

포장용기소재 PS의 특성 및 기술동향

김광윤/(주)미원유화 기술연구소 연구1팀 대리

목 차

1. 서론
2. 포장재질로서의 Polystyrene 특성
3. OPS
4. PSP
 - 4-1. Polystyrene paper sheet process
 - 4-2. Uses
5. HIPS
6. 향후 전망

1. 서론

식품 포장 용기(Food packaging)는 공기, 물, 냄새, 미생물, 빛, 병충 및 외부 충격에서 내부 식품을 보호해 주는 역할을 한다. 전통적으로 식품 포장 용기는 Steel, 알루미늄, 종이 등이 폭넓게 사용되어 왔다.

플라스틱의 경우는 1920~1930년 경에 식품 포장 용기로 사용되기 시작하여 1950년경부터 LDPE가 식품 포장 재질로 사용되기 시작한 이후 압출 sheet 및 film 가공 기술의 발달과 더불어 PP, Nylon, PS 등이 종이 및 타물질의 대체재로 급속히 성장하여 현재 식품용기에 합성 수지가 차지하는 비율은 알루미늄 호일, 종이 등과 대등할 정도로 양적인 성장을 이루었으며 앞으로 그 비율은 더욱더 증가할 추세이다.

이 글에서는 특히 일회용 용기의 사용증가의 추세에 따라 그 사용량이 날로 증가하고 있는 Polystyrene에 대해서 그 특성 및 가공방법, 시장동향 등을 다루고자 한다.

2. 포장재질로서의 Polystyrene 특성

폴리스티렌은 성형 가공특성이 우수하고 치수 안정성이 뛰어나며 가격이 저렴하기 때문에 여러 분야에서 널리 사용되고 있다.

폴리스티렌은 크게 투명성이 우수하고 강성이 뛰어난 GPPS와 GPPS에 고무를 도입하여 충격을 향상시킨 HIPS로 나누어 진다.

GPPS의 경우 유리와 같은 투명성을 지녔으므로 주로 투명성이 요구되는 분야의 포장재질로 사용중이며, HIPS는 충격 및 특히 내한 특성이 요구되는 식품분야의 포장재질에 단독으로 사용하거나 타수지와와의 multilayer 구조로 사용되고 있다. 특히 GPPS의 경우 이축연신을 통해 기계적 성질을 향상시킨 OPS(Orientation Polystyrene Sheet)와 압출가공중에 발포가스를 도입하여 저발포를 시킨 PSP (Polystyrene Paper Sheet) 형태로 사용중이다.

[표1]은 폴리스티렌이 식품 포장재질로 사용중인 예를 보여 주고 있다.

3. OPS(이축연신 Polystyrene)

투명성이 요구되는 식품포장 분야에서 많은 가공업자들은 OPS(

Oriented Polystyrene Sheet)를 사용하고 있다. GPPS는 뛰어난 강성 및 우수한 투명성을 지녔지만 낮은 신율 특성 때문에 sheet의 진공성형 및 trimming 과정에서 깨지거나 세심한 후가공이 어려우므로 이축 연신을 통해 신율을 부여한 OPS를 사용하고 있다. GPPS의 경우 신율이 5% 이하이나 연신 상태에 따라 OPS는 신율을 60%까지 향상시킬 수 있다.

상업적으로 사용되는 OPS는 0.13~0.76 mm 정도의 두께이며, 주로 tentering-frame process가 사용되고 있다.

Tentered OPS는 Polystyrene blown film과 구별되는데 tentering-frame process가 더 두꺼운 sheet를 생산하며 blown film(0.025~0.13 mm)은 보다 얇다. 후자는 주로 window envelopes, printed 분야에 사용되며, 전자는 식품 포장용 tray, lids, containers 등에 사용되고 있

[표1] 폴리스티렌의 식품 포장 재질 사용 현황

분류	용도	필요물성	PS종류
과 자	초콜릿	성형성	HIPS
	비스켓	성형성	HIPS
	쌀과자	방습성, 성형성	HIPS
	스낵	방습성, 성형성	HIPS
	냉과	내한성, 내충격성	HIPS
유 제 품	요구르트	성형성	HIPS
	아이스크림	내한성	HIPS
조리식품	도시락	내열성	PSP, HIPS/PSP, HIPS
냉동식품	편만두	내한성, 내열성, 기계적 특성	PSP, PS
식 유 지	버터, 마아가린	내유성, 기계적 특성	HIPS/PP
즉석식품	라면	내열성, 내유성	OPS/HIPS/PSP/HIPS/PSP, HIPS
	우동	내열성, 가스차단성	OPS/HIPS/PSP/HIPS/PSP
	튀김국수	내열성, 가스차단성	HIPS/PSP

[표2] Water Vapor Transmission Rates

Resin ^{a, b}	$\frac{\mu\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$	$\frac{\text{g}}{\text{h} \cdot \text{m}^2}$	$\frac{\text{g}}{100 \text{ in.}^2 \cdot \text{d}}$
PVDC	1~1.5	0.065~0.097	0.1~0.15
PP	2.5	0.16	0.25
HDPE	3~4	0.23	0.3~0.4
LDPE	10~15	0.81	1.0~1.5
polyester	10~13	0.8	1.0~1.3
rigid PVC	9~51	0.6~3.3	0.9~5.1
nitrile barrier resin	50	3.2	5.0
PS	70~100	4.5~6.5	7.0~10.0
EVOH	130	8.4	13.0
nylon	160~220	10.3~14.2	16~22

^a 25.4 μm (1mil) film at 37.8°C and 90% rh.

^b See listed abbreviations in 'Polymers for Coextruded Films' section.

[표3] Resistance of various Films to Chemicals

	Strong acids,	Strong alkalis,	Grease and oils,	Organic solvents,	High relative	Sunlight,	Temperature limits, °C.	
	ASTM D 543	ASTM D 543	ASTM D 722	ASTM D 543	humidity ASTM D 756	ASTM D 1435	ASTM D 759 High	Low
cellophane	P	P	E	^b	M	G	150	-18
cellulose acetate	F-P	P	E	P	G	E	65~93	-26
cellulose triacetate	F	P	E	F-P	G	E	149~205	-26
nylon-6	P	E	E	E	F-P	F-G	93~191	-73
polycarbonate	G	P	G	E-P	G	M	132	-96
HDPE	E	E	G-E	G	E	F-G	121	-45
LDPE	E	E	P	G	E	F-G	82~93	-57
ionomer	G	E	G-E	G	E	F-G	60~71	-78
PET	G	G	E	E	E	M-E	150	-59
polyimide	G	P	E	E	E	E	400	-267
polypropylene	E	E	G-E	G	E	F-G	107	-51
polystyrene	G	E	G	E-P	E	T	80~96	-50 to -70
polytetrafluoroethylene	E	E	E	E	E	E	260	-90
poly(vinyl alcohol)	P	P	E	E	P	E		
nonrigid PVC	G	G	G	G	E	G		-45
Saran	E	E-G	E-G	G-F	E	G	65~93	-18

^a Key : E, excellent ; G, good ; M, moderate ; F, fair ; P, poor.

^b Coating attached.

다.

OPS는 고내열, 고분자량 GPPS로 만들며, 식품 포장 용기용 grade는 낮은 잔류 모노머를 특징으로 하여야 한다. 이는 잔류모노머가 음식물에 맛이나 냄새에 영향을 끼치지 않게 하기 위해서이다. 그 외에 식품 포장 용으로 적절한 수준의 식품용기 안정성에 관한 기준은 [표4]와 같다.

Scrap은 sheet를 grounding하거나 repelleting하여 재사용할 수 있다.

OPS 가공기계를 살펴보면 일반적으로 two-stage vented extruder를 사용한다. 대부분의 OPS line은 200mm die extruder이며, 길이 대 직경(L/D)은 24~32 범위이다.

Screen exchanger가 압출기와 die 사이에 설치되어 있어 이물질 제거하여준다. 기어 펌프는 OPS Line에 설계하여 좀더 균일하게 폴리머를 die로 이송하며, gauge 조절도 좀더 용이하게 할 뿐만 아니라 전력 소비도 줄여 준다.

200mm OPS line은 주로 1.0~3.0m wide의 die를 사용하며, 이 die는 choker bar와 die gap 조절기를 지닌 다양한 구조를 지닌 coat-hanger 이다. 이때 die gap은 MDO(machine direction

orientation)와 TDO(transverse direction orientation)의 stretch 정도를 결정하는 함수이다.

Tenter frame process의 전형적인 모습은 [그림 1]과 같다.

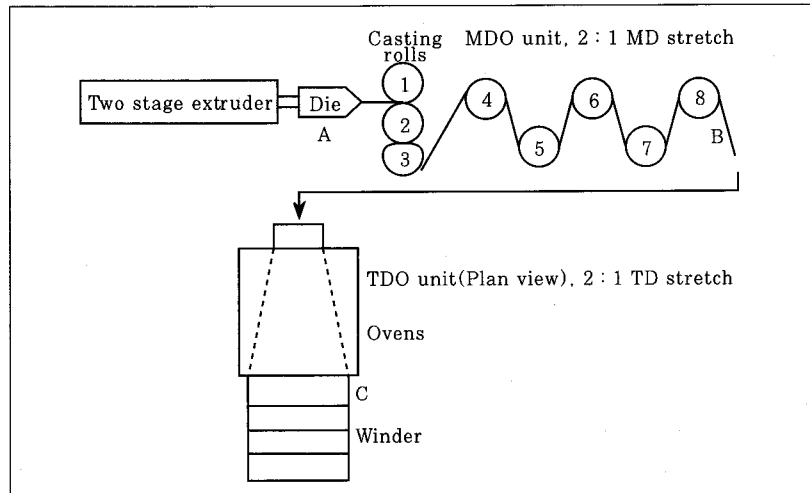
이 line은 die lip의 자동 조절이 가능하며, 이것은 die bolt의 heating에 의하여 이루어진다. 이 장치는 sheet-gauging 장치와 적절히 조화를 이루어 생산량을 조절하기도 한다. die로부터 압출된 sheet는 다음 단계인 three-roll stack으로 이송되며, 여기에서 sheet는 동일한 두께 및 온도를 유지하며 마지막 roll에서 MDO unit로 이송된다.

이 MDO unit는 연속적으로 이어

진 가열된 상태의 driven roll로 구성되며 각각의 roll은 점진적으로 빠르게 sheet를 이송하여 MD 방향으로 orientation을 부여한다.

Stretching은 sheet 온도를 95~120℃ 하에서 행하는 것이 적당하다. 만약에 온도가 너무 낮으면 sheet가 깨지기 쉬우며, 설비의 한계(limitation)에 도달한다. 온도가 너무 높을 경우에는 폴리머에 orientation이 적게 부여되므로 최종적인 sheet물성의 저하를 가져온다. MDO unit가 종결되면 sheet는 TDO unit로 이송되는데 TDO unit는 대형 oven이 갖추어져 있어 sheet는 균일하게 가열된 후 film clip에 의해 transeverse 방향으

[그림 1] A typical OPS(oriented polystyrene) line tenter frame process, with stretching in the machine (MD) and transverse(TD) directions. Rolls 1-8 are heated and driven. Sheet is heated above and below in the ovens.



[표4] 플라스틱 식품용기의 규격 기준(폴리스티렌)

구분		기준(ppm)	
일반규격	재질	납(Pb)	100
		카드뮴(Cd)	100
	용출	중금속	1
		과망간산칼륨	10
개별규격	재질	휘발성물질	5,000
	용출	물	30
		4% 아세트산	
		20% 알콜	150
		n-Heptane	

*보건사회부고시 제 91-24호

[표5] Typical Properties of Biaxially Oriented Polystyrene(OPS)

Property	Value
tensile strength. MPa*	62~83
tensile modulus. MPa*	3,100
tensile elongation. %	5~60
light transmission. %	92
specific gravity	1.05
material yield m ² N at 0.025mm	3.8*

*To convert MPa psi, multiply by 145.

*26,200 m² lb at 1 mil

로 stretch가 이루어진다. 이 clip는 chain-drive system에 연결되어 있다. 이렇게 MD방향과 TD방향으로 stretch가 행해진 sheet는 급냉을 시킴으로써 orientation을 유지시켜 준다.

일반적으로 각 방향으로의 stretch 정도에 따라 sheet의 물성이 결정된다. stretch 과정이 끝나면 sheet는 edge-trimming 과정으로 이동되어 불필요한 부위를 제거하는 끝마리 과정을 거친다. 때때로 sheet는 silicon oil 등으로 coating 하는데 향후 성형 가공중에 금형에서의 이형이 보다 손쉽게 하기 위해서이다. 이 끝마리 공정도 완료되면 sheet는 적당한 size로 감아 보관, 이송한다.

OPS는 우수한 굴곡특성과 뛰어난 투명성을 지녔을 뿐만 아니라 냄새의 전달 및 맛의 변질이 적기 때문에 식품 포장용 용기에 사용하기 적당하다. [표 5]는 대표적인 OPS의 품질 특성을 보여 주고 있다.

4. PSP(압출 발포 폴리스티렌 페이퍼)

고형상의 고분자 (Solid Polymer) 형태로 Polystyrene은 세포상 구조 (Cellular Structure)의 Foam 제품에 적용하여 건축물의 단열재, 1회용 식품의 포장재 및 산업계에서 구조물의 절연체로 널리 사용되고 있다.

특히 Polystyrene은 가격이 저렴하면서 물에 대한 저항 특성이 우수하고 낮은 수분 침투율과 기계적 특성의 조화가 돋보이는 성형가공성이 뛰어난 수지이므로 Foaming 제품에 적합한 원료이다.

4-1. Polystyrene Paper Sheet Process

PSP(압출 발포 Sheet)는 일반적으로 밀도가 0.032~0.16 g/cm³, 두께 0.13~6.4 mm 범위에 걸친 Closed Cell 형태이다. 압출 발포 Sheet는 다양한 압출 공법으로 (Single screw, Twin screw) 제조 가능하며 현재 가장 널리 사용되고 있는 Process는 [그림2]와 같은 Tandem Extrusion Process 이다.

이 Process는 연속적으로 연결된 두 개의 압출기를 이용하는 것으로서 첫번째 압출기는 PS의 Melting과 여기에 발포제(Blowing Agent)와의 혼련(Mixing)을 수행하며, 이어서 두번째 압출기로 원료가 이송되어 완전한 Melting과 Mixing이 이루어진 상태에서 Cooling Zone을 걸쳐 Die로 발포 제품이 나오게 된다.

발포제는 고압의 Piston/diaphragm pump를 이용하여 정확한 양이 Primary extruder의 정량부위 (Metering zone)로 주입된다. 최근에는 발포제, 안료, 핵제(Nucleating

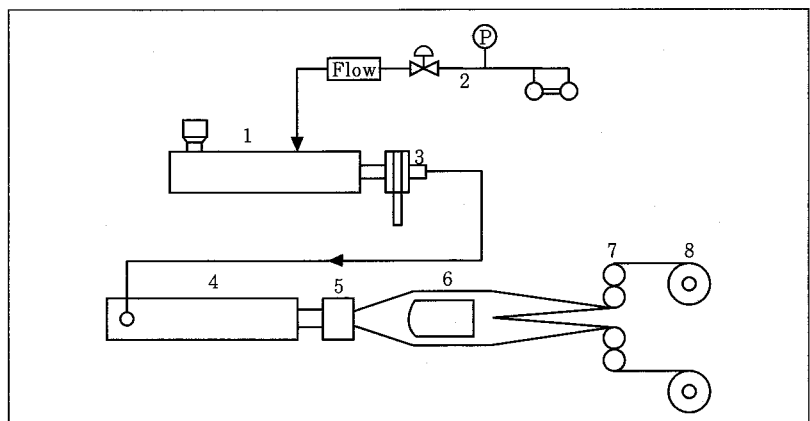
agent) 등이 함유된 master batch 형태가 원료와 함께 직접 투입되는 경우도 있다. 발포제는 용융된 고분자(polymer melt) 안으로 완전히 혼합되어 두번째 압출기로 운반되어진다. 이때 screen changer가 두 압출기 사이에 있는 접속파이프 안에 설치되어 die에 축적될 수 있는 이물질들을 제거하여 준다. Cooling unit type은 2nd 압출기에 의해 크게 좌우되며 2nd 압출기는 Foaming에 적절한 온도와 용융점도가 계속적으로 유지되게끔 line 속도가 최적의 조건이 되도록 운전되어야 한다.

실질적으로 2nd 압출기의 속도는 polymer의 전단열 발생이 최소화될 수 있도록 저속이 유지되도록 (10~30rpm) 하는 것이 필요하다.

2nd 압출기의 die는 annular die (고리 환상 die)가 이용되며, die 직경은 76mm~254mm이다. die gap은 0.25~0.76mm가 일반적이다. cell의 형성은 die 근방에서 발생되며, die lip에서 갑작스러운 압력 강하에 의한 발포제의 팽창에 기인한다.

foaming sheet는 foam mandrel

[그림 2] A tandem extrusion process for the manufacture of polystyrene foam sheet. (1) Primary extruder (2) blowing agent addition system (3) screen changer (4) secondary extruder (5) annular die (6) cooling mandrel (7) S-wrap (8) winders



로 이송되며 mandrel 직경과 die 직경과는 매우 밀접한 관련이 있다.

이 비(ratio)가 곧 sheet의 팽창률로 일반적으로 2.5 : 1~5.5 : 1이 보편화된 비율이다. 또한 foaming mandrel은 전체적인 tube원주와 sheet의 이축연신을 부여해준다.

Tube는 mandrel 끝에서 cutter에 의해 위·아래로 이등분되며 각각 이등분된 sheet가 s-wrap에 의해서 잡아 당겨지면서 winder에 의해 최종적으로 roll 형태로 감긴다.

일반적인 압출조건은 [표6]과 같다.

이렇게 제작된 PS Foam sheet roll은 저장장소에서 일정 기간동안 숙성과정을 거친다. 숙성 기간 동안 발포제는 공기의 확산보다 더 느리게 cell 밖으로 확산되며 이것은 결국 cell 압력을 증가시키게 된다. 이렇게 2~5일이 지나면 열성형(Thermoforming)을 하기전 과정인 reheating과정에서 일어나는 sheet의 후팽창(postexpansion)이 우수하게 일어날 수 있게 blowing agent와 air의 적당한 농도가 이루어진다.

열성형과정에서 Sheet가 가열될 때 cell 내에 존재하는 gas의 압력증가로 인해 팽창이 이루어진다. 이 팽창은 거의 100%에 이르며 이것은 Forming과정에서 고려되어야 할 mold(금형)치수 및 sheet의 초기용적(범위, 한도) 명세서의 기초가 된다.

성형이 끝난후 sheet는 최종 마무리단계인 trim press로 이송되어지며, 이때 전체 10~50%가 성형품의 골격으로 존재하여 재가공에 사용되어지며 이를 위해서 trim press에서 잘게 부수어진다.

(표6) Polystyrene Foam Sheet Tandem Extrusion Conditions Using Dichlorodifluoromethane

Condition	Value
dichlorodifluoromethane, wt %	5.6
talca, wt %	0.5
regrind, wt %	30
primary extruder ^a pressure, MPa ^b	24
primary extruder ^a melt temperature, °C	220
die pressure, °C MPa ^b	11
die melt temperature ^c , °C	149
die gap, mm	0.45
output, kg/h	360

^a 115-mm single screw at 120 rpm.

^b To convert MPa to psi, multiply by 145

^c From secondary extruder (150-mm single screw at 15 rpm)

4-2. Uses

Polystyrene foam sheet는 1960년 중반에 소개된 이래로 괄목할만한 성장세를 보여왔다. 현재 PS foam sheet가 널리 사용되는 분야는 일회용 thermoformed packaging용으로 계란판지, Fast food container, 사발, 제품상자 등이다.

일회용 packaging 분야에서 PS foam sheet의 유리한 점은 원재료의 사용량을 줄일 수 있고 성형품의 높은 굴곡 탄성률과 낮은 수분 흡수율, 저렴한 가격 등을 들 수 있다. 이러한 특성은 packaging 분야에서 PS foam이 다른 소재와 비교해서 특수한 시장 특성을 지니게 한다.

5. HIPS

내 충격성 폴리스티렌은 High impact polystyrene의 머릿글자를 취해서 통상 HIPS라 약칭한다.

HIPS는 GPPS의 커다란 결점의 하나인 내충격성을 개선하기 위해서 고무를 보강한 제품으로서 충격 보강제인 고무의 함량 및 matrix PS에 분포되는 size 및 형태, 분산성에 의

해 기계적 특성이 변한다. HIPS는 주로 내한 특성이 요구되는 식품 포장용기에 널리 사용되고 있으며 아이스크림 용기가 그 대표적인 예라 할 수 있다.

현재 연구 개발 동향은 HIPS의 취약점인 내유성을 향상시킨 GRADE의 개발이며 이는 마아가린유 등의 지방유에 견딜 수 있는 HIPS를 개발하여 이 분야에 식품 포장 재질로 사용하고자 하는데 목적이 있다. 이 grade의 경우 기존 HIPS의 고무입자 type 및 size를 조절함으로써 내유성을 향상시키는데 연구의 초점을 맞추고 있다.

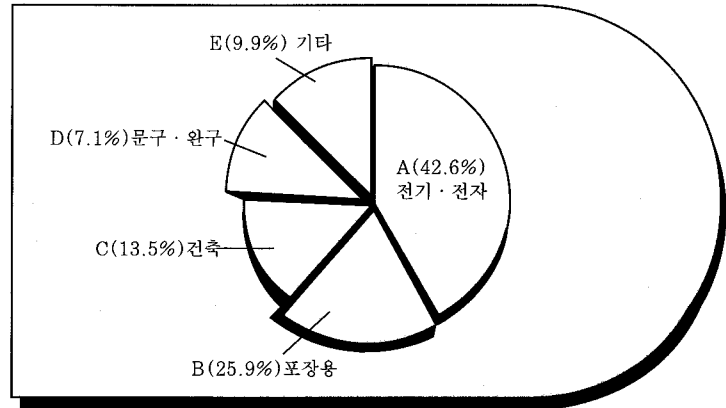
HIPS SHEET는 단층으로 하여 포장재의 재질로 사용되는 경우도 있으나 많은 경우 타수지와 multi-layer sheet의 형태로 광범위하게 사용되고 있으며, 그 사용처에 따라 수지의 종류는 변화하며 주로 HIPS는 외벽의 층에 사용되고 있다.

성형 가공 방법은 진공성형을 통해 mold 형상으로 제품을 생산하며, 이때 HIPS의 중요특성으로는 melt strength 특성이 우수하여야 한다. 이때 너무 melt strength가 높으면 최종 가공 제품의 강도가 저하되어

중량이 큰 제품의 포장에 문제가 발생할 수 있으며, 너무 melt strength가 낮으면 진공성형시 mold에 완벽하게 밀착이 되기 어려울 뿐만 아니라 성형품이 깨지기 쉬운 경향이 있다.

각 PS 메이커는 이러한 특성에 적합한 sheet 전용 grade를 보유하고 있으므로 가공업체에서는 거기에 알맞는 제품을 선택 사용하면 된다.

(그림 7) 폴리스티렌의 용도별 판매현황(94년)



6. 향후 전망

폴리스티렌의 식품 포장재 분야에서의 시장 성장성은 짧은 기간동안은 매우 밝은편이나 장기간의 관점으로 보면 시장전망을 판단하기가 매우 어려운 상황이다.

그 이유는 PSP 등의 경우 환경 문제의 영향 때문에 포장재질로의 사용에 대해 각종 규제가 뒤따를 전망이다기 때문이다. 그러나 원료 maker 및 성형가공업체들이 폐플라스틱의 회수 리사이클 문제에 대해 관계기관과 협력하여 적극적으로 해결점을 모색

하고 있기 때문에 좋은 결실이 있을 것으로 판단된다.

반면에 폴리스티렌의 식품 포장재질로서의 시장성이 밝은 이유로는 국내의 지속적인 경제성장으로 일회용품, 패스트 푸드 제품에 대한 수요가 크게 늘고 있고, CVS점 수요의 증대, 염화 비닐의 대체수요도 꾸준히 늘고 있기 때문이다.

향후 폴리스티렌 뿐만 아니라 플라스틱의 식품 포장 재질 시장의 안정적이고 지속적인 성장을 위해서는 플라스틱이 타 물질과 비교하여 환경오

염에 막대한 영향을 미치고 있다는 국민들의 잘못된 인식을 대국민 홍보를 통하여 바꾸는 것이 선결과제라 하겠다.

실질적으로 플라스틱이 종이 및 금속, 비금속 제품보다 더 환경오염에 미치는 영향이 적다는 사실은 이미 학문적으로, 통계적 수치로 입증된 사실이므로 수지업계 및 가공업체에서는 서로 협력하여 플라스틱의 유용성을 계속적으로 홍보하여야 할 것으로 생각되며, 또한 보다 더 연구 개발에 힘써 환경 오염에 영향을 미치지 않는 신소재를 개발하는데 주력하여야 할 것이다.



식품포장재질로서 PS는 일회용품과 패스트푸드 제품에 대한 수요 증가, CVS점 수요 증대, 염화비닐의 대체 수요 증가 등으로 시장전망이 비교적 밝다.