

고분자 신소재 기술의 최근 동향

최길영

1. 서론

선진국에 있어서 산업의 발전 추세는 **그림 1**에 표시한 바와 같이 산업화 초기의 노동 집약형에서 석유화학 및 일반전기전자 등과 같은 자본 집약형으로, 다시 IT 및 정밀화학과 같은 제 1세대 기술 집약형을 거쳐 BT, NT, 항공·우주 등 제 2세대 기술 집약형 산업으로 전환되고 있으며 향후에는 소위 융합기술을 바탕으로 한 제 3세대 기술 집약형 산업으로 발전할 것으로 예측되고 있다.

이러한 산업발전 추세는 OECD에서 최근 발표한 자료에서도 확인할 수가 있다. 보고서에서는 1995~2000년까지의 성장을 주도해온 바이오, 신소재, 정보통신 산업들이 2000~2005년에도 고도 성장산업으로 자리매김 하고 있음을 강조하고 있다. 특히 고분자 신소재를 포함한 신소재 산업이 지속적인 성장을 계속 유지하고 있는 것은 IT, BT, 반도체 등 첨단산업의 성장과 발전에 신소재가 결정적으로 중요한 역할을 하기 때문인 것으로 생각된다.

주지하는 바와 같이 고분자 소재는 불과 100여년도 되지 않는 짧은 시간에 일상생활용품에서부터 자동차, 전기·전자, 정보통신, 디스플레이, 항공·우주, 보건·의료산업에 이르기 까지 전 산업분야에서 광범위하게 사용되고 있는 핵심소재이다. 고분자 재료는 일반적으로 성능에 따라 **그림 2**에 표시한 바와 같이 범용수지, 범용 엔지니어링 플라스틱(EP), 고성능 엔지니어링 플라스틱(super-EP) 등으로 구분된다.

또한 고분자 재료의 사용형태로는 플라스틱, 섬유 및 합성고무로 대별할 수가 있는데 가장 널리 사용되고 있는 플라스틱의 경우 **표**

1에 표시한 바와 같이 2003년도 기준으로 전 세계 생산량은 약 1억 6천만 톤에 달하고 있다. 이는 고분자 소재가 산업발전에 있어서 가장 중요한 핵심임을 증명하고 있다고 볼 수 있다.¹

국내의 경우에서도 2004년도 기준 범용 플라스틱이 약 1천 6십만 톤 이상(약 58만 톤의 범용 열경화성 수지 포함), 범용 엔지니어링 플라스틱(EP)이 약 38만 톤 생산되고 있다(**표 2**).²

2. 고분자 신소재 기술의 발전 동향

고분자 신소재에 대한 정의는 관점에 따라 다를 수가 있는데 본 고에서는 기존 고분자와 분자구조가 동일하더라도 고분자량화, 미세구조의 정밀제어 등을 통해 성능과 기능이 월등하게 향상된 고분자와 새로운 성능과 기능을 갖는 신규 분자구조의 고분자 소재를 모두 포함하는 개념을 적용하였다. 그리고 본 고에서는 실용화 되었거나 실용화에 근접한 고분자 신소재 기술 위주로 기술하고자 한다.

2.1 기존 단량체 및 고분자로부터 고분자 신소재 기술

1920년 이후 2000년 까지 합성·개발되어 실용화에 이른 구조재용 고분자 소재를 정리해 보면 **그림 3**과 같다.³ **그림 3**에서 보는 바와 같이 고분자 소재가 본격적으로 출현 한 이래 1980년대까지는 새로운 단량체로부터 새로운 구조재용 고분자(new structural polymers from new monomers)를 개발하여 이를 실용화하려는 노력이 활발하게 진행되어 왔다. 이에 따라 1980년대 초반 이전에 발표된 자료들에 의하면 향후 자동차, 전기전자, 항공우주 등 첨단산업이 빠른 속도로 전개되면서 고분자 신소재, 특히 고성능 고분자 신소재의 연구개발 및 실용화도 빠른 속도로 진행될 것으로 많은

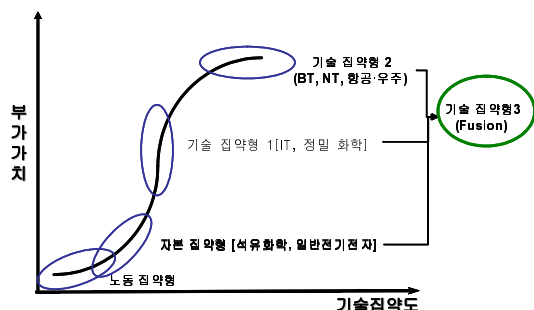
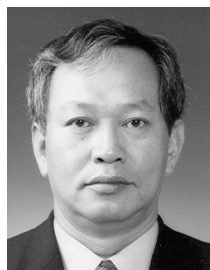


그림 1. 산업발전 추세.



최길영

1975 서울대학교 공과대학 응용화학과(공학사)
1977 한국과학기술원 화학과(이학석사)
1983 한국과학기술원 화학과(이학박사)
1980 제일합성(주) 기술연구소 연구원
1983~ 한국화학연구원 책임연구원, 연구실장,
현재 화학소재연구부장, 선임부장 역임,
(현) 연구위원 겸 신뢰성평가센터장
2006~ 한국고분자학회 부회장
현재

Recent R & D Trends in New Polymer Technologies

한국화학연구원 연구위원 (Kil-Yeong Choi, Research Fellow, Korea Research Institute of Chemical Technology, P. O. Box 107, Yuseong, Daejeon 305-600, Korea) e-mail : kychoi@kriect.re.kr

표 1. 주요국가의 범용 플라스틱 산업 현황

<단위 : 1,000톤, 외국은 2003년 기준>

국가	생산	수출	수입	내수	1인당 소비량(kg)
Korea	2002 10,083	5,035	265	5,313	110.2
	2003 10,381 (543)	5,474	221	5,164	106.7
	2004 10,635 (585)	5,552	181	5,312	109.3
USA	48,513	-	-	51,469	177
Germany	16,800	10,500	6,310	12,610	153
Japan	13,978	4,712	1,249	10,515	82
France	6,725	4,935	3,940	5,760	92
Belgium	6,700	11,050	6,041	1,800	183
Taiwan	6,639	3,730	636	3,444	128 (2002년)
Canada	5,001	3,983	3,000	4,018	126
India	4,675	757	475	4,186	4
Brazil	4,141	901	577	3,817	22
Spain	3,841	2,305	2,980	4,517	108
Italy	3,705	1,340	4,830	6,930	123
U. K	2,774	1,745	3,627	4,656	89
Total	155,216				

() : 열경화성 수지 생산량

표 2. 국내 엔지니어링 플라스틱 산업 현황*

<단위 : 1,000톤/년>

	생산능력	제조회사	비고
범용 EP	PC	165	삼양화성(100), LG/Dow(65)
	Nylon	83	코오롱, Rhodia, Dupont
	Polyacetal	99	한국엔지니어링 플라스틱(55), LG화학(20), KTP (24)
	PBT	23.5	LG화학(12), 삼양사(5), 코오롱(3)
	FR-PET	0.65	코오롱
	MPPO(PPO)	7	GE Plastics Korea (7)
Super EP	PI(molding)		대림 H&L
	PI(film)	0.6	SKC(0.3), 코오롱 (0.3)
	PI(LCD 액정배향막)		제일모직
	BT Resin		Nanokor

*필자 연구팀이 조사.

전문가들이 예상했었다.

즉, 그림 4에서 보는 바와 같이 1975년에 20년 후인 1995년도의 고분자 소재별 시장점유율을 예측한 자료에 따르면 범용 고분자의 퇴조와 EP 및 super EP의 비중이 전체 고분자 소재 수요의 60~70%에 이를 것으로 전망했었다.^{3,4} 그러나 1995년도의 실제상황에서는 범용고분자가 여전히 88% 이상을 차지하고 EP 및 super EP의 비중은 12% 전후에 불과 하였으며 2005년도에도 상황은 거의 변하지 않고 지속되고 있다.

즉, 새로운 단량체를 사용하여 구조재용 고분자 신소재의 연구개발 및 실용화 실적은 1980년대 이후에는 액정고분자(LCP)를 제외하고는 새로운 고분자 소재의 창출을 통한 실용화 실적이 전무에 가깝다. 이와는 반대로 그림 5에서 보는 바와 같이 기존 단량체나 고분자를 활용하여 새로운 성능과 기능을 가진 고분자 신소재의 창출·실용화하려는 노력은 지속적으로 상당한 성공을 거두고 있다.

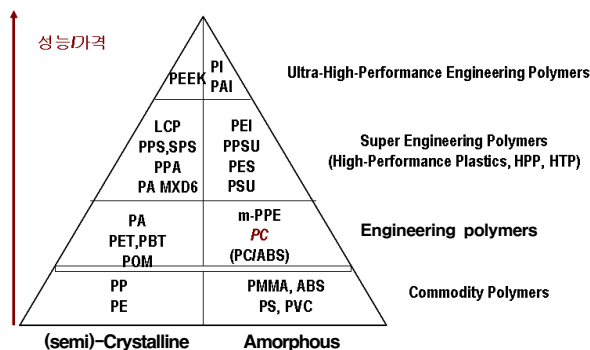


그림 2. 성능에 따른 고분자 재료의 분류.

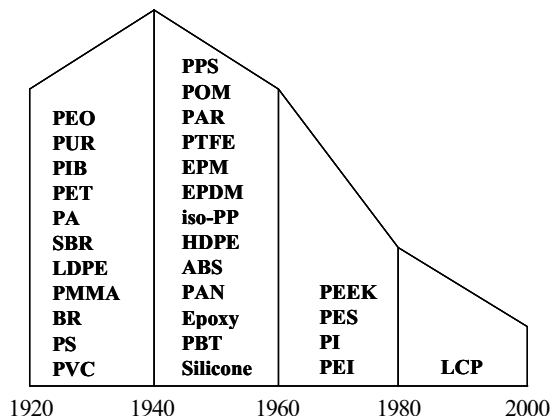


그림 3. 신규 단량체로부터 신규 구조재용 고분자 소재의 개발·실용화 실적.

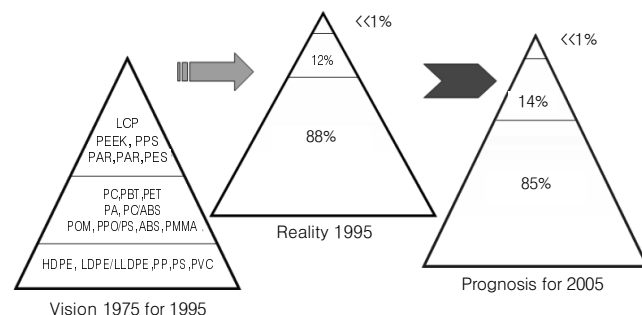


그림 4. 고성능 고분자 구조재료에 대한 환상과 현실.

이와 같은 현상의 가장 근본적인 원인은 새로운 단량체로부터 신규 구조재용 고분자 소재의 개발·실용화하는데 따른 막대한 투자와 시장 진입의 어려움 등 성공에 대한 불확실성 때문인 것으로 생각된다. 그러나 그림 5에서 볼 수 있는 바와 같이 기존 단량체 또는 고분자 소재로부터 개발된 신규 고분자 소재의 경우에서도 대부분이 고분자/고분자 합금(alloy) 또는 혼합(blend) 소재이며 실제로 완전히 새로운 구조의 고분자 소재는 cyclic olefin copolymer (COC), syndiotactic polystyrene(synd. PS), aliphatic polyketone, ethylene/styrene interpolymer 등 수 종류에 불과하다(표 3).

그런데 이들 신규 개발된 고분자들조차도 아직까지 대부분이 양산화 되지 못하고 있거나 광범위하게 활용되지 못하고 있는데 이는 일부 물성상의 장점에도 불구하고 경쟁대상 기존 고분자에 대해 확

실한 장점이 없으며 가격 경쟁력도 미약하기 때문이다. 실제로 나일론이나 PBT 등과 같은 기존 엔지니어링 플라스틱은 생산량을 두 배로 늘릴 경우 20~30%의 비용 절감이 가능하지만 신규 고분자를 생산하기 위한 신공정에서는 이러한 효과가 훨씬 적은 것으로 알려져 있다.

2.2. 기존 공정을 이용한 고분자 신소재 기술

최근 고분자 신소재 개발에서 가장 활발하게 연구되고 있는 분야가 기존 제조설비를 활용하면서도 공중합 또는 부분적인 화학적 개질을 통해 새로운 기능과 성능을 갖는 고분자 신소재를 개발하는 것이다. 일례로 PBT는 테레프탈산(TPA)과 1,4-부탄디올을 축중합하여 제조되는 대표적인 범용 엔지니어링 플라스틱이다. 그런데 최근 독일의 BASF사에서는 **그림 6**에 표시한 바와 같이 PBT 중합시에 TPA와 함께 1,4-아디핀산을 혼합한 후 공중합 하여 생분해성이 탁월한 고분자 소재를 개발하였다.⁵

이 경우에서 물성향상이나 필름으로의 성형가공성을 위해 branching agent나 chain extender를 일부 공중합하기도 한다. 동사의 자료에 따르면 생분해성이 우수한 공중합 폴리에스테르 수지는 기존의 PBT 중합설비에서 양산화가 가능한 것으로 알려지고 있다.

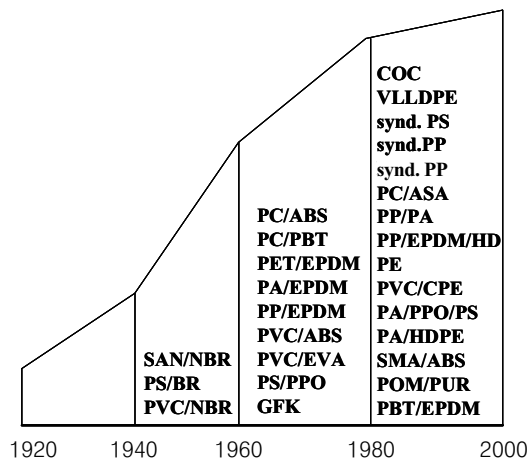


그림 5. 기존 단량체 및 고분자로부터 신규 구조용 고분자의 개발 실용화 사례.

2.3. 신규축매에 의한 고분자 신소재 기술

일반적으로 음이온 중합은 butyllithium 등과 같은 축매를 사용하여 분자량 분포가 매우 좁고, living polymerization으로 진행되기 때문에 multi-block 공중합체를 빠른 시간에 얻을 수 있는 장점이 있다.⁶ 그러나 음이온 중합은 아주 낮은 온도와 고진공하에서 진행해야 하며, 중합반응이 매우 빠르게 진행됨으로 조절이 어렵다. 따라서 현재까지 상업화된 예는 *cis*-1,4-polybutadiene, *cis*-1,4-isoprene, SBR, styrene-butadiene block copolymer, polycyanoacrylate 등 몇 가지에 불과하다.

그런데 음이온 중합에서 축매를 약간만 변경하면 이러한 문제들을 해결할 수 있는 기술이 제시되었는데 소위 말하는 retarded anionic polymerization 기술이다.^{7,8} 즉, 통상 널리 사용되는 음이온 중합 축매인 butyllithium에 alkyl Mg나 alkyl Al 을 첨가하여 Li-Mg-“ate” 또는 Li-Al-“ate” complex를 형성하여 사용하면 **그림 7**에서 볼 수 있는 바와 같이 라디칼 중합에서와 같은 수준으로 중합반응 속도를 조절할 수가 있음은 물론 리빙 음이온 중합반응의 특징도 동시에 발현할 수가 있다.

특히 기존 중합 반응기에서 라디칼중합과 동일한 방법으로 최고 180 °C까지 높은 온도에서도 리빙 음이온 중합반응을 행할 수가 있다. 즉, 고온에서의 retarded anionic polymerization이 가능하며, 현재 일부회사에서 HIPS를 제조하는데 이 방법이 적용되고 있는 것으로 알려지고 있다.

획기적인 축매 및 공정기술 개발로 기존 고분자 성능의 비약적 향상과 더불어 용도도 지속적으로 확대되고 있는 또 다른 사례가 PP 수지이다. 주지하는 바와 같이 PP는 대표적인 범용 플라스틱이지만 최근 20여 년간 끊임없는 기술개발의 결과로 범용 EP에 필적할 만한 수준까지 성능이 향상되어 자동차, 전기·전자 분야를 중심으로 종래 범용 EP가 사용되던 용도를 크게 대체해 나가고 있다.

이와 같은 PP의 현저한 성능제고는 획기적인 축매 및 공정기술의 대폭적인 향상에 의한 것으로 볼 수 있다. 즉, **그림 8**에는 Ziegler-Natta 축매의 성능향상을 정리하였는데 1970년대 중반까지만 하더라도 isotacticity가 94% 전후이던 것이 1980년대에는 98% 이상, 그리고 최근에는 99.5% 까지 향상되었다.^{9,10} 뿐만 아니라 축매의 활성도 훨씬 개선되어 종래보다 소량의 축매 사용이

표 3. 기존 단량체로부터 개발·실용화된 대표적인 신규 구조용 고분자 소재⁴

Polymer [Trade Mark]	Structure	Competition	Advantages	Disadvantages
Polyketone [Karilon<Shell>]	$C=O + CH_2=CH_2 \rightarrow \left[\begin{array}{c} O \\ \\ C-CH_2-CH_2 \end{array} \right]_n$	Polyamide Polyacetal PE	toughness, chemical resistance, barrier properties	processing stability, deterioration by filler
SPS [Xarec<Idemitsu>]	$CH=CH_2 \xrightarrow{\text{Metalocene-cat.}} \left[\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ \text{CH}_2-\text{CH} \end{array} \right]_n$	PBT		toughness, long-term service temp.
Ethylene/Styrene Interpolymer [Index <Dow>]	$CH_2=CH_2 + \text{Styrene} \xrightarrow{\text{cat.}} \left[\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5) \end{array} \right]_n$	EVA S/B Block copolymers Flexible PVC	broad spectrum of properties, no outstanding single characteristic	
Cyclic Olefin Copolymer [Topas<Ticona>]	$n CH_2=CH_2 + m \text{ (cyclic olefin)} \xrightarrow{\text{Metalocene-cat.}} \left[\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2 \end{array} \right]_n \left[\begin{array}{c} \text{cyclic olefin} \end{array} \right]_m$	PC PMMA	transparency moisture barrier, electric insulation	costs, toughness/stiffness ratio

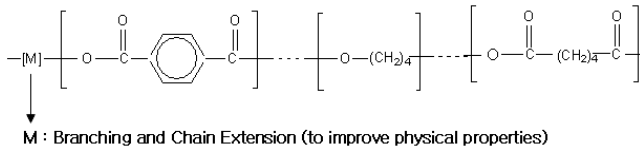


그림 6. 생분해성 공중합폴리에스테르 수지.

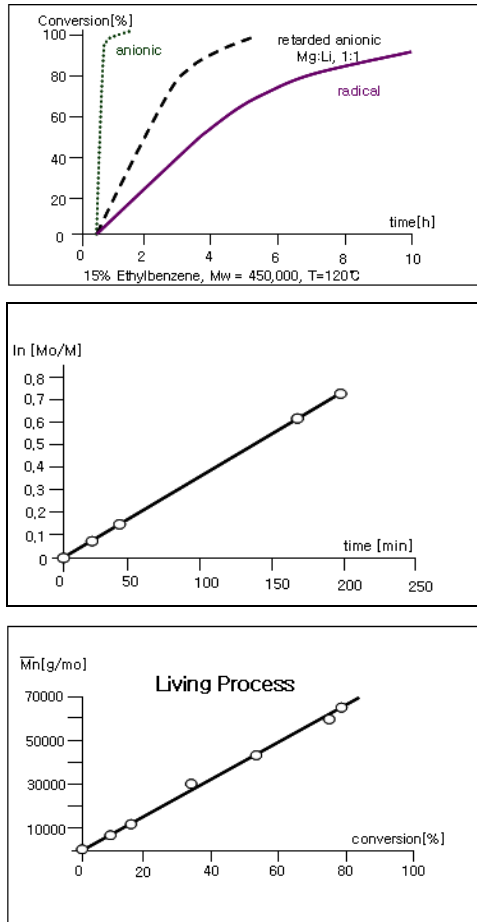


그림 7. Retarded anionic polymerization using Li-Mg-“ate” catalyst.

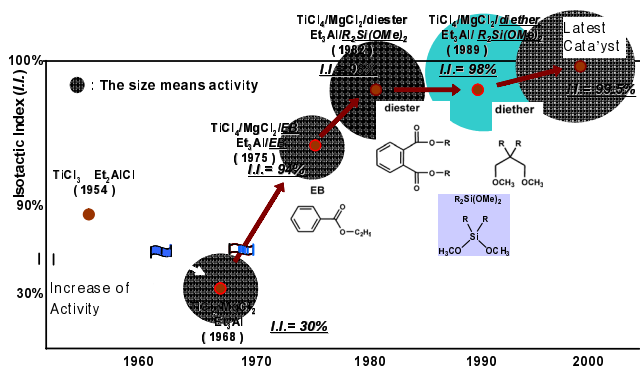


그림 8. PP 중합용 Ziegler-Natta Catalyst의 기술발전 추세.

가능해졌다. 이와 같이 신규 촉매 및 공정으로 제조된 PP는 종래의 PP와는 확실히 구분되는 신소재인 것이다. 흔히들 고분자 신소재라고 하면 고성능 또는 초고성능 EP를 생각하지만 PP의 경우가 범용

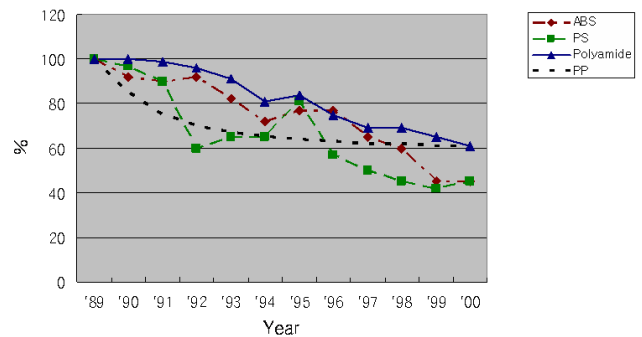


그림 9. 대표적인 고분자 소재의 마진을 변화 추세(1989년=100%).

고분자 재료에서도 얼마든지 새로운 신소재의 창출이 가능함을 보여주는 전형적인 예라고 할 수 있다.

그림 9에는 대표적인 고분자 소재의 마진을 변화를 표시하였는데 범용 수지인 PS나 준 EP 수지인 ABS의 경우 1989년을 100%로 기준 했을 때 현재의 마진율은 44%에 불과하다. 반면에 범용수지인 PP의 마진율은 60%로서 범용 EP인 폴리아미드와 같은 수준을 유지하고 있다.

PP 수지의 마진을 감소가 상대적으로 작은 것은 앞서서도 언급한 바와 같이 촉매 및 공정기술의 획기적인 향상으로 성능과 기능이 향상된 PP 신소재의 지속적인 개발과 용도 확대에 기인한 것으로 생각된다.

획기적인 신규촉매의 사용에 의해 기존 고분자의 성능을 대폭 향상시킨 또 다른 예가 metallocene 촉매이다. 주지하는 바와 같이 W. Kaminsky에^{11,12} 의해 처음 발견된 이래 metallocene 촉매는 PP 뿐만 아니라 1990년대에 PE 중합에 적용되기 시작하였고,¹³ 또한 폴리스티렌 중합공정에도 적용되어 범용 수지인 PS를 범용 EP 수준까지 대폭 향상시킨 syndiotactic PS의 출현이 가능하게 되었다.

2.4 신규공정에 의한 고분자 신소재 기술

종래의 제조공정으로는 어려운 고분자 신소재를 합성하거나 성능을 향상시킨 예도 많이 연구개발 되고 있다. 특히 최근에는 효소를 이용해서 종래의 화학적인 공정으로 합성이 불가능한 고분자 소재를 친환경적으로 합성하고자 하는 연구개발도 활발하게 진행되고 있다.^{14,15} 대표적인 예가 효소에 의한 페놀계 고분자의 중합 반응이다.¹⁶ 지금까지 상업화된 페놀수지는 주로 페놀/포름알데히드를 축중합한 것이 대부분인데 기존 페놀수지 제조공정에서는 포름알데히드의 독성이 문제가 되어 왔을 뿐만 아니라 합성할 수 있는 페놀 수지도 극히 한정되어 왔다. 그러나 효소생촉매인 peroxidase를 사용하면 3-ethynyl phenol, 4-sulfonated phenol, cardanol 등 여러 가지 복잡한 기능기를 가진 페놀류 중합할 수가 있다.^{17,18}

또 다른 예로는 마이크로파를 이용한 폴리카보네이트(PC)의 고상중합이다. 일반적으로 PC는 bisphenol A와 phosgene을 계면중합하거나 diphenyl carbonate(DPC)와 bisphenol A를 용융 중합하여 제조한다. 그런데 계면중합에서는 독성이 강한 phosgene을 사용해야 하고 중합체의 분리정제가 어렵다. 반면에 용융중합에서는 고순도의 중합체를 얻을 수는 있으나 높은 용융점도와 고온반응으로 인해 중합반응 조절이 어렵고 변색이 심하게 발생한다. 또한 두 경우 모두 높은 분자량의 중합체를 얻기 어렵다.

그런데 일부 전자재료와 자동차 분야에서는 고순도의 무색투명하

고 높은 내충격성 PC를 요구하기 때문에 기존의 중합공정으로는 요구되는 특성을 만족시키기가 어렵다. 따라서 PC 예비중합체를 합성한 다음, 일반적인 방법으로 고상중합을 행하는 예도 있다. 그러나 통상의 고상중합법으로는 균일한 가열이 곤란하며 50시간 이상의 장시간 반응이 요구된다. 이와 같은 문제점을 타결하기 위해 필자의 연구팀에서는 마이크로파를 이용하여 분자량이 50,000 g/mol 이상인 고분자량 PC를 6시간 전후의 고상중합 반응으로 제조할 수 있는 획기적인 공정을 개발 하였다.¹⁹⁻²¹

또한 필자의 연구팀에서는 마이크로파를 이용하여 내열성과 난연성이 탁월한 폴리이미드(PI) 발포체의 제조기술을 개발하여 산업체에 기술 이전을 한 바도 있다.²²

2.5 분자구조 변경에 의한 고분자 신소재 기술

일반적으로 구조재용 고분자는 기계적, 열적 성질 등 성능을 우선시하는 용도에 대량으로 사용되기 때문에 성능/가격의 균형이 매우 중요하고 양산화 가능해야 한다. 또한 다른 기존의 다른 고분자 소재와의 경쟁력이 충분히 있어야 하고 동시에 시장 진입이 용이해야 한다. 따라서 최근에는 완전히 새로운 분자구조의 구조재용 고분자 신소재가 창출되어 실용화까지 성공한 사례는 그다지 많지 않다.

그러나 반도체 등과 같은 정밀전자, 디스플레이, 정보통신, 생체 의료, 에너지 변환 분야 등 특수용도에 사용되는 고기능성 고분자의 경우에는 성능과 함께 정밀 기능제어 고분자 소재가 필요로 하며 사용량도 매우 소규모이다. 따라서 대규모 양산화 필요성 보다는 요구되는 특성을 만족시킬 수 있는 새로운 고분자의 창출이 필요하다. 이와 같은 고기능성 고분자 소재의 창출은 단량체 및 중합체의 분자구조의 일부 또는 전부를 완전히 새롭게 설계하는 경우가 대부분이다.

일례로 LCD에 사용되는 가용성, 무색투명한 폴리이미드 수지가 대표적이다. 통상의 폴리이미드는 aromatic dianhydride와 aromatic diamine을 축중합하여 제조되는데 전방향족 폴리이미드(PI) 수지는 갈색을 띠고 있어서 빛 투과성이 좋지 않고 완전히 이미드화 되면 가열해도 용융하지 않아서 적용하기가 어렵다. 따라서 spin coating이 가능하고 빛 투과성을 높게 유지하기 위해 내열성은 다소 희생시키더라도 무색투명하고 가용성인 폴리이미드의 개발이 필수적이다. 이를 위해 불소원자가 치환된 단량체를 사용하거나, aromatic dianhydride 대신에 alicyclic dianhydride를 사용하기도 한다. 또한 액정 배향막의 경우 선경사각(pretilt angle) 조절을 위해 긴 알킬 결가지를 갖는 디아민을 사용하기도 한다. 필자의 연구팀에서는 **그림 10**과 같은 구조의 광시야각 LCD용 수직 배향형 액정배향막을 개발, 실용화한 사례가 있다.²³

이와 같이 분자구조를 부분적으로 또는 전체적으로 완전히 새롭게

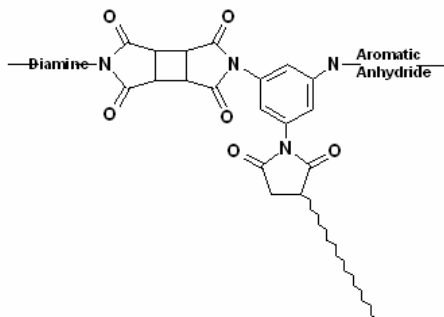


그림 10. 무색투명, 가용성 폴리이미드의 예.

게 설계 합성한 고기능성 고분자 신소재의 예는 매우 많다. 즉, 반도체 제조공정이나 LCD 및 OTFT에 널리 사용되는 감광성 폴리이미드 수지,²⁴ 중간 절연막 재료로 사용되는 불소화 폴리이미드 또는 불소화 poly(arylene ether),²⁵ 고분자 발광소자(PLED)에 사용되는 PEDOT [poly(3,4-ethylenedioxythiophene)] 등이 그 예이다.

2.6 나노복합체(Nanocomposite) 기술에 의한 고분자 신소재 개발

최근 가장 활발하게 연구개발이 진행되는 분야 중의 하나가 고분자 나노복합체 기술에 의한 신소재 개발이라고 할 수 있다. 주지하는 바와 같이 고분자 나노복합화 기술을 통해 열적·기계적 성질, 난연성, 기체 차단성, 내약품성, 내마모성, 광·전기적 특성 등 제반 특성을 대폭 향상시킨 예들이 보고되고 있으며, 이미 실용화 된 예도 다수 있다. 예를 들면 expandable polystyrene(EPS)에 나노크기의 탄소입자를 분산·나노복합화하면 **그림 11**에 표시한 바와 같이 적외선이 외부로 반사되는 효과로 인해 기존 EPS 보다 두께를 30% 이상 감소시키거나 비중을 50% 감소시켜도 동일한 수준의 단열효과를 나타내는 새로운 EPS를 실용화한 사례도 있다.²⁶

구조재용 고분자 나노복합체의 경우에는 montmorillonite 등과 같은 layered silicate를 organophilic하게 개질하여 많이 사용되고 있는데, 이는 이들 layered silicate가 가격이 저렴하고 용이하게 개질 및 적용 할 수 있기 때문이다.²⁷⁻²⁹ 필자의 연구팀에서도 **표 4**에 정리한 바와 같이 나노복합화를 통해 PP의 난연화에 필요한 난연제의 사용량을 60%까지 대폭 감소시킨 결과를 보고한 바가 있다.³⁰⁻³² 또한 필자의 연구팀에서는 최근 전자산업에서 널리 사용되는 폴리이미드의 열팽창계수 감소를 위해 PI/layered silicate의 nanocomposite를 연구해 오고 있다.^{33,34}

최근에는 정보·전자, display 소재 등으로 활용하기 위해 금속 및 무기 입자 colloid를 고분자 matrix에 나노사이즈로 분산하여,

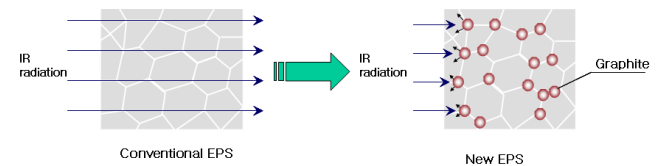


그림 11. 탄소를 나노복합화한 EPS.

표 4. 나노복합화에 의한 PP의 난연화

(단위 : phr)

Sample	Formulation					Properties			
	PP	Compatibilizer	MMT	DBDPO	Sb ₂ O ₃	인장강도 (kg/cm ²)	굴곡강도 (kg/cm ²)	굴곡탄성률 (kg/cm ²)	난연성 (UL94)
PP (J-370)	100	-	-	-	-	260	300	11,000	-
1	100	-	-	45	16.1	230	300	15,200	V-0
2	90	10	5	25.7	9.2	240	340	15,900	V-0
3	90	10	0	25.7	9.2	240	370	16,300	V-2
4	80	20	5	25.7	9.2	270	390	19,800	V-0
5	80	20	0	25.7	9.2	240	340	15,000	V-2
6	80	20	5	20.0	7.1	270	390	19,500	V-1
7	75	25	5	25.7	9.2	260	360	17,000	V-0
8	75	25	0	25.7	9.2	250	370	15,500	-
9	75	25	5	20.0	7.1	290	420	21,200	V-0
10	50	50	5	25.7	9.2	260	370	19,000	-

광투과도, 광 굴절률 등 광학적 특성을 개선시키려는 노력이 활발하게 전개되고 있다.³⁵ 또한 탄소나노튜브(CNT)의 실용화가 진전됨에 따라 전기전도성 등 전기적 특성을 개선하려는 의도로 CNT/polymer 나노복합체에 대한 연구도 매우 활발하게 진행되고 있다.³⁶

3. 한국 고분자 신소재 기술의 문제점

현재 국내 고분자 소재 산업의 현황은 표 1 및 2에서 언급한 바와 같이 범용 고분자 소재와 범용 EP는 모두 대량 생산·소비·수출되고 있다. 그러나 첨단 산업에서 필수적이라고 할 수 있는 특수 EP 및 혁신적인 고기능성 고분자 신소재는 대부분 전량 수입에 의존하고 있다. 고성능 고분자 소재 중에서 실용화 된 특수 EP는 필자의 연구팀에서 개발, 기술이전 한 내열부품 성형용 PI 수지 및 FPCB 기판 소재인 PI 수지 등이 상업적 생산을 개시한 것이 거의 전부이며, 폴리에테르이미드(PEI)와 폴리아미드이미드(PAI)는 기술이전 완료·상업화 추진 중에 있다. 그 외의 예로는 최근 중소벤처기업에서 BT resin의 생산을 추진하고 있는 정도이다. 반면에 반도체 칩 tray에 많이 사용되는 폴리에테르술폰(PES)이나 폴리술폰(PSU), 전자재료에 널리 이용되는 폴리페닐렌설파이트(PPS) 및 나일론 MXD6, 액정고분자(LCP) 등 대부분의 super-EP는 전량 수입되고 있다.

그러나 IT, BT, ET, ST 등 소위 첨단산업의 성장과 발전에 필수적인 고기능성 고분자 소재의 전반적인 상황은 매우 열악하다. 일례로 반도체의 경우 소재의 평균 자급률은 60~65%에 불과한데 가장 보편적인 반도체 소재중의 하나인 봉지재의 경우에도 국산화율이 40%에 미치지 못하고 있을 뿐 아니라, passivation layer, interlayer dielectrics 등은 전량수입 사용하고 있어서 반도체 강국이라는 명성이 무색할 정도이다.

또 다른 주력 성장동력 산업인 디스플레이 산업의 경우에도 상황은 마찬가지이다. 즉, 표 5에 정리 한 바와 같이 OLED, LCD 및 PDP 등은 국산 제품이 세계시장 1위를 차지하고 있지만 이들 display 제품의 기능과 성능을 좌우하는 핵심소재의 자급률은 5~40%로서 결국 일본 등 선진국에 절대적으로 의존하고 있다.

최근 필자의 연구팀에서는 LCD 소재 중에서도 가장 어려운 기술로 알려지고 있는 광시야각 LCD TV 및 모니터용 수직배향형 PI계 액정배향막을 5년여의 연구개발을 통해 실용화함으로써 독창적인 기술로 디스플레이용 소재의 구내개발 실용화에 대한 자신감을 갖게 되었다.

결론적으로 보면 한국의 첨단산업의 구조는 그림 12에서 볼 수 있는 바와 같이 소재와 마케팅의 비교우위를 기초로 한 선진국의 smile curve가 아닌 조립/가공 위주의 crying curve 형태의 부가

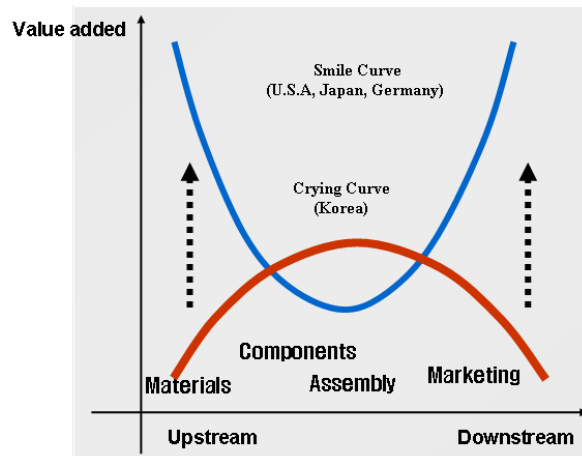


그림 12. 한국과 선진국의 산업구조 비교.

가치가 낮을 수밖에 없는 구조라고 할 수 있다.³⁷

이와 같이 국내의 소재산업, 특히 첨단 고분자 신소재 분야의 취약성의 원인은 여러 가지로 볼 수 있겠지만 원천기술 개발을 담당해야 할 정부의 기술개발정책이 정부의 단기성과 위주로 추진되고 있어서 단순개량 기술 개발에만 치중할 수밖에 없기 때문이다. 또한 관련기업의 경우에서도 고분자신소재 개발 및 실용화에 대한 의지 부족과 위험부담을 기피하며, 산·학·연 연구개발 주체를 상호간에도 실질적 협력과 연계에 의한 연구개발·실용화까지의 전주기적 기술개발 추진 노력이 미흡한 것이 가장 큰 원인이 아닌가 생각된다.

4. 결론

고분자 신소재 기술은 IT, BT, ET, ST 등 첨단산업의 지속적인 성장과 발전을 뒷받침하는 핵심기술임으로 지속적이고 적극적인 연구개발이 절실하다. 국내 고분자 신소재 기술 개발 방향에 대한 필자의 의견을 요약하면 다음과 같다.

첫번째로 구조재용 고분자의 경우 새로운 고분자자의 창출 및 대량생산 실용화 보다는 국내에서 이미 사용되고 있지만 관련기술이 확보되어 있지 않는 고성능 EP 관련 기술의 개발 및 실용화에 주력함으로써 핵심소재의 국산화를 추진해야 할 것으로 생각된다. 두번째로 이미 실용화된 구조재용 고분자의 경우에는 획기적인 신규축매 및 친환경 제조기술, 고도 성형가공 기술 등의 개발이 필요할 것으로 판단된다. 세번째로는 기존 제조공정을 그대로 활용할 수 있으면서도 분자구조의 부분 개질이나 공중합, alloy화, nano-composite화 등을 통한 고성능화·고기능화 추구 및 신규용도 창출 위한 적극적인 연구개발이 절실하다. 네번째로 반도체, 디스플레이, 정보통신, 에너지 변환 및 저장, 생체적합성 고분자 신소재의 경우 단순한 기계적 성능보다 여러 가지 기능이 동시에 정밀하게 제어되고 용도에 만족해야 하기 때문에 기술의 원천성이 무엇보다도 중요하다. 따라서 장기적이면서도 체계적인 고분자 신소재 원천기술 연구개발을 위한 과감한 투자와 노력이 필요하다.

특히 고분자 신소재 원천기술 개발을 위해서는 지금까지의 단기 실용화 및 성과위주의 국가 연구개발 사업으로는 한계가 있음으로

표 5. 세계 시장 점유율 1위 디스플레이 제품의 국산화 소재 현황

세계 시장 1위 품목	세계시장 점유율	제품원가에서 소재의 비중	국내 소재 자급률
OLED	44.1% (2004년)	19%	5%
LCD	37.8% (2005년)	59%	30%
PDP	64% (2005년)	43%	40%

새로운 paradigm의 기술개발 정책이 요구된다.

그러나 무엇보다 중요한 것은 산·학·연의 모든 고분자 소재 관련 연구개발 담당자들이 원천성이 높은 기술을 창출하고 반드시 실용화 하겠다는 뜨거운 정열을 갖는 것이며 이를 위해서는 소아적·유아독존적 자세를 버리고 명실상부한 협력연구개발 체계를 구축하고 실천하는 자세를 갖는 것이라고 생각된다.

참고문헌

1. *Plastics Age*, Dec. 2005.
2. 한국석유화학공업협회 자료, 2005.
3. Vokler Warzelhan, *Polymers for Advanced Technologies*, **8**, 210 (1997).
4. Volker Warzelhan and Franz Brandstetter, *Macromol. Symp.*, **201**, 291 (2003).
5. U. Witt, M. Yamamoto, U. Seelinger, R.-J. Mueller, and V. Warzelhan, *Angew. Chem.*, **111**, 1540 (2000).
6. M. Swarcz, M. Levy, and R. Milkovich, *J. Am. Chem. Soc.*, **78**, 2656 (1956).
7. P. Desbois, M. Fontanille, A. Deffieux, V. Warzelhan, S. Laetsch, and C. Schade, *Macromol. Chem. Phys.*, **2001**, 621 (1999).
8. P. Desbois, M. Fontanille, A. Deffieux, V. Warzelhan, and C. Schade, *Macromol. Symp.*, **157**, 151 (2000).
9. E. P. Moore, *The Rebirth of Polypropylene : Supported Catalysts*, Hanser Publishers, Munich (1998).
10. Arno Tuchbreiter and Rolf Muelhaupt, *Macromol. Symp.*, **173**, 1 (2001).
11. H. Sinn, R. Mottweiler, A. Andresen, H. -G. Cordes, J. Herwig, W. Kaminsky, A. Merck, H.-J. Vollmer, and J. Pein, DE 26 08 863 and DE 26 08 933 (1976).
12. J. Scheirs and W. Kaminsky, Editors, *Metallocene-Based Polyolefins*, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, 1999.
13. J. Suhm, J. Heinemann, Y. Thomann, R. Thomann, R.-D. Maier, T. Schleis, J. Okuda, J. Kressler, and R. Muelhaupt, *J. Mater. Chem.*, **8**, 553 (1998).
14. S. Kobayashi, H. Uyama, and S. Kimura, *Chem. Rev.*, **101**, 3793 (2001).
15. H. N. Cheng and R. A. Gross, Editors, *ACS Symp. Ser.*, 900, 2005.
16. S. Kobayashi, S. Shoda, and H. Uyama, *Adv. Polym. Sci.*, **121**, 1 (1995).
17. W. Liu, *et al.*, *Chem. Mater.*, **12**, 1577 (2000).
18. Y. H. Kim, *et al.*, *Biotech. Lett.*, **25**, 1521 (2003).
19. J. H. Lee, Y. J. Yoo, C. H. Park, K. -Y. Choi, K. S. Yoon, C.H. Kim, I. S. Choi, and K. S. Lee, *Macromol. Chem. Symp. (Korea)*, **15**, 4 (2002).
20. Y. J. Yoo, K. -Y. Choi, and J. H. Lee, *Macromol. Chem. Phys.*, **205**, 1863 (2004).
21. K.-Y. Choi, *et al.*, U.S. Patent, 6,423,812 (2002) and U.S. Patent, 6,525,109 (2003).
22. K.-Y. Choi, J. H. Lee, S.-G. Lee, M. H. Yi, and S. S. Kim, U. S. Patent, 6,057,479 (2000) and U.S. Patent, 6,172,127 (2001).
23. M. H. Cho, K. -Y. Choi, M. H. Yi, and D. -M. Shin, *Colloid and Surfaces A; Physicochem. Eng. Aspects*, **284/258**, 267 (2006).
24. S. M. Choi, K. J. Kim, K. -Y. Choi, and M. H. Yi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **96**, 2300 (2005).
25. A. A. Godwin, F. W. Mercer, and M. T. Mckenzie, *Macromolecules*, **30**, 5606 (1997).
26. BASF-AG, Product brochure : Neopor", 2002.
27. K.-Y. Choi, J. C. Won, B. Y. Lee, and J. H. Lee, *Macromol. Chem. Symp.*, **14**, 179 (2001).
28. S.-G. Lee, J. C. Won, J. H. Lee, and K.-Y. Choi, *Polymer (Korea)*, **29**, 248 (2005).
29. S. W. Lee, I. H. Oh, J. H. Lee, K.-Y. Choi, and S. G. Lee, *Polymer(Korea)*, **29**, 271 (2005).
30. Y.-H. Lee, S.-K. Hong, K. S. Yoon, I. S. Choi, S.-G. Lee, J. H. Lee, and K.-Y. Choi, *Polymer(Korea)*, **25**, 818 (2001).
31. J. C. Shim, Y. W. Kim, J. C. Won, K.-Y. Choi, and M. H. Yi, *Polymer(Korea)*, **27**, 135 (2003).
32. Y. Yoo, C. Park, S.-G. Lee, K.-Y. Choi, D. S. Kim, and J. H. Lee, *Macrom. Chem. Phys.*, **206**, 878 (2005).
33. S. S. Han, M. H. Yi, K.-Y. Choi, S. S. Im, and Y. S. Kim, *Polymer(Korea)*, **30**, 56 (2006).
34. S. S. Han, K.-Y. Choi, S. S. Im, and Y. S. Kim, *J. Korean. Ind. Eng. Chem.*, **17**, 177 (2006).
35. Walter Caseri, *Macromol. Rapid Commun.*, **21**, 705 (2000).
36. K. Ralph, *et al.*, *J. Nanoparticle Research*, **2**, 213 (2000).
37. *SERI Symposium Series* (2003).