일본에서 태어난 새로운 성형가공기술 PIM이 가까운 장래 전세계도 확산되어 지구 온난화 억제에 다소나마 공헌 할 것을 기대해 본다. ko