

폴리카보네이트 수지의 특성 및 용도

이 호 일 · 이 종 신

1. 서 론

폴리카보네이트 수지는 19세기 후반에 최초로 소개 되었으나¹ 실용화 단계에는 이르지 못하였으며, 1959년 서독의 BAYER사와 1960년 미국의 G.E사가 거의 동시에 상업화에 성공하게 되었다. 기업화 된지 30년 이상이되면서 나일론, 폴리아세탈과 더불어 공업부품에서 잡화에 이르기까지 넓게 사용되고 있다. 최근에는 PC의 투명성을 살린 분야에서 glass fiber, carbon fiber, 금속등의 섬유에 의한 복합강화, 타수지와외의 조합에 의한 블렌드, 표면 처리기술 등을 통해 구조재로써 좋은 특성을 갖고 금속에 필적하는 특성을 갖는 새로운 기능부여의 관점에서 재료가 개발되고 있다. '92년도 세계 총생산량은 약 80만톤에 달하며, 주요 생산국별 비율은 미국 42%, 유럽 37%, 일본 19% 기타 2% 등으로 되어있다. 폴리카보네이트 수지의 대표적인 생산업체는 미국의 G. E. Plastics, MOBAY, DOW CHEMICAL 유럽에서는 BAYER, ENICHEM 일본에서는 三菱化成, 三菱瓦斯化學, 出光石油化學, 帝人化成 등이 있고, 한국에서는 삼양화성이 유일하게 생산하고 있다. 폴리카보네이트 수지는 polyhydroxy 화합물과 탄산 유도체(carbonate ester)를 반응시켜 얻어지며 고분자의 주쇄에 carbonate 연결기를 갖고있다. 현재 상업적으로 우수한 물성의 폴리카보네이트 수지는 비스페놀A(4,4-dihydroxy-2,2'-diphenyl propane)를 기본으로하여 계면 중축합법에 의하여 제조되고 있다.

2. 제조법

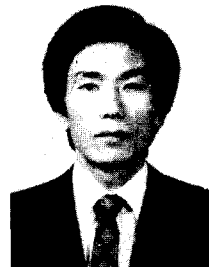
폴리카보네이트 수지의 제조방법은 계면중축합법(Interfacial polycondensation)과 용융중축합법(Melt transesterification)으로 대별되며 그 각각의 방법은 다음과 같다.

2.1 계면 중축합법(Interfacial polycondensation)

Bisphenol A를 유기용매(즉 methylene chloride, 1,2-dichloroethan, chlorobenzene 등)의 존재하에서 sodium salts가 용해된 알칼리 수용액에 첨가한 후 carbonyl dichloride를 반응시켜 oligocarbonate를 형성한다. 이때에 bisphenol A를 oligocarbonate로 최대한 전환시킬 필요가 있으며 동시에 일어나는 carbonyl dichloride의 가수분해를 최대한 억제하여야 한다. 다음 단계에서 oligocarbonate의 말단에 있는 chlorocarbonate group의 가수분해 반응을 최대한 억제시키고 carbonate 형성반응을 촉진시켜야 된다. 여기에서 3차아민 등의² 촉매를 사용하여 중합을 시키고 분자량을 조절하기 위하여 분자량 조절제를 사용하는데³ 주로 3차부틸페놀이 효과적이다. 폴리카보네이트의 계면중축합법은⁴ 다음 식과 같다.



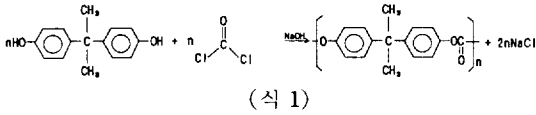
이호일
1984 고려대학교 화학과(학사)
1987 고려대학교 화학과(석사)
1990~ (주)삼양사 중앙연구소
현재 주임연구원



이종신
1977 연세대 화학과(학사)
1984 전북대 화학과(석사)
1992 전북대 화학과(박사)
1992~ (주)삼양사 중앙연구소
현재 선임연구원

Properties and Applications of Polycarbonate

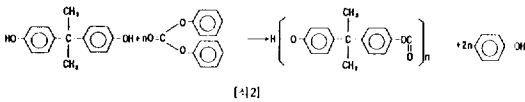
(주)삼양사 중앙연구소(Hyo Il Lee and Jong Shin Lee, Chemical Research Dept. Sam Yang R&D Center, 63-2, Hwaam-Dong, Yusung-Gu, Taejeon, Korea)



이 공정에서의 주요한 공정 변수는 유기용매, 반응혼합물의 농도, 반응혼합물의 몰비, 혼합교반속도, 반응온도등이라 할 수 있다. 반응이 진행되면 폴리머 사슬은 유기 용제상에 용해되어 있으므로 반응 종료 후 반응액을 산으로 중화시켜 여분의 알칼리를 제거하고 물로 세정하여 부산물인 salts를 제거한 후에 용제를 제거하여 폴리머를 얻는 공정이다.

2.2 용융 에스테르 교환법(Melt transesterification)

먼저 페놀을 수용성 알칼리용액에서 carbonyl dichloride와 반응시켜 diphenylcarbonate를 합성한 후 이것을 bisphenol A와 용융시킨 후 적당량의 금속촉매(bisphenol A 기준하여 1ppm~0.5%)와 chain terminator를 함께 반응기에서 반응시킨다. 반응은 290°C의 높은 온도와 1.0 mmHg 진공 상태까지 점진적으로 온도와 압력을 조절하면서 반응진행 및 반응부산물 제거에 적당한 조건으로 반응시킨다. 일반적으로 diphenyl carbonate는 bisphenol A에 비하여 약간 과량으로 사용되는데 그 이유는 감압하에서 반응이 진행되는 동안, 반응기로 부터 제거되는 미반응 diphenyl carbonate의 손실량을 반응기에 보충하고 또한 최종 폴리머의 말단기가 주로 phenylcarbonate 말단기로 이루어지도록 반응을 조절하여 열적으로 안정된 폴리머를 제조하기 위한 것이다. 형성된 oligocarbonate는 용융상태 하에서 특수한 형태의 반응기로 옮겨져 더욱 높은 온도와 진공하에서 반응을 진행하여 분자량을 증가시킨다. 용융 에스테르교환법⁵에 의한 제조공정은 다음 식2와 같다.



이 반응은 유기용제를 사용하지 않으므로 용제 회수상치가 불필요하며 중합한 후 반응기 노즐에서 직접 펠렛화가 가능하다. 그러나 이공정은 고분자량의 폴리카보네이트 제조가 어려우며, 높은 온도에서 반응이 진행되므로 황변현상이 일어난다⁶ 단점이 있다.

3. 폴리카보네이트 수지의 물성

3.1 기본특성

3.1.1 분자량(점도 평균)과 강도

폴리카보네이트 수지의 분자량과 기계적강도의 관계를 그림 1에 나타내었다. 폴리카보네이트는 분자운동이 어려

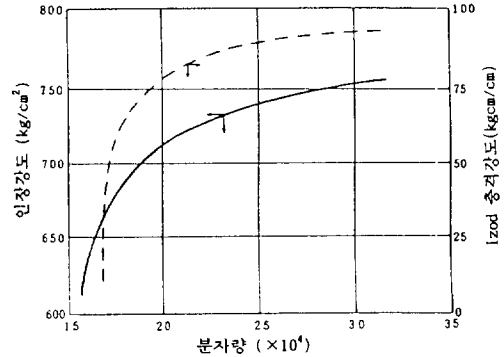


그림 1. PC분자량에 따른 기계적 성질.

운 phenylpropane group과 분자운동이 용이한 carbonyl group으로 형성되어 있어 분자사슬의 강성, 긴 구조단위, 회전운동의 어려움 등의 분자구조상의 특징을 갖으며, 실용화되기 위해서는 분자량이 적어도 20,000(점도 분자량) 이상이 되어야 한다.

3.1.2 분자량 분포

플라스틱의 분자량 분포는 성형가공성, 성형품의 치수안정성 및 잔류변형에 커다란 영향을 준다.

일반적으로 분자량분포가 적은 플라스틱은 성형가공시에 유동성이 좋지 않지만 성형 후 치수안정성이 좋고 잔류변형도 적다. 폴리카보네이트의 분자량 분포는 용융중합법과 계면중합법에 의해서 달라지며, 동일 중합방법에서도 축합조건이 다르면 분자량 분포가 변한다. 분자량 분포가 사출성형조건 및 성형수축률에 미치는 영향을 다음의 표 1에 나타내었다.

사출 성형시에 실린더온도, 금형온도, 사출압력등의 최적조건은 폴리카보네이트 수지의 분자량과 분자량 분포에 따라 다르게 되며 분자량 분포가 협소 할수록 최소 충전압력은 약간 높게 되지만 성형 수축률의 이방성이 작게되어 치수안정성이 좋은 성형품을 얻을 수 있다.

3.1.3 비 중

열가소성 수지는 결정성 수지와 비결정성 수지로 크게 나누어지고 결정성수지의 비중은 결정화도에 의해서 변화한다. 폴리카보네이트 수지의 완전결정품의 비중은 1.3 정도이며 glass fiber를 30% 정도 보강하면 1.4 정도이나 통상 성형품의 결정화도는 10% 정도인 비결정성 수지로 간주 된다. 대표적인 플라스틱의 비중은 다음 표 2와 같다.

3.1.4 용융특성

폴리카보네이트 수지의 용융특성은 압출성형시에 압출기의 screw설계 및 die설계, 사출성형시의 금형설계와 성형조건 등의 기초 data로서 중요하다. 그림 2에서는 분자량에 따른 용융점도와 전단응력과의 관계를 나타내었다. 분자량이 높을수록 용융점도가 높으며, 전단응력이 커짐에 따라

표 1. 분자량, 분자량분포와 성형조건, 성형수축률과의 관계

Grade	점도평균 분자량 (\bar{M}_v)	Mw/Mn	유동량 ($\times 10^{-2}$ cc/sec)	사 출 성 형			
				최소충진 압력(kg/cm ²)	수 축 륜 (%)		
					수직방향	수평방향	이 방 성
3022A	21,400	2.34	7.6	560	0.60	0.62	0.02
3025A	23,000	2.41	5.2	680	0.64	0.67	0.03
3030A	29,500	2.41	1.7	1020	0.71	0.76	0.05
용융법	23,200	2.66	5.6	640	0.65	0.70	0.05

* 성형조건 : 성형온도 300℃, 압형온도 90℃
 성형품형상 : 80 mm×80 mm×두께 3 mm

표 2. 비중(측정방법 : ASTM D792)

수 지 명	비 중
폴리카보네이트	1.20
나일론 6	1.13
PBT	1.31
HDPE	0.96
PP	0.90
POM	1.42
변성PPO	1.06
PMMA	1.18

용융점도가 감소함을 알 수 있다. 전단속도, 전단응력, 및 용융점도는 다음식에 의하여 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{전단속도}(\dot{\gamma}) &= 4Q/\pi r^2 \\ \text{전단응력}(\tau) &= Pgr/2l \\ \text{용융점도}(\eta) &= \tau/\dot{\gamma} \end{aligned}$$

τ : 전단응력(dyne/cm²), $\dot{\gamma}$: 전단속도(sec⁻¹), η : 용융점도(poise), P : die의 압력손실(g/cm²), Q : 토출량(cm³/sec), g : 중력계수(cm/sec²), r : die 반경, l : die 길이

그리고 전단응력(dyne/cm²)에 따른 전단속도(sec⁻¹)의 관계를 보면 여러 온도(250~350℃)에서 유동곡선의 기울기는 약 1.2인 비교적 Newtonian 유체에 근접한 특성을 갖고 있다. 그리고 용융온도의 증가에 따라 용융점도가 떨어져서 흐름성이 증가하므로 폴리카보네이트 수지를 성형할 시에는 압력 보다도 온도 조절이 중요한 변수이다.

3.2 기계적 특성

3.2.1 기계적 강도

폴리카보네이트 수지는 저온에서 고온까지의 넓은 온도 범위(-100~120℃)에서 안정한 특성을 갖고 있다. 인장 강도에 관해서 대표적인 strain-stress 곡선을 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보면 폴리카보네이트 수지는 cold-drawing 영역이 길고 흡수율이 큰 수치임을 알 수 있다. 그리고 넓은 온도 범위(-25~100℃)에서 인장강도와 신율의 온도의존성을 보면 인장강도의 온도의존성은 작지만 신율은 저하됨을 알 수 있다.

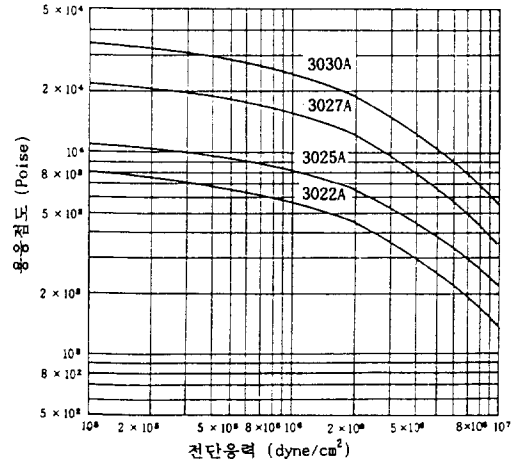


그림 2. 폴리카보네이트 수지의 종류별 전단응력에 따른 용융점도 (측정조건 : 온도 280℃, 노즐 1mmφ×10 mmL).

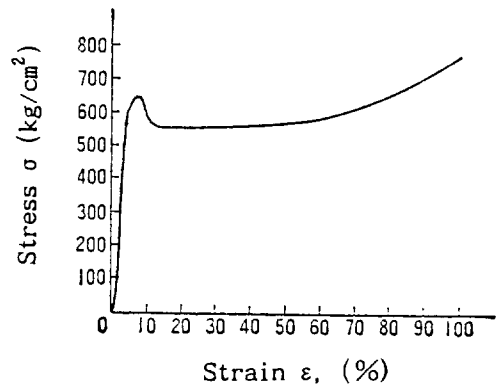


그림 3. 표준 폴리카보네이트 수지의 strain-stress 곡선(23℃).

3.2.2 충격강도

폴리카보네이트 수지의 최대 특징은 충격강도가 높다는 것이다. 일반적으로 충격파괴는 취성파괴가 보통이지만 폴리카보네이트의 경우 형상(두께, notch 형태, notch 깊이), 측정온도, 7 성형 조건에 의해 연성파괴와 취성파괴 두 성질을 동시에 가지고 있다. 취성파괴에서 연성파괴로 전이하는 임계 두께는 일반적으로 3.5~4.1 mm 정도이고,

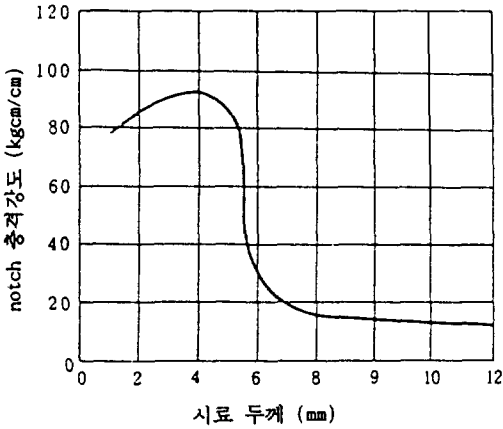


그림 4. 충격강도의 두께의존 곡선.

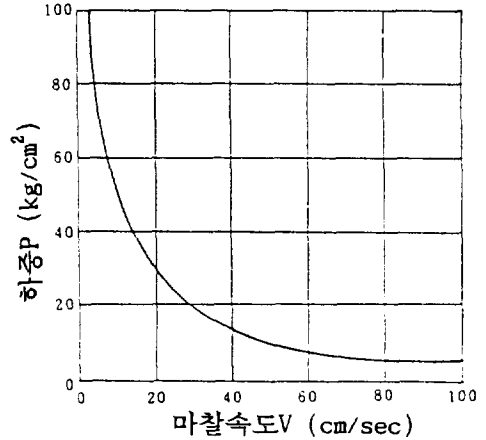


그림 6. 폴리카보네이트 수지의 PV곡선.

취성파괴에서도 그 값이 다른 수지와 비교하여도 높다.⁸

3.2.3 동력학적 특징

폴리카보네이트 수지는 동력학적 실험에 의한 변형거동과 폴리머 분자운동에 의하여 storage modulus(G')는 넓은 온도 범위에서 온도의 의존성이 적고 loss modulus(G'')는 150°C 부근에서 최고점을 나타내고 있으며 Tg(유리전이 온도)를 알 수 있다.⁹ PBT(20~25°C), Nylon6(30~49°C) 등의 다른 열가소성 수지와 비교하여 분자 segments가 hindered되어 있고 bulky한 분자 구조를 갖고 있어 상대적으로 높은 Tg점을 나타낸다.

3.2.4 내마모성, 마찰계수

폴리카보네이트 수지는 Taber 시험 결과에 의하면 내마모성은 13 mg/1000 cycle을 갖아 폴리 아세탈의 14 mg/1000 cycle과 비슷하지만 자기윤활성이 없어 마찰 특성으로 중요한 PV값은(P: 하중, V: 마찰속도)은 그림 6에서 나타난 것처럼 600 kg/cm²·cm/sec 정도이다. 따라서 섭동 부품으로 사용할 경우에는 내마찰마모 grade를 사용하여야 한다. creep 특성은 상당히 좋아서 높은 응력하에서 장시간 사용하여도 변형이 크지 않으나 실제 적용시에는 주의하지

않으면 crack 등의 문제가 발생할 수 있다.

3.3 열적 특징

폴리카보네이트 수지의 열변형온도는 18.6 kg/cm²의 하중에서 140°C 정도로 PA(66~77°C), PS(80~112°C)보다 상당히 높다. 그리고 용융점(Tm)은 240°C 정도로 사출성형 및 압출성형시에 최저 온도가 240°C는 되어야 한다. 그리고 열전도율은 5.3 cal/sec/cm²/°C/cm로 PA(2.4~3.3), PS(2.4~3.3) 등 다른 수지와 큰 차이가 없다. 또한 열팽창률은 결정화도와 분자배향에 따라 다르지만 금속과 비교하여 4~5배 커서 고온에서 금속재료와 조합해서 사용할 경우 설계상 주의를 요한다.

3.4 광학적 특성

폴리카보네이트 수지는 높은 방향족성질 때문에 굴절률이 1.584로 높으며, 분광투과율은 파장 300μm 이상의 Visible 영역에서 빛 투과율이 89%나 되지만 300μm 이하의 UV 영역에서의 자외선 투과율은 두께가 1mm 이상이 되면 표면은 열화되지만 내부는 영향을 받지 않는다. 폴리카보네이트 수지의 내후성은 타수지에 비하여 좋으나 UV 빛을 흡수하면 황변현상과 충격강도가 감소되므로 UV 안정제를 사용하여야 한다.¹⁰ 그림 7은 파장에 따른 분광 투과율을 나타내었다.

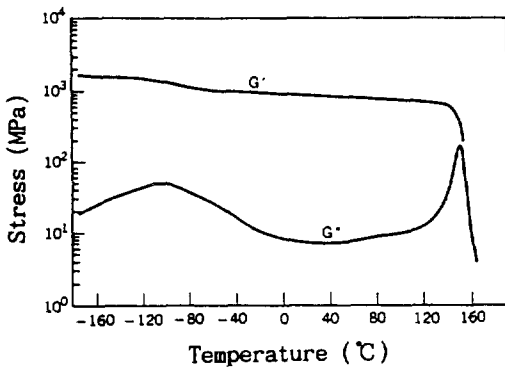


그림 5. 폴리카보네이트 수지의 온도에 따른 storage(G') & loss moduli(G'').

4. 성형 가공 특성

폴리카보네이트 수지는 다른 열가소성 수지와 같이 사출, 압출, 블로우 성형이 가능하지만 주된 성형가공 방법은 사출성형이다. 가공시에 용융점도가 높아서 높은 성형온도, 압력을 낼 수 있는 고성능 성형기의 사용이 주된 경향이다. 또한 재료면에서도 수지의 고유동화에 의하여 스프루터너가 늘어도 성형이 가능하며, 사출성형시의 냉각시간

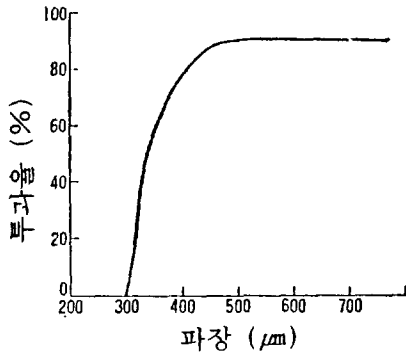


그림 7. 폴리카보네이트 수지의 분광 투과율.

은 성형품두께에 의존하는 것이 아니라 스프루와 런너가 만나는 point에서의 냉각 고화시간이 절대적인 영향을 미치므로 냉각 시간의 단축에 의한 생산성 향상도 기대된다.

그리고 금형설계에 대한 기술혁신도 고품위 성형의 중요한 역할을 수행하여 왔다. 금형 캐비티 내부의 공기저항에 의한 유동불량은 가스 빼기설계에 의하여 대부분이 해결 가능하다. 폴리카보네이트 수지는 성형시에 용융점도가 높아서 금형온도의 조절이 매우 중요한 조건이며 최근의 물을 가압하는 방식에 의한 금형온도 조절 설비는 120℃ 전후의 온도로 관리하는 것도 용이하게 되었다. 또한 성형시 문제가 되는 잔류 변형¹²은 재료의 유동성 개선, 금형온도 관리, 성형조건 개선¹³ 등으로 해결이 가능하게 되었다. 성형제품의 형상에서 문제가 되는 잔류 변형은 제품 설계를 개선함으로써 최소화 할 수 있다. 사출성형기는 스크류식이 적합하며, 금형게이트는 원형의 큰 게이트가 좋고 길이는 짧은 것이 좋다. 성형온도는 원재료의 분자량에 따라 약간씩 다르지만 가공온도는 270~320℃, 압력은 10,000~20,000 Psi 정도가 좋다. 320℃ 이상 올리는 것은 실린더 안에서 체류에 의한 열분해 발생 원인이 되어 좋지 않다.

표 3. TRIREX(삼양화성)의 일반적 물성¹¹

항 목	측정방법	단 위	3022A	3025A	3027A	3030A
기계적성질	ASTM					
인장강도	D638	kg/cm ²				
항복			630	630	630	630
파단			710	720	740	750
인장탄성률	D638	kg/cm ²	22,000	22,000	22,000	22,000
굴곡강도	D790	kg/cm ²	920	920	930	920
굴곡탄성률	D790	kg/cm ²	24,000	24,000	24,000	24,000
압축강도	D695	kg/cm ²	780	780	780	780
Izod충격강도(notched)	D256	kg · cm/cm	80	90	90	90
Rockell경도	D785	M scale	M80	M80	M80	M80
열적성질						
열변형온도	D648	℃				
4.6 kg/cm ²			145	146	147	148
18.6 kg/cm ²			134	135	136	138
선팽창계수	D696	cm/cm/℃	5.6×10 ⁻⁵	5.6×10 ⁻⁵	5.6×10 ⁻⁵	5.6×10 ⁻⁵
열전도율	C177	cal/sec/cm ² /℃/cm	5.3×10 ⁻⁴	5.3×10 ⁻⁴	5.3×10 ⁻⁴	5.3×10 ⁻⁴
성형수축률	D955	%	0.6	0.6	0.6	0.6
광학적 성질						
굴절률	D542	%	1.585	1.585	1.585	1.585
광전투과율	D1003(3mm)		91	91	91	91
전기적 성질						
절연파괴전압	D149(3mm)	KV/mm	16	16	16	16
체적고유저항	D257	Ω · cm	4×10 ¹⁶	4×10 ¹⁶	4×10 ¹⁶	4×10 ¹⁶
유전율	D150	-				
60 Hz			2.91	2.91	2.91	2.91
10 ³ Hz			2.90	2.90	2.90	2.90
10 ⁶ Hz			2.85	2.85	2.85	2.85
유전손실	D150	-				
60 Hz			0.00066	0.00066	0.00066	0.00066
10 ³ Hz			0.0011	0.0011	0.0011	0.0011
10 ⁶ Hz			0.0092	0.0092	0.0092	0.0092
내아크성	D495	sec	120	120	120	120
연소성	UL-94	-	94V-2	94V-2	94V-2	94V-2

4.1 유동특성

사출성형에 있어서 유동특성은 재료의 분자량, 성형품의 두께, gate의 크기, 및 성형조건에 크게 영향을 받는다. 사출용 폴리카보네이트의 분자량을 보면 22,000~30,000 정도 이상이지만 유동성에는 큰 차이가 없다. 성형조건 중에서 유동성에 크게 영향을 주는것은 수지온도와 사출압력이다.⁷ 사출압력이 1,250 Kg/cm²인 경우의 유동거리 L₀, 여러 사출압력에 의한 유동거리를 L로 할때 그의 비 L/L₀와 사출압력의 관계는 성형품의 두께 또는 재료의 분자량에 관계없이 직선을 나타낸다. 그 관계를 그림 8에 나타내었다. 그림에서 보면 유동거리에 사출압력이 미치는 영향이 대단히 큼을 알 수 있다. 즉 사출압력이 750 Kg/cm²에서 1,250 Kg/cm²이 되면 유동거리가 거의 두배가 된다. 또 수지온도가 300°C인 경우에도 L/L₀은 수지온도와 관계는 마찬가지로 직선 관계를 나타내며 수지온도에 따른 유동거리가 크게 영향을 받는다. 예를 들어 수지온도가 20°C 변하면 유동거리가 30%가 변한다. 유동거리는 사출속도의 증가와 더불어 최초에는 급격히 증가하지만 어떤 속도 이상이 되면 그 영향은 별로 없으며 급형온도의 영향은 거의 없다. 그러나 유동성을 개선하기 위해서는 사출 압력을 바꾸는 것이 저렴하지만 사출압력이 크면 성형품의 잔류변형에 의한 crack이 발생하므로 수지온도를 바꾸는것이 유동성 개량 효과가 크다.

4.2 열안정성

폴리카보네이트 수지의 가공공정에서 불성저하의 주된 원인은 실린더 온도의 과열에 따른 열분해와 재료의 예비 건조 부족에 의한 가수분해이다. 폴리카보네이트 수지는 열안정성이 우수한 수지로 널리 알려져 있으며 건조된 폴리카보네이트 수지는 310°C에서도 안정하며 330°C까지는 열분해를 거의 일으키지 않지만⁴ 이 온도 이상에서 분해가 시작되어 400°C가 넘어서면 휘발성물질의 loss와 빠른 크랙이 발생한다.¹⁴ 그림 9에는 온도별 시간에 따른 분자량 저하율을 나타내었는데 성형온도와 체류시간은 건조가 충

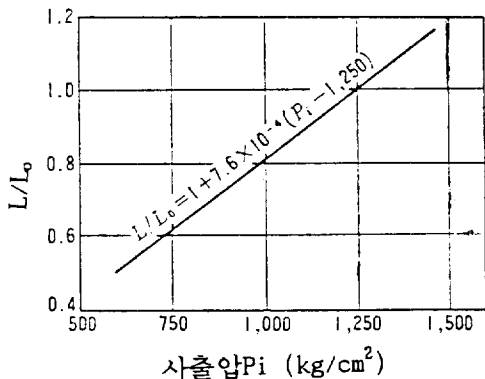


그림 8. 폴리카보네이트 사출압력에 따른 유동거리.

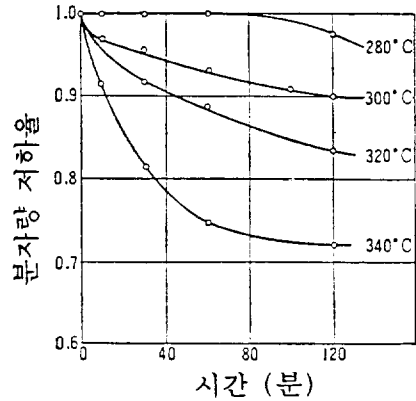


그림 9. 가공온도별 체류시간에 따른 분자량 저하.

분히 되면 보통의 가공 Cycle에서 문제가 없다.

4.3 가수분해

폴리카보네이트 수지는 그 주쇄에 에스테르결합을 갖고 있어 수분과 함께 가열하면 가수분해가 단시간에 급격히 일어나며 성형온도가 높아지고 체류시간이 증가하면서 분자량 저하가 크게 된다. 폴리카보네이트 수지의 흡수율은 0.15~0.20%로 일반 수지에 비하여 작지만 가수분해는 미량의 수분이 존재해도 분해가 일어나므로 충분한 건조가 요구되며 120°C에서 6 hr 이상을 실시하여야 0.01% 이하 정도로 낮아진다. 따라서 가수분해에 따른 강도의 저하를 막기 위해서는 흡수율이 0.015~0.02% 이하로 충분히 건조하여야 된다. 흡수율이 클 경우 성형품에 은줄 및 기포 발생 등의 외관불량, 스프루나 런너의 강도저하, 성형품에 힘을 가했을때의 취성파괴 등이 나타난다.¹⁵

4.4 치수안정성

폴리카보네이트 수지의 용도는 대부분이 공업부품으로써 엄격한 치수정밀도가 요구되므로 성형수축률 결정 및 성형 조건의 선정에 충분한 주의를 요한다. 폴리카보네이트 수지의 성형수축률은 0.5~0.8%로써 매우 작고 방향성이 없다. 그리고 glass fiber로 강화하면 더욱 성형수축률이 낮다. 그러나 이것은 결정성 수지와 비교할 경우이고 엄밀

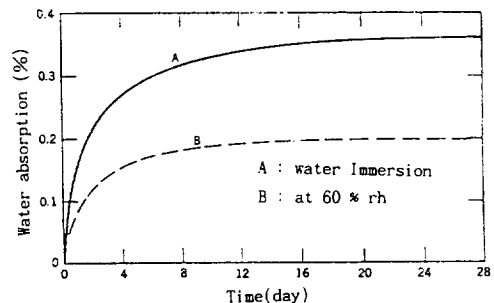


그림 10. 방치시간에 따른 흡습수분량.

하계는 성형조건과 성형품의 형상에 따라서 얼마간 변한다. 성형 수축률에 영향을 주는 요인은 수지온도와 사출압력 등이며 여기에 따라 충전밀도가 서로 달라지기 때문이다.

4.5 금형온도

금형온도는 잔류변형에 크게 영향을 미친다. 폴리카보네이트 수지는 성형 및 가공단계에서 다른 수지와 같이 전단 응력에 따라 냉각수축이 발생하여 성형품에 잔류변형이 생긴다. 잔류변형이 크면 사용중에 crack이 발생하기 쉬워 파손되기 쉽다. 잔류변형은 Annealing에 의하여 완화시켜야 되며 annealing 조건은 120°C 전후에서 1~2시간이 표준이다. 금형온도에 따라 성형품의 외관 및 성형변형에 크게 영향을 주므로 금형온도는 80~120°C가 좋다.

5. 폴리카보네이트 수지의 블렌드

폴리카보네이트 수지는 단일 폴리머로서 균형적인 성질을 갖기 때문에, 당초 블렌드 그레이드는 많이 사용되지 않았으나, 요구성능의 다양화와 고도화에 따라 신규 수요 창출이 크게 증가하고 있다.

폴리카보네이트 수지와 블렌드 수지로는 (1) 폴리스티렌 수지와 블렌드다. 그 종류는 ABS수지, SEBS(스티렌-에틸렌-부틸렌-스티렌)블록 공중합체, SMA(스티렌-무수말레인산)공중합체 등이 있으며 그 중에서 ABS수지와 블렌드가 가장 대표적이다. PC/ABS 블렌드물은 styrene-acrylonitrile 공중합체의 매트릭스상에 rubber phase와 폴리카보네이트상으로 된 3성분계이다.^{16,17} 이 수지는 성형가공성 개량 및 충격강도의 두께 의존성을 없애거나 열변형온도가 떨어진다. 기계적 물성은 조성에 따라 변하며 탄성률과 강도는 조성비에 따라 거의 직선적으로 변한다. 그림 11은 PC/ABS수지 grade에 대한 storage modulus로서 넓은 온도범위에서 stiffness의 온도 의존성을 나타낸 것이며 일반적으로 내열성과 강직성이 증가하면 stiffness가 커진다.

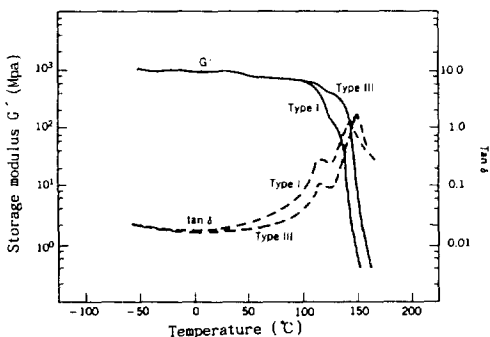


그림 11. PC/ABS블렌드물의 storage modulus 곡선.

PC/ABS의 내후성을 개량하기 위한 것으로 PC/ASA 블렌드가 있으며 성형시의 유동성을 크게 개선시키고 있다.¹⁸ PC/SMA공중합체의 블렌드는 공중합체의 가공성과 폴리카보네이트 수지의 강도 살린 내열성수지이며¹⁹ PC/SEBS 블록공중합체 블렌드는 상용성은 없지만, IPNs(Interpenetrated Polymer Networks)에 의하여 결합된 것으로 폴리카보네이트 수지가 IPN상태 또는 분산된 상태로 존재한다.^{20,21} 이들 수지들의 주요 용도로는 자동차의 dashboard, spoilers, wheelcaps, protective side trims 등이 있고 전기전자 용도로는 plug, socket, lamp 하우징, OA 기기 하우징 및 VTR 카메라 하우징, CD플레이어 하우징 등이 있다.

(2) 폴리에스터 수지와 블렌드이다. 그 종류는 PET, PBT, 코폴리에스터등이 있다. PBT수지는 상용성이 없으며, PET수지는 PET rich 조성에서는 하나의 비결정성 상을 갖고 PC rich 조성에서는 두 개의 비결정성을 갖는 부분적인 상용성을 갖는다.²² 코폴리에스터 수지는 동력학적 측정에서 Tg점을 하나 갖는 완전한 상용성을²³ 나타내며 투명하고 다른 비결정성 수지보다 내유, 내그리이스, 내가소성을 갖으며 성형성, 내선성이 우수하여 의료기구 용도로 주목을 받고 있다. 이 수지는 주로 내약품성 향상의 목적으로 이용되고 있으나 열안정성과 충격강도가 저하한다. 그러므로 일반적으로 폴리카보네이트 수지를 주성분으로 사용하고 있으며 내충격성 저하를 막기 위하여 충격보강재를 사용한다.²⁴ PC/폴리에스터 수지의 대표적인 용도로는²⁵ 자동차 아웃도어 핸들이 있으며, 이것은 기계적강도, 내약품성, 내후성등의 물성균형이 잘 설계된 예이다. 또한 자동차의 범퍼로 많이 채용되고 있으며, 내유 내그리이스성이 요구되는 시계, 전자, 전기 용도에도 사용되고 있다.

(3) 일레스토머와의 블렌드이다. 부타디엔과 아크릴고무를 그래프트시킨 일레스토머를 폴리카보네이트 수지의 고유동화, 저온 충격강도의 개선, 두께의존성의 개량할 목적으로 하는것으로 유리전이온도(Tg)가 낮은 일레스토머를 매트릭스 수지중에 적절하게 분산시키고 계면 접착력을 부여하는 것이 중요하며 폴리올레핀 블렌드와 비교하면 낮은 온도에서 toughness가 증가한다.²⁶ PC/일레스토머 블렌드 범퍼의 특징은 저온충격강도, 도장성, 외관 등에 있으며 이것은 PP나 RIM 우레탄과 비교 하면 고가 이어서 이용하는 데 한정이 있다. 또한 일레스토머 변성타입은 주로 저온충격성을 요구하는 자동차의 외장재로써 사용된다. (4) 폴리올레핀과의 블렌드이다. 이들은 상용성이 없고²⁷ 불투명하며 올레핀 양이 많아지면 성형시에 층상 박리 현상이 나타난다. 일반적으로 10 wt% 이내에서 조성물이 실용화되고 있으며 이것은 충격강도의 두께의존성, 스트레스 크랙킹, 마찰마모성등의 개량을 목적으로 한다. 주요 용도로는 헤드기어, 스포츠용품, 보빈, 범퍼 등이 있다. (5) PMMA와의 블렌드이다. PMMA와는 부분적인 상용성이

있으며 계면접착성이 우수하여 조성 선택범위가 상당히 넓다. 성형시에 충상 분산, 독특한 진 주광택등을 나타내 화장품용기나 장신구, 가전제품등의 도장용도에 사용된다. (6) 폴리아미드와의²⁸ 블렌드이다. PA는 상용성이 좋지 않고 성형시 열안정성도 양호하지 않지만 성능면에서 폴리카보네이트 수지와 동등한 가격을 유지하면서 성형성 및 내약품성의 개량을 목적으로 한다. (7) PTFE와의 블렌드이다. PTFE는 폴리카보네이트 수지가 용융된 상태에서도 고체로 존재하므로 일종의 강화 제이다. 입도 10~20 μ m의 분말을 폴리카보네이트 수지에 블렌드한다. 그러나 비용상의 이유로 20 wt% 이하를 첨가하며 폴리카보네이트 수지의 마찰 마모성을 개량한다. 그리고 마찰마모성은 표면 특성이므로 PTFE 분말이 표면에 많이 나오는 성형조건의 설정이 중요하며 용도는 주로 섬투부품에 많이 사용한다.

6. 폴리 카보네이트 수지의 용도

폴리카보네이트 수지는 다른 열가소성수지와 달리 우수한 특징을 갖고 있어 공업부품에 응용하기 위하여 중요한 치수안정성이 좋고, 높은 충격강도, 내열성, creep특성, 좋은 전기적 특성을 갖고며 자기소화성이 있다. 폴리 카보네이트 수지의 용도는 다음과 같다.

6.1 전기재료

우수한 전기적 특성, 치수 안정성, 기계적 특성, 내열성, 경량화, 투명성과 원재료비의 절감, 성형 가공, 조립비의 절감, 디자인의 자유성, 내부식성, 난연성등이 전기 용도로 사용되는 이유이다. 그 중에서 가장 큰 주목을 끄는것이 compact disk(CD)용도이며 CD보다도 엄격한 품질을 요구하는 광Disk 등은 폴리카보네이트 maker가 전용 설비를 갖추고 오염이나 미량잔류 성분등을 엄격히 관리하여 품질을 개량해 나가고 있다. 적용된 용도로는 코일보빈, 코텍터, 콘덴서케이스, 헤어드라이어, 드라이, 조명카바 등이 있다.

6.2 기계부품

낮은 성형수축률과 glass fiber를 강화하여 낮은 열팽창률, 높은 치수안정성, 높은 탄성률이 기계용도로 사용되는 중요 이유이다. 이런 분야에서 알루미늄이나 다이캐스팅과 철강을 폴리카보네이트 수지로 바꾸는 경우가 있다. 자동차 분야에서는 타수지에 비하여 늦게 진출하였는데 그 이유는 내약품성 특히 내가솔린성이 문제가 되었기 때문이다. 정밀기계 부분에는 카메라바디, 카메라부품, 시계부품, 현미경부품, 영사기부품 등이 있고 산업기계 부분에는 전동공구 자동판매기 부품, 엘리베이터 부품, 모터케이스 등이 있으며 자동차 부품으로는 히타팬, 카바, 인스트루먼트 판넬, 계기판, 헤드라이트렌즈, 휠카바 등이 있다.

6.3 의료·보안

폴리카보네이트 수지의 투명성, 내열성, 무독성을 활용한 용도이며 인공장기, 수술판 Bag 연결부, 의료용가위가 있으며 최근에는 증기살균을 대체하여 Y-선살균을 실시하고 있으므로, 변색을 방지하기 위하여 내 Y-선 그레이드도 개발되고 있다. 보안용도로는 내충격성을 살린용도가 많으며 신호기 렌즈, 헬멧, 화재경보기, 소화기 부품 등이 있다.

6.4 잡화용도

플라스틱의 안전성이 문제가 되고 있는 식품용기나, 포장용, 포유병을 비롯하여 선글라스, 유모차 등이 있고 스포츠 용도로써는 야구용헬멧, 캐처마스크, 수중카메라, 보안경 등이 있다.

6.5 필름 시트의 용도

시트는 투명성 내후성 충격강도등을 살리고 있는데, 이것은 창유리, 고속도로 펜스, 아케이드돔, 온수기 카바, 오토바이 방풍막 등이 있으며 식품포장용 film 및 pipe 용도로는 낚시통, 공기배관 등이 있다.

7. 결 론

이상에서 전반적으로 고찰한 바와 같이 폴리카보네이트 수지는 계면충축합 방법으로 상업 생산되고 있으나 제조공정중의 환경오염 문제를 감소시키기 위하여 용융 에스테르 교환법이 활발히 연구되고 있다. 폴리카보네이트 수지는 내충격성, 내열성, 투명성등의 우수한 물성을 지니고 있으므로 전기, 전자, 자동차부품 등을 비롯한 산업부분에서 포유병등의 일상잡화에 이르기까지 넓게 이용되고 있다. 또한 glass fiber, carbon fiber 등과의 복합화와 성형성개량, 내약품성향상 및 표면특성부여를 위하여 다른 수지와외 블렌드를 통한 부가가치 창출 및 광disk 등의 신규 용도 개발과 고성능화의 연구개발도 계속되고 있는 추세이다.

참 고 문 헌

1. H. Einhorn. *Justus Liebig's Ann. Chem.*, **300**, 135 (1898).
2. O. V. Smirnova, E. Horvath, and I. P. Losev. *Vysokomol. Soyedin., Ser. A*, **12**, 208 (1970).
3. Z. Wielgosz, Z. Dobkowski, and B. Krajewski. *Eur. Polym. J.*, **8**, 113 (1972).
4. H. Schnell. *Angew. Chem.*, **68**, 633 (1956).
5. U.S.Pat 3,153,008, U.S.Pat 3,888,826.
6. G. Heublein, G. Knoppel, and D. Starckmann. *Polymer Bulletin*, **20**, 109 (1988):
7. C. C Macubbin : *Machine Design*, **34**(22), 99 (1962).
8. 三菱化成 Novarex 기술자료.
9. D. Fox. "Powder Coating to Recycling(Rubber)" in M. Gray-

- son, D., Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd ed., Vol. 18, Wiley-Interscience, New York, 1972, pp. 479-494
10. Makrolon Brochure, Farbenfabriken Bayer AG, Bayerwerk, Frg, Aug. 1984.
 11. 삼양화학 TRIREX 기술자료.
 12. H. Streib, *Brit. Plastics*, **33**, 406 (1960).
 13. G. F. Baumann and S. Steingiser, *J. Polymer Sci.*, **A1**, 3395 (1963).
 14. D. Fox and W. Christopher, Polycarbonates, Reinhold Publishing Corp., New York, 1962, p. 30.
 15. W. Hechelhammer and G. Peilstocker, *Kunststoffe*, **49**, 3 (1959).
 16. P. J. Fenelon, *Plast. Eng.*, **37**(9), 37 (1981).
 17. J. W. Barlow and D. R. Paul, *Poly. Eng. Sci.*, **24**(8), 525 (1984).
 18. H. Suarez, J. W. Barlow, and D. R. Paul, *J. Appl. Polym. Sci.*, **29**, 3253 (1984).
 19. *Mod. Plast. Int.*, 69 (1983.6).
 20. U.S. Pat., 4,090,996.
 21. W. P. Gergen, *Kautsch. Gummi Kunstst.*, **37**(4), 284 (1984).
 22. T. R. Nassar and Co-workers, *J. Appl. Polym. Sci.*, **23**(1), 85 (1979).
 23. R. S. Barnum, J. W. Barlow, and D. R. Paul, *J. Appl. Polym. Sci.*, **27**, 4065 (1982).
 24. WO Pat. 80/00972 S. Cohen.
 25. Chem. Abst., 80, 4773 (1974).
 26. D. Neuray and K. H. Ott, *Angew Makromol. Chem.*, **98**, 213 (1981).
 27. Z. Dobkoski, *Polymer*, **25**(3), 110 (1980).
 28. *Modern Plastics International*, 17, 8), 100, Aug. (1987).