

# 21세기를 대비한 고분자공업의 R & D 전략

김 은 영  
한국과학기술연구원

## 1. 석유화학공업의 특성

### 1.1 Slow innovation

주요 화학제품의 원료가 전후 비석유계에서 값싼 석유계 원료로 대체되고 석유화학제품으로 천연재료를 대체하면서 종전후 20~30년간은 R & D의 황금기간;

- 실크와 천연고무의 수급부족은 합성섬유와 합성고무의 출현을 유발함.
- 폴리에틸렌은 영국 ICI사에 의해 radar의 유전체로 사용, 뒤를 이어 여러나라에서 상업화, 1950년까지 석유화학성장에 큰 역할을 함.

· Innovation cycle은 보통 50년간 계속됨, 최근 50년간의 제품 및 공정의 개발로 인하여 최근 innovation의 속도가 현저히 저하되고 있음(그림 1 참조).

### 1.2 기존의 합성물질을 다른 합성물질로 대체

천연물 대체로부터 이미 사용되고 있는 합성물을 더 좋고 값싼 다른 합성물로 대체;

(예) 최근 카페트에는 모와 면섬유는 거의 사용되지 않고 있으나 합성섬유간에 경쟁을 하고 있음. 그림 2에 제시된 카페트용 합성섬유 시장의 소재별 시장 점유율을 보면 nylon에서 폴리에스터를 거쳐 polyolefin이 각광을 받고 있음.

- 항상 합성물이 모든 것을 대체하지는 못함.

(예) 다음에 제시한 음료수 시장에서 포장재료의 수요 변화에서 볼 수 있듯이 PET 수요는 늘어났으나 알미늄 can의 경우도 제조공정 및 내부코팅물질의 개발을 통해 수요가 늘었음.

	1975	1993
유리병	70%	20%
폴리에스터병	0%	35%
알미늄통	30%	45%

· 합성물을 아주 새로운 합성물로 대체하는 것보다는 조금 분자를 변성(molecular modification)하거나 혹은 제품의 블렌딩을 통해 기존의 물질을 대체.

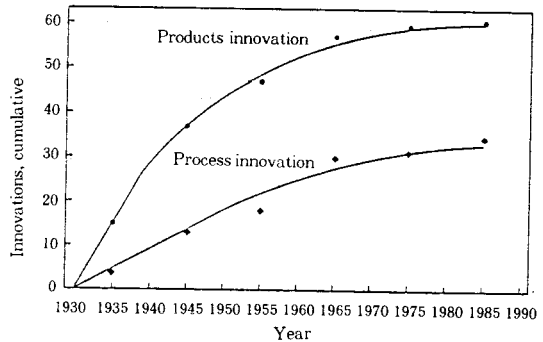


그림 1. Innovation has slowed. Product and process innovations from 1930 to 1985 are shown.

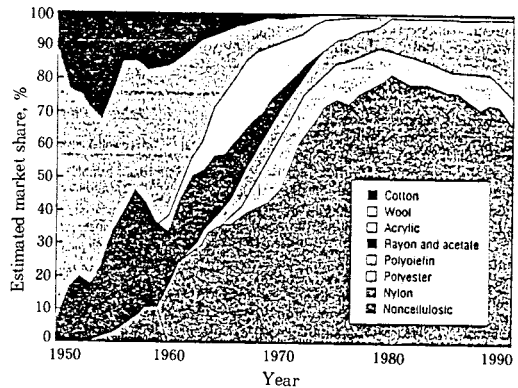


그림 2. Battle for carpet fiber market share in the United States.

· 촉매와 공정 개량을 통해 합성물을 점진적으로 개량; (예) 폴리에틸렌의 경우 촉매와 공정의 R & D를 통해 점진적으로 개량이 이루어짐.

1942년에 LDPE가 처음 출현한 이후 1957년에는 HDPE, 1978년에는 LLDPE가 출현했고 최근에는 metallocene 촉매를 사용한 새로운 PE 제품이 출현함.

**1.3 연구개발과 상업화의 고비용과 낮은 성공 가능성**  
연구개발은 비싸고 성공가능성이 적음. 따라서 최근의

연구개발 전략에서는 연구개발이 연구 진행 전에 전사적인 차원에서 검토되고 있음;

- 일반적으로 연구개발과 상업화에 소요되는 비용은 연구실 단계의 연구비용을 1 unit으로 할때 pilot plant 단계의 개발비용은 10 units이며 상품화를 위한 비용은 100 units임.

• 이를 고려하지 않은 다음 모기업의 PVC 제조공장 건설에서의 실패 사례의 경우 처음부터 3억불 소요를 생각하지 않고 일을 진행시킨 것이 오류였음.

idea의 연구제안서 작성에 100,000불 & 6개월.

idea의 시험연구에 1,000,000불 & 2년.

pilot plant 단계의 연구에 10,000,000불 & 2년.

상용화 비용에 300,000,000불이 소요됨.

#### 1.4 신제품의 상용화에 오랜 시간이 걸림

• 기술의 성숙, 합성품 시장의 포화, 제품의 다양화, 세계화, 환경요인의 강화 등으로 새로운 제품의 출현이 매우 어려워지고 있음.

• 신제품의 상용화에 오랜 시간이 걸려 기초연구에 대한 흥미를 잃고 있음; 폴리케톤계 엔지니어링 플라스틱의 개발연대표(표 1)에서 보는 바와 같이 촉매 및 물질 특허등록에서 상업화까지 20년이 소요됨.

• Biotech과 같은 다른 분야나 기초연구보다는 더 고객 지향적인 연구로 전환하는 경향임.

## 2. R & D 환경의 변화

### 2.1 Globalization

• 석유화학제품의 생산이 세계화되고 있음;

2차 세계대전 직후에는 미국이 모든 화학제품의 주 공급자였으나 지금은 서구 및 극동 국가들이 더 좋은 시설과 공정을 가지고 거의 모든 화학제품을 생산하고 있으며 중등도 부가치를 높이기 위해 down stream에 참여하고 있음.

• 경쟁을 통해 제품 질의 새로운 규격화가 요구됨;

(과거) Shell, Dow : 에폭시수지의 주 공급자 : Golden color의 에폭시

(현재) Japan : 새로운 세계 규격화를 이룸 : Water white color의 에폭시

• 전 세계에 걸쳐 제품의 균일성이 요구됨;

제품의 질이 세계 어느 곳이나 동일해야 하며 특정 지역의 고객만 만족시키던 시대는 지나갔음.

### 2.2 환경요인의 강화

각국마다 환경규제가 더욱 심하여 질적인 바, 이로 인한 제조경비 상승이 예상됨.

(예) ISO 1400 (93. 1 제정)

제품의 연구개발 단계부터 생산, 사용, 폐기 단계까지

표 1. Polyketone : Chronology of a New Polymer

Year(s)	Accomplishment
1970~75	Basic patents on catalysts and composition of matter Great product but unprocessable due to catalyst residues
1982	New catalyst systems give significant improvement in yield selectivity, cleanliness, and properties
1984	Pilot plant quantities → first market tests
1986	Market development quantities → tests show deficiency in melt stability
1988~90	Joint development with partner knowledgeable in engineering thermoplastic markets
1990	Second joint development partner → further screening
1992	Identification of high-value target application
1994	Sufficient market data to justify plant
1996	Scheduled startup

의 모든 단계에서 환경유해 여부를 인증함. 강제 인증제도로 발전될 가능성이 있어 미인증 제품의 경우 수출에 큰 타격이 예상됨.

• 무용제 및 수성 코팅 시스템, CFC 대체물 등 새로운 산업에 참여할 기회가 주어진다는 긍정적인 면도 있음.

## 3. 새로운 R & D 전략

### 3.1 제품개발의 Cycle time 개선을 통한 기술개발 기간의 단축

경쟁에서 이기기 위해서는 제품개발의 cycle 시간을 줄이는 것이 매우 중요. 이를 위하여 제조공정을 분석하고 도식화하는 것이 필요. 보통 공정 자체는 단축이 가능함. 때로는 절반정도로 제조 및 개발공정을 줄이는 것도 불가능 하지는 않음; 그림 3은 Shell 회사에서 에폭시-유리섬유계 프린트 회로판용 에폭시수지 개발공정을 도식화한 것임. 순수한 개발공정 이외에도 판매 및 제조부서가 마지막 단계에 관여하면 또 다시 지연될 수가 있음. 따라서 이 부문들과 고객이 개념 토의 때부터 참여해 3년 정도 걸릴 기간이 1년으로 단축됨.

### 3.2 점진적인 개선

화학공장에서 촉매개발은 공정 및 제품의 품질개선에서 매우 중요하며 공정비용 절약에는 절대적임; 그림 4는 Shell 사의 ethylene oxide 생산에 사용되는 촉매의 선택도를 나타낸 것으로 때로는 비약적 발전(quantum leap)을 이루기도 하고 때로는 약간의 개선만을 가져오기도 하지만 30여년간 꾸준한 개량을 이루어 5~10년전에 사용하던 촉매를 지금은 사용이 불가능함.

### 3.3 기업간의 제휴 (Partnership)

최근 기업간에 연구개발뿐 아니라 신제품 개발까지 제

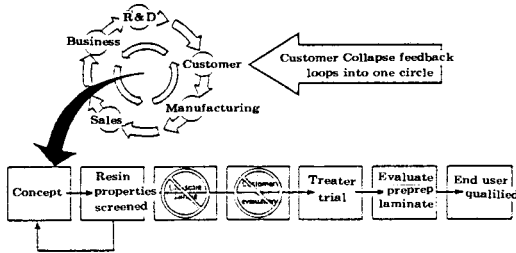


그림 3. Reducing product development time.

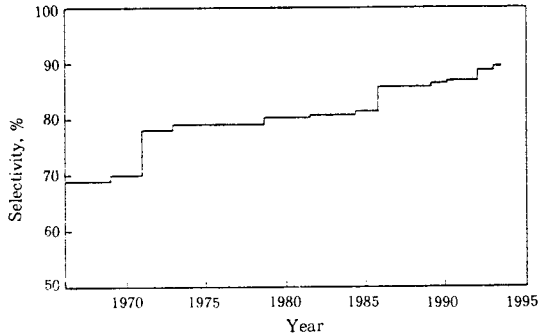


그림 4. Improvements in ethylene oxide catalysts is shown by their increased selectivity.

휴; 제휴의 이유로는 보완적 기술의 교류를 통한 신제품 개발비용 및 위험부담의 감소와 고객의 다양한 욕구 파악을 통한 신제품의 세계 시장 점유를 위한 기술표준 설정.

표 2는 최근 기업간의 제휴 예를 나타낸 것임.

### 3.4 새로운 R & D 전략의 발굴

- 3 세대 R & D 전략;

제 1 세대 (50~60년대) 연구부문만의 독자계획에 따라 독립적인 R & D, 희망의 R & D 전략, 연구원의 천국시대.

(예) Searl 사의 인공감미료 Aspartame

제 2 세대 (70~80년대) 개발을 프로젝트 차원에서는 추진했으나 기업 전체 차원에서 연구자원의 배분과 관리가 고려되지는 않음.

제 3 세대 (90년대~) 기업의 최고 책임자, 연구부문, 사업부문이 개발에 전부 참여. 파트너쉽과 공동책임이 중요. 연구개발 활동이 기업의 전사적 전략과 연계됨.

- 그림 5는 3M 사의 R & D 운영체제를 나타낸 것으로 종전에는 각 부분마다 독립적인 R & D 영역이 있었으나 최근에는 신제품 개발에 모든 부문이 처음부터 참여하고 있는 것을 보여줌.

- 그림 6은 Shell 회사의 R & D 운영체제를 나타낸 것으로 개별적 부문의 목표보다 회사의 목표를 우선함을 보여줌. 즉, 모든 업무진행 단계에 기술적인 요소가 첨가되며 이 기술적 노력은 고객의 요구 및 회사이익을 염두에 두고 정해짐.

표 2. Examples of Technical Collaboration

Participants	Project
Shell Chemical, Amoco	FDA approval for naphthalene dicarboxylate polyesters
Shell Chemical, Union Carbide	Unipol process for polypropylene
Chevron, Institut Français du Pétrole	Eluxyl para-xylene technology
Exxon, Hoechst	Metallocene catalyst R & D

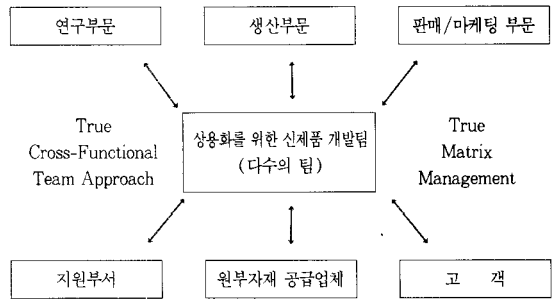


그림 5. 1990년대 3M의 R & D 운영체제.

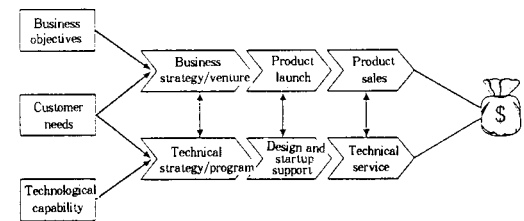


그림 6. The new R & D business structure.

## 4. 연구원과 R & D Manager의 새로운 역할

### 4.1 연구원(Scientist)의 역할

- 연구의 목표가 회사의 목표와 일치하는 명확한 시각 (A clear line of sight)을 가져야 함; [다음과 같은 질문을 스스로에게 던져야 함] 이 일이 정말로 필요한가?
  - 이 연구의 결과로 어떤 일이 이루어질지를 알고 있나?
  - 이 연구의 결과로 고객을 도울 수 있다는 것을 알 수 있나?
  - 더 많은 이익을 가져올 것으로 생각하나?
  - 혹은 내가 하고 있는 일이 단순히 흥미가 있기 때문인가?
  - 나 자신과 조직이 잘 보이게 하기 위해서인가?
  - 늘 이렇게 해왔기 때문인가?
  - 누군가에게 넘길 것을 준비하기 때문인가?

**표 3. Revised Roles of the Industrial Scientist and the Industrial Manager**

Old paradigm	New paradigm
	<b>Scientist</b>
Mainly research: Discover something new Technical excellence validated by publication Distinguish oneself as individual Apply original concepts	Advance and deliver technology profitability Technological excellence validated by commercial success Leverage individual skills through teamwork Apply original, borrowed, or adapted concepts
	<b>Manager</b>
Manager knows best  Plan, lead, organize, and control Handle key communications with customers and head office  Managers have power to commit Manager are evaluated by superiors	Those closest to work know best  Ensure goals are set ; coach people to achieve them Whoever is most knowledgeable handles key communications  Managers empower staff to make commitments Managers get 360° evaluation

**표 4. 3M 사의 R & D Organization의 운영상 특징의 변화**

1960년대	1990년대
기술활동에 대해 지역별로 파악	기술활동뿐만 아니라 사업기회에 대해서도 자세히 세계적인 동향파악
많은 프로그램이 점진적 개선을 목표로 하는 1년 미만의 연구과제 획기적 개선을 시도하는 4~10년 짜리 연구 프로그램 거의 없음	점진적 개선을 목표로 하는 반년 ~1년 미만짜리 과제는 거의 없음 획기적 개선과 경쟁력 기반을 기본적으로 변화시키기 위한 2~5년짜리 연구프로그램을 훨씬 많이 수행
연구소 내부자체 제안과제가 대부분이고, 외부(시장)의 요구에 의해 추진되는 과제 거의 없음	연구소 내부자체 제안과제는 거의 없고, 주로 외부(시장)의 요구에 의해 과제를 추진함
R & D : 연구, 개발 등 순차적으로 수행	고객중심의 R & D : Cross functional team approach
연구소 경영 : 목표관리(MBO) 방식의 경영스타일	연구소 경영 : 하부로 권한 이양, 팀중심의 관리

## 4.2 R & D Manager의 역할

표 3의 하단부에 열거한 것과 같은 새로운 역할이 요구됨;

- 이와 같이 paradigm이 변하면서 많은 사항이 team으로 위임되고 있어 기업에서 R & D Manager의 수가 줄고 있음.

- 표 4에 3M 사의 R & D 운영상 특징의 변화를 제시함.

## 5. 맺는 말

· 국내 석유화학공업은 기반기술의 진보없이 생산기술과 그에 관계된 management 기술만 발전시켜 독자기술을 가지고 있지 않음. 따라서, 외부환경(최근 중국의 시장패쇄에 따라 석유경기와 유화경기가 하락하는 것처럼) 변화에 경기 의존도가 심함.

· 고분자공업/석유화학공업은 타 산업에 비해 제품의 life cycle이 매우 길며 획기적인 새로운 제품의 개발을 기대하기 어려움. 그러나 기간산업으로서 매우 중요하며 점진적인 개선이나 제품개발 단계를 단축하는 등 지속적인 R & D 없이는 후발 개도국 추격에 대처할 수 없음.

· 해외 R & D 환경이 바뀌고 있으므로 우리도 여기에 맞게 R & D 조직이나 운영체계를 바꿔 나가면서 대처할 필요성이 있음. 특히 산학연 협동을 통해 강력한 기술 뒷받침이 있는 산업으로 성장시켜 21세기를 대비하여야 함.