

분자제어 정밀공정기술

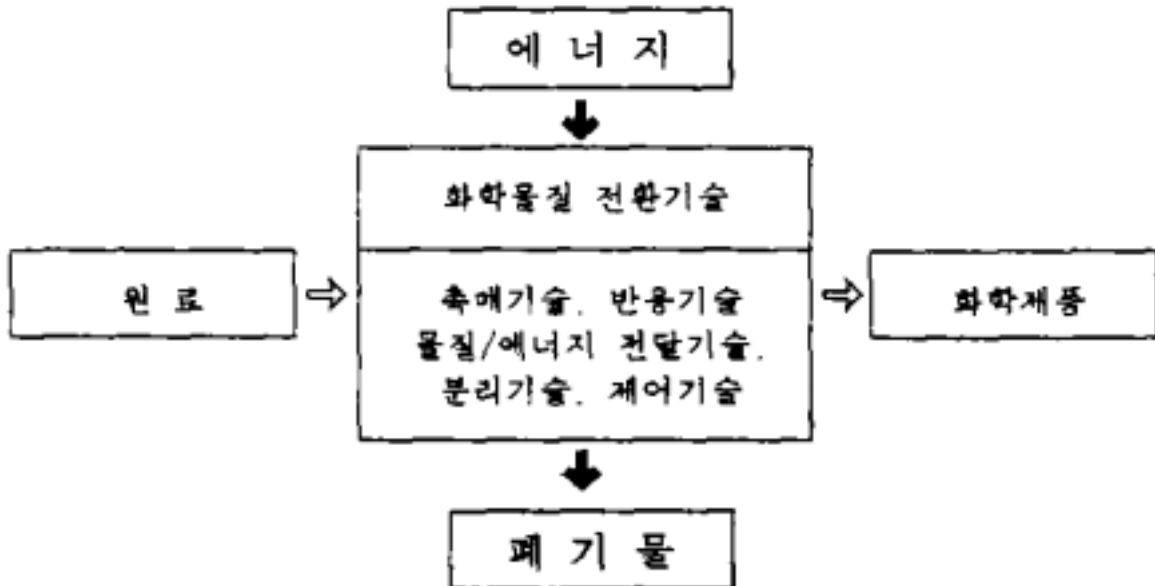
이재영¹⁾

분자제어 정밀기술은 기존의 화학공정기술로는 화학산업을 발전시키는데 한계가 있어서 이를 극복하기 위하여 고안된 기술로서 기존 기술과는 전혀 다른 새로운 개념의 미래형 화학공정기술이다. 본 고에서는 화학산업의 개요를 설명하여 화학산업이 추구하여야 할 목표를 제시하였고, 이 목표를 이루기 위한 신개념의 화학공정기술, 즉 분자제어 정밀공정기술개발의 중요성을 강조하였다. 이에 따른 새로운 기술로서 현재까지 개념이 정립되어 있는 분자제어 정밀공정기술의 개요와 국내의 기술개발 동향을 간단히 소개한 후, 본 기술의 향후 전망을 정리하였다.

I. 화학산업의 개요와 목표

화학산업은 한 국가의 발전에 중요한 역할을

<그림 1> 화학산업 개요



하는 중추 기간산업의 하나이다. 우리나라의 화학산업도 국내외적으로 중요한 위치를 차지하고 있으며, 우리나라 화학산업의 매출액은 국내전 제조업 대비 17~18%, 그리고 세계시장 대비 5~7% 정도를 점유하고 있다. 화학산업을 간단히 설명하면 <그림 1>에서 보는 바와 같이 여러 가지 원료를 화학적 전환기술에 의하여 부가가치가 크고 실용성 있는 화학제품으로 만드는 산업이다. 주요 화학물질 전환기술에는 촉매기술, 반응기술, 물질 및 에너지 전달기술, 분리기술, 제어기술 등이 포함되며 이들은 모두 화학산업의 핵심기반기술이다. 이와 같은 화학제품의 제조과정 중 여러 형태의 에너지가 사용되며, 거의 모든 경우에 필연적으로 폐기물이 발생한다.

이러한 화학산업에 있어서 산업계, 학계, 연구소 등에서, 궁극적으로 추구하는 공동의 목표는 <그림 1>로부터 유추할 수 있겠다. <표 1>에 나타낸 바와 같이, 1) 단위 원료당 생산제품의 극대화, 2) 단위제품당 소요 에너지의 최소화, 3) 단위제품당 발생 폐기물의 최소화, 4) 전 공정에 소요되는 제조시설 투자비의 최소화 등 4개의 과제가 화학산업의 궁극적인 목표가 된다.

II. 분자제어 정밀공정기술

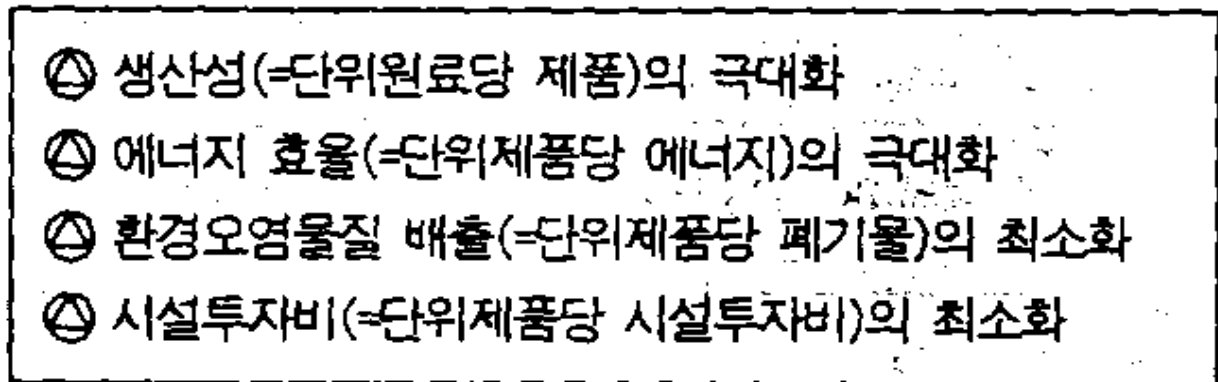
1. 신 화학공정기술개발의 필요성

현재의 화학산업에서 기존의 화학물질 제조기술로는 <표 1>에 요약되어 있는 목표를 달성하는데 한계가 있고, 따

서 최근까지 여기에 큰 진전을 보지 못한 것이 현실이다. 이것은 화학공장에서 사용되고 있는 대부분의 기술과 공정이 1세기 전부터 연구개발되어 온 그것과 다르지 않은 원리에 기초하고 있기 때문이다. 이를 극복하기 위해서는 기존기술과는 전혀 다른 새로운 원리에 입각한 혁신적 기술이 출현해야 한다. 즉, 현재는 기존기술에서 새로운 개념의 미래기술로 전환하여야 할 중요한 전환기적 시점이라고 할 수 있다.

따라서 최근 들어 미래의 화학산업에 기여할 화학공정기술이 나아갈 방향에 대한 방안이 미국, 일본, 유럽 등의 선진국에서 여러가지 형태로 제안되고 있다. Villermaux[1]는 미래의 화학공학은 공정엔지니어링(process engineering)에서 제품엔지니어링(product engineering)으로 그 범위를 확대해야 한다고 제안하고 있다. 아직까지도 화학공학을 주도하

<표 1> 화학산업의 4대 목표



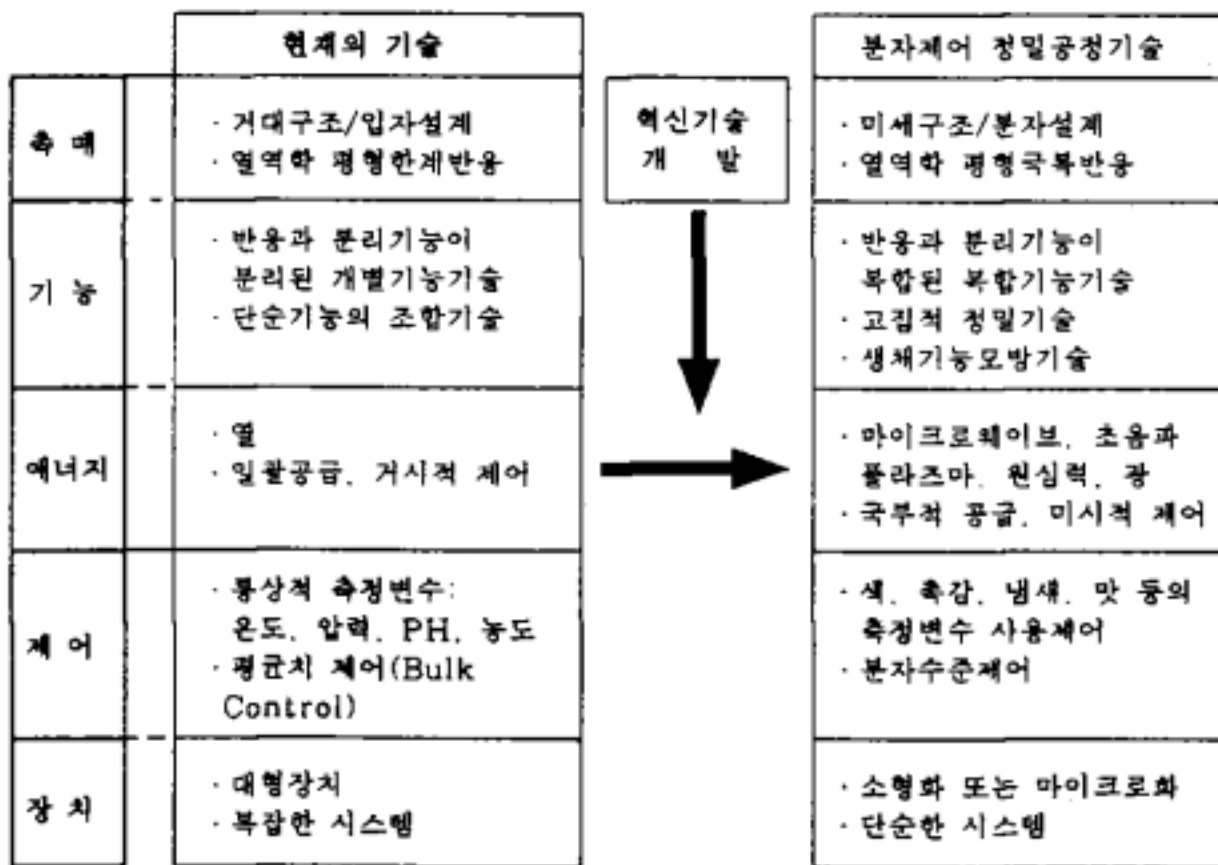
고 있는 이동현상론적 접근은 이제 분명히 종말을 고해야 하고, 미래의 화학공학에 적합한 새로운 기본개념을 정립할 중요한 전환기적 시점이라고 지적하고 있다. 또한, 1996년 말에 미국에서는 화학산업협회가 주관하여 미래화학산업의 발전방향을 정리하여 발표하였다[2]. 일본은 1995년도에 미래의 화학공학을 전망하고 '차세대 화학프로세스 기술개발'이라는 국가적 장기연구과제를 도출하여 집중적인 연구를 수행하고 있다[3, 4]. 이와같이 선진국들이 추구하고 있는 미래 화학공학의 발전과 신기술 창출을 위한 중점연구대상 핵심기술을 한마디로 요약 표현하면 '분자제어 정밀공정기술'이라고 할 수 있다.

2. 분자제어 정밀공정기술

미래의 기술인 분자제어 정밀공정기술의 특성을 파악하기 위하여 현재의 기술과 비교하여 정리해 보면 <그림 2>와 같다.

최근 극미세기술(microtechnology)의 발전으로 화학반응과 분리에 유용하게 사용될 수 있는 정밀제어된 구조를 갖는 물질의 제조가 가능하게 되었다. 예를 들면, 불균일계 촉매에 기존의 다공질 담체를 사용하는 대신에 미리 설정된 물성을 갖도록 설계된 합성물질을 촉매 담체로 사용하게 되었다. 이와 같이 분자수준(molecular level)에서 특성을 제어하기 위해서는 화학공학이 다루는 영역이 분자수준의 나노스케일까지 확대되고 있다는 것을 의미한다. 분자수준에서

<그림 2> 분자제어 정밀공정기술의 특성



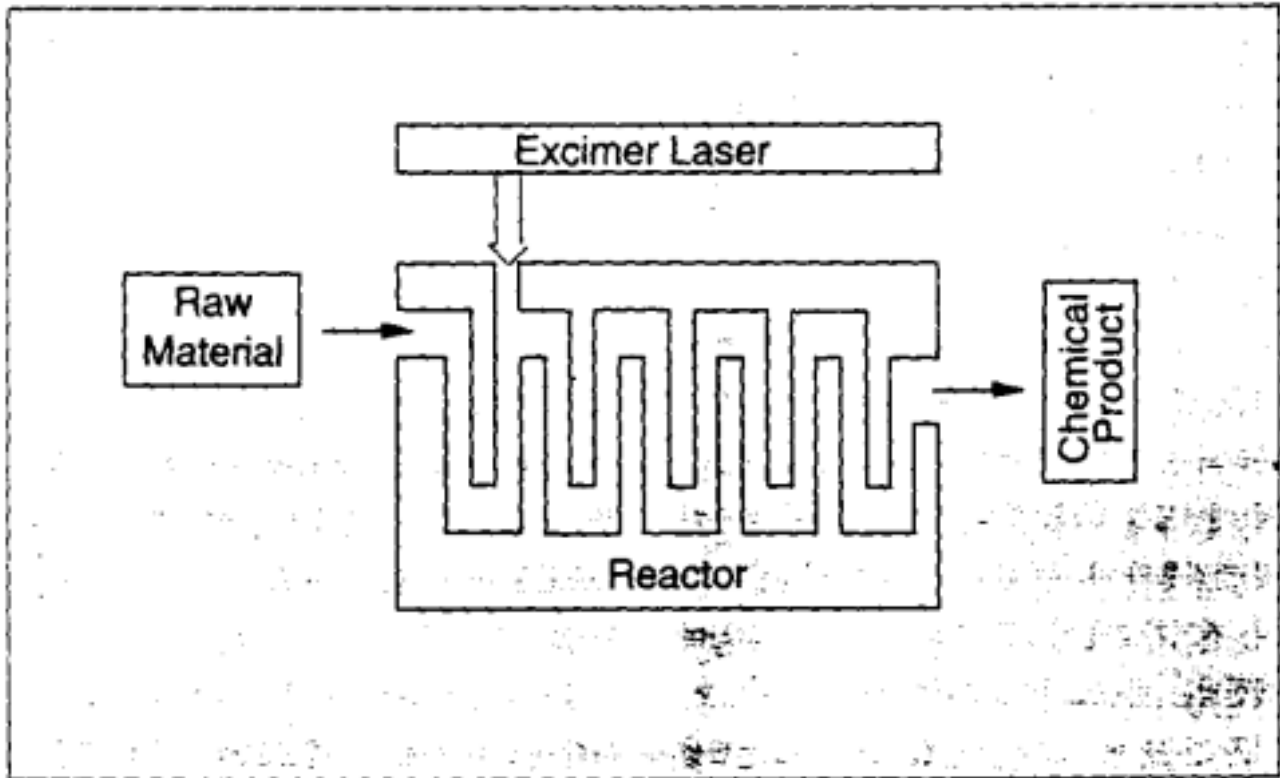
는 거대분자구조체(supermolecular building blocks)를 조작함으로써 자기조직(self-organization), 조작함으로써 자기조직(self-organization), 조정(regulation), 복제(replication)와 통신(communication) 등과 같은 새로운 특수 기능을 발현시킬 수도 있다. 분자수준보다 좀 더 높은 미시적(microscale)수준의 조작의 예로는, 다단계 원료공급과 열공급이나 제어를 통하여 국부적인 온도와 조성을 정밀제어함으로써 부과된 경계 조건 때문에 발생하는 기존기술의 한계를 극복할 수 있으며, 결과적으로 선택성과 생산성을 대폭 향상시킬 수 있다. 플라즈마, 마이크로웨이브, 초음파와 같은 특수한 형태의 에너지는 국부적으로 정밀한 공급이 가능하여 열역학 한계를 뛰어넘는 반응 수율을 얻을 수 있다.

그 예로서, <그림3>은 높은 압력과 온도하에서 이루어지는 기존 화학반응을 엑시머 레이저(excimer laser)를 도입하여 국부적 에너지 공급효율을 향상시켜 낮은 온도와 압력하에서 반응이 이루어지게 하는 반응시스템의 개념도이다 [5]. 이 반응시스템의 장점은 에너지 효율이 높을뿐만 아니라 전환율이 높아 폐기물이 거의 발생하지 않아 환경적으로도 유리하다는 것이다.

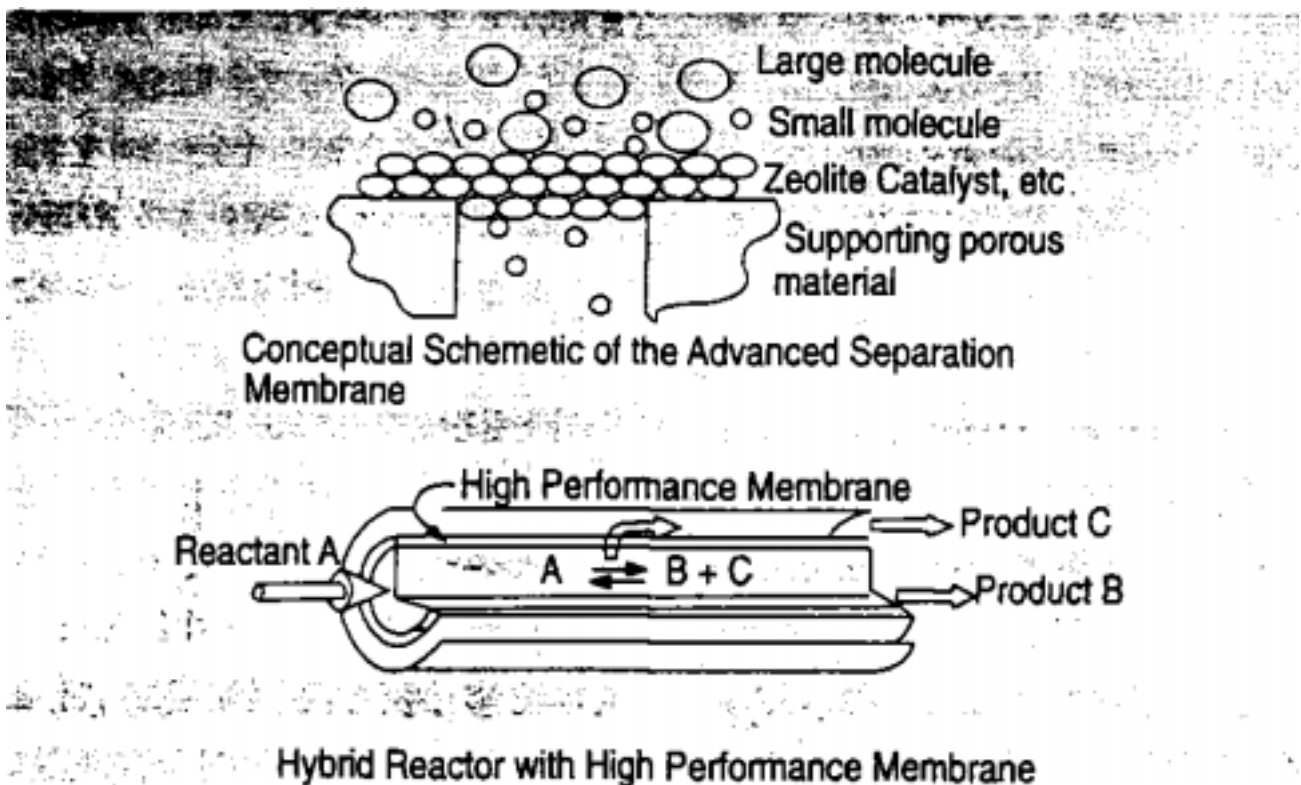
이와같은 분자수준 또는 미시적 수준의 제어가 가능하기 위해서는 정밀제어 컴퓨터와 관련 소프트웨어 및 모델, 국부적인 센서와 조절기 일체가 뒷받침되어야 한다. 이와 더불어, 미래화학공학의 제어변수는 압력, 온도, PH, 조성 등과 같은 통상적인 변수에만 국한되지 않고 색, 매끄러움, 냄새, 심지어는 맛 등과 같은 좀더 섬세하고도 까다로운 감각 특성까지 확대되어야 할 것으로 생각된다.

관련 기초연구의 발달로 화학공학에서 일어

<그림 3> 엑시머 레이저 응용복합반응기술 개념도 [5].



<그림 4> 분리막 반응기의 개념도[5].



나는 기본현상을 더욱 잘 이해하게 되었고 이것은 새로운 과학원리에 기초한 독창적인 새로운 공정이나 장치의 개발을 가능하게 하고 있다. 예를 들면, 화학반응을 분리 또는 열전달과 조합하여 두 개의 기능을 동시에 수행하는 다기능 반응기(multifunctional reactor)의 개념이 가능하게 되어 수율이 대폭 향상될 뿐만 아니라 에너지 소모량을 줄이고 폐기물의 발생을 원천적으로 제거하는 혁신적인 반응시스템의 개발을 예상할 수 있게 되었다.

그 예로서 <그림4>에는 분리막과 촉매반응기를 조합하여 반응과 동시에 생성물의 일부가 분리되는 분리막 반응기(membrane reactor)의 개념도를 나타냈다[4, 5]. 분리막 반응기의 장점중의 하나는 반응과 동시에 생성물을 분리 제거가 가능하므로 열역학적 평형에 의하여 제한받는 반응도 평형 한계를 극복할수 있고, 기존 반응기에 비하여 유효한 고효율, 고선택성을 얻을 수 있다는 것이다. 이와 같은 신기술에 의한 조업 방식들은 아직은 실험실 단계에 머물러 있으며, 분리막 반응기, 반응성 증류 및 추출, 초임계 유체시스템, 역류(reversed flow) 및 순환공정(cyclic process), 비정상상태 조작, 극한조건 및 고압기술 등은 실제 응용을 위하여 앞으로 집중적으로 진지하게 연구, 검토되어야 할 것이다.

현재의 생산 방식은 또한 소형화, 모듈화, 탈센터화, 고집적화 등의 방향으로 변화되어 갈 것이다. 최근 개발된 미세기술은 손톱보다도 작은 크기의 마이크로반응기(microreactor), 마이크로 분리기(microseparator)와 마이크로 분석기의 개발을 가능하게 하여 교반, 급냉과 온도분포와 관련된 반응조건의 초정밀제어가 가능해지고 있다.

컴퓨터의 발달은 화공분야에서 통계학과 양자학 원리를 응용하게 함으로써 미시적 수준의

<표 2> 선진국의 분자제어 정밀공정기술 관련 연구

국가	프로그램	주관	연구내용
미국	-Technology Vision 2020(2) -21세기 화학반응 기술 개발(6)	DOE, CPI	-복합기능반응기술: 반응성증류, 분리막 반응, 흡착성반응, 모사이동층반응, 마이크로로웨이브반응, 초음파반응 -컴퓨터 모사/제어 기술: 분자모델링, 컴퓨터 유체역학, 공정모델링, 초정밀제어
일본	차세대 화학프로세스 기술개발(Simple Chemistry Program) (3, 4)	통산성	-신촉매개발 기반 프로세스혁신기술 -환경조화기술에 의한 프로세스혁신기술 -분리기술과 반응 결합 프로세스혁신기술 -고도에너지절약형 생산시스템 설계
유럽	4th Framework Program(7)	EU	-Brite Euram Reactor project -복합기능반응기술 및 정밀제어기술

분자와 물성 모델링에 관한 새로운 길을 열었다. 열역학 기-액 평형, 고분자 물성, 표면흡착, 미세구조물질, 또는 세라믹 구조 등이 분자모델링으로 계산되기도 한다. 이와 같은 컴퓨터모사 및 제어기술(computational technology)은 분자모델링에서 공정모사 및 제어에 이르기까지 폭넓은 응용분야를 가지고 있다[2]. 컴퓨터모사/제어기술과 관련된 중점기술은 컴퓨터분자과학(computational molecular science), 컴퓨터 유체역학(computational fluid dynamics) 공정모델링, 모사, 조업최적화와 제어 등을 들 수 있다.

생체모방(biomimetic)화학공정은 생체내에서 일어나는 현상을 모방하여 화학물질 생산에 응용하는 기술로서 상온 상압하에서 고선택성과 고효율을 얻을수 있으며 폐기물의 발생 및 독성이 거의 없는 미래의 청정 유망기술이다. 생촉매와 생화학공정의 발전은 미래의 화학산업의 전망을 밝게 해주는 중요한 요인들이다.

3. 국내외의 연구개발동향

미국, 일본 및 유럽 각국은 최근 2-3년 전부터 미래의 화학공학이 앞에서 언급한 것과 같이 분자제어 정밀공정의 방향으로 미래의 화학산업이 발전할 것으로 전망하고 본격적인 연구체제를 갖추어 집중적인 연구를 수행하고 있으며 [3-7], 이들을 요약 정리하면 <표2>와 같다.

우리나라는 아직 이 분야의 국가적 프로그램으로서 진행되는 것은 없다. 일부 화학공업 관련 기술을 연구하는 출연 연구소나 대학에서 이제 연구를 시작하는 초기단계에 있다. 관심있는 산업계, 학계, 연구계 공동으로 "차세대 정밀 화학기술"의 일부분으로 기획사업을 추진중에 있으며 [8], 이 기획사업에서는 앞에서 언급된 미세구조나 분자설계에 의한 공정의 설계, 고집적 정밀기술, 생체기능 모방기술, 신 Media 물질 변환 공정 등을 포함하여 폭넓게 우리나라에서 국가적으로 지원하여 성공할 가능성이 있는 새로운 개념의 화학공정기술을 검토하고 있다

III. 전 망

분자제어 정밀공정기술은 선진국에서도 그 중요성을 인식하여 개념을 정립한 지가 얼마되지 않았다. 우리나라에서는 아직 분자제어 정밀공정기술에 대한 국가연구프로그램을 진행시켜지는 못하였고, 연구계나 학계에서도 초기단계연구를 이제 시작하였다고 볼 수 있다. 그러나 선진국들도 이 분야에 대한 연구를 시작한지가 2-3년 밖에는 되지 않았기 때문에 우수한 연구인력을 바탕으로, 경쟁력있는 과제들을 선별하여 체계적으로 연구시스템을 갖추고 이에 주력할 경우, 미래화학산업의 원천기술을 선진국 수준과 대등하게 확보할 수 있는 가능성이 상대적으로 많은 분야로 볼 수 있다. 분자제어 정밀공정기술의 성공적 연구개발은 국내 화학산업의 지속적인 발전을 도모하고, 나아가 세계시장을 지배할 수 있는 원천기술을 창출하여 국가경쟁력을 제고시키는 데 중요한 역할을 할 수 있다고 보겠다.

참고문헌

1. J.G.E. Villermaux(National Polytechnic Institute of Lorraine in Nancy, France), Chemical & Engineering News, August 19, 1996.
2. Technology Vision 2020, The U.S. Chemical Industry, 1996.
3. 日本 化學工學會, 次世代化學プロセスに関する 調査報告書, 平成 8年 3月
4. Y. Shimizu, "Challenge of Simple Chemistry Program", Int. Symp. on Clean Tech., Korean Soc. of Clean Tech., 1996. 9. 12-13, P. 147.
5. JapanAIST, "R&D of Precursor and Basic Energy Saving Technologies", <http://www.aist.go.jp/nss/text/EneSave.html>
6. G. Ondrey et al., "Reactors for the 21st century", Chem. Eng., June 1966, P. 39~45
7. European Union's Fourth Framework Program, Chem. Eng., Aug., 1994, P. 43
8. 김화용(서울대) "차세대 정밀화학기술 연구개발 전략연구", 과기처 '97. 3~(기획사업연구 진행 중)

주석 1) 연구기획관리단 기술기획실, 책임연구원(Tel: 02-250-3122)

