

엔지니어링 플라스틱 기술 동향

최기대

1. 서론

플라스틱 소재는 금속이나 세라믹 소재에 비하여 내열성, 난연성 등의 특성이 떨어지는 반면 경량성, 디자인 유연성 및 성형가공성 등의 장점으로 생활용품에서부터 자동차, 전기, 전자 및 산업용 분야 등의 공업용 재료로서 광범위하게 사용되고 있다. 수지의 종류 또한 다양하여 일반 범용 플라스틱(commodity plastics)에서부터 엔지니어링 플라스틱(engineering plastics)까지 수많은 종류가 개발되어 플라스틱 수지는 다양한 기능 및 성능을 요구하는 분야에 널리 응용되고 있다(표 1).

범용 플라스틱과 구분되는 엔지니어링 플라스틱의 특징을 우선 살펴보면, 그 용어 정의로부터 알 수 있듯이 범용수지의 약점을 보완한, 특히 플라스틱의 최대 약점인 열적 성질과 기계적 강도를 향상시켜서 구조 재료로 사용할 수 있는 플라스틱 소재를 뜻한다. 또한, 광범위한 온도도와 기계적 응력 및 화학적, 물리적 환경 조건에서 장시간 구조물로 사용할 수 있는 특성을 가진 플라스틱으로 그 범위를 확대할 수 있다. 일반적 개념으로는 공학소재(engineering material) 용도에 적합한 금속, 세라믹 소재 등에 버금가는 기능 및 성능을 가진 플라스틱 소재를 뜻한다. 여기서 공학소재로 요구되는 기능 특성으로는 강성, 내충격성, 내마모성, 내creep 및 내열성 등이 있다.

공학소재로 플라스틱은 금속이나 세라믹에 비해 경량성, 성형 가공성, 전기 절연성, 착색성, 복합화 특성 등은 우수한 반면, 내열성과 기계적 강도가 부족하여 사용의 제약을 받아 왔다. 이러한 단점을 해결하기 위해 개발된 수지가 바로 엔지니어링 플라스틱이며, 범용 플라스틱으로 대체될 수 없었던 구조 재료로서 역할을 일부 수행할 수 있게 되었다. 엔지니어링 플라스틱을 그 내열성과 용도로 분류하면, 사용량이 비교적 많은 5대 범용 엔지니어링 플라스틱을 포함하는 일반 엔지니어링 플라스틱과 내열성이 한 단계 더 높은 고기능성 엔지니어링 플라스틱(super engineering plastics)으로 나눌 수 있다(표 2). 슈퍼 엔지니어링 플라스틱(super engineering plastics)으로 통칭되는 고기능 엔지니어링 플라스틱은 내열성을 포함한 특수 물성을 강조하여 개발된 소재들로 상대적으로 고가이며 그 사용량도 불소계 수지(fluoro polymer) 및 PPS(polyphenylene sulfide) 수지를 제외하고는 아직 적은 편이다.¹⁻⁷

엔지니어링 플라스틱은 대량생산 및 소비의 범용 플라스틱과는 달리

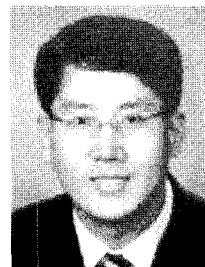
다품종, 소량생산으로 특징지어지는 시장 지향적 고분자 소재이다. 제품화 과정의 특성을 살펴보면, 수지 공급자 주체의 범용 플라스틱과 달리 최종 사용 용도와 필요 특성에 필요한 맞춤형 개발이 주체를 이루고 있다. 범용 플라스틱과 구분되는 엔지니어링 플라스틱의 주요특성을 살펴보면 다음과 같다.

- 넓은 온도 범위에서 기계적 강도가 우수함.
- 내약품성, 내후성, 장기 내열성 등이 우수하며 내환경성이 뛰어나.
- 전기적 특성이 우수하고 난연성을 나타낼 수 있음.

그 개발 시기를 살펴보면, 대부분의 범용과 엔지니어링 플라스틱은 1970년 이전에 상업화가 진행되었으며, 그 이후로는 신규 특수 엔지니어링 플라스틱 및 기존 수지의 alloy화 및 개발 제품의 modification 등이 주로 이루어지고 있다. 자동차, 전기 전자 및 산업용으로의 꾸준한 성장으로 5대 엔지니어링 플라스틱을 중심으로 한 엔지니어링 플라스틱 세계 시장은 년 평균 5~8%의 꾸준한 성장을 이루어 연간 1,000만톤 규모에 근접하게 되었다(그림 1).

소재 개발 측면에서 살펴보면, 범용 플라스틱의 경우 원료, 공정의 경제성, 품질개선 및 생산성이 주 관심분야인 반면, 엔지니어링 플라스틱의 경우 분자 설계, 각종 보강제 컴파운드 배합 기술 및 상품 응용 설계 개발이 더 중요하게 된다. 즉, 소재 설계 기술, 제품 가공기술, 구조 설계 및 응용기술의 융합이 시장 지향적 엔지니어링 소재의 확대에 중요한 요소가 되는 것이다. 열가소성 플라스틱의 사용 연속 사용 가능한 온도(continuous use temperature)를 중심으로 분류하면 다음과 같다(그림 2).

- 범용 수지(commodity plastics) : 일반 생활 및 산업용품으로 주로 사용됨. 사용 가능 온도는 100도 이하로 제한.



최기대

1990 서울대학교 섬유고분자공학과(공학사)
 1992 서울대학교 섬유고분자공학과(공학석사)
 1995 서울대학교 섬유고분자공학과(공학박사)
 1995~ LG화학 테크센터 책임연구원
 현재

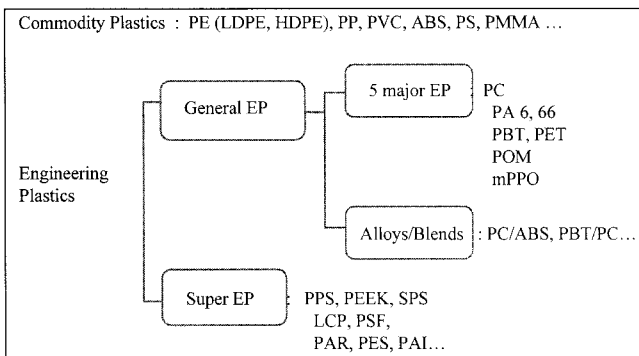
Technology Trends of Engineering Plastics

LG화학 테크센터 (Gi Dae Choi, LG Chem. Ltd, Tech Center, 84 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea)
 e-mail: gdchoi@lgchem.com

표 1. Industrialization of Engineering Plastics

Year	Engineering Plastics	Company
1938	PA66 (Polyamide 66)	Dupont
	PA6 (Polyamide 6)	IG
1948	PET (Polyethylene terephthalate)	ICI
1958	POM (Polyacetal) Homopolymer	Dupont
	PC (Polycarbonate)	Bayer
1961	POM (Polyacetal) Copolymer	Celanese
1965	PPO (Polyphenylene oxide)	GE
	PSU (Polysulfone)	UCC
1967	mPPO (modified PPO)	GE
1970	PBT (Polybutylene terephthalate)	Celanese
1971	PPS (Polyphenylene sulfide)	Phillips
1972	PES (Polyether sulfone)	ICI
1973	PAR (Polyarylate)	Unitika
1980	PEEK (Polyether ether ketone)	ICI
1982	PEI (Polyether imide)	GE
1984	LCP (Liquid crystal polymer)	Dartco

표 2. Classification of Thermoplastics



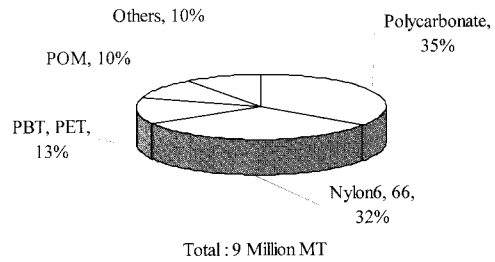
- 엔지니어링 플라스틱 : 자동차, 전기, 전자 부품 및 기타 공업용 구조재. 사용 가능 온도는 100도 이상.
- 수퍼 엔지니어링 플라스틱 : 자동차 및 전기, 전자, IT용 고내열 부품. 사용 가능 온도는 150도 이상.

여기에서는 대표적인 엔지니어링 플라스틱의 개발 기술 및 특성을 간략히 살펴본 후, 용도 시장관련 기술 동향에 관해 기술하고자 한다.

2. 폴리카보네이트(Polycarbonate)

5대 범용 EP 중에서 유일한 투명성 수지인 폴리카보네이트는 광학적 투명성, 치수 안정성 및 내열성이 뛰어나고 강도 및 내충격성 등의 장점으로 높은 성장률과 시장 규모를 형성하고 있는 대표적 무정형 수지(amorphous resin)이다. 1959년 독일의 Bayer사에 의해 BPA (bisphenol A)를 이용한 방향족 폴리카보네이트(aromatic polycarbonate)가 처음으로 상업화된 이후로 급속히 확대되어 전세계 연간 300만톤 이상의 시장 규모를 가지고 있다. 세계 생산 능력(capacity 기준)은 이미 년 간 기준 400만톤에 육박하며, 국내 생산 능력도 최근 급격히 확대되어 LG다우폴리카보네이트, 삼양화성, 제일모직 그리고 호남석유화학 4사에서 연간 40만톤에 이른다.^{5,6}

Global Engineering Plastics Market



Regional Engineering Plastics Market

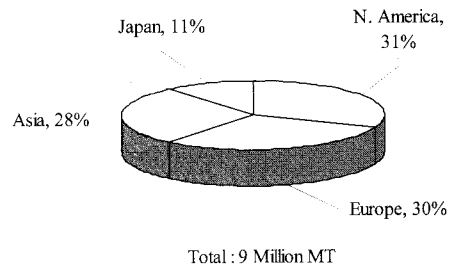


그림 1. Global and regional market of engineering plastics.

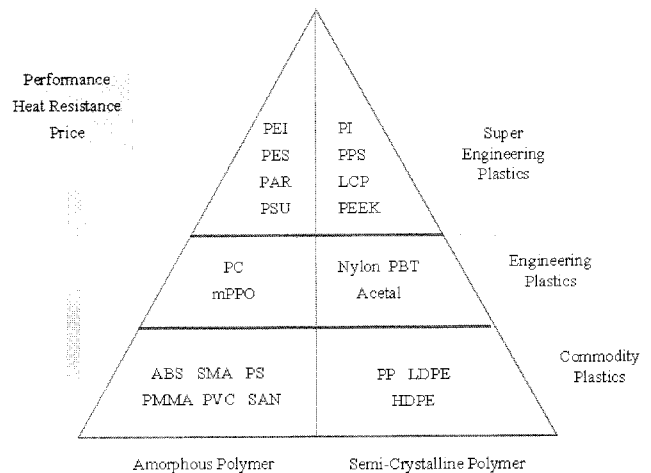


그림 2. Engineering plastics and thermoplastic performance triangle.

기술 및 개발 동향을 살펴보면, BPA로 유도되는 최종 chemical structure는 동일하지만 효율성이 높은 신규 합성 공정의 개발과 내열성, 유연성 및 광학 특성향상을 위한 modification 연구로 나누어 볼 수 있다. 폴리카보네이트의 중합 process는 크게 계면법과 용융중합법으로 나누어지는데, 현재 가장 널리 적용되는 계면 중합법은 phosgene gas(COCl₂)와 BPA를 water phase와 organic phase의 계면상에서 반응시키는 process이다. 반면, 용융 중합법은 BPA와 DPC (diphenyl carbonate)를 고온, 진공상태에서 페놀을 제거하면서 반응이 이루어지는 것으로 신규 plant에 많이 채택되고 있다. 용융 중합법은 phenol과 phosgene으로부터 또는 non-phosgene route로 DPC를 합성한 후 BPA와 에스터 교환반응(ester exchange reaction)을 통한 축중합법(polycondensation)으로 용매를 사용하지 않

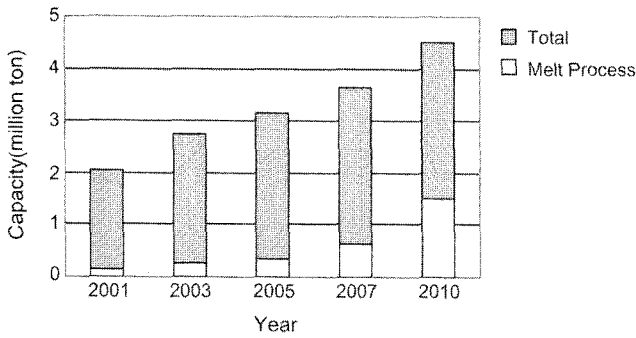


그림 3. Global capacity and polymerization process of polycarbonate.

는 장점이 있다. 중합법(polymerization process) 개발 동향은 non-phosgene 공법에 의한 DPC 유도법과 용매를 사용하지 않는 용융 중합법에 집중되고 있다. 2008년 기준으로 전 세계 용융 중합법 PC 생산 비중은 전체의 약 20% 수준이나, 2010년에는 그 채택비율이 30% 대로 늘어날 것으로 예상된다(그림 3).⁷⁻¹⁰

Co-monomer 도입에 의한 특성 부여에 대한 개발도 지속되고 있는데 그 대표적인 상용화 예로는 다관능기를 이용한 분자구조(branched) PC로 용융강력(melt strength)이 요구되는 bottle, sheet 및 기타 blow 용도 등에 적합하다. 방향족(aromatic) 구조의 추가 도입으로 내열성이 170도 이상의 내열성 co-PC 제품도 상용화되고 있다. 그 외에도 저온 충격성을 부여하기 위한 silicone 공중합체, 디스크(optical disc) 용도의 광학특성 향상을 위한 PS(polystyrene) block 개질 PC, 표면 경도 향상 및 난연성을 부여하기 위한 다양한 공중합 연구가 진행되고 있다. 또한, 최종 용도에 따른 다양한 alloy, 난연화와 함께 renewable biomass를 이용한 탈 석유원료 route를 통한 PC 합성 연구도 시도되고 있다.⁸⁻¹²

3. 나일론(Nylon, Polyamide)

Polyamide 수지는 최초의 합성섬유로, 1938년 Dupont사에서 HMDA(hexamethylene diamine)과 AA(adipic acid)의 축중합 제품(polyamide 66, nylon 66)이 그 시초였으며, 이 때부터 nylon이라는 상품명은 합성 polyamide를 지칭하는 일반 용어로 사용되고 있다. 대표적인 nylon수지로는 nylon 66과 함께 ϵ -caprolactam을 원료로 하는 nylon 6을 들 수 있다. 그 외에도 다양한 원료로부터 지방족(aliphatic) 및 내열성 방향족(aromatic) nylon 등이 상용화 되어 있다(표 3).^{5,6,13}

기술 개발 동향으로는 자동차, 전기 전자 및 산업용 내열 내구 용도를 위한 270도 이상의 내열성을 갖는 고내열 나일론 연구, branching 구조 도입에 따른 특성 개질, 다양한 보강제 및 alloy화에 의한 특성 부여 등이 연구되어지고 있다. 그 외에도 환경 친화성을 위한 식물 기반의 다양한 bio mass를 이용한 나일론 중합, 할로젠(halogen)을 포함하지 않는 친환경 난연화 등에 대한 관심이 높아지고 있다.

4. 폴리에스터(PBT, PET)

폴리에스터는 고분자 주사슬에 에스터기를 갖는 축중합 수지로, 그

표 3. Characteristics of Polyamides and Manufacturing

	Characteristics	Polymerization
PA6	Heat resistance (T_m , 225 °C)	ϵ -caprolactam, ring opening
PA66	Heat resistance (T_m , 260 °C)	HMDA+AA, condensation
PA11	Low water absorption (T_m , 180 °C)	ω -aminoundecanic acid
PA12	Low temp. impact (T_m , 178 °C)	ω -aminododecanic acid
PA610	Low water absorption (T_m , 213 °C)	HMDA+sebacic acid
PA612	Low water absorption	HMDA+dodecanic acid
PA46	Heat resistance (T_m , 290 °C)	tetramethylene diamine+AA
MXD6	Low shrinkage (T_m , 243 °C)	m-xylenediamine+AA
PPA	Aromatic copolymer	Aromatic amine+acid

표 4. Summary of PBT Blend Systems

Types	Blend Pairs	Characteristics
Crystalline	PBT/PET	Surface gloss, Trans reaction
Amorphous	PBT/PC	Impact strength, Dimensional stability, Toughness, Inter chain reaction
	PBT/ABS	Low warpage, Impact strength
	PBT/PPE	Heat resistance, Dimensional stability
	PBT/PS	Dimensional stability
Impact modifier	PBT/TPU	Impact strength, Chemical resistance
	PBT/Elastomer	Low temperature impact strength

원료 종류의 선택에 따라 단일성분 수지(homopolymer) 또는 다양한 조성을 포함하는 공중합체(co-polymer)로 나누어 볼 수 있다. 최초로 상업화된 부분 방향족(partially aromatic) 폴리에스터가 바로 1940년대에 개발된 PET(polyethylene terephthalate) 수지이다. 그 이후 다양한 원료를 갖는 폴리에스터 종류가 개발되었으며, 본격적인 엔지니어링 플라스틱으로 상업화된 대표적인 폴리에스터 수지로 PBT(polybutylene terephthalate) 수지가 있다.

PET 수지는 높은 용융 온도와 함께 낮은 결정화 속도 및 연신 특성으로 fiber, film 및 blow bottle 제품 등으로 주요 사용되는 반면, 엔지니어링 플라스틱 용도에서는 낮은 결정화 속도의 제한으로 각종 무기물을 보강한 일부 제품으로 제한적으로 사용되고 있다. 결정화 속도 특성이 우수한 PBT 수지는 기계적 강성, 내열성, 성형성, 내후성 및 내화학성의 균형잡힌 특성으로 전기, 전자, 산업용 및 자동차용 부품으로 많이 적용되고 있다. PBT는 DMT(dimethyl terephthalate) 또는, TPA(terephthalic acid)와 BG(1,4-butanediol) 모노머로부터 중합되는 결정성 수지로 1970년 미국의 Celanese사에서 최초로 상용화되었다.¹⁴⁻¹⁷

Nylon과 함께 대표적 결정성 엔지니어링 플라스틱인 PBT는 다양한 용도로 사용되고 있으며, 요구 특성에 따라 다양한 보강 및 alloy 제품 개발이 전개되고 있다(표 4).

- Polymer blend-PBT/ABS, PC/PBT, PBT/PET, PBT/Rubber 등.
- 강화제에 의한 개질-유리섬유 보강 10%~50%.
- 첨가제에 의한 개질-난연화, 내열, 내습 특성.
- 공중합체-다양한 모노머 조합으로 고내열 및 엘라스토머 제조 가능.

이러한 alloy를 통한 특성개선 및 보강제(filler) 보강에 따른 내열성 향상으로 그 사용 범위가 확대되고 있으며, 자동차 부품의 경량화 및 전기전자 부품의 디자인 자유도 향상 등 목적으로 금속이나 열경화성

플라스틱 대체 개발도 전개되고 있다. 친환경 특성 부여를 위한 non-halogen 난연화, 식물 기반의 원료를 이용한 bio mass polyester 중합 등이 활발히 진행되고 있다.

5. 폴리아세탈(Polyacetal, Polyoxymethylene, POM)

폴리아세탈(polyacetal)은 메탄올(methanol)을 원료로 formalde-
hyde로 전환 이온중합(ionic polymerization)을 통해 만들어지는 결정성 폴리머로서 POM(polyoxymethylene), polyformal, poly-
formaldehyde라고도 불린다. 1958년 미국에서 최초로 상업화되었
으며, 공중합 성분(co-monomer) 함유 여부에 따라 크게 호모(homo
POM) 수지와 공중합(co-polymer) 수지 type으로 구분된다. Homo-
polymer는 (-CH₂-O-) 반복 단위로만 이루어지며 합성공정 말
기에 말단 안정화(end capping) 과정을 거치는 반면에, co-polymer
는 (-CH₂-O-) 반복 단위에 co-monomer로 (-CH₂-CH₂-O-)
단위 등을 소량 포함하고 있다. 이로 인하여 co-polymer는 homo-
polymer type에 비해 열분해에 대한 안정성, 가공성, creep, 내화학
성 등이 우수한 반면, 결정성이 다소 떨어져 강성 및 단기 물성이 낮
은 특징을 갖는다.^{5,18}

아세탈 수지는 70% 이상의 높은 결정화도 특성으로 인하여 보강
제 등의 첨가 없이도 균형잡힌 물성 특성을 갖고 있으며, 특히 마찰
마모에 강한 특성으로 플라스틱 기어, 지퍼 및 롤러 등의 다양한 용도
에 적용되고 있다. 결정 배열이 용이한 단순반복(simple linear) 구
조로 높은 결정화도를 갖고 있는 아세탈 수지의 엔지니어링 플라스
틱으로의 주요 장·단점 특성을 비교 해보면 다음과 같다(표 5).

- 강도, 경도, 탄성을 등 기계적 강도가 우수.
- 내마찰/마모 특성이 우수하고 내피로 특성이 탁월.
- 열변형 온도가 높고 열안정성이 양호.
- 내화학성 및 내크랙 특성이 우수.
- 가공성이 우수하고 치수 안정성이 뛰어난 장점이 있음.

반면, 가연성 원료로 이루어진 고결정성 수지의 단점으로는,

- 산소지수가 낮아 난연 제품 제조가 곤란.
- 내후성 및 접착성 특성이 낮음.
- 가공 중 formaldehyde 발생 및 잔류 가능성 있음.

표 5. Advantages and Disadvantages of Engineering Plastics

Engineering Plastics	Advantages	Disadvantages
Polycarbonate	High Impact, Transparency Dimensional Stability	Chemical Resistance Stress Cracking
Polyamide(Nylon)	Mechanical and Wear Property, Chemical Resistance	Dimensional Stability Mold Shrinkage
Poyester(PBT, PET)	Electrical and Heat Stability Chemical Resistance	Mold Shrinkage
Polyacetal	Wear and Fatigue Resistance Frictional Property	Mold Shrinkage Flammability
modified PPO	Processability Dimensional Stability	Chemical and Heat Resistance Weather Resistance

아세탈 수지는 자체 물성 밸런스가 우수하여 보강 및 alloy 적용 용
도가 다른 EP에 비해 낮은 특징이 있으며, 특정 용도에 따라서는 유
리섬유(glass fiber) 또는 고무탄성체 보강(rubber toughening)이
일부 사용되기도 한다. 주요 개발 동향으로는 중합공정 효율성 향상
및 low VOC(volatile organic compound) formaldehyde 감소 제
품화 등이 이루어지고 있다.

6. mPPO(modified Polyphenylene Oxide)

mPPO는 1965년 미국의 GE사에서 Noryl이라는 제품명으로 처
음 상업화 되었으며, PPO(polyphenylene oxide) 수지와 HIPS(high
impact polystyrene)의 alloy 형태로 쓰인다. PPO는 유리전이온도
(glass transition temperature, T_g)가 215 °C인 무정형 수지로 성형
온도가 높고, 고점도(high viscosity) 특성으로 성형이 어렵고 제품에
균열(crack)이 쉽게 발생하는 문제점을 가지고 있었으나, PS(poly-
styrene)와는 분자 수준의 상용성(molecular level miscibility) 특
성으로 20~80%의 다양한 비율의 alloy 제품으로 사용되고 있다
(그림 4).

5대 엔지니어링 플라스틱 중 폴리카보네이트와 함께 무정형 수지
에 속하며, PS와의 miscibility로 넓은 함량 범위에서 안정한 alloy
조성물을 제공한다. Alloy 제품으로는 PPO/PS, PPO/polyamide,
PPO/rubber 등이 대표적이며, 최근에는 PPO/PP, PPO/PE 등 올레
핀계 수지와의 alloy 제품화도 추진되고 있다. 특히, 친환경 난연 제
품에 대한 관심이 커지면서 halogen-free cable 등의 수요가 전기 전
자, 자동차 부품 중심으로 꾸준히 증가하고 있다.

7. 슈퍼 엔지니어링 플라스틱(Super EP)

슈퍼 엔지니어링 플라스틱(super engineering plastics)은 연속 사
용가능 온도가 150 °C 이상인 고내열 엔지니어링 플라스틱을 통칭하
는 것으로 그 종류는 구성 성분에 따라 다양하게 구성되어 진다. 대표
적인 무정형 슈퍼 엔지니어링 수지로는 PSU(polysulfone), PES
(polyether sulfone), PAr(polyarylate), PEI(polyether imide)
등이 있으며, 결정성 수지로는 PPS(polyphenylene sulfide), fluoro
polymer, LCP(liquid crystalline polymer), PEK(polyether ketone),
PEEK(polyether ether ketone) 등이 있다(표 6).

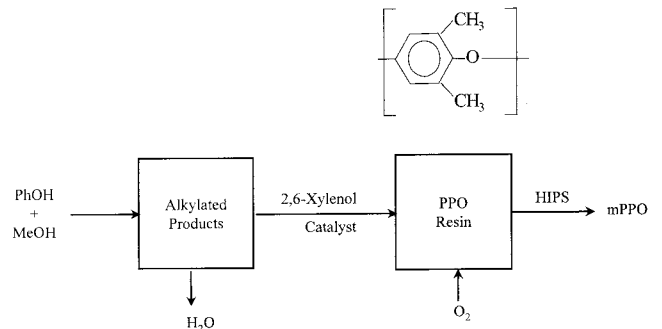


그림 4. Manufacturing scheme of mPPO resin.

표 6. Characteristics of Super Engineering Plastics

Super EP	Use Temperature $T_g(T_m)$	Characteristics
PSU	150~190 °C 180~220 °C	Transparency, Mechanical Properties Low Weather Stability
PES	180 °C 225 °C	Creep and Crack Resistance Dimensional Stability
PEI	170 °C 215 °C	Dimensional Stability, Processability Abrasion Resistance
PPS	200 °C 85 °C(280 °C)	Excellent Chemical Resistance Inherent Flame Resistance
PEEK	250 °C 145 (315°C)	Chemical and Creep Resistance Excellent Heat Stability
LCP	200 °C 110~130 °C(290~340 °C)	Good Processability Weather and Heat Stability

1970년 이전에 5대 범용 엔지니어링 플라스틱을 포함한 범용 플라스틱이 대부분 상용화 되었다면, 그 이후에는 시장규모는 제한적이거나 높은 기능성과 내열성이 요구되는 슈퍼 엔지니어링 플라스틱이 상업화 되었다. 높은 내열성이 특징인 슈퍼 엔지니어링 플라스틱의 경우 PPS와 불소계 수지를 제외하면, 상대적으로 작은 수요량과 함께 메이커 별로 높은 진입 장벽을 구축, 제한된 경쟁 관계를 유지하고 있다. 국내의 경우 LCP, PPS를 중심으로 일부 상업적인 중합 공장을 검토하고 있는 단계로 엔지니어링 플라스틱 분야에서 상대적으로 가장 낙후된 분야라 할 수 있겠다.

8. 결론

범용 플라스틱을 포함한 5대 엔지니어링 플라스틱의 상업화는 70년대 이전에 이루어 졌으며, 그 후 일정 규모 이상의 시장을 형성할 만한 새로운 화학 구조를 가진 플라스틱의 상업화는 아직 나타나지 않고 있다. 이는 금속이나 세라믹 소재의 경우도 크게 다르지 않을 것으로 각종 alloy화 등의 특성화는 지속되어 왔으나 새로운 구조의 신물질 시장의 대규모 시장형성은 극히 드물다. 메탈로센(metallocene) 촉매를 이용한 sPS(syndiotactic polystyrene) 수지, COC(cycloolefine copolymer) 등이 관심을 끌었으나, 일정 이상의 시장 규모를 형성하지는 못했으며 다만, 소량 다품종의 슈퍼 엔지니어링 분야에서는 꾸준히 기능성 신규 구조 플라스틱의 상업화가 지속적으로 이루어지고 있다.

범용 엔지니어링 플라스틱의 경우 기술 동향으로는 새로운 중합 공정의 개발, 공중합 및 chain 개질에 의한 특성 부여, renewable source를 원료로 하는 bio mass route로 하는 신규 합성법 개발 등이 이루어지고 있다.

새로운 화학구조를 갖는 수지 설계를 통한 엔지니어링 플라스틱 개발은 그 개발 기간이 오래 걸리고 또한, 새로운 합성 설비를 위한 대규모 투자는 cost/performance 측면의 경제성이 없는 경우가 대부

분이다. 이러한 측면에서 본다면, 일부 기능성 특수 엔지니어링 플라스틱을 제외하고 새로운 공정에 의한 새로운 화학 구조를 갖는 시장 규모를 갖는 엔지니어링 플라스틱이 등장할 가능성은 적어 보인다.

자동차, 전기, 전자 및 산업용 분야에서는 엔지니어링 플라스틱에 다양한 보강재 및 첨가제를 도입하여 특성을 개량하거나 다른 수지와 alloy를 통하여 요구 특성에 맞는 맞춤형 수지의 개발이 시도되고 있으며, 또한 새로운 가공방법에 의한 미세 구조 조절(micro morphology control)로 기존 수지의 기능 극대화 등의 개발이 지속되고 있다.

따라서, 전기, 전자 및 자동차 분야의 시장 needs 파악이 바로 엔지니어링 플라스틱 개발 동향에 직접적인 방향성이 될 수 있다. 친환경 renewable biomass 플라스틱, nano composite, IT 부품의 고집적화에 따른 내열 SMT(surface mount tech) 소재, green recycle 소재, 중금속 및 halogen free, 금속 대체 경량화 가능 복합소재 등의 개발 방향을 예상해 볼 수 있다.

참고문헌

1. O. Olabishi, Ed., *Handbook of Thermoplastics*, Marcel Dekker, Inc., 1997.
2. N. P. Cheremisinoff, Ed., *Handbook of Polymer Science and Technology*, Marcel Dekker Inc., 1989.
3. G. Allen and J. C. Bevington, Ed., *Comprehensive Polymer Science*, Pergamon Press, New York, 1989.
4. J. M. Margolis, Ed., *Engineering Plastics Handbook*, McGraw-Hill, 2006.
5. 엔지니어링 플라스틱 시장의 전망과 전략 후지경제, 동경, 2006.
6. 전자 및 자동차용 EP 시장 분석, 화학경제연구원, 2008.
7. *Plastics Age*, **86**, 140 (2007).
8. H. Schnell, *Chemistry and Physics of Polycarbonate*, Interscience, New York, 1964.
9. 폴리카보네이트 수지 핸드북(일), 일간공업신문사, Tokyo, 1992.
10. *공업재료(일)*, **44**, 35 (1996).
11. J. I. Koroschwitz, Ed., *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*, Vol. 11, Wiley Interscience, New York, 1988.
12. A. A. Jones, *Macromolecules*, **18**, 902 (1985).
13. J. Brandrup, *Polymer handbook*, Interscience, New York, 1966.
14. *Plastics Age*, **74**, 150 (2006).
15. E. Marechal, *Handbook of Thermoplastic Polyesters*, S. Fvkirov, Ed., Wiley-VCH, Weinheim, 2002.
16. R. R. Gallucci and B. R. Patel, *Poly(butylene terephthalate)*, in "Modern Polyesters", J. Scheiris and T. E. Long, Eds., John Wiley & Sons Ltd., England, 2003.
17. W. Foltner, *Solid State Polymerization of Polyester Resins*, in "Modern Polyesters", J. Scheiris and T. E. Long, Eds., John Wiley & Sons Ltd., England, 2003.
18. 폴리아세탈수지 핸드북(일), 일간공업신문사, Tokyo, 1992.