공압출 기술

공압출 다층시트의 현황과 전망

신양재/두산유리(주) 플라스틱개발팀 팀장

목차

1. 공압출의 역사
2. 공압출 다층시트의 일반적 특성
3. 공압출 다층시트의 구성 및 용도
4. 공압출 다층시트의 시장
   4-1. 해외시장 현황 및 전망
   4-2. 국내시장 현황 및 전망
5. 공압출 다층시트의 생산기술
   5-1. 유동학적 고찰
   5-2. 소재 선정
   5-3. 공압출 다층시트 설비
6. 향후 전망 및 과제

최근 과학기술이나 재료공학의 눈부신 발전에 의해 SUPER ENPLA, POLYMER ALLOY 등의 고기능성 수지가 실용화되고 있지만 이들 신소재의 대부분은 성형이 어렵고 가격도 고가여서 단기간 내에 급속한 성장을 기대하기 어려운 형편이다.

한편 가공성이 우수한 개개 범용수지들의 특징을 살릴 수 있도록 다층화 함으로써 단일소재로는 도저히 기대할 수 없는 다양한 특성을 부가할 수 있을 뿐만 아니라 경제성과 위생성을 향상시킬 수 있는 등, 최근 공압출(CO-EXTRUSION) 기술은 PL-ASTIC 가공분야의 40%를 차지하는 압출분야에서 가장 중요한 위치를 차지하기에 이르렀다.[1]

1. 공압출의 역사

1950년대 DOW CHEMICL사에서 음료용 STRIPE STRAW, PVC (FLEXIBLE/RIGID) GASKET을 연구개발[2]하기 시작하여 60년대에 다중 전선피복 및 PVC 잡화품을 생산하기 시작하였으며, 65년도에 3층 INFLATION FILM을 개발한 이후부터 급속도로 확산되기 시작하였다.

이후 70년대 초에 요구르트용 GPPS/HIPS 2층 SHEET가 생산되었으며, 72년도에 EVOH를 생산 개시한 일본의 KURARAY사와 TOYO SEIKAN사가 75년도에 5층의 'LAMICON BOTTLE(PE/AD/EVOH/AD/PE)'을, 78년에 'LAMICON SHEET와 TUBE'를 세계 최초로 개발함으로써 고차단성 다층 공압출의 제품이 출현하게 되었다.

이후 80년대는 이러한 공압출 기술이 보다 확립됨으로써 그 수요가 급증하였으며 90년대 들어 와서는 산업용 · 건자재 분야로의 진출이 두드러지고 있다.

한편 국내는 90~91년도에 당사를 포함하여 3개사가 공압출 다층 SHEET를 생산하기에 이르렀으나 아직 산업적으로 도입기 단계이다.

2. 공압출 다층시트의 일반적 특성

공압출 다층시트의 가장 큰 특징은 이종(異種)재료의 특성을 종합적으

로 이용할 수 있는 점이다. 이것은 보통 라미네이트 필름, 시트에서도 그렇지만 특히 공압출의 경우 다음과 같은 장점이 있다.

▲이종재료를 다층화함으로써 각각의 결점을 보완하고 장점으로 발전시킬 수 있다.

▲강도와 성형성 향상을 기할 수 있다.

▲표면광택성 등 디스플레이 효과를 향상시킬 수 있으며, 또 두 색(TWO-TONE COLOR) 시트를 이용하여 상품의 시각성을 극대화할 수도 있다.

▲SCRAP을 중간층으로 내재시킴에 따라 수지물성 저하를 막을 수 있을 뿐만 아니라 위생성을 기할 수 있다.

▲기존의 라미네이트 제품과 비교해 일시에 생산할 수 있으므로 생산성이 우수하고, 2차 오염요소를 줄일 수 있다.

〔표 1〕은 국내외에서 사용되고 있는 각종 요구르트 용기용 SHEET를 통해 공압출의 장단점을 비교한 예이다.

〔표 1〕 요구르트 용기용 SHEET

층	1층	2층	4층	5-7층
구조	HIPS +SCRAP +M.B (내층 ; 식품접촉)	GPPS HIPS +SCRAP +M.B (내층 ; 식품접촉)	GPPS HIPS+M.B1 SCRAP HIPS +M.B2 (내층 ; 식품접촉)	HIPS+M.B (SCRAP) ADHESIVE EVOH ADHESIVE (SCRAP) PS(PE)+M.B (내층 ; 식품접촉)
장점	• 단층으로 설비 투자비가 작고 • 제조기술이 간단	• 외표면에 광택	• 외표면 광택보유 • 식품위생성 보유 • M.B 사용량 감소 • SCRAP 단독사용으로 강도유지 • 균일한 색상유지 • 2종 색상	• 3개월 이상의 장기보존성 보유 • 2종 색상 • 식품위생성 보유 • SCRAP 단독사용으로 강도유지 • PE의 OIL저항성 저온 열접착성
단점	• 외표면 무광택 • SCRAP과 식품이 접촉하며 • M.B사용 증가로 원재료비 상승 • SCRAP혼합사용으로 강도 저하 • 1주 이상 장기보존 불가능함	• 불균일한 색상 • SCRAP과 식품이 접촉하고 • M.B사용량이 여전히 많고 • SCRAP혼합사용으로 강도 저하 • 1주 이상 장기보존 불가능함	• 3~4대 이상의 압출기 요구 • 제조기술 다소 복잡함 • 2주 이상 장기보존 불가능함	• 4~5대 이상의 압출기 요구 • 고도의 제조기술 및 QC요구 • SCRAP RECYCLING 기술이 특별히 요구됨

〔표 2〕 식품포장용 공압출 다층시트

구 분		목적	구성	주용도
스틸렌계	논배리어 타입	디스플레이효과 (인쇄적성)	HIPS/HIPS(2색) (적) (백) GPPS/HIPS/HIPS (적) (백)	요구르트 젤리 도시락상자
		차광성	HIPS/HIPS/HIPS (백) (흑) (백)	포션밀크
	배리어타입	산소등 가스차단성 보 향 성 강 성	HIPS/AD/PVDC/AD/PP HIPS/AD/PVDC/AD/LDPE HIPS/AD/EVOH/AD/PP HIPS/AD/EVOH/AD/LDPE	치즈, 훈제 디저트, 잼 찐 빵
폴리올레핀계	논배리어타입	디스플레이 효과 방 습 성 내 열 성	PP/PP (적) (백) PP/PP (대전방지)	디저트, 레토르트식품 사라다
	배리어타입	산소등 가스차단성 보 향 성 방 습 성 내 열 성	PP/AD/EVOH/AD/PP PP/AD/EVOH/AD/LDPE PP/AD/PVDC/AD/PP PP/AD/PVDC/AD/LDPE	치즈케익, 젤리, 무스, 레토르트식품, 부식, 방향제, 정육, 햄소시지, 김치, 잼, 스프, 찐빵
기타	배리어타입	산소가스차단성 보향성, 강성, 투명성	PET/AD/EVOH/AD/PP PVC/AD/EVOH/AD/PP	술, 정육, 햄, 소시지

3. 공압출 다층시트의 구성 및 용도

앞서 〔표 1〕에서도 언급된 바와 같이 공압출 다층 시트는 다양한 요구특성을 만족할 수 있어 식품포장용은 물론 산업용으로도 최근 크게 확산되어 가고 있다. 산업용의 경우 자동차의 내장용품류와 냉장고 내장재, 조명기구 그리고 건자재류 등이 있으며, 식품포장용 품목은 〔표 2〕와 같다.

4. 공압출 다층시트의 시장

4-1. 해외시장 현황 및 전망

공압출 다층시트에 대한 세계시장 규모는 집계된 자료가 없으나 유럽의 경우 필름 시장이 85년도에 다층이 1/3수준이였으나 90년도에 2/3수준에 이른다는 사실[3]을 볼 때 급격한 신장이 있음을 알 수 있다.

아래 〔표 3〕을 통해 볼 때 일본의 공압출 다층시트는 75년도 사업을 시작한 이래로 87년까지 연간 5% 수준으로 꾸준히 시장을 개척해 오다가 88년도 이후 20% 이상의 급격한 성장기를 보이고 있다. 특히 BARRIER다층시트는 88년 이후의 고속성장은 소비자의 소비 고급화 가속과 식품용으로의 PVC 사용금지, 그리고 기계 등 관련산업의 성장에 기인한다.

한편 앞으로의 시장 전망중 고차단성 다층시트의 성장이 두드러지리라고 보고 있으며 이중 EVOH는 88년 시장 소요량이 1.1만톤으로 연간 10% 이상 성장하여 왔으나 최근 환경문제로 인해 선진 각국이 PVDC의 사용(88년 13.5만톤 소비) 금지로 인해 향후 EVOH 시장이 급성장할 것으로 보여 생산능력을 89년 17만톤에서 93년 52만톤으로 늘리고 있다.

〔그림 1〕은 EVOH 시장에서 시트가 차지하는 비율을 보여주고 있다. 95년도 시트의 EVOH 소요량은 대략 8천톤 규모로 보이며 따라서 시트로 환산하면 10만톤 규모가 예측된다.

4-2. 국내시장 현황 및 전망

국내 공압출 다층시트는 90~91년도에 시작되었으며 현재까지는 식품용으로 일부 개발되었을 뿐 아직 도입 초기의 산업이다. 92년 말까지 호상 요구르트의 급성장과 더불어 GPPS/HIPS 공압출시트가 크게 확산되었다. 이후 93년부터 PVC, EPS 사용규제로 선물세트용 포장재가 FPP(filler polypropylene)로 전개되었다가 최근 경제성, 내충격성을 감안해 FPP/PP+SCRAP 또는 FPP/SCRAP/PP로 대체되어 가고있다.

또한 93년 가을 이후는 RETORT용 죽(단팥죽, 호박죽 등)이 크게 히트함에 따라 기존의 비락 외에 오뚜기, BEST FOOD 미원, 남부식품 등이 뛰어 들었다. 94년에 들어 와서는 어묵, COFFEE CREAMER, 삼계탕, FRUIT COCKTAIL, JAM & JELLY 등 그 수요가 폭증하고 있다. 다만 대부분의 ITEM이 신제품으로써 그 수량이 적을 뿐만 아니라 포장가격이 높다는 인식과 관련기술(성형및 식품가공기술과 연구시설)의 부족으로 장기보존에 대한 품질보증 능력이 아직 미약해 시장 확산에 어려움이 있다. 또한 현 국내시장 규모에 비해 공급능력이 2배 이상 과다해 동업계의 수익성이 전반적으로 나쁜 편이다.

이에 대한 대책은 적극적인 시장개척과 CUSTOMER PACKAGING SERVICE 및 수출뿐이며, 최근 이러한 노력의 결과로 당사는 가장 제조가 까다로운 HI-BARRIER 공압출 다층 시트를 최근 일본에 수출하기에 이르렀다.

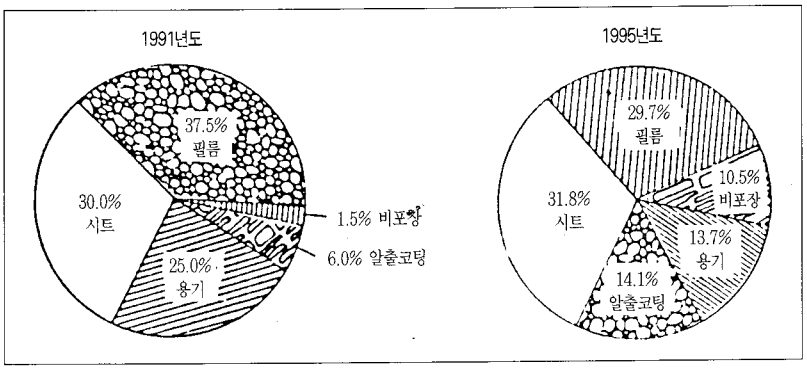
〔표 4〕는 국내 공압출기 보유업체 현황과 주요 생산품이다.

〔표 3〕 일본의 식품포장용 공압출 다층시트 출하량 추이 (단위 : 톤)

구 분		75년	85년	86년	87년	88년	89년	90년
총시장	NON BARRIER 다층시트	1,200	16,380	17,220	18,750	30,410	37,160	44,400
	BARRIER 다층시트	0	4,610	4,900	4,819	6,570	8,490	10,320
	합 계	1,200	20,990	22,120	23,569	36,980	45,650	54,720
	전년대비 성장률	—	—	5.4%	6.6%	56.9%	23.4%	19.9%
주요품목	GPPS/SCRAP/HIPS	—	4,020	4,200	5,290	8,180	12,890	15,085
	PP/AD/EVOH/AD/PP	—	3,730	3,920	4,110	4,360	8,490	9,410
	합 계	—	7,750	8,120	9,400	12,540	21,380	24,495
	총 시장대비 점유율	—	36.9%	36.7%	39.9%	33.9%	46.7%	44.8%

자료 : 일본종합출판

〔그림 1〕 EVOH 시장규모



자료 : 듀폰사

5. 공압출 다층시트의 생산기술

각 층간에 균일한 공압출 다층시트를 얻기 위해서는 단층에서 예측할 수 없었던 각종 문제점을 해결하지 않으면 안된다. 이러한 문제점은 기계의 핵심부문에 대한 적정한 설계 외에도 POLYMER의 물성 및 유동학적 고찰이 요구된다. 본고에서는 지면관계상 핵심이 되는 소재선정 및 공압출 다층시트 설비에 대해서 간단히 언급하였다.

〔표 4〕 국내 공압출 다층시트기 보유업체 및 주요생산품

업체명	보유설비	제작사	주요생산품
동성화학	5층 시트기 1대 2층 시트기 1대	국산 국산	• GPPS/HIPS+SCRAP : 요구르트용 • FPP/PP : 선물세트용 • PP/AD/EVOH/AD/PP : 장류용, 젤리용 • FPP/AD/EVOH/AD/FPP : 햄류
두산유리	9층 시트기 1대	WELEX	• PP/SCRAP/AD/EVOH/AD/SCRAP/PP : 죽, 탕용 • PP/AD/EVOH/AD/PP : 장류, 죽류, 어묵, JAM, 케첩 밥류, FRUIT COCKTAIL(수출) • PS/SCRAP/AD/PE/AD/SCRAP/PS : 건과류 • PP/FPP/SCRAP/AD/EVOH/AD/SCRAP/FPP/PP : 햄류, 전자레인지용 • PS/SCRAP/AD/EVOH/AD/SCRAP/PS(PE) : 커피크림 • GPPS/HIPS/SCRAP/HIPS : 요구르트용 • PP/AD/EVOH/AD/PP easy-peel : 뚜껑용
삼진화학	7층 시트기 1대	DAVID-STANDARD	• PP/FPP/(PP) : 얼음과자 • GPPS/HIPS/SCRAP/HIPS : 요구르트용
동양나이론	2층 시트기 1대	WELEX	• GPPS/HIPS+SCRAP : 요구르트용
동인	2층 시트기 1대	WELEX	• GPPS/HIPS+SCRAP : 요구르트용
상경	2층 시트기 1대	국산	• GPPS/HIPS+SCRAP : 요구르트용
제일프라콘	2층 시트기 1대	국산	• PET/PETG : 개발중
유상공업	2층 시트기 1대	국산	• 복합PP/PP : 얼음과자

5-1. 유동학적 고찰

먼저 공압출 다층시트의 생산기술을 이해하기 위해서는 다음과 같은 유동학적 고찰이 무엇보다도 필요하다.

〔그림 2〕는 RHEOLOGY 특성이 다른 두 가지의 용융수지 A층(점도 η_1)과 B층(점도 η_2)이 관내에서의 유속분포곡선 및 점도차에 따른 전이를 나타내고 있다. 이러한 전이에 따른 유량 Q_1, Q_2는 다음식으로 표시된다.

$$Q_1=\frac{W}{2}\frac{1}{\eta_1}\left(\frac{dp}{dz}\right)\left(-f_1 h_1^2+\frac{h_1^3}{3}\right)$$

$$=\frac{W}{2}\frac{1}{\eta_1}\left(\frac{dp}{dz}\right)\times H^3$$

$$Q_2=\frac{W}{2}\frac{1}{\eta_2}\left(\frac{dp}{dz}\right)\left(-f_2 h_2^2+\frac{h_2^3}{3}\right)$$

$$=\frac{W}{2}\frac{1}{\eta_2}\left(\frac{dp}{dz}\right)\times H^3$$

$$f_1=\frac{\eta_2 h_1^2+\eta_1 h_2^2+2\eta_1 h_1 h_2}{2(h_1\eta_2+h_2\eta_1)}$$

$$f_2=\frac{\eta_1 h_2^2+\eta_2 h_1^2+2\eta_2 h_1 h_2}{2(h_1\eta_2+h_2\eta_1)}$$

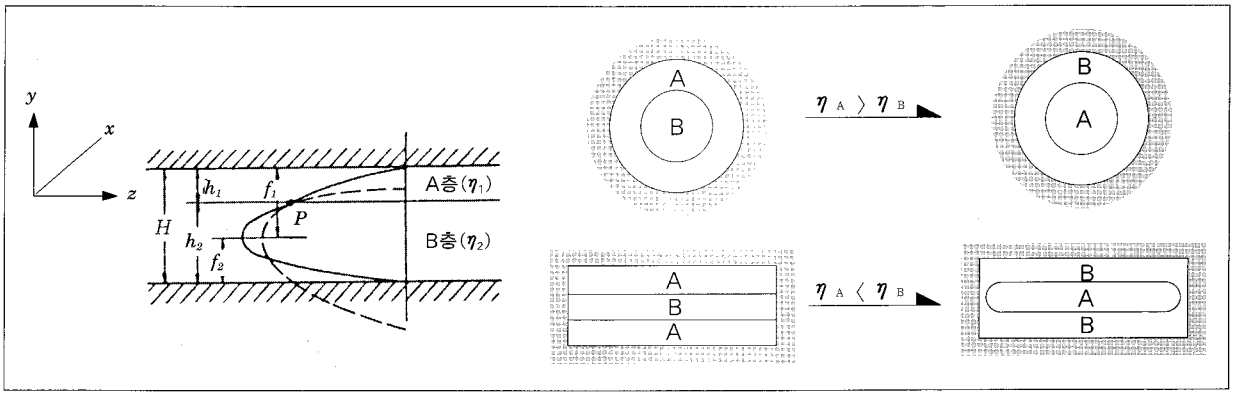
$$f_1+f_2=H$$

$$x=\frac{\rho^2+\zeta(1-\rho)^2+2\zeta\rho(1-\rho)}{2\{\rho+(1-\rho)\zeta\}}\rho^2+\frac{\rho^3}{3}$$

$$y=\frac{\rho^2+\zeta(1-\rho)^2+2\rho(1-\rho)}{2\{\rho+(1-\rho)\zeta\}}(1-\rho^2)+\frac{(1-\rho)^3}{3}$$

$$\eta_1/\eta_2=\zeta,\quad h_1=\rho H,\quad h_2=(1-\rho)H$$

〔그림 2〕 용융수지층의 관내 유속분포곡선 및 전이도

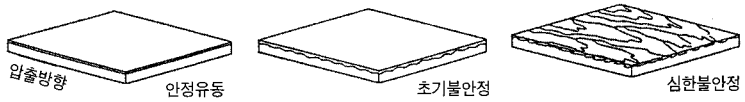


여기서 W는 폭이며 H는 간격을 말한다.[4]

또한 다층유동에서는 각종 형식의 유동불안정이 생긴다. 동일하지 않은 층 두께는 압출기의 사이징 또는 용융물의 불균일한 온도분포에 따라서도 생긴다. 또 저점도의 용융물은 고전단응력 영역으로 이동하고 점도차와 체류시간이 충분하면 고점도 용융물을 〔그림 2〕처럼 내부로 밀어넣는다.

〔그림 3〕에 2층시트의 계면유동불안정한 상황을 보여주고 있다.[5] 안정된 유동상태하에서는 다이 안에서의 유체계면과 다층시트 성형중 고형(SOLID PHASE)계면 모두 균일한 두께분포를 갖게 된다. 압출량이 증가함에 따라 고형 다층시트 중 가장 외부계면에 파상(波狀)형상이 나타나는 점에 도달한다. 이것이 초기가 불안정하여 계면에 저 진폭물결이 생기지만 눈에 띄지는 않으며 다층성형품 기능에도 거의 영향을 주지 않는다. 그러나 압출량이 증가하면 층계면의 변형이 더욱 심해진다. 큰 진폭의 가로방향 파형이 다층유동중에 나타나면 속도구배에 의해 파두(波頭)는 앞쪽으로 밀려 주름모양이 바뀐다. 여러 개로 접힘에 따라 상당히 혼잡한 계면을 가진 다층시트가 되며 열성형시에도 그대로 나타난다.

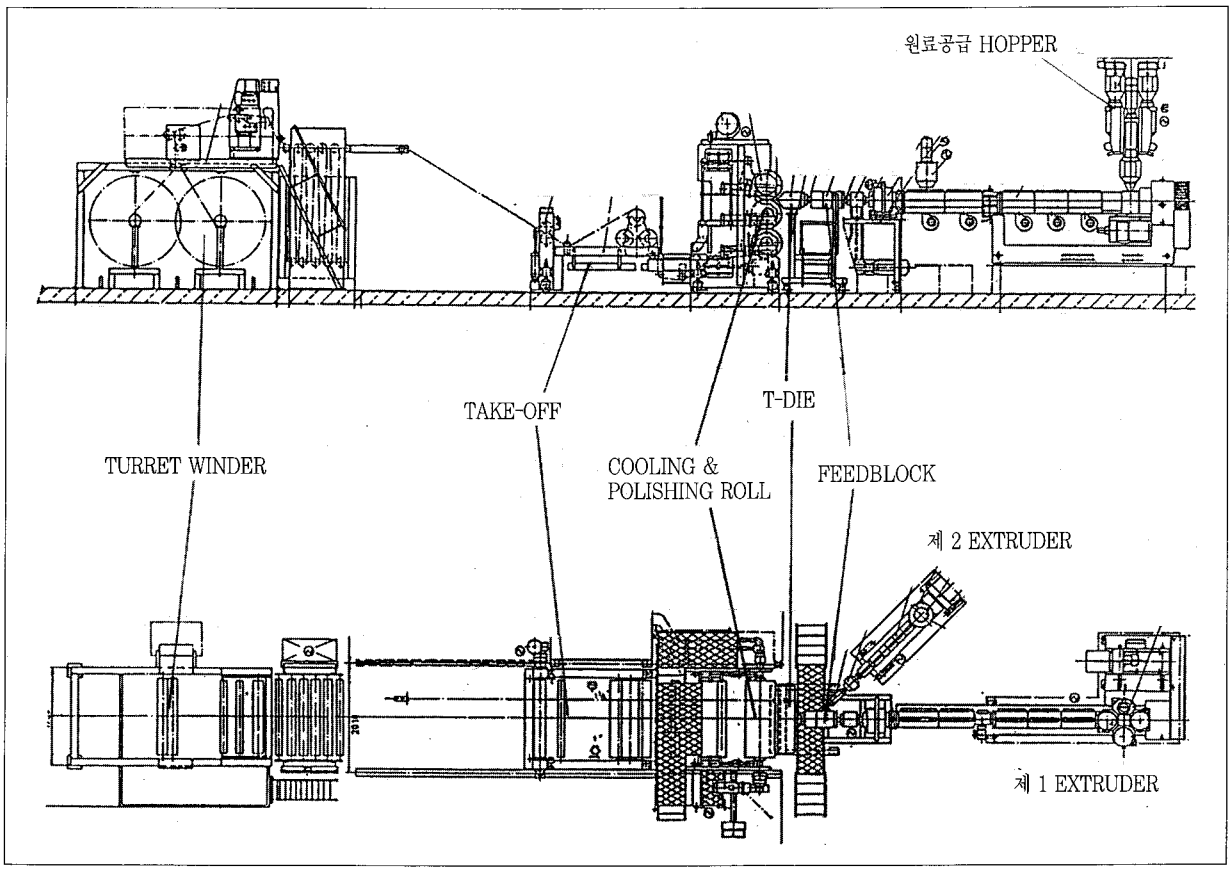
〔그림 3〕 2층시트의 계면상태 흐름도



안정유동상태, 계면의 파상변형을 동반한 초기 계면유동불안정 그리고 파두(波頭)가 겹쳐지는 심한 불안정상태하의 필름이나 시트의 그림

안정된 다층유동에서 불안정한 다층유동으로의 변화는 용융물과 다이의 온도를 바꾸는 것에 따라 일어날 수도 있어 각층의 온도관리 또한 중요한 인자가 된다.

〔그림 4〕 2대의 EXTRUDER가 장착된 공압출 다층시트기



5-2. 소재선정

앞서의 다층시트의 장점을 살리고 생산상의 문제점을 감안한 적정한 소재의 선정은 다층기술의 가장 중요한 요소의 하나이다.

다음 사항은 소재선정에 있어 반드시 검토되어야 할 사항이다.

△공압출성 : 각 구성소재의 용융점, 점도, MFI(MELT FLOW INDEX)및 기타 용융유동 특성을 감안한 소재를 선택할 것

△가격 : 요구특성을 만족하는 적정품질 수준에서 최소의 비용을 가진 다층시트가 되도록 소재선택 할 것 아울러 SCRAP 회수사용 기술이 확보되도록 할 것

△화학적 안정성 : 내용물 특성과 연결하여 내유, 내한내열성, 화학적 안정성 및 식품포장의 경우 위생성을 갖춘 소재를 선택할 것.

△기계적 성질 : 내충격성, 내후성, 광택, 강성, 내수성 등 적절한 소재를 선택할 것

△기능성 : GAS BARRIER성, 접착성, EASY PEEL성 포함 특별한 기능성 소재를 적절히 활용할 것

5-3. 공압출 다층시트 설비

공압출 다층시트 설비는 원료공급부, 압출부(EXTRUDER), 다층화부(FEED BLOCK), SHEET 성형부(T-DIE & ROLLS) 그리고 권취부(WINDER)로 구성된다.

〔그림 4〕는 EXTRUDER가 2개인 공압출 다층시트기의 예이다.

6. 향후 전망 및 과제

앞서 언급된 바와 같이 공압출시트는 1970년대에 실용적으로 상업생산이 시작되어 1980년대에 개화기를 맞이하였다. 그리고 1990년대에는 공압출에 대한 생각을 실현하는 10년에 해당하며 보다 좋은 HARDWARE의 출현과 공압출용 재료의 개발로 2000년대까지 플라스틱 시장은 크게 변할 것이다.

실제 유럽 포장시장에서는 이미 공압출 FILM이 60% 이상의 시장점유율을 차지하고 있으며, 미국도 50%에 가까운 시장수요로 성장하고 있다. 따라서 앞으로 5~10년 사이에 공압출 제품은 시장 속에서 완전히 그 신소재로서의 자리매김을 확실히 할 뿐만 아니라 보다 속도가 붙어 시장점유율을 높여갈 것으로 예상된다.

그 가운데에서 가장 기대되는 것은 식품포장용 BARRIER 다층용기일 것이다.[6] 최근에 발표되는 많은 시장보고서가 이를 말해주고 있으며 실제 금속캔, 유리용기, 알루미늄 호일, 종이팩의 기존시장을 급속히 대체해 나가고 있다. 그러나 그 사용방법과 처리기술이 부족하면 반대로 지구환경에 악영향을 미치게 되므로 반드시 해결해야 할 과제인 것이다.

한편 식품포장 분야 외에도 최근 선진국에서는 전기전자, 자동차 및 건자재 등 산업용 분야에서도 공압출 다층시트가 금속, 목재 및 CERAMIC재를 대체하고 있는 등 크게 주목받고 있다.

어쨌든 플라스틱의 가공용이성, 편의성, 경량성 등 천연소재에 비해 많은 장점을 가지고 있기 때문에 이것을 자유롭게 결합한 공압출로의 용도개발 가능성은 무한하다고 해도 과언이 아니다.

이에 비해 국내는 말레이시아, 인도등의 저개발 국가에 비해 90년대 초에 이르러서나 이를 상업화한 후발국으로서 해결해야 할 과제가 산적해 있다. 뿐만 아니라 선진국은 이 분야를 차세대 포장재로 간주해 관련된 첨단기술의 이전을 기피하고 있어 기술 경쟁력 확보가 시급한 산업분야라고 생각한다. 이의 조속한 해결을 위해서는 무엇보다도 먼저 관련산업(원료업체, 가공업체, 기계 및 금형업체와 식품업체)간의 폭넓은 정보교류와 정부차원에서의 적극적인 지원이 필요하다고 본다.

〈참고문헌〉
1) 공압출가공을 이용한 품질추구에 대한 고찰, 70 (村上健吉, 1989)
2) SHERENK & ALFREY SPE Journal, 43 (7/1973)
3) 공압출가공의 소프트와 하드(村上健吉, 1989)
4) プラステックスエージ, 21, 〔9〕 (村上健吉, 1975)
5) W.J. SCHRENK, N.L. BRAD-LEY, T. ALFREY & MAACK, Polym. Eng. Sci., 18, 620 (1978)
6) 월간 플라스틱 코리아 VOL.31, No2, 170 (近藤 弘太郎, 1993)