

초 점 기 획

화학 산업의 기술 혁신 패턴

朴東炫¹⁾

목차

I . 머리말

II . 화학 기술 패러다임의 변화

III . 화학 산업의 기술 혁신 패턴

1. 기술 속성 측면

2. 혁신 주체 측면

3. 혁신 유발 측면

IV . 화학 기술 혁신의 전개 방향

I . 머리말

화학 산업은 어떤 원료 및 제품이 화학적 반응을 일으키거나 화학적 요소가 기술상의 중요요소로 작용하여 해당 원료 및 제품의 가치를 높이는 일련의 공정에 商業性을 부여하여 기업화된 산업이다.

화학 산업의 특징으로는, 첫째, 부가가치 상승률이 기술 수준에 따라 급격히 변화한다는 점을 들 수 있다. 예를 들어 나프타 1드럼이 연료로 쓰일 경우에 비해 합성 수지로 변환되면 약 4배, 특화 고분자 및 정밀 화학 제품으로 변환되면 10~10,000배의 부가가치 상승을 유도할 수 있다. 따라서 일정 수준의 기술 축적 없이는 자체 개발이 힘든 생산형태를 보여, 개발 초기 단계에는 기초 기술에 의한 노하우 확보에 주력하다가 양산화 단계에 들어서면 scale-up을 위한 기본 설계 능력을 필요로 하는 기술 축적을 요구하게 된다. 현재 우리 나라 화학 산업의 성숙도를 고려할 때, 고도 기술의 확보가 없이는 장기적 경쟁력 확보가 불가능한 단계에 들어서 있다.

둘째, 타 산업의 주요 原·副資材로서 관련 산업의 품질 고급화와 부가가치 제고 및 신상품 개발에 결정적 영향을 주는 산업이다. 예를 들어, 자동차 산업에 있어 향후 최대 기술 과제인 경량화, 공해 방지 대체 연료 개발 등의 부문을 다름 아닌 화학 기술이 선도하고 있다. 전자 산업에 있어서도 부품 기술은 세계 최고 수준에 있지만, 화학 소재 기술의 확보가 이루어지지 않고서는 장기적 경쟁력 강화가 힘들다고 지적되고 있으며, 석유산업에서도 품질 고급화 및 신상품 개발에 투입되는 중요한 요소들이 화학 산업의 기술 수준에 크게 의존한다.

셋째, 여러 가지의 생산 형태가 共存한다는 것도 특징적이다. 화학 산업의 대표격인 석유 화학은 콤비나트형·자본 집약적 장치 산업인데 비해, 정밀 화학은 다품종 소량 생산 체제로 구성된 대표적인 기술 집약적 산업으로 시장 규모가 크지 않아 시장 확보가 중요시되는 산업이다. 기타 화학

제품 가공 공업도 제지, 고무 제품 등을 제외하고는 다품종 소량 생산 체제의 중소기업형 산업 형태를 보이고 있다.

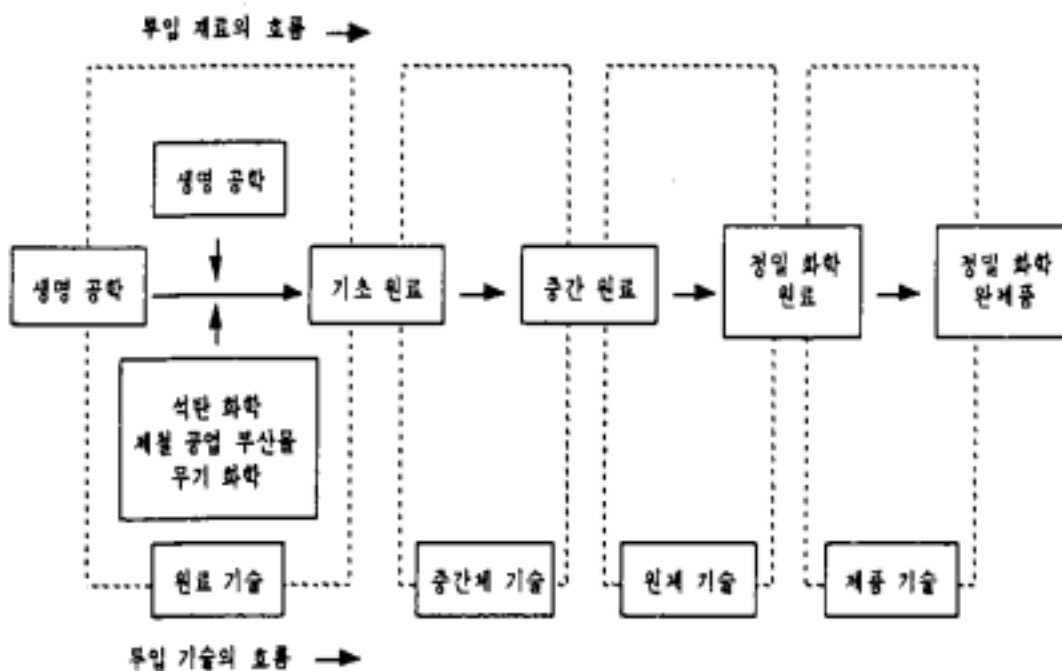
넷째, 선진국의 기술 및 시장 독점 경향이 큰 산업이다. 장기간의 기술 축적과 막대한 기술개발 투자가 요구되므로, 부가가치가 큰 특수제품의 경우 대부분 선진국 기업이 노하우 또는 특허로서 기술을 獨占하고 있다. 정밀 화학 제품의 대부분은 단위당 가격에 비해 수송비 비중이 상대적으로 낮기 때문에 세계적 독과점 시장 형태가 유지되며, 중·후진국 기업들은 시장 규모의 협소, 막대한 연구개발 비용 등 신제품 개발 및 기업화에 불리한 여건을 감수하고 있다.

이러한 화학 산업에 사용되는 기술은 원료에서 중간체를 거쳐 최종 제품에 이르는 일련의 재료 변환과 가공 과정에 투입되는 기술을 의미한다. 화학 산업의 기술 체계는 재료의 변환과 가공 단계에 따라, 혹은 투입되는 기술의 속성에 따라 다음과 같이 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

가. 재료 변환, 가공 단계에 따른 기술 체계

이 기술 체계는 재료가 투입되어 가공 단계를 거쳐 완제품으로 변환되기까지의 段階別 특성을 기준으로 하고 있다. 즉, 한 단계에서 가공 또는 변환에 의해 다음 단계로 넘어가는데 필요한 기술의 내용에 따라 분류하는 접근법으로서, 가장 일반적인 기술 체계이다(<그림 1> 참조).

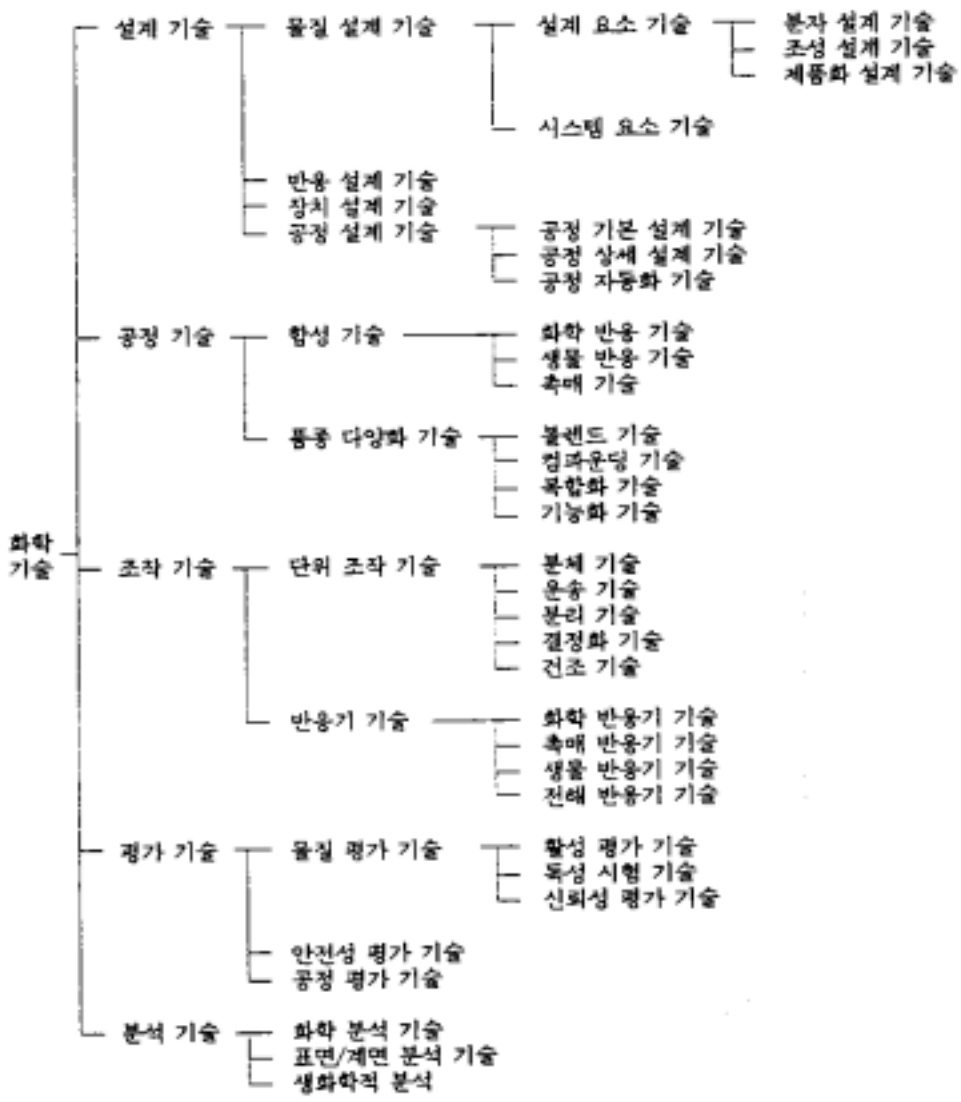
<그림 1> 변환 및 가공 단계에 의한 화학 산업의 기술 체계



나. 요소 기술에 의한 기술 체계

이 체계는 기존의 분류에서는 거의 다루어지지 않았다가 박동현(1994)에 의해 새로이 정립되었다. 이 기술 체계에서는 화학 산업을 재료 변환과 가공 단계별로 다루어 온 기존의 분류와 달리, 사용되는 요소 기술의 투입 목적에 따라 분류하여 화학 물질의 개발 과정에서 생산, 처리에 이르는 모든 화학 산업의 기술 활동에 투입되는 기술의 속성들을 파악할 수 있게 한다. 화학 산업의 분류가 제품들의 기능 및 용도

<그림 2> 요소 기술에 의한 화학 산업의 기술 체계



별로 분류되어 있는 것과 관련하여 투입 목적에 의한 요소 기술의 분류가 제시되므로 기술의 속성 별 群集化가 가능해져 화학 부문의 산업과 기술의 연결고리가 강화된 것이 그 특징이라고 할 수 있다(<그림 2> 참조).

II. 화학 기술 패러다임의 변화

현재까지 기술 혁신과 그에 따른 산업 구조의 변화 과정은 약 50년을 주기로 하는 循環期로 파악 할 수 있다. 화학 산업도 각 순환기에 따라 새로운 분야를 생성하면서 발전해 왔다(<그림 3> 참조).

화학 산업이 본격적으로 발전하기 시작한 1950년대부터 현재까지의 전개 과정을 구분하여 보면 크게 4단계로 나눌 수 있다. 각 단계는 당시의 산업 내외적 요인에 따라 기술 패러다임의 획기적 변화를 일으키며 변화해 왔다. 1단계는 제2차 세계 대전 이전까지의 기간으로 화학공업의 발상지라 할 수 있는 유럽이 주도권을 가지고 있던 시기이다. 2단계는 제2차 대전 이후 '70년까지로 전쟁으로 인해 유럽의 주도권이 상실되고, 대신 전쟁 중 석유 화학 분야에

<그림 3> 화학 산업의 기술 발전 과정

연대	1780	1830	1880	1930	1980
구분	제1순환기	제2순환기	제3순환기	제4순환기	제5순환기
태동산업	무기 화학 증기 동력 방모 제철	유기 화학 증기 기관	석탄 화학 자동차 전기, 통신 내연 기관	석유 화학 고분자 항공 운수 전자	신소재 해양, 우주 컴퓨터, 통신 원자력 생명 공학
화학 산업 발전 과정	무기 화학 진화 시대	유기 화학 진화 시대	석탄 화학 전기 화학 진화 시대	고분자 석유 화학 진화 시대	신소재 진화 시대
주요 발견 제품	<ul style="list-style-type: none"> • 요소 합성(1828) • 아닐린 염료(1856) • 암모니아수(1962) • 셀룰로이드(1869) 	<ul style="list-style-type: none"> • 암모니아 합성(1908) • 셀로판(1924) 		<ul style="list-style-type: none"> • 합성 고무(1931) • 나일론(1935) • 폴리에틸렌(1938) • 폴리에스터(1946) • 폴리프로필렌(1955) • 인슐린 합성(1963) • PEEK(1980) • 고온초전도체 	

적극 진출한 미국이 주도권을 행사하는 시기이며, 3단계인 70년대 이후에는 60년대에 석유화학 분야에 적극 진출한 유럽이 점차 부상하여 미국과 백중세를 이루고, 일본 등의 비중이 상대적으로 증가하는 시기가 된다. 4단계로 분류되는 '80년 중반 이후부터는 생리 활성 물질(의약품, 농약)을 중심으로 한 신기능·특수 기능 물질의 개발, 신소재 기술개발, 에너지·정보·항공·전자·우주 등 관련 산업에의 응용, 다품종 소량 생산 체제에 적합한 computer control system 기술의 개발에 초점을 맞추고 있으며, 기술의 고도화와 시장 수요의 다양화에 따라 다품종 소량 생산 체제의 정밀 화학 제품에 대한 세계 시장 규모가 급격히 확대되고 있다. 이에 따라 화학 산업의 영역을 생물, 물리, 전자에까지 확대하여 기술 융합을 시도하는 등 「新화학」 시대에 대비하고, 현재의 기술 우위에 의한 독점적 지위를 지속적으로 유지하기 위해 기술 개발 투자가 가속화되고 있다.

한편 이 같은 변화 과정중에 두 차례의 석유 파동을 겪으면서 선진 종합 화학 기업들의 성장 전략이 크게 변화하였다. 석유 파동 전에는 높은 경제 성장, 量産기술과 저렴한 원가를 바탕으로 규모의 경제를 추구하여 양적 성장 위주의 전략을 구사하였으나, 두 차례의 석유 파동을 겪으면서 성장 전략이 크게 변화되었다. 즉, 유가가 급등하고 산유국의 석유 화학으로의 진출이 전개되면서, 불황으로 인해 생존 자체가 문제되고 합리화를 통한 체질 강화를 추구하게 되어 상당한 업계 재편성이 진행되었다.

이에 따라 현재에는 범용 제품 생산이 보편화되고 시장이 성숙됨에 따라, 첨단 신소재 개발을 통한 고부가 가치화를 추구하지 않으면 안 되는 시기가 되었다. 즉, 일반 화학(commodity chemicals) 산업의 경우 과잉 설비, 수요 포화, 수익성 저하 등의 요인 때문에 비교 우위가 약화되었으며, 이에 따라 고수익성 정밀 화학 제품의 개발로 점차 방향을 전환함으로써 전체 화학 산업에서 차지하는 정밀 화학의 비중이 증대하고 있다. 특히 선진 화학 산업 국가인 스위스(90%),

독일(70%), 미국, 일본, 영국(50%) 등은 이미 정밀 화학 매출액의 비중이 더 크며, 우리나라도 산업 구조가 고도화됨에 따라 이러한 경향에 접근해가고 있다.

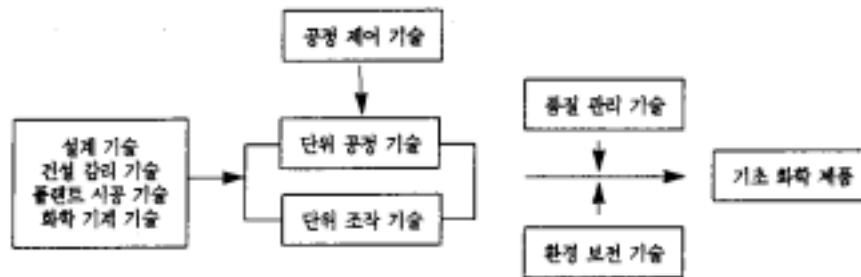
III. 화학 산업의 기술 혁신 패턴

화학 산업은 기술 및 산업의 특성에 따라 두 개의 분야, 즉 소재 중심의 석유 화학 산업과 가공 중심의 정밀 화학 산업으로 나뉘어진다. 따라서 기술 혁신 패턴의 분석을 위해서도 화학 산업을 석유 화학 산업과 정밀 화학 산업으로 대분하여 접근하기로 한다.

1. 기술 속성 측면

석유 화학 산업과 정밀 화학 산업은 기술 속성면에서 확연히 다른 양상을 보이고 있다. 첫째, 기술의 내용과 핵심 기술면에서 석유 화학은 화학 산업 및 관련 소재 산업의 기초 원료를 사용하여 - 정밀 화학 산업을 포함한 - 他산업에 투입되는 원료를 최종 제품으로 생산한다. 따라서, 대규모의 설비를 중심으로 한 산업화 공정과 엔지니어링 기술이 그 핵심 기술을 이루며, 공정의 물리적 균형, 에너지 균형, 공정

<그림 4> 석유 화학 산업의 핵심 기술



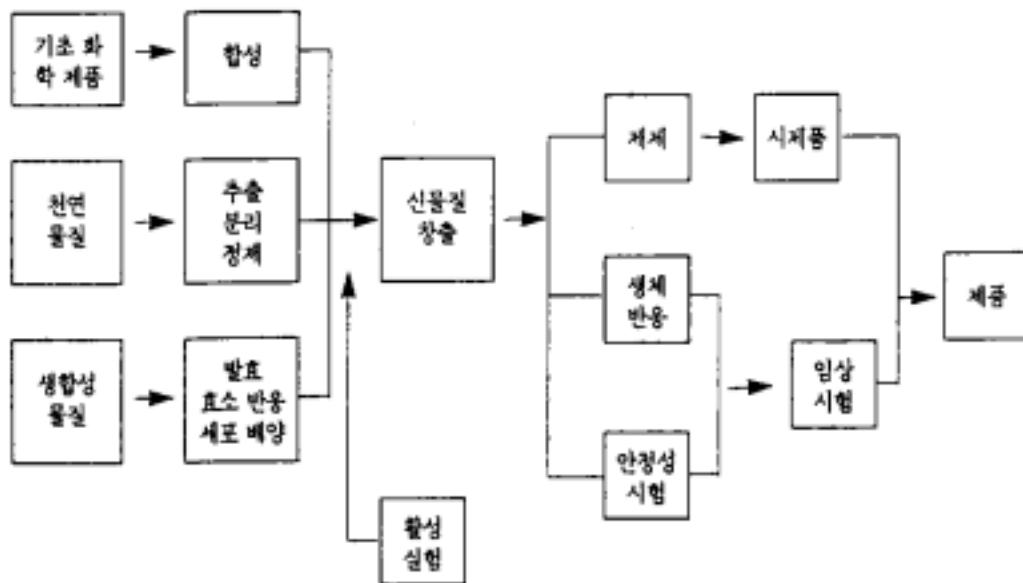
흐름도 등이 기술 관리의 요체로 작용하고 있다(<그림 4> 참조).

또한 주로 산업화 공정의 운용 경험과 기업 내에서 축적된 설계 능력이 중심이 되므로, 신 촉매 개발을 제외하면 과학적 지식의 상대적 중요도는 낮다. 또한, 생산 공정의 형태는 UNID0식 분류 방법에 따를 때 연속 공정형에 속한다. 대부분의 생산 라인은 자동화되어 있고 反應槽가 연속형이므로 유체의 균일한 흐름이 개재되어 있어 일부 단계의 수준에 대한 탄력적 운용은 매우 어렵다.

이에 반하여 정밀 화학 산업은 석유 화학 산업과 큰 차이를 보이고 있다. 정밀 화학 산업은 크게 나누어 생리 활성물질(의약, 농약 등)과 그 밖의 기능성 제품으로 구분할 수 있는데, 이들의 핵심 기술 체계는 각각 <그림 5>와 <그림 6>에 제시되어 있다.

이들은 전 부문 공히 물질 설계 능력과 기능

<그림 5> 정밀 화학의 핵심 기술 - 생리 활성 물질



<그림 6> 정밀 화학의 핵심 기술 - 기능성 제품



-구조 상관 관계에 대한 과학적 지식 베이스의 축적이 핵심 기술을 이루고 있으며, 향료/화장품, 염/안료 등에서의 배합 기술과 같은 부문은 이론화되지 않은 노하우도 핵심 기술로 작용한다. 또한, 임상 평가나 분석을 위한 평가 기술의 중요성이 매우 높다. 따라서 특정 구조, 성능, 특성을 지닌 제품의 개발이 기술 관리의 要諦를 이룬다.

물질의 기능-구조 상관 관계에 대한 지식이 바탕이 되므로 과학적 지식의 중요성은 매우 크며, 실제로 주변 학문인 의학, 생물학 등의 발달이 기술의 원천이 되고 있다. 생산 설비의 형태는 UNIDO 식 분류 방법에 의하면 전형적인 제품 중심형이며, 다품종 소량 형태에 맞는 유연성이 높은 중소 규모의 설비가 대부분이다. 생산 라인은 대부분 자동화되어 있으나, 독립 batch형이 많으므로 전체적인 수준의 탄력적 운용이 가능한 형태로 되어 있는 것이 보통이다.

둘째, 기술의 체화 대상과 기술집약도의 측면에서 보면, 석유 화학 산업의 기술은 대부분이 설비에 體化되어 있으나, 공정의 개발과 기본 설계 능력은 사람에 체화되어 있다. 그러나 공정 개발 능력이 없는 대부분의 나라에서는 생산 과정에 필요한 기술이 도입된 설비를 이용한 조업의 학습 능력에 따른 것이므로 사람에 체화된 기술은 거의 없는 것이 보통이다. 따라서 기술의 성격과 산업 초기의 기술 획득 경로도 설비 규모가 방대하고 복잡하여 산업 초기에 비공식적 경로를 통한 기술 획득이 곤란하므로 주로 공식적 경로인 라이선스 방법에 의해 설비를 도입하여 생산조업에서의 학습 단계를 통해 기술을 축적하게 된다. 이때, 공식적 경로에 의한 기술 이전을 통해 이전되는 기술적 요체는 공정, 플랜트, 설비, 공장 설계의 지침서와 수준의 탄력적 운용에 대한 기술 지

도라 할 수 있으며, 이 기술 지도와 생산 조업의 경험을 통한 學習過程(learning-by-using)에서 기술 습득을 하게 된다. 그러나 이 단계에서의 학습을 통해 얻어진 기술과 신공정 개발 및 설계에 관한 기술은 그 성격과 기술 집약도의 측면에서 큰 차이를 가지므로 초기의 모방 전략은 불가능하다. 따라서, 대부분의 엔지니어링 기술은 선진국의 거대 기업이 독점하는 고도의 기술 집약 산업의 특성을 보인다. 공정 개발 및 설계 기술은 그 수준이 매우 높고, 높은 기술 집약도를 보이므로 실제 경쟁 기업의 수가 적고 수명은 상당히 긴 편으로, 기술의 보호도 특허 라이선스 계약에 의해 보호되는 형태를 띠고 있지만 실제로는 기술 격차에 의해 자연스럽게 보호되고 있다.

이에 반해 정밀 화학 산업에서는 기술의 주체화 대상은 한마디로 사람이라고 할 수 있다. 앞서 설명한 바와 같이 다양한 제품의 개발이 주요한 경쟁력 요소이므로 새로운 제품의 개발이 기술 관리의 요체로 작용하게 되며, 아이디어와 경험, 과학적 지식이 기술의 핵심을 이루고 있다. 특징적인 것은 종래 중요시되지 않았던 정보 시스템의 중요성이 점점 커지고 있는데, 데이터베이스 등 정보 시스템의 확산과 고도화에 의해 신물질, 신제품 개발의 성공 확률이 급격히 높아지고 있다. 의약, 농약 등 신물질 창출 능력이 주요 경쟁 요소로 작용하는 부문과 염/안료, 도료, 향료/화장품 등 배합 기술이 중요시되는 부문에서도 정보 시스템의 지원이 주요 경쟁 요소로 작용하고 있으며, 이 부문에 대한 정보 시스템의 기여도 매우 크다고 할 수 있다. 그러나, 정보 시스템의 구축에 필요한 핵심 기술은 구조-기능 상관 관계 등의 과학적 지식 베이스의 축적이므로 정밀 화학의 기술은 전반적으로 사람에 체화되어 있다고 보는 것이 옳다.

사람에 체화되어 있는 기술이므로 생산 설비나 공정은 상대적으로 중요치 않거나 널리 알려져 있어 산업 초기에는 주로 비공식적 경로를 통해 기술을 획득하는 것이 보편적이므로, 초기에는 기존 제품의 모방 전략에 의존하는 것이 상당한 이점을 갖는다. 또 학습 과정에서 얻은 지식이 어느 정도 기술의 內在化에 도움을 주고 있는 것이 보통이다. 그러나, 사실상 의미 있는 성공은 신물질의 창출에 있는데, 학습 과정에서 얻은 지식으로는 이에 필요한 높은 수준의 기술축적이 힘들고, 특히 물질 특허 제도의 도입으로 특허권자나 실시권자 외의 생산이 봉쇄되어 있으므로 통상적으로 기술 제휴, 기술 도입 계약에 의해 기술 이전을 받는 경우가 많다. 기술이전 과정에서는 생산에 필요한 특정원재료 사용법, 물리 화학적 변수, 반응 조건, 공정 지침서 등이 실시권에 수반된 형태로 이전된다.

셋째, 기술 혁신의 형태와 이로 인해 派生되는 특징은 다음과 같다. 석유 화학 산업의 기술혁신은 생산비 절감에 의한 가격 경쟁력 확보에 치중되어 온 궤적을 그리고 있다. 석유 화학 산업의 제품이나 설비의 형태는 잘 알려져 있는 것이 대부분이며, 제품의 성능이 비차별화되어 있다. 따라서, 기술 혁신은 주로 공정쪽에서 일어나고 있는데, 과거의 공정 혁신이 주로 생산성 향상을 목적으로 일어났던 것과는 달리 최근에는 환경 문제의 대두에 따라 환경 적합형 공정의 혁신이 활발히 이루어지고 있으며, 신공정에 투입되는 새로운 원료의 개발도 활발히 이루어지고 있다. 제품개발은 대부분 점진적으로 혁신이 일어나며, 상대적으로 공정 개발은 새로운 반응, 촉매의 개발에 의해 급진적인 형태로 일어나게 된다. 선진국에서는 신공정 개발 및 설계를 중심으로 고도 기술 부문의 혁신이 일어나고 있으나, 신공정 개발 및 설계 능력이 없는 나라에서는 주로 조업 관련 부문의 개량을 중심으로 한 낮은 수준의 혁신이 대부분인 것이 현 실정이다. 공정의 급진적 혁신에는 공정 개발 및 설계 기술이 투입되는데, 급진적 혁신에 투입되는 기술은 그 수준이 극히 높은 신공정 개발 및 설계 기술이며, 현장 조업 기술이 투입되는 공정 개량에 의한 점진적 혁신은 학습 단계에서 얻어질 수 있는 낮은 수준의 기술이다. 따라서 연구개발 集約度(R&D intensity)도 혁신의 주 대상에 따라 현격한 차이를 보이고 있다. 급진적 공정 혁신이 주로 일어나고 있는 선진국에서는 이 집약도가 4% 정도로서 비율 자체는 그리 높지 않지만 매출액이 워낙 크므로 투자 규모가 매우 큰 데 비해, 한국은 불과 1% 정도가 투자되고 있어 비율과 규모 모두 낮은 수준을 보이고 있다.

이에 반해 정밀 화학 산업은 경쟁 요소가 전적으로 제품의 성능이며, 상대적으로 복잡한 기능기를 포함한 제품이므로 제품 수명은 상당히 짧은 것이 보통이다. 제품의 수명이 매우 짧으므로 수명

주기에 효율적으로 편승하기 위한 새로운 제품의 창출 개발에 치중해 온 기술軌跡을 보이고 있으며, 특히 물질특허제도가 세계적으로 확산되면서 신물질 창출의 중요성은 점점 가속화되고 있다. 따라서 신물질, 신제품 창출을 중심으로 하는 기술의 수명도 매우 짧은 것이 특징이다. 특히 기술이 물질 특허로 보호되는 특허 기간은 나라에 따라 약 15~19년으로 길지만, 국가의 발매승인에 요구되는 기간이 긴 부문의 경우에는 실제 보호기간이 3~5년에 지나지 않기 때문에 치열한 경쟁을 가속화시키며, 연구개발 투자를 감당할 대규모 자본의 형성이 필수적인 것이 보통이다. 또한, 초기 투자가 소규모이므로 한두 가지 제품에 특화된 모험 기업의 설립이 용이하다는 점이 제품과 기술의 수명을 더욱 짧아지게 하고 있다. 따라서 혁신의 주 대상은 주로 제품(물질)에 치중되고 있다. 그러나 최근 국제 환경 표준화 규정 확립에 따라 공정의 표준화 규격에 맞는 공정 혁신도 활발히 일어나고 있다.

대부분 신물질과 신제품의 개발은 급진적으로 일어나게 되는데 반하여, 공정은 중요성이 상대적으로 떨어지므로 공정 운용 조건의 개선을 통한 생산성 향상 과정은 점진적, 점증적 형태를 띠고 있다. 또 대부분의 정밀 화학 부문에 대해 기술 수준을 막론하고 신물질 창출에 의한 고도 기술이 개입된 혁신이다. 이는 물질 특허 제도에 의해 외부에서 개발된 신물질에의 접근이 원천적으로 봉쇄되어 있어 구조적으로 제조방법에 대한 점진적 혁신이 일어날 수가 없게 되어 있어, 완벽하게 새로운 제품이 개발되어야 하기 때문이다. 따라서 전산업 부문 중 가장 높은 산업 부문의 하나로 매출액 대비 2~4%(한국), 5~19%(선진국)가 투자되고 있는 것이 보통이다. 특허 기간이 만료된 제품과 소비자에 밀접하게 연결된 부문에서는 제품 다양화에 의한 점증적 혁신이 발생하는 특징도 지니고 있다.

2. 혁신 주체 측면

석유 화학과 정밀 화학 산업은 혁신 주체 요인에서도 현격한 차이를 보이고 있다. 첫째, 석유 화학에서는 기술의 원천으로 작용하는 주체는 엔지니어링 기업이 독점적 원천으로 작용한다. 공정 개발과 기본 설계에는 극히 대규모의 인력이 필요하다. 정밀 화학에서는 제품의 특허권자가 기술의 원천으로 작용하며, 특허권이 만료된 부문에서는 제품생산자가 원천이 된다. 신물질 개발의 臨界규모는 전 산업 중에서 최고의 규모로서, 통상 1개의 신물질 개발에 최소 100~150명의 전문 인력이 요구된다. 향료/화장품 등 노하우와 확률 의존성이 큰 부문에서는 상대적으로 작은 규모로도 가능한 특징을 보인다.

둘째, 혁신 주체와 임계 규모면의 측면이다. 석유 화학에서는 특히 기술의 원천과 실제 혁신활동의 주체에 있어 두 가지의 계층 구조를 가지고 있는 것이 특징이다. 고도의 기술 집약도를 지니는 공정 개발 및 설계에서는 과학적 지식의 상대적 중요성이 약하므로 대부분 기업, 특히 엔지니어링 회사가 혁신의 주체가 된다. 또 하나의 혁신 주체의 부류는 공정의 漸進的개량에 투입되는 낮은 수준의 생산操業근로자가 되는 것이 보통이다.

공공 연구소는 신공정 개발 단계에서 파일롯플랜트의 설계와 운용에 부분적으로 기여할 수 있으나, 대학의 중요성은 상대적으로 희박하다. 공정의 개발 및 설계에 필요한 최소 인력의 규모는 매우 크지만, 공정 조업의 개선에는 생산현장 근로자가 중심이 된 작은 규모의 집단으로도 가능하다.

기업의 생산 형태와 업계 경쟁 구조 측면에서는 대량 생산으로 규모의 경제 효과를 실현하여 가격 경쟁력을 확보해야 하므로 대기업이 과점하고 있다. 우리 나라의 경우 대기업이 과점하고 있으며, 국제적으로는 대기업들이 지역적으로 市場占有率 경쟁을 하고 있다.

이에 반해 정밀 화학에서는 신물질 창출 후 산업화로 연계되는 과정에서 중대한 엔지니어링 문제가 발생되지 않는 경우가 대부분이므로 대학과 공공 연구소의 역할이 상당히 큰 특징을 가지고 있

다. 또한 신물질 창출 후 임상 시험 등의 평가, 검사 과정에 상당한 기술이 요구되므로 전문 검사 기관과 대학 병원 등의 주변 연구 시설의 연구 인력의 중요성도 매우 크다. 신물질 창출 및 개발에는 다방면의 과학기술자가 참여하는 대규모의 연구 인력이 필요하지만, 제품의 다양화는 기업 내 인력이 중심이 되며, 공정 조업의 개선에는 생산 현장 근로자가 중심이 된 작은 규모의 집단으로도 가능하므로 주로 기업 내(in-house) R&D가 이루어지고 있다.

정밀 화학 부문의 기업의 생산 형태와 업계경쟁 구조 측면에서는 상대적으로 시장 규모가 크지 않으면서 제품의 수명 주기가 짧고 다양한 품종이 요구되므로 多品種 少量生産이 주류를 이루고 있다. 규모가 작은 기업들은 1~2가지제품에 특화하는 단일 품종 소량 생산의 형태를 띠거나, 중간체 생산에 특화한 단일 품종 하청 생산 형태가 지배적이다. 우리 나라에는 중소 규모의 기업들이 난립하고 있으며, 국제적으로는 다국적기업들이 첨단 제품 개발을 독점하고 있다.

3. 혁신 유발 측면

화학 산업에서의 혁신 유발 요인 중 가장 중요하게 작용하는 것은 시장성과 시장에서의 우위를 확보하기 위한 환경이라 할 수 있다. 따라서 현재의 수급 현황과 향후 전망 및 시장적 우위를 확보하는데 어떤 요인들이 작용하고 있는가와 밀접한 관계가 있다. 이런 측면에서 석유 화학과 정밀 화학의 특징을 비교하면 다음과 같다.

첫째, 산업 구조의 변화와 이와 관련한 산업의 대응 전략 부분에서 두 산업은 확연히 비교되고 있다. 현재의 수급상황과 향후 전망 및 구조개편방향에 대한 예측과 유연한 대처능력이 중요한 요소라 할 수 있다. 현재 석유 화학을 둘러싼 혁신 유발 요인의 환경은 매우 열악한 상태에 놓여 있다. 범용 제품은 향후 5년간 심각한 수급 불균형이 예상되며, 특수 고분자로의 산업 구조 전환 추세에 따라 특수 고분자 시장은 성장 속도가 빠를 것으로 예상된다. 우리 나라의 석유화학산업은 에틸렌 생산능력기준으로 세계 6위의 위치를 점하고 있지만, 여러 측면에서 전환기적 상황에 직면해 있다. 공급 과잉이 顯在化되면서, 시장질서가 교란되어 혼란의 상태에 놓여 있고, 범용 제품 위주의 생산 체제에서 비롯된 기술 경쟁력의 취약에 원료 확보 대책마저 미흡한 상태이다. 따라서 기초 유분에서 범용 고분자, 다시 특수고분자의 일관 생산으로 이어지는 수직적 다각화가 혁신유발요인으로 작용하는데, 제품고도화기술의 확보를 통한 제품구조개편에 대한 柔軟한 대처능력이 중요한 요인이 된다.

이에 반해 정밀화학산업은 산업전반의 구조 고도화가 진전되고 미래산업사의 고령화, 감성화가 진전될 수록 시장은 확대될 전망이므로, 상대적으로 기술구조의 견실도가 중요한 요인으로 작용하고 있다. 중간체, 원재 등 원료합성부문의 기술과 중간체 가공기술, 완제품기술에 대해 전후방 연계 산업구조에 대한 기술구조의 견실성이 중요한 요인으로 작용하고 있다. 제품군이 다양하게 세분되어 있으며, 제품의 다양화와 차별화 전략을 통해 수평적 다각화가 주로 진행되는 특징을 보인다.

둘째, 경쟁력 결정요인에서도 확연히 비교되고 있다. 석유화학산업에서 시장에서의 우위를 확보할 수 있는 최대의 경쟁요소는 가격이다. 석유화학은 특히 시장우위의 확보를 위한 경쟁력 결정요소가 주로 제품의 가격이며, 기술이 설비에 체화되어 있고, 그 설비는 소수의 다국적기업이 원천이므로 제품의 성능은 비차별화되어 있어 마케팅능력이 매우 중요한 혁신유발요인으로 작용하고 있다. 실제로 최근 서구 및 일본 석유화학업계의 구조개편에서도 商社와 제조회사의 연계를 통해 마케팅능력을 강화하는 계획이 전개되고 있는 것은 그 좋은 예라 할 수 있다. 또한 최근의 경향에서 관측되는 바와 같이 하류 제품 생산 플랜트 라이선싱에 상류제품의 합법적인 tie-in이 동반되는 경향이 지배적이므로, 엔지니어링 능력이 전체 산업경쟁력을 결정하는 주요한 변수가 되고 있다.

이에 반해 정밀화학산업에서는 기술이 경쟁력의 주된 결정 요인이므로 제품의 성능에 대한 의존도가 크다. 가공단계가 많고 각 가공 단계에 따라 부가가치가 급격히 상승되므로 원료의 최종 제품

에 대한 요소 비용의 기여가 매우 낮다. 인체 및 환경 안전성이 요구되거나 소비자와 밀접하게 연결된 부문에서는 소비자 기호에 대한 만족도가 주요 요소가 되고, 제품의 신뢰도가 중요하므로 제조 기업의 지명도도 중요하게 작용하고 있다. 또한 다국적 기업의 글로벌 경쟁 하에 있는 부문이 대부분이므로 글로벌마케팅능력도 중요한 요소로 작용하고 있다.

셋째, 입지적 우위 요인도 비교할 수 있는데, 석유화학은 원료의 안정적 확보 능력이 중요한 생존의 요소이다. 원료가격의 변동에 대한 가격 경쟁력의 변동률이 매우 높으므로 원료 가격 변동에 매우 민감하게 반응한다. 또한, 제품의 특성상 원료 및 제품수송이 용이한 항만 인접지역에 위치할수록 가격상승요인이 감소되어 유리하게 작용하게 된다. 우리 나라는 향후 최대의 시장으로 부상할 것으로 예상되는 중국과 인접한 관계로 입지적 우위 요인을 점하고 있으며, 특히 대산석유화학단지의 경우 중국 靑島까지의 해상 직선 거리가 200KM밖에 안 되는 이점을 지니고 있다. 그러나 기초 유분의 경우 LNG선의 대량 확보가 중요한 경쟁적 요소로 작용하므로 LNG선의 확보 현황과 능력이 주요한 요인이 된다. 이런 점에서 국제화 전개의 능력이 주요한 요인이 될 수 있다. 석유 화학은 원료가격이 경쟁력에 크게 기여하고 있는 형태를 띠고 있어 원료의 안정적 확보와 마케팅의 효율화가 관건이므로, 생산원가의 비교우위를 확보할 수 있는 현지에 생산공장을 설립하여 원료획득의 용이성을 추구하게 된다.

이에 반해 정밀화학은 환경폐기물의 공동처리를 위한 공동단지와 대학, 공공연구소의 자문에 용이한 인근지역에 위치하는 것이 立地的 우위요인으로 작용한다. 국제화의 방향도 기술의 비교우위에 의존, 기술수준이 높고 과학적 지식의 축적이 많은 선진국에 연구소를 설립하고, 생산기지는 환경규제기준이 낮은 후진국으로 移轉하는 형태를 보이고 있다.

넷째, 기술 장벽 및 보호수단에서도 차이를 보이고 있다. 석유화학의 주요 기술인 공정 설계기술은 특허와 노하우로서 보호되나 실제로는 기술격차에 의해 비보호의 형태를 띠더라도 실제적 보호가 이루어지고 있다. 또한 석유화학의 제품은 타 산업에 대한 재료로 투입되는 특성을 지님에 따라 국제적 표준화 동향에 매우 큰 영향을 받는다. ISO 9000시리즈의 품질 인증 규격을 비롯하여 환경표준화경향에 따라 설정된 ISO 18000시리즈를 인증 받지 못할 경우 향후의 국제무역대상에서 제외되는 것을 의미하게 되므로, 공정의 품질표준화, 환경표준화와 관련된 환경요인에 민감하게 대처해야 한다.

이에 반해 정밀화학은 대부분이 물질특허로 보호되고 공정도 방법특허로 완벽한 보호가 가능하다. 영업비밀로서 보호되는 기술도 매우 많은 것이 특징이다. 정밀화학에 있어서도 ISO 18000시리즈의 영향을 받게 되지만 그 영향은 석유화학보다 훨씬 적은 편이다. 정밀화학에서는 신물질에 대한 임상 시험과정과 FDA의 공인 등(의약품 등의 경우)이 실질적인 기술장벽으로 작용되고 있다.

IV. 화학 기술 혁신의 전개 방향

앞으로의 기술혁신에 따른 산업발전방향은 새로운 산업이 계속 胎動됨과 동시에 기존산업의 고유영역을 지키는 제품들의 개선, 발전이 꾸준히 일어날 것으로 보인다. 즉, 기술혁신을 통해 기존산업으로부터 신 산업이 탄생되거나, 기존산업과 신 산업의 접목을 통해 또 다른 산업이 탄생되며, 체질개선에 성공한 기존산업이 확고한 위치를 확보하는 등 미래에는 많은 변화가 예상되고 있다. 더욱이 산업의 각 분야는 획일적, 독립적 개념으로 구분되어지는 것이 아니라, 각 분야사이의 융합, 상호영향과 혁신적 발명, 발견들을 통해 끊임없이 발전할 것으로 보인다. 화학기술의 발전케도도 이와 같은 전반적 경향에 따를 것으로 보이지만, 그 변화 방향과 발전케도는 모든 개별산업에서 그렇듯이 화학산업특유의 특징이 접목된 형태로 기술혁신의 방향성이 결정될 것이다. 미래산업전개와 기술혁신의 방향을 총체적으로 특징 지우면 크게 다음5가지로 요약할 수 있으며 (<표 1> 참조), 이에 맞추어 화학산업의 기술혁신전개방향을 정리하면 다음과 같다.

가. 技術融合化

최근의 제품혁신, 즉 신물질 창출 연구개발 과정은 물질의 활성과 기능이 다양한 주변기술의 융합적 참여가 없이는 진전될 수가 없다. 生物學, 物理學, 醫學, 電子工學 등에서 지원되는 다양한 기술의 역할이 점점 더 증가하는데, 이런 융합적 연구개발특성은 신물질연구개발의 가장 큰 특성으로서 앞으로는 기술융합화현상이 더욱 심화될 것으로 보인다.

특히 생명공학기술의 참여가 증가하게 될 것이며, 기능-구조의 상관관계규명에 필요한 생물학, 의학, 정보기술이 화학기술의 주요 요소기술로서 채택되게 될 것이다.

나. 知能素材化

화학산업은 타 산업의 주요 原·副資材로서 관련산업의 품질고급화와 부가가치 제고 및 신상품 개발에 결정적 영향을 주는 산업이다.

앞으로는 이런 전통적인 재료공급의 입장에서 한 단계 나아가 타 산업의 기술혁신을 선도하는 산업으로서 작용하게 될 것이며, 현재에도 그 역할을 상당한 수준으로 수행하고 있다. 그러나 물질개발의 단계 및 흐름상 최종 수요자들의 needs가 초기부터 반영되어야 경쟁력 있는 제품의 개발이 이루어질 수 있다. 기존의 需要牽引(demand pull) 개념과 흡사한 수요자중심의 제품개발은 실제 수요자들의 의견이 제품설계단계에서부터 반영됨으로써 비로소 보다 유용한 제품의 생산에 기여할 수 있게 한다. 그 동안 주로 기계·장비류 산업에 적용되어 온 이러한 제품설계의 개념이 이제는 화학산업에 확산됨으로써 광범위한 수요자의 의견이 직접 제품의 기능을 좌우하게 되어야 한다. 이러한 제품생산과정을 거치는 동안에 최종 수요자의 의견뿐만 아니라 정책적인 사항들도 반영하여 초기부터 원하는 제품의 방향을 정립하고 불필요한 낭비 요소들을 제거할 수 있다.

다. 地球工學化

최근 주요 선진국의 발의에 의해 국제 표준화 기구에서 지구환경보호를 목적으로 국제환경표준의 제정을 추진하고 있고, GATT/TBT 규정의 예외조항을 이용, 제정된 국제표준이 향후 국제무역에서 기술장벽으로 활용될 가능성이 매우 커지고 있다. 이에 따라, 화학산업을 환경 적합형 체제로 전환하는 것이 최대의 과제로 부각되어, 점차 공정 및 투입재료전반에 대한 수정을 가한 형태로 발전하는 기술혁신이 전개될 것이다.

장기적으로는 지구 온난화 문제, 오존층 파괴문제, 산성비 문제, 해양 오염문제, 야생동물 문제, 사막화 문제, 에너지 및 자원 고갈 문

<표 1> 미래 산업의 기술 혁신 전개 방향

미래 산업의 기술 혁신 전개 방향				
기술의 融合化	기술의 知能化	기술의 人類生存化	기술의 環境環境 利用化	기술의 시스템화
타 산업 부문 기술과의 광범위한 융합이 전개됨	인간의 五感과 지능에 도전하는 기술이 발달	인류 생존을 위협하는 각종 위협 요소를 제거하는 기술이 발달	환경의 利用로 인류 생존의 장을 확대하는 기술의 발달	개별 기술의 네트워크화가 이루어져 시스템 기술로의 통합을 이루게 됨

제, 식량문제, 연구문제 등 지구 규모의 제문제 해결에 있어 요구되는 화학산업의 중심적 역할이 기술혁신방향을 ‘화학산업의 지구 공학화’ 로의 개편으로 가속시킬 것이다. 왜냐하면, 이들 지구 규모의 제문제 해결에 요구되는 지식적, 기술적 요소는 물질의 성질 및 변화의 이해, 생물작용의 이해, 에너지 및 자원의 이해, 물질 및 에너지 순환의 파악이 그 중심인데, 이는 모든 공학적, 과학적 기술체계가 화학 기술 내에서 융합될 것을 요구하고 있기 때문이다. 이를 위해서는 화학이 지구규모의 제문제의 해결을 위한 지구공학(Earth science and engineering)으로 재편되어야 하며, 실제로 이 방향으로 발전하게 될 것으로 보인다.

라. 製品高度化

화학산업의 구조가 고도화되면서 화학산업에서 차지하는 정밀화학산업의 비중이 점점 커져왔으며, 정밀화학산업 내에서도 기술집약도가 높은 제품의 비중이 커지는 방향으로 고도화가 진행되었다. 이 같은 현상은 이미 성숙된 시장을 가지고 있는 기존 제품의 경제성 향상을 위한 공정혁신이 한계에 부딪침에 따라, 새로운 제품의 개발에 치중한 결과 제품의 life cycle이 대폭 단축되었으며, 다른 한편으로는 物質特許制度가 세계적으로 확산되면서 한층 가속화되고 있다. 이 움직임을 요약하면, 화학산업혁신의 개념이 종래의 공정혁신중심(process-oriented innovation)에서 제품혁신중심으로 바뀌고 있다는 것이다.

마. 시스템화

신소재 개발과정은 物質設計→反應設計→物質合成→物質分析→物質評價의 계열화된 순서로 진행되는 것이 보통이다. 최근 점점 더 복잡하고 향상된 기능을 가진 신물질 개발이 요구되고 있고, 따라서 개발달성까지는 점점 더 많은 시간, 연구비, 인건비가 요구될 전망이므로, 신물질의 개발을 위한 시간, 연구비, 인건비를 절감하는 효율적인 재료개발작업이 도입될 것이다. 이런 인식 하에 많은 노력이 이미 계속되어 왔다. 가장 큰 예가 소재 개발분야의 「정보화」 현상으로서, 최근 컴퓨터 성능의 향상 및 각종 소프트웨어 개발에 따라 현재까지는 이론 학자들의 영역이었던 컴퓨터의 응용이 소재 개발분야로 확산되어가고 있다. 예를 들어, random screening에 의해 개발된 의약과 인체와의 상관관계를 연구하는 동안, 이들이 가지는 생리 및 약리 효과에 대하여 많은 지식이 축적되어 왔다. 특히 최근의 생화학과 약리학의 발전에 따라 인체의 중요생리활동에 대한 연구가 많이 진전되었다. 또한 인체의 중요 효소의 3차원적인 인체 구조 및 이들에 대한 물리 및 생리활성에 대한 연구도 진전되고 있다. 이제는 이러한 지식을 바탕으로 좀더 이론적이고 논리적인 의약의 개발이 필요하게 되었으며 이러한 방법으로 연구방법이 변형되고 있는 것이 현재의 추세이다. 이와 더불어 컴퓨터기술의 혁신적인 개발 및 컴퓨터그래픽, 패턴 인식 및 인공지능(artificial intelligence) 등 이들을 보완하여 주는 소프트웨어 개발 등에 의하여 이들을 이용한 분자설계가 활발히 진행되고 있다.

따라서 앞으로는 유망한 소재를 발굴하여 이를 실험적으로 합성하고 확인하여 신소재로서 채택할 것인지를 결정하는 것이 아닌, 소재구조의 선정에서부터 소재의 활성확인, 기능성확인, 반응설계, 공정설계를 摸似실험(simulation) 기술로서 수행하고, 전과정에 걸쳐 환경 적합성을 모사 평가하여 실제 신소재로서의 성공 확률 가능성을 최대로 높인 후에야 비로소 실험으로서 확인하는 기술 혁신의 전개가 예상된다. 즉, 「최대한의 건조한(dry)摸似실험」 후의 「최소한의 젖은(wet) 실험(experiment) 확인」을 통해, 신물질 합성의 확률 의존성을 최소한도로 줄이고, 반응 설계와 공정 설계를 연계하여 新프로세스 창출을 가능하게 하여 화학산업의 연구개발과 생산과정의 능률화가 이룩되는 방향으로 기술혁신이 전개될 것으로 보인다.

【참고 문헌】

1. 삼성경제연구소 「화학, 소재 산업의 구조와 전망」, 1988. 12
2. 한국신농약개발연구조합, 「신농약 개발 연구의 현황 및 발전 전략」, 1993.
3. 한국신약개발연구조합, 「신의약/신농약 제품 기술 개발 사업 연구 기획 최종 보고서」, 1992.
4. 김희중, 강일구, 윤문섭, 「소재 산업의 대일 의존 개선 방안」, 과학기술정책연구소, 1993.
5. 朴東炫, 「첨단 산업의 지적소유권 전략(1) -의약품 산업-」, KIST 정책·기획본부, 1992.
6. 朴東炫, 「화학 산업의 경쟁력 강화를 위한 기술 혁신 전략」, 과학기술정책관리연구소, 1994.
7. 박원훈, 「신소재, 정밀 화학, 공정 분야의 기술 동향 분석 및 예측 연구」, KIST, 1991.
8. ASPRONC, Proceedings of The 3rd International Symposium on New Chemistry, Tokyo, 1991.

9. Borman, S. "Chemical Engineering Focuses Increasingly on the Biological", C&EN, January, 1993
10. Kline & Co. Inc., Kline Guide to the US Chemical Industry, 5th ed., New Jersey, 1990.
11. Kodama, F. Analyzing Japanese High-Technologies: The Techno-Paradigm Shift, Printer Publishers, 1991.
12. Malerba, F., "The Organization of the Innovative Process" in Rosenberg, N., et al., 1992.
13. Nayak, P. R., Product Innovation around the world, Chemtech, 1993.
14. OECD, Advanced Materials, Paris, 1990.
15. OECD, New Technologies in the 1990s, Paris, 1988.
16. Pavitt, K., "Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and Theory", Research Policy, Vol. 13, No. 6, 1984.
17. SRI International, Technomonitoring: Computer-Aided Molecular Design, 1993.
18. Wiseman, P. and Pellier, F., "Process Innovation and Innovation in the Chemical Industry", Technology Assessment and Strategic Management, 1(2), 1989.
19. 弘岡正明, 「技術革新 paradigm と 産業展開 - high tech 技術の black hole 新化学」, 化学経済, 1月号, 1993.
20. Philpot, J., 「歐洲の 石油化学工業 restructuring」, 化学経済, 3月号, 1993.
21. 鈴木協一, 「變化する 世界の 政治, 經濟と 化学工業」, 化学経済, 3月号, 1993.

주석 1) 산업혁신연구실, 선임연구원

