



2012 과학기술 전망

ancomputerinteractionHumanoidBionicsMicrosystemBionics
oxideVirtualrealityHumancomputerinteractionHumanoidBionicsMicrosystemBionics
AlzheimerTheragnosisOmicsFuelcellSecondarybatteryNanobioscienceMicro-robotAnticancerdrugAlzheimerTheragnosisOmics
SewagetreatmentGraphenePhotonOxideVirtualrealityHumancomputerinteractionHumanoidBionicsMicrosystemBionics
eractionHumanoidBionicsMicrosystemBiosensorMicro-robotAnticancerdrugAlzheimerTheragnosisOmicsFuelcellSecondarybatteryNanobioscienceMicro-robotAnticancerdrugAlzheimerTheragnosisOmics
onOxideVirtualrealityHumancomputerinteractionHumanoidBionicsMicrosystemBiosensorMicro-robotAnticancerdrugAlzheimerTheragnosisOmicsFuelcellSecondarybatteryNanobioscienceMicro-robotAnticancerdrugAlzheimerTheragnosisOmics
drugAlzheimerTheragnosisOmicsFuelcellSecondarybatteryNanobioscienceMicro-robotAnticancerdrugAlzheimerTheragnosisOmics
SpintronicsGraphenePhotonOxideVirtualrealityHumancomputerinteractionHumanoidBionicsMicrosystemBiosensorMicro-robotAnticancerdrugAlzheimerTheragnosisOmicsFuelcellSecondarybatteryNanobioscienceMicro-robotAnticancerdrugAlzheimerTheragnosisOmics
EnvironmentPhotonOxideVirtualrealityHumancomputerinteractionHumanoidBionicsMicrosystemBiosensorMicro-robotAnticancerdrugAlzheimerTheragnosisOmicsFuelcellSecondarybatteryNanobioscienceMicro-robotAnticancerdrugAlzheimerTheragnosisOmics

- Nanomaterial
- Micro system
- Human Computer interaction
- Biotechnology
- Energy
- Environment



■
KIST
2012
과학
기술
전망

KIST 2012 과학기술전망

2012년 4월 28일 초판 1쇄 발행

지 은 이 | 금동화, 김영식 외 9인

펴 낸 곳 | 한국과학기술연구원(KIST)

펴 낸 이 | 문길주

주 소 | 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

기 획 | 기술정책연구소 / Tel. 02_958_6266
www.KIST.re.kr

© 한국과학기술연구원

이 책은 저작권법에 따라 보호받는 저작물이므로 무단전제와 무단복제를 금지합니다.
잘못된 책은 바꾸어드립니다.

KIST

2012
과학
기술
전망



KIST 2012 과학기술전망 발간사

오늘날 인류는 산업, 환경, 기후, 인구구조 등 사회를 구성하는 전 영역에서 역사상 유래 없는 엄청난 변화를 겪고 있습니다. 과거 100년간 세계 인구는 네 배가 되었으며 경제 규모 역시 14배나 증가했습니다. 이러한 성장의 배경에는 16배나 늘어난 에너지 소비가 있었으며, 극심한 기후변화의 원인으로 지목되고 있는 이산화탄소의 배출량 역시 13배나 증가했습니다.

융합(Convergence) 역시 인류 사회가 직면하고 있는 변화의 큰 흐름을 관통하고 있는 화두입니다. 경제와 사회, 문화, 예술, 환경, 과학기술 등 모든 영역 간의 경계가 허물어지고 있습니다. 개개의 분야뿐만 아니라 그 연결고리의 복잡성도 날로 높아지고 있어, 앞날을 예측하기란 점점 더 어려워지고 있습니다.

우리가 주목해야 할 또 한 가지 중요한 사실은 변화와 융합의 속도가 점점 더 빨라지고 있다는 점입니다. 수천 년간 인류 사회의 근간이 되어온 농경사회가 산업사회로 전환되는 데는 200년이 걸렸지만, 전기가 보편화되는 데는 불과 50년이 걸렸습니다. 인터넷은 20년 만에 인류의 생활상을 완전히 바꾸어 놓았으며, 페이스북, 트위터 등 소셜네트워크서비스는 고작 수 년만에 엄청난 변화를 가져오고 있습니다.

이 땅에서 서구식 교육이 시작된 지 이제 불과 100년이 지났습니다. 인류가 달에 사람을 보내겠다고던 야심찬 계획을 실천했던 그 무렵, 전쟁의 상흔으로부터 이제 막 재기하기 시작했던 한국은 과학기술에 눈을 돌리기 시작했습니다. 우리가 지난 반세기 동안 이뤄낸 눈부신 경제 성장의 원동력은 바로 과학기술 발전을 통한 국가경쟁력의 제고라고 해도 지나치지 않을 것입니다.

1966년 한국과학기술연구원(KIST)의 설립으로 시작된 이 땅의 과학기술 발전사가 바로 한국의 발전사와 판박이처럼 들어맞는 것이 그 반증입니다. 그 결과, 시멘트, 섬유 산업에서 시작해 중화학, 제철, 조선산업을 넘어서 이제 한국의 기업들은 자동차, 정보통신, 바이오, 신재생에너지 등 첨단산업에서 세계 선두를 달리고

있습니다. 2011년 한국의 교역액이 처음으로 1조 달러를 넘어섰습니다. 앞으로 국민 소득 2만 달러를 넘어서 진정한 일류선진국으로 발돋움하기 위해서는, 지금 우리를 둘러싼 환경의 불확실성을 성찰할 수 있는 해안이 필요합니다.

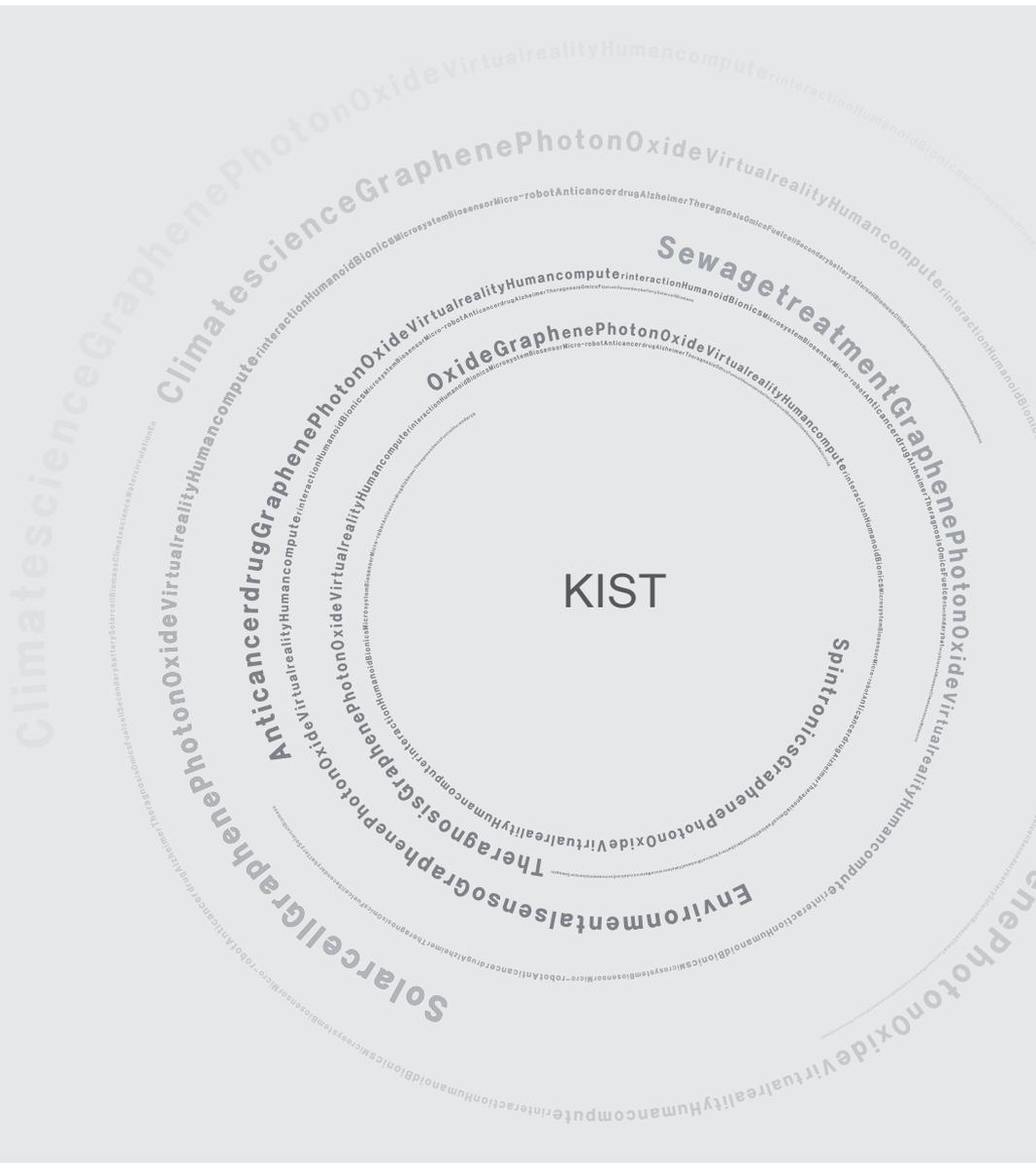
미래를 내다보는 눈은 저절로 생기는 것이 아니라고 믿습니다. 미래를 예측하기 위해서는 오늘의 변화와 흐름을 감지할 수 있어야 하며, 그 변화 안에서 우리가 어떻게 행동해야 할 것인지 꿰뚫어내는 통찰력도 필요할 것입니다. 그리고 우리 자신에 대한 진지한 성찰이 선행되어야만 미래 전망이 의미를 가질 수 있다고 생각합니다.

무역 2조 달러, 국민소득 4만 달러 시대를 위한 해답은 과학기술의 역할에 있습니다. 과거 우리가 선진국을 추격하기 위한 과학기술에 집중해왔다면 이제는 선진국들과 어깨를 함께 하고 선도형, 창조형 과학기술을 연구 개발하는 것이 절실한 시점입니다. 이러한 시점에서 오늘날 우리 과학기술의 위치를 세계적 수준과 비교해 보고, 향후 어떤 방향으로 발전해 나갈 것인지 예측하고, 어떤 장애요인들을 극복해 나가야 할 것인지 가늠해 보는 것은 매우 의미 있는 일이 될 것입니다.

이 책에서는 경제·사회적 전망 내용과 함께 뇌과학, 의공학과 같은 바이오 분야에서부터 나노소재, 에너지, 로봇, 환경 등 다양한 분야를 망라하는 25개 세부 기술들에 대한 현황과 향후 발전 전망을 제시하고 있습니다. 과거 46년간 명실공히 한국과학기술의 요람으로서 기능해 온 KIST에서 개발되고 있는 기술들을 중심으로 엮어진 이 책이 모조록 대한민국의 과학기술입국을 위한 나침반 역할을 할 수 있기를 기원합니다. 마지막으로 과학기술 분야의 전망서 집필이라는 어려운 과제를 열심히 수행해 준 집필진 여러분께 지면을 빌어 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

원장 문길주

:: Contents



:: PART 1 국내·외 경제 사회 전망 8

- 국내 경제 전망 12
- 국내 주요 산업 전망 19
- 세계 경제 전망 47

:: PART 2 과학 기술 전망 55

- 건강한 세상을 위한 생명·보건기술 57
- 풍요로운 세상을 위한 미래융합기술 170
- 지속 가능한 세상을 위한 에너지·환경기술 253

:: PART 3 6대 분야 발전 방향과 접근전략 359

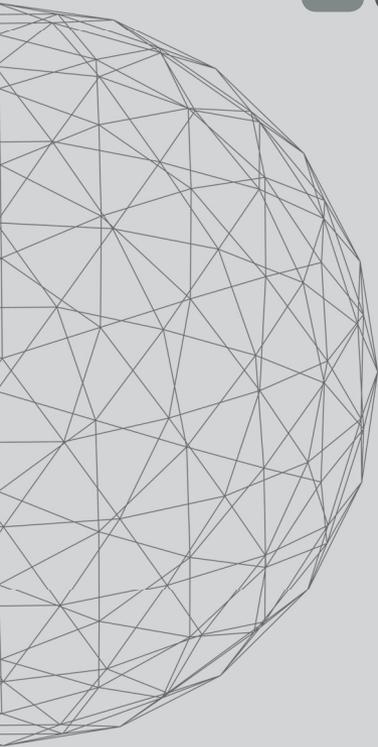
- 추진방향과 장단기 전망 종합 361
- 2012년 연구개발의 핵심은 창의성 확보와 융합 367

Science Technology

::: PART 1

국내 · 외 경제 사회 전망

- 국내 경제 전망
- 국내 주요 산업 전망
- 세계 경제 전망



국내 · 외 경제 사회 전망

미 국발 금융위기에서 비롯된 글로벌 경기침체로부터 비교적 빠르게 회복되어 오던 국내의 경제는 2011년 중반부터 뚜렷한 경기 둔화 추이를 나타내고 있다. 이같은 회복세 둔화의 가장 큰 원인은 유로권을 위시한 선진국의 재정불안과 경기부진으로, 이는 단기간 내에 해소가 어려운 문제라는 점에서 2012년에도 경기를 위축시키는 요인으로 작용할 것으로 보인다. 이에 따라 2012년에는 세계경제와 국내경제 모두 대체로 부진한 양상을 보일 것으로 예상된다.

세계경제는 무엇보다 유로권 재정위기가 가장 큰 걸림돌로 작용하면서 선진권 전반이 부진한 성장을 보일 것으로 전망된다. 유로권 재정위기는 해결전망이 불투명하고 불확실성이 매우 높아, 유로권 분할과 같은 파국으로 치달을 경우 2008~9년과 비슷한 세계적인 경기급락을 가져올 가능성도 배제할 수 없는 실정이다. 중국 등 신흥권은 선진권에 비해 상대적으로 높은 성장세를 이어가겠지만 이들 역시 2011년에 비해 성장둔화 추이를 보일 것으로 예상된다. IMF도 2012년 1월 발표한 세계경제 전망에서 2012년 세계경제 성장률을 전년 9월에 발표한 전망치보다 0.7% 하향조정한 3.3%로 전망한 바 있다.

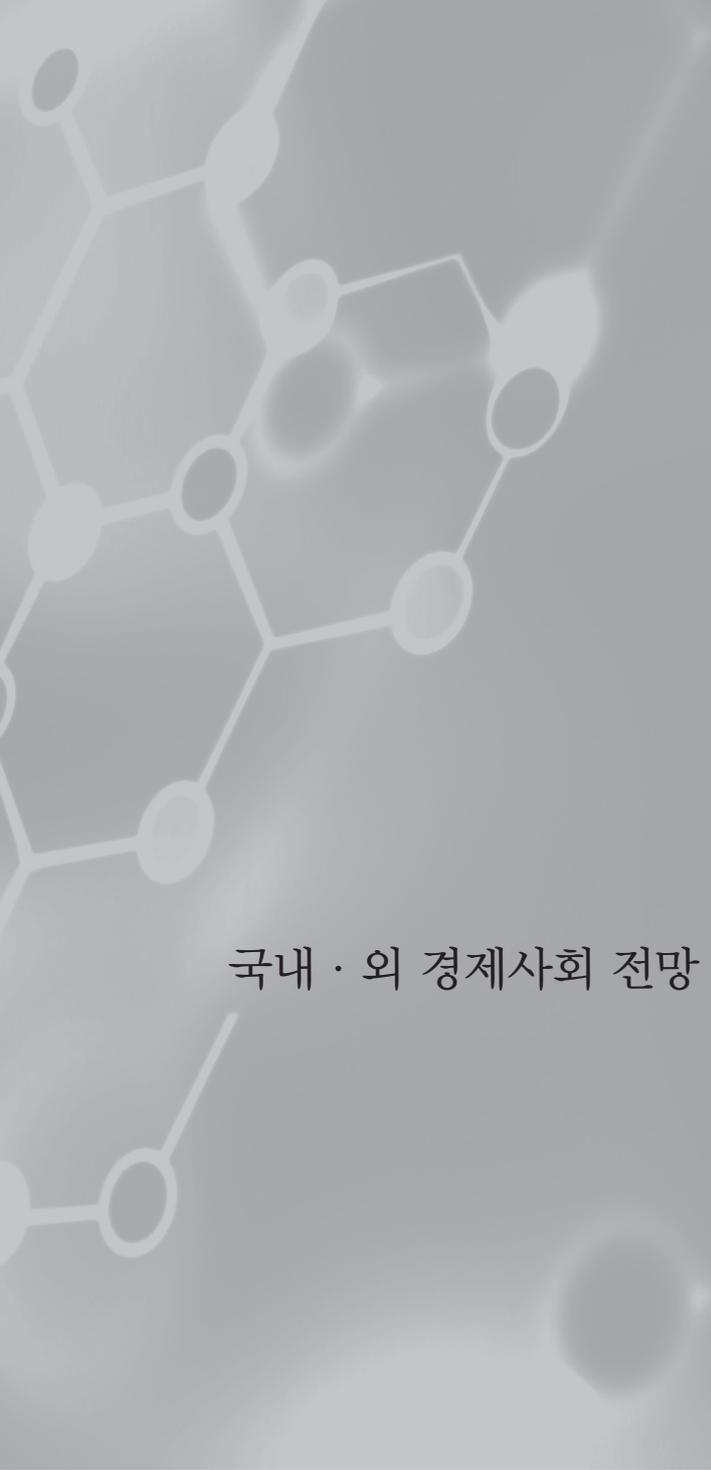
한편 국내경제도 이 같은 세계경제의 성장둔화와 불확실성의 영향으로 2012년에 낮은 성장이 불가피할 것으로 보인다. 세계경제가 IMF의 최근 전망과 비슷한 정도의 성장을 보이고 국제유가가 안정적인 추이를 보이게 되면, 한국경제는 2012년에 3%대 중반 정도의 성장을 해 나갈 것으로 예상된다. 무엇보다 세계경제의 둔화를

반영하여 수출증가세가 전년에 비해 크게 낮아질 것으로 보이고, 유로권 위기 등에서 비롯한 높은 불확실성으로 투자도 대체로 부진할 것으로 예상된다. 수출은 2011년에 20% 가까운 높은 증가(경상달러, 통관 기준)를 보였으나 2012년에는 한자릿수 증가율로 둔화될 것으로 보이며, 수입도 비슷한 증가세 둔화 추이를 보일 것으로 전망된다.

산업별로는 주력 제조업의 경우 전반적으로 생산 및 수출증가세가 전년에 비해 둔화되는 가운데, IT제조업이 좀 더 부진하고 비IT 전통제조업이 상대적으로 호조를 보일 전망이다. 이는 전년부터 이어지고 있는 양상으로 글로벌 IT 경기순환의 영향에 주로 기인한다고 볼 수 있다.

2012년 국내경제의 가장 큰 변수는 대외부문의 불안, 그중에서도 특히 유로권 위기의 전개추이가 될 것으로 보인다. 그 외에 최근 뚜렷한 성장둔화 추이를 보이고 있는 중국의 경착륙 여부, 지정학적 요인에 따른 유가불안 등도 주시해야 할 대외 불안요소들이다. 국내적으로는 이미 높은 수준에 도달한 가계부채 문제가 경계할 변수로 보인다.

2012년에는 국내외 경제가 전반적으로 부진하고 불확실성이 높을 것으로 보인다는 점에서, 경기회복세를 유지하는 것이 가장 주된 과제가 될 것이다. 특히 대외부문의 불확실성이 높다는 점에서 유로권을 위시한 해외 경기 추이를 면밀히 모니터링하면서 상황 악화시 선제적으로 대응할 수 있도록 대비해 나가야 한다. 아울러 가계부채 문제나 일자리 문제, 부문간 양극화 등 내부적인 문제를 해결하기 위한 지속적인 노력도 병행해 나가야 하겠다.



국내 · 외 경제사회 전망



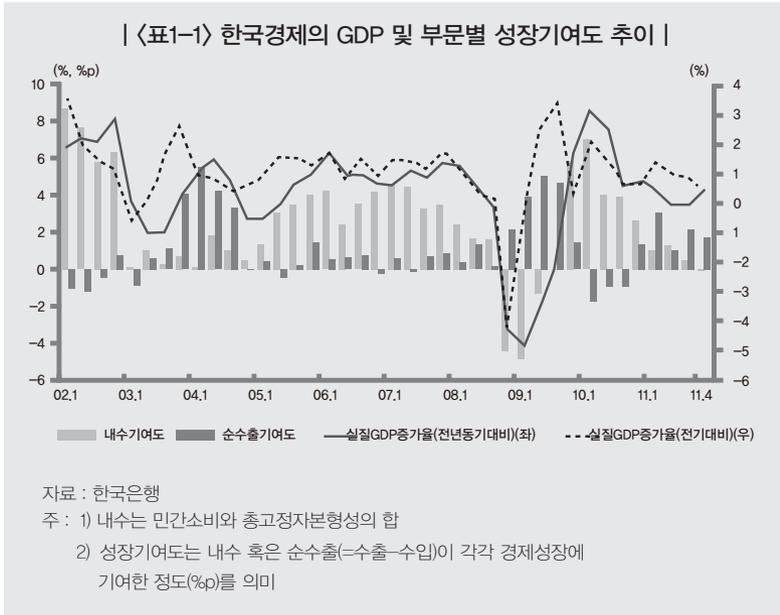
국내 경제 전망

지난 해 달성한 무역 1조 달러를 넘어서야

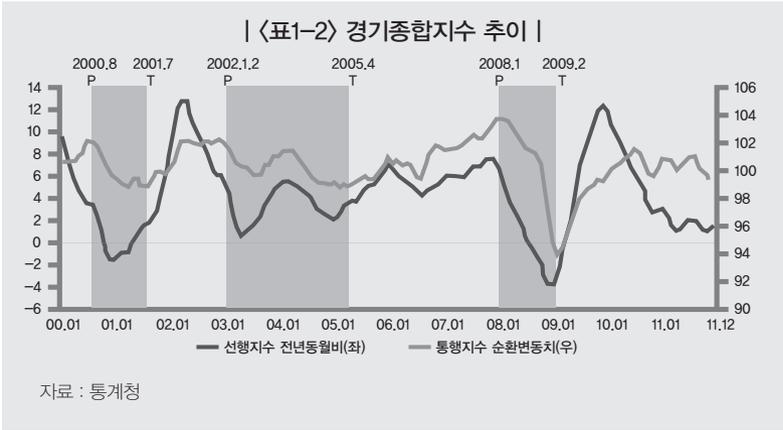
한국경제는 2009년 하반기부터 미국발 금융위기에서 비롯된 경기침체에서 회복되기 시작하여 2011년 초까지 빠른 회복세를 이어왔지만 유가 급등, 선진국 경기부진 등의 영향으로 대체로 부진한 양상을 보였다.

전체적으로 보아, 내수는 부진하였으나 수출이 비교적 호조를 보여 2011년에 우리나라 무역총액이 세계 9번째로 1조 달러를 돌파하는 기록을 세웠다. 수출이 이처럼 높은 증가세를 보일 수 있었던 것은 그동안의 기술축적에 따른 국내제품의 경쟁력 강화, 원자재가 상승에 따른 수출단가 상승, 경쟁국에 비해 약세를 보인 환율 효과, 일본 지진에 따른 반사이익 등이 복합적으로 작용한 결과로 추정된다. 다만 상반기에 20%를 상회하였던 수출증가율도 4분기 이후에

는 선진권 경기부진이 대선진권 수출 둔화로 나타나면서 증가율이 뚜렷하게 둔화되는 추이를 보이고 있다.



여러 선행지표나 재고-출하 순환도 등의 지표들은 경기둔화 추이가 향후에도 당분간 지속될 것임을 시사하고 있다. 경기선행지수의 전년동기 대비 증가율은 2분기 이후 지속적으로 하락하는 모습을 보이고 있고, 제조업 재고-출하 순환도도 2분기 이후 경기둔화 국면으로 전환되고 있다. 기업 경기실사지수나 소비자 심리지표 등도 하락 추이가 뚜렷하여 경제주체들의 향후 경기에 대한 부정적 전망이 늘어나고 있음을 알 수 있다. 이 같은 선행지표와 심리지표의 추이를 고려할 때 최근의 회복세 둔화 추이는 적어도 2012년 상반기까지는 이어질 가능성이 높다고 예상된다.



2012년엔 낮은 성장 속에서도 7%대의 수출 증가가 예상

국내 경제 전문기관들은 2012년 국내경제가 전년과 비슷한 3.7% 내외의 성장을 보일 것으로 전망하고 있다. 2012년 세계경제는 선진권 전반의 부진이 예상되고 유로권 재정위기 등으로 불확실성도 높은 상황이 이어질 것으로 보인다. 세계경제 성장세의 부진은 우리나라 수출증가세에 직접적으로 부정적인 영향을 미칠 것이고, 높은 불확실성은 국내 기업투자나 민간소비를 위축시키는 요인으로 작용하게 될 것이다.

| <표1-3> 주요 거시경제지표 전망 |

	2011년			2012년		
	상반기	하반기	연간	상반기	하반기	연간
실질GDP	3.8 (1.1)	3.5 (0.6)	3.6	3.4 (0.9)	3.9 (1.0)	3.7
민간소비	2.9	1.6	2.2	2.9	3.1	3.0
건설투자	-9.0	-4.3	-6.5	3.2	1.2	2.1
설비투자	9.4	-1.2	3.8	3.5	6.4	4.9
통관기준 수출(억달러)(%)	2,737 (23.7)	2,841 (15.9)	5,578 (19.6)	2,910 (6.3)	3,062 (7.8)	5,972 (7.1)
통관기준 수입(억달러)(%)	2,581 (26.7)	2,664 (20.4)	5,245 (23.3)	2,781 (7.7)	2,912 (9.3)	5,693 (8.5)
무역수지	156	177	333	129	150	279

주 : < >안은 전기대비 분기증가율의 반기 평균임.

전년동기 대비 성장률은 전년 성장패턴의 기저효과 등으로 상반기보다는 하반기에 다소 높아질 것으로 보인다. 부문별로는 내수보다 수출의 둔화가 두드러질 것으로 보인다. 수출은 세계경제 부진에 따른 수출물량 증가율 둔화와 더불어 유가 및 원자재가 안정에 따른 가격상승요인 소멸로 수출 증가세가 낮아질 것으로 전망된다. 반면 내수는 유가가 어느 정도 안정된다면 실질소득(GDI 및 GNI) 성장률이 2011년보다 높아질 것으로 보여, 전년과 비슷하거나 소폭 높은 증가세를 보일 것으로 예상된다.

2012년 실물경제의 주요 변수는 유로권 재정위기를 필두로 한 선진권 경기 등 대외불안요인이 가장 큰 위협요인으로 작용할 것이다. 특히, 유로권 위기가 파국으로 치닫거나 전개과정에서 심각한 금융불안을 초래할 경우에는 세계경기가 급락하면서 국내경제 성장률도 훨씬 낮은 수준으로 하락할 가능성도 안고 있다.

아울러 선진권 부진과 연관된 중국 등 신흥권 경기의 과급정도도 주요 변수가 될 것이다. 중국의 경우 과잉투자, 자산버블이 예상보다 큰 폭의 성장을 하락을 가져올 가능성도 위협요인이다. 국내적으로는 가계부채 부담, 건설경기 부진과 그 여파 등이 주요 위협요인으로 작용할 전망이다.

2012년 민간소비는 고용 개선의 지속 여부, 교역조건 변화에 따른 실질소득(GDI) 성장률 추이, 가계부채 부담 등이 주요변수로 작용할 것이다. 고용의 경우 최근까지 취업자 수가 견조한 증가세를 보이면서 개선 추이를 지속하고 있으나 하반기 들어 고용증가가 사회복지 서비스업이나 중고년층에 편중되고 제조업 고용이나 핵심생산계층 고용은 다시 부진해지는 등 내용 면에서는 둔화되는 현상

을 보이고 있다. 대체로 전체 경기의 둔화 추이에 따라 2012년에는 고용회복세도 다소 둔화될 것으로 예상된다.

이러한 점들을 고려할 때 2012년 민간소비는 3% 내외의 증가를 보일 것으로 전망된다. 민간소비의 견조한 증가를 전망하는 이유는 실질소득이 유가 안정에 따른 교역조건 개선으로 전년에 비해 다소 높은 증가를 보일 것으로 예상되기 때문이다.

다만 고용 회복세의 둔화, 세계경기 불확실성 지속, 가계부채 부담 등이 제약요인으로 작용하면서 소비 증가율이 크게 높아지기는 어려울 것으로 보여, 여전히 GDP 성장률을 하회하는 완만한 증가세를 이어갈 것으로 예상된다.

설비투자는 대내외 경제여건의 불확실성과 대기수요 해소 등으로 인해 2011년 하반기 이후 증가세가 큰 폭으로 둔화되고 있고, 설비투자 선행지표의 증가세도 큰 폭으로 둔화되고 있다. 경제의 성장세가 둔화됨에 따라 국내 기계수주 및 설비투자 조정압력도 크게 둔화되고 있는 추세다. 이에 따라 2012년 설비투자는 연간 5% 내외의 낮은 증가율을 보일 것으로 예상된다.

수출은 2011년 들어와서도 20%에 가까운 높은 증가율을 보이며 사상 처음으로 5,000억 달러를 돌파하였으나 8월 이후 미국의 국가 신용등급 강등, 유로권 재정위기 확산 등으로 선진권 경기둔화가 가시화되면서 증가율은 둔화 추세이다.

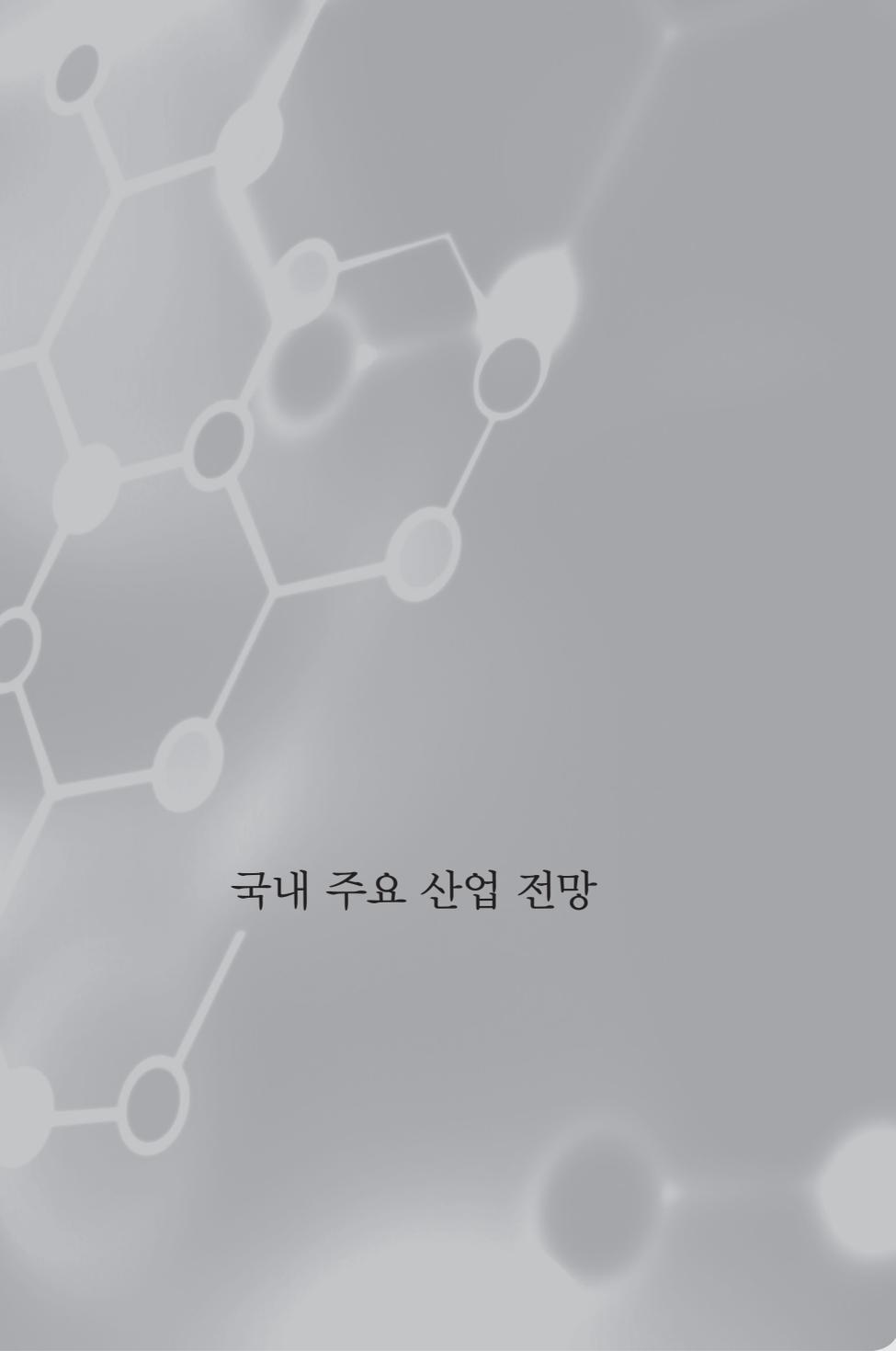
〈표1-4〉 수출입 및 무역수지 추이 |

(단위 : 억달러, %)

	2010	2011								
	연간	1/4	2/4	3/4	4/4	9월	10월	11월	12월	연간
수출	4,664 (28.3)	1,310 (29.6)	1,427 (18.7)	1,412 (21.4)	1,416 (10.0)	465 (18.0)	466 (7.6)	461 (11.6)	489 (10.8)	5,565 (19.3)
수입	4,252 (31.6)	1,239 (26.2)	1,343 (27.1)	1,349 (27.7)	1,313 (13.4)	452 (29.3)	427 (15.5)	430 (11.2)	455 (13.6)	5,244 (23.3)
무역수지	412	71	84	63	104	13	39	30	34	321

자료 : 한국무역협회. 주 : ()안은 전년동기 대비 증감률.

2011년 연간 수출증가율은 20% 내외, 수입증가율은 23% 내외에 달하였으며, 무역수지 흑자규모는 잠정치 기준으로 330억 달러 내외를 기록한 것으로 추정된다. 수입은 원유, 가스 등 에너지 수입 확대로 원자재 수입이 큰 폭으로 증가하였고, 소비재도 자동차, 육류를 중심으로 높은 증가세를 보이고 있다. 2012년에는 세계경제 성장세 둔화, 수출단가 안정, 대일 반사이익 소멸, 원화절상 등으로 수출증가율이 크게 낮아질 전망이다. 선진권 부진으로 대선진국 수출뿐만 아니라 신흥국을 통한 우회수출도 점차 영향을 받을 것으로 예상되며, 유가 등 국제 원자재 가격 안정으로 석유제품, 석유화학 등의 수출도 둔화될 전망이다. 또한, 일본의 조업 정상화로 세계 시장에서 반도체, 전자제품 등의 경쟁이 더욱 치열해질 전망이며, 2011년에 크게 늘어났던 대일수출 효과도 소멸될 것으로 보인다. 2012년 수출증가율(통관 기준)은 7% 내외로 예상된다. 수입도 국내 경기의 성장 둔화와 유가 등 국제 원자재 가격의 하락으로 2011년보다 크게 둔화되어 8%대의 증가를 보일 것으로 전망된다. 수입증가율이 수출증가율을 상회하면서 무역수지 흑자폭은 2011년보다 축소된 280억 달러 내외로 전망된다.



국내 주요 산업 전망



국내 주요 산업 전망

우리 나라는 최근 석유제품, 철강, 석유화학, 일반기계 등 비IT 산업의 수출증가율이 높은 반면, 반도체를 비롯한 IT산업의 수출은 선진권 수요 위축과 가격 하락, 해외 생산 확대 등으로 대체로 부진한 현상을 보이고 있다. 여기서는 이러한 국내 주요 산업을 뒷받침하는 바이오, 반도체, 이차전지, 자동차, 환경, 무선통신기기 산업을 중심으로 향후 전망을 살펴본다.

바이오산업은 의료기기, 의료서비스 분야를 중심으로 전개 중

세계 바이오산업 시장은 2005년-2009년간 연평균 10.2%로 성장, 2009년 현재 2,000억 달러에 이르고 있다.¹⁾ 보건의료 시장이

1) 이하 세계 바이오산업 관련 통계는 Biotechnology: Global Industry Guide, 2010 Datamonitor를 참고했음.

66% 비중을 차지하며, 미주 지역이 50% 정도를 차지한다. 아시아 태평양 지역은 세계 시장의 26.5%를 점유하며, 그 성장 속도는 미주 지역에 비해 빨라 2014년 880억 달러 규모의 시장을 형성할 것으로 주목받고 있다. 일본이 아시아 태평양 시장의 절반 이상을 차지하고, 인도와 중국은 저임금, 국제수준의 인프라, 다수의 인적자원, 내수시장 규모 등의 기반을 바탕으로 의약품 위탁생산과 계약 임상시험(CRO) 시장에서 글로벌 경쟁력을 확보하고 있다. 2013년 전후 확대가 예상되는 바이오시밀러 의약품 시장에서 아시아 태평양 비중은 35% 정도이며, 중국, 인도, 한국이 주도적인 역할을 할 것으로 예상된다.

최근 글로벌 경제위기의 영향으로 바이오산업 역시 성장 속도가 다소 둔화되고는 있지만, 2014년까지 여타 산업에 비해서는 높은 속도인 9%대의 성장을 보이면서 세계 전체로 3,184억 달러 규모의 시장을 달성할 것으로 전망된다. 다만 글로벌 경제 위기의 영향으로 기업들이 R&D 투자를 축소하고 있으며, 향후 신제품 파이프라인의 감소가 예상된다.

바이오산업은 유전체에 기반을 둔 생명현상 전반에 대한 총체적 연구를 바탕으로 개인별 혹은 그룹별 맞춤형 의약품을 생산하는데 주력하고 있다. 이러한 추세는 기존 블록버스터 의약품을 중심으로 하는 보건의료시장을 세분화시키면서 니치마켓 중심으로 변화하고, 단백질의약품, 항체의약품과 같은 바이오 신약의 수를 증가시키고 있다.²⁾ 또 고령화, 삶의 질 추구, 의료 재정 부담 등에 대한

2) 미국 FDA에서 승인 신약의 수는 화합물 신약의 경우 1999년 40개에서 2009년 26개로 감소한 반면, 바이오신약의 수는 1999년 5개에서 2009년 7개로 증가하였음.

해결 방안으로 예방의학, 맞춤의학, 재생의학, 뇌과학 등이 바이오 관련 주요 이슈로 등장하고 있다.

2010년 발표된 한국 바이오산업통계³⁾에 의하면, 한국 바이오 산업은 2007년~2009년 3년간 연평균 17.6%의 성장세를 유지하고 있으며, 2009년도 한국바이오산업의 수급규모는 약 7조원으로 2008년도 5조 6,589억원에 비해 23% 증가하였다.

<표1-5> 국내 바이오산업 규모(2007년~2009년)					
단위 : 억 원, %					
		2007년	2008년	2009년	5년간 연평균 증가율
수요	내수	32,632 (18.9%)	37,551 (15%)	42,367 (12.8%)	17.6
	수출	14,715 (9.0%)	19,038 (29.3%)	27,287 (43.3%)	19.2
계		47,347 (15.6%)	56,589 (19.5%)	69,654 (23%)	17.6
공급	생산	37,138 (17.5%)	45,120 (21.4%)	56,362 (24.9%)	18.4
	수입	10,209 (9.1%)	11,469 (12.3%)	13,292 (15.9%)	14.6

자료 : 지식경제부(2010), 2009년도 국내 바이오산업 통계.
주 : ()는 전년대비 증가율

특히 바이오의약품(49.2%)과 바이오식품(27.7%) 분야가 주종을 이루고 있다. 한국 바이오산업의 성장세와 경쟁력은 특히 바이오의약품 분야에서 더욱 두드러져, 2009년 기준 바이오의약품의 국내 생산 금액은 2.8조원으로 전체 의약품⁴⁾ 생산의 15%에 불과하

3) 한국 바이오산업 통계, 지식경제부 (2010), 한국 지식경제부가 첨단 바이오기술을 활용하는 기업 및 제품만을 대상으로 정밀 조사하여 매년 발표하고 있는 협의의 바이오 산업 통계임.

4) 화학물 의약품과 바이오 의약품을 합한 전체 의약품을 의미함.

지만, 바이오의약품 수출액은 1.2조원으로 수출 의약품 총액 1.8조원의 2/3를 차지하고 있다. 여타 제조업에 비해 의약품 수입국의 규제가 매우 엄격하다는 점을 감안할 때, 한국 바이오의약품의 수출 증가세는 한국 바이오산업의 강화된 경쟁력을 입증한다고 할 수 있다. 한국 바이오산업은 특히 삼성 등 대기업이 참여를 시작한 바이오시밀러 분야에서 높은 국제 경쟁력을 보이고 있으며, 2012년 시장 진출이 본격화될 것으로 전망된다. 동 분야의 대표 기업으로는 9만리터의 생산 시설을 확보하고 있는 셀트리온을 들 수 있다. 바이오시밀러 시장에서의 경쟁은 2013년 이후 본격화될 것으로 보이며, 일부에서는 과도한 경쟁에 대한 우려의 목소리도 나오고 있다. 또한 재생의료 등 줄기세포 활용 분야도 한국 바이오산업에서 다시 활성화되고 있는데, 2011년 7월 세계 최초의 성체 줄기세포 치료제 허가에 이어 현재 20여건의 줄기세포 임상시험이 진행되고 있어 줄기세포 분야에서도 2012년에는 다양한 제품의 허가와 생산이 시작될 것으로 보인다.

한편 한국 바이오산업에서 새로운 성장동력으로 떠오르고 있는 분야가 바이오기술이 융합되는 의료기기 및 의료서비스 분야이다. 생체신호 진단기기, 바이오장비, U-헬스케어용 바이오센서 등이 여기에 포함되며, 포괄적으로는 U-헬스케어시스템 구축까지를 포함시킬 수 있다. 한국에서는 KIST, 한국생명공학연구원 등 국가출연 연구기관, 서울대학교 등 국공립 대학과 사립대학, 삼성 SDS, SK 텔레콤 등 대기업과 중소 벤처기업 등 다양한 기업과 기관들이 연구개발을 진행하고 있으며 정부 주도의 “스마트케어 서비스 시범사업”도 현재 추진되고 있다.

하지만 한국 바이오산업 역시 글로벌 경제 위기의 영향을 피해가지는 못할 것으로 보여, 2012년에는 전체 산업의 성장세가 다소 둔화될 것으로 전망된다. 따라서 한국 바이오산업이 2008년~2009년간 성장률인 25%(생산기준)를 2012년에도 유지하기는 어려울 것으로 보인다. 다소 낙관적으로 전망하면 2004년~2009년간의 연평균 성장률(생산기준 18.42%)이 유지된다고 볼 때, 2012년 한국 바이오산업 생산 금액은 9.4조원 내외에 달할 것으로 전망된다.

| <표1-6> 2012년 한국 바이오산업 전망 |

	2009년	2009~2012 연평균 성장률 (%)	2012년 (추정1)	2009~2012 연평균 성장률 (%)	2012년 (추정2)
생산 (억원)	56,362	18.42	93,605	16.64	89,439
수입 (억원)	13,292	14.58	19,996	13.17	19,266
내수 (억원)	42,367	16.69	67,314	15.07	64,556
수출 (억원)	27,287	19.19	46,200	17.33	44,074

주 : 추정1은 2004~2009년간 연평균 성장률이 2009~2012년간 유지될 경우이며, 추정2는 2004~2009년간 연평균 성장률이 2009년 이후 매년 5% 포인트씩 감소한다고 가정

● 한국 바이오산업은 중장기적으로는 세계적인 고령화 추세 등으로 새로운 기회를 맞고 있다. 특히, 악화되고 있는 의료보험 재정 부담을 완화시켜 나가기 위해서는 바이오기술, IT융합기술 등 신기술을 적극 활용해 나가야 한다.

● 이와 함께 2012년에는 개인 및 국가의 의료비용을 낮출 수 있도록 바이오산업 생태계를 전반적으로 점검하고, 이에 대한 정부의 지원이 뒤따라야 한다.

반도체산업은 시스템반도체가 견인

반도체는 크게 정보를 저장할 수 있는 메모리반도체와 연산이나 제어기능을 하는 시스템반도체(비메모리 반도체), 그리고 단순기능의 개별반도체로 구분된다. 이들 제품들이 구성하는 세계 시장은 대부분 시스템반도체(70.1%)가 차지하고, 메모리시장(23.3%)비중은 상대적으로 작은 편이다. 우리나라는 메모리부문에 높은 경쟁우위를 보이고 있다. 세계 반도체시장은 2011년에 스마트폰의 열풍으로 반도체의 성장구조 변혁기를 맞으면서 또 다시 침체의 늪으로 빠졌다. 특히 메모리반도체의 가격 폭락과 함께 전반적인 시장축소 경향을 나타내고 있다. D램 탑재용량이 적은 스마트폰과 태블릿PC는 빠르게 보급되면서 전체적으로는 D램 성장이 크게 감소하고 가격도 급락하는 추세다. 기존 PC(데스크톱, 노트북) 대신에 스마트폰과 태블릿PC로 인터넷을 처리하게 됨에 따라 PC시장이 급속히 위축되고 있으며, 더욱이 클라우드 시장이 확대되어 D램 메모리 시장이 더욱 축소되고 있는 상황이다. 스마트폰의 D램 탑재용량은 평균 0.5GB로서 PC의 평균 3GB에 비해 1/6정도에 불과하다. 이처럼 PC용 D램 수요는 큰 폭으로 감소하는 추세이나, 국내업체는 경쟁국 대비 원가경쟁력 우위 및 스마트폰용 D램을 통해 시장을 선점하는 방식으로 대응하고 있다.

| <표1-7> IT기기의 스마트화에 따른 메모리 용량 변화 |

구분	기존 PC	태블릿 PC		구분	피쳐폰	스마트폰
D램	3.5GB	1GB	3.5GB	D램	0.1GB	0.5GB
낸드	-	30GB	64GB	낸드	2GB	20GB

모바일기기(스마트폰, 태블릿PC 등)업계는 생산형태가 소품종 대량생산 형태로 변모하여, 소요되는 시스템반도체(AP, DDI, 이미지센서, 고주파IC 등)의 대량구매 및 경쟁유도가 일반화되고, 수급 환경도 변화하고 있다. 2011년 세계 메모리시장은 전년대비 12.9% 감소하였는데, 이중 D램이 무려 25.9%나 감소한 반면, 낸드플래시는 12.9%나 증가했다. 이러한 추세를 고려하면 2012년에는 시장 상황에 따라 낸드 플래시 시장이 D램 시장을 추월할 가능성도 있는 것으로 평가된다. 2011년 시스템반도체의 세계시장은 4.7% 증가하였는데, 이는 모바일용 어플리케이션 프로세서(Application Processor, AP) 등 스마트기기의 시장 확대에 기인한다. 개별반도체 시장은 9.2% 증가하였는데, 센서와 파워IC 등 자동차용 반도체가 시장을 리드했다. 2012년에는 런던올림픽, 세계 주요국의 선거 등에 따른 경기부양으로 반도체 경기도 회복될 것으로 예상되나, D램 경기는 지속적으로 악화될 것으로 전망된다. D램은 다만, 일본 등 경쟁국의 공급여력이 충분하여 공급과잉이 지속될 것으로 보이며, 낸드플래시도 역시 공급여력이 충분할 것으로 예상된다.

〈표1-8〉 세계 반도체시장 현황과 전망 |

단위 : 백만 달러

	2010	2011	2012	2013	2014
반도체 전체	298,315	302,271	310,175	328,084	347,487
증가율(%)	31.8	1.3	2.6	5.8	5.9
메모리	69,614	60,655	57,839	60,163	65,101
증가율(%)	55.4	-12.9	-4.6	4.0	8.2
D램	39,210	29,049	25,805	26,805	29,049
증가율(%)	74.9	-25.9	-11.2	2.3	10.1
낸드플래시	21,735	24,538	25,601	27,519	29,925
증가율(%)	46.5	12.9	4.3	7.5	8.7
시스템반도체	208,899	219,677	229,651	244,015	257,103
증가율(%)	24.8	5.6	4.5	6.3	5.4
개별소자	19,802	21,939	22,685	23,906	25,283
증가율(%)	39.7	10.8	3.4	5.4	5.8

자료: WSTS(2011.11)에 의해 작성

2012년 국내 반도체산업은 시스템반도체가 경쟁력을 앞세워 성장세를 견인할 것으로 예상되나, D램의 약세로 수출은 소폭 감소할 것으로 전망된다. 수출의 경우 글로벌 시장에서 데스크 탑PC 및 노트북 PC용 D램 수요가 급속 위축될 것이나, 스마트폰과 태블릿 PC의 빠른 보급으로 프리미엄 D램(스마트용, 서버용, 그래픽용 D램) 수출은 증가세를 보일 것이다. 또한 국내 업체는 스마트폰 및 태블릿PC를 경쟁적으로 출시함에 따라 모바일용 어플리케이션 프로세서(AP), 디스플레이 구동 IC(DDI), 카메라 이미지센서(CIS) 등 시스템반도체의 수출이 크게 확대될 것으로 전망된다.

국내 시스템반도체 산업은 모바일용 IC분야에서 세계적인 경쟁력을 확보하고 있으며, 삼성전자가 시스템반도체 투자를 강화하는 등 모바일용 시스템반도체를 중심으로 경쟁력 강화가 예상된다. 2012년에 반도체 수출구조는 시스템반도체가 메모리를 크게 능가하여, 그동안의 메모리 편중구조에서 벗어날 것으로 보인다. 메모리반도체 시장 침체, 스마트기기 시장 급성장 등 국내 반도체산업을 둘러싼 환경변화는 국내 업계에게 위기이자 기회로 작용할 것이다.

〈표1-9〉 국내 반도체산업의 수급 전망 |

구분		2010		2011		2012	
		금액	증감율	금액	증감율	금액	증감율
생산 (조원%)	반도체 전체	61.3	(48.6)	61.1	(-0.3)	62.2	(1.8)
	메모리	35.4	(55.5)	33.1	(-6.5)	28.1	(-15.1)
	시스템반도체	11.3	(17.9)	12.8	(13.3)	28.9	(125.8)
수출 (백만달러%)	반도체 전체	507.1	(63.4)	501.5	(-1.1)	497.4	(-0.8)
	메모리	268.3	(6.9)	242.3	(-9.7)	217.2	(-10.4)
	시스템반도체	160.9	(30.9)	190.9	(18.6)	224.3	(17.5)

자료 : 생산 KEA, 수출입 KOTIS, 전망 KIET

메모리반도체는 가격하락 등 어려운 여건에도 불구하고 앞선 미세공정을 바탕으로 최고 수준의 원가 경쟁력을 지속적으로 확보하면서, 타 경쟁국과의 격차를 더욱 확대시키고 있다. 시스템반도체는 모바일용 반도체의 성공을 바탕으로 전력반도체 등 신재생에너지관련 분야 및 그린자동차용으로 신규시장을 개척해 나가고 있으며, 설비투자를 대폭 늘려가고 있다. 이로 인해 국내 반도체업계는 향후 메모리분야를 훨씬 능가하는 시스템반도체의 강국으로 부상할 것으로 전망된다.

한편 경쟁국과 비교하면, 시장 환경 변화와 반도체 산업의 대응 측면에서 우리나라와 일본, 대만은 엇갈린 행보를 나타낼 것으로 예상된다. 가격 하락을 고부가가치 제품 생산으로 극복한 국내업체는 시스템반도체까지 외연을 확대할 전망이나, 일본, 대만의 반도체 업체들은 감산, 구조조정 등을 추진할 것으로 판단된다. 국내 메모리 업체들은 해외 경쟁업체들과 최소 6개월 이상의 기술격차를 유지하면서 생산증대를 모색하고 있다. 삼성전자는 10nm급 낸드플래시를 2011년에 개발하여 2012년에 양산 개시할 것으로 발표하고 있다. 따라서 한국은 시스템반도체 생산을 대폭 늘리는 동시에 낸드플래시도 생산 확대를 통해 DRAM 생산을 능가하는 증가세를 보일 것으로 예상된다.

● 국내 반도체 산업은 최근 비메모리 반도체의 생산과 수출이 빠르게 증가하면서 2012년에는 비메모리 반도체 수출이 메모리 수출을 상회하는 구조 변화를 보일 것으로 예상된다.

● 우리나라는 제품의 신속한 개발과 출시에 대한 적시성이 매우 우수하고, 반도체 공정기술이 큰 경쟁력을 갖고 있으나, 시스템반도체의 회로설계와 원천기술은 취약한 실정이어서, 이에 대한 과감한 설비투자과 기술개발이 이루어져야 할 것으로 보인다.

이차전지 산업은 2015년을 전후하여 수요가 급증

이차전지는 황화나트륨(NaS)전지, 니켈카드뮴(Ni-Cd)전지, 니켈수소(Ni-MH)전지, 리튬(Li)전지 등이 있으나, 현재는 리튬전지를 대부분 사용하고 있다. 이차전지의 소재는 4대 핵심소재(양극, 음극, 전해액, 분리막) 중심으로 구성되며, 이차전지산업의 경쟁력은 전체 부가가치의 45%를 차지하는 소재산업에 의해 좌우되고 있다. 이차전지의 수요처는 소형의 모바일 디바이스 분야에서 중대형 분야인 전기자동차와 신재생 에너지 전력저장 및 유희·비상용 전력저장 등의 시장으로 확대되는 추세이다. 세계 이차전지 시장은 글로벌 경기둔화에도 불구하고 성장세가 지속되고 있다. 특히 리튬전지 시장의 큰 확대에 힘입어, 시장규모가 2010년 6,400억 엔에서 2016년 2.1조 엔으로 급성장할 것으로 전망된다. 글로벌 금융위기 이후 세계 각국은 저탄소 녹색성장 정책을 통해 이차전지를 신산업 창출 및 성장의 기반으로 채택하고 집중 육성해 나가고 있다. 특히 전기자동차(EV)와 하이브리드차(PHEV)를 양산하기 위한 리튬배터리 개발을 경쟁적으로 서두르고 있다. EV/PHEV의 양산은 대략 2012년에서 2015년 사이에 이루어질 것으로 보이며, 2015년을 전후하여 급증할 것으로 전망된다.

| <표1-10> 대형 이차전지의 세계시장 전망 |

단위: 억 엔

	2010	2011	2012	2013	2014
리튬이온전지	564	975	4,277	7,851	12,256
니켈수소전지	938	1,161	1,618	1,914	1,354
납축전지(차량용제외)	3,747	3,970	4,252	4,992	6,240
NaS전지	194	216	382	525	855
캐파시터	68	81	169	239	297
합 계	5,511	6,403	10,698	15,521	21,002

자료: 富士經濟 (2011.5)

세계 각국은 중대형 리튬이온전지의 개발과 응용시스템 보급에 박차를 가하고 있으며, 리튬전지를 이용한 에너지 저장 연구가 가장 활발히 진행 중이다. 소형은 한중일 중심 양산체제가 지속될 전망이다, 중대형은 서구 선진국 참여로 경쟁이 가속화될 전망이다. 소형은 동북아 3국이 전 세계 수요의 95% 이상을 공급하고 있으며, 중대형은 일본을 선두로 한·중·미·독이 추격하는 상황이다. 아직까지는 소형 IT기기가 시장의 대부분을 차지하고 있으나, 향후 전기자동차와 스마트그리드가 보급되면 대용량 저장장치도 확대될 것으로 보인다. 이차전지 시장이 확대되어 나가기 위해서는 수명 증대, 안정성, 신뢰성, 가격 인하 등이 선결되어야 한다.

| <표1-11> 기업별 리튬 이차전지 생산현황 |

(단위 : 백만셀/월)

주요업체	2008	2009	2010	2011
삼성SDI	476.2	565.1	780.2	1,002
Sanyo	705.1	617.9	751.3	823.7
LG화학	215.2	565.1	780.2	759.3
Sony	466.2	371.3	462.9	495.0
Lishen	114.4	169.8	247.5	318.6
Panasonic	179.3	196.3	239.5	210
세계 총량	3,142	3,079	3,902	4,513
증가율	12%	-2%	27%	16%

자료 : IIT(2011)

한국의 이차전지산업은 본격적인 생산이 시작된지 10년만에 세계 1위(1999년 LG화학 원통형 이차전지 첫 출하, 삼성 SDI 2000년 이차전지 생산 시작)로 도약하였다. 우리 기업들의 과감하고 공격적인 설비투자과 정부 R&D지원을 통해 우리나라는 세계적인 이차전지 수출국이 되었으나, 향후 시장을 주도할 중대형 이차전지 시장에 대한 대응은 아직 미흡한 실정이다.

리튬전지는 우리나라가 경쟁력을 가질 수 있는 중요 산업분야로서 현재 주요 대기업들이 집중적으로 투자를 하고 있다. 소형 이차전지 및 중대형 전기차용 이차전지에 대해서는 일본 기업 수준으로 적절히 대응하고 있으며, 향후 전기자동차 시장 선점을 위한 국내 전지업체와 국내외 자동차업체 간의 제휴도 확산되고 있다. 우리나라의 리튬전지 수출액은 2009년 17.3억 달러에서 2010년 21.1억 달러로 21% 증가하였다.

| <표1-12> 리튬전지 수출입 동향 |

단위 : 백만 달러

구분	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
수출액	272	434	560	773	1,164	1,623	1,727	2,105
수입액	357	352	424	326	398	521	551	547
무역수지	-85	82	136	447	766	1,102	1,176	1,158

자료 : KOTIS

수입액은 2009년 5.51억 달러에서 2010년 5.47억 달러로 감소하여 국내 리튬 이차전지 무역수지 흑자폭이 커지고 있다. 리튬전지 산업은 향후 시장 성장성이 높고, 국내 기업들이 경쟁력을 확보하고 있어 우리나라 주요 수출 품목의 하나로 자리매김할 것으로 보인다.

| <표1-13> 리튬이차전지의 기업별 세계시장 점유율 |

단위 : %

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
삼성SDI	10.9	11.6	13.3	15.1	18.4	20.0	22.2
LG화학	6.5	6.8	8	6.8	13.1	20.0	16.8
산요	24.2	21.3	21.3	22.4	20.2	19.3	18.3
소니	13.3	14.5	14.6	14.8	12.1	11.9	11.0
파나소닉	10.2	8.6	7.3	5.7	6.4	6.1	4.7

자료 : IIT(2010).

현재 모바일용 리튬이온전지는 한국·일본이 선도하고 있고, 자동차용은 신시장으로 부상 중에 있다. 2010년부터 한국은 세계 시장 점유율이 40%대로 높아져, 삼성SDI, LG화학 등 한국 업체가 세계 1,2위를 차지하고 있다. 장기적으로 리튬전지 시장의 주도권은 친환경자동차용을 누가 선점하느냐에 따라 결정될 전망이다. 향후 친환경자동차용은 기존 모바일용보다 성장성이 클 것으로 예상된다. 향후 국내 이차전지산업은 2013년에 생산액 약 9조원, 2020년에는 약 40조원 규모로 성장할 것으로 예상된다. 이차전지산업은 2020년까지 집중 투자를 통해 전지는 생산 세계 1위, 소재는 본격 수출국가로 부상할 전망이다. 2020년경에 전지는 세계시장 점유율 50%, 소재부문은 국산화율 75%를 예상하고 있다.

| <표1-14> 국내 이차전지 장기발전 전망 |

	2009	2013	2017	2020
국내생산액 (조원)	3.2	8.6	23.1	39.7
(이차전지 소재)	(0.3)	(0.5)	(6.8)	(17.2)
세계시장점유율(%)	32	35	45	50
(이차전지소재)	(11)	(12)	(29)	(35)
소재국산화율(%)	20	35	65	75

자료 : 지식경제부(2010.7)

이차전지산업은 다국적기업의 진출로 경쟁이 치열하여, 우리나라는 핵심 소재 부품의 해외 의존 탈피, 전문인력의 양성, 인프라 강화, 전지산업 종합 지원체제를 구축해 나가야 한다.

리튬 이차전지 시장은 자동차 및 에너지 저장용 전지의 수요 창출로 양호한 성장세가 유지될 전망이다. 가격절감과 핵심부품의 성능을 계속 개선해나갈 필요가 있다. 또한 리튬 이차전지는 양극, 음극, 분리막, 전해액 등 재료비 비중이 높아, 대량 생산시 리튬 및 코발트 등 원자재의 공급 불균형을 초래할 가능성도 있다. 따라서 이를 대체할 저가의 안정성 높은 소재 개발도 강구해 나가야한다.

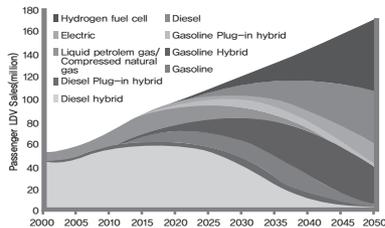
자동차 산업은 지능형 시대를 추구

세계 자동차 업계는 지구온난화 등을 방지하기 위해 연비규제를 강화하면서 친환경 기술개발에 박차를 가하고 있다. 친환경차는 CO₂ 배출이 적으며, 연비가 높은 차량으로 통상적으로 하이브리드차, 전기차, 클린디젤차, 수소연료전지차 등으로 나누어진다. 미래 친환경차 시장을 선점하기 위해 완성차업체들은 기술수준과 역량에 따라 핵심 기술 분야를 선택적으로 집중 투자하고 있으며, 역량이 부족한 비주력 분야는 경쟁력 있는 업체와의 협력을 통해 기술을 확보하는 전략을 구사하고 있다. 또한 개발비를 절감하고 기술개발 투자에 따른 리스크를 분산하기 위해 업체 간 기술제휴를 활발히 하고 있다.

| <그림1-1> 친환경차 종류 및 시장수요 전망 |



자료: 녹색성장위원회



자료: IEA, Technology Roadmap: EV and PHEV, 2009.

세계 친환경차 시장규모는 클린디젤차가 중심이 되어, 2010년에는 약 1,300만대 규모이다. 배터리를 기반으로 하는 전기차, 하이브리드차의 수요는 아직까지는 활성화되지 않고 있으나, 대부분의 전문기관들은 2015년 이후 하이브리드차를 중심으로 그린카 수요가 늘어날 것으로 전망하고 있으며, 이후 전기차와 연료전지차의 수요도 조금씩 늘어날 것으로 예상하고 있다. IEA의 기술로드맵 자료에 따르면 플러그인 하이브리드자동차와 전기자동차의 판매는 꾸준히 증가하여 2020년에는 각각 490만대와 200만대로 증가할 것으로 전망하고 있다.

자동차산업은 안전성과 편의성을 제고하기 위해 기계기술과 IT의 융합을 통한 전장화가 가속화되어 왔다. 현재 자동차 조립부품에서 20% 수준인 전장부품이 2015년에는 40%에 달할 것이며, 전기자동차의 보급이 확산될 경우 60%를 상회할 것으로 전망된다. 또한 임베디드 소프트웨어(Embedded Software)를 포함한 다양한 자동차용 소프트웨어가 개발되고 있으며, 혁신적인 자동차 어플리케이션의 도입도 이루어지고 있다. 또한 무선통신이나 GPS기술, 텔레메틱스, ITS 등의 IT와 자동차산업의 융합가속화로 차량 내 스마트 서비스가 확대되고 있다.

2012년에는 세계 경제의 불안이 가중되면서 자동차 수요에도 부정적인 영향을 미칠 가능성이 높아지고 있다. 세계 경제의 불확실성 확대는 소비자들의 자동차 구매 의욕을 억제할 것이다. 다만 이 같은 세계 경제의 불안 요인은 자동차 수요에 부정적인 영향을 미치겠지만 과거 글로벌 금융위기와 같은 급격한 수요 감소는 없을 것으로 예상된다. 세계 자동차 수요는 2012년에도 성장세를 유지

하겠지만 과거 추이보다는 상당 정도 낮은 5% 미만의 증가율을 기록할 전망이다. 미국은 경기부진에도 불구하고 자동차 수요가 지난 4년간 크게 감소하여 대기수요가 충분히 있는 만큼 수요 증가세가 둔화될지언정 감소세로 다시 돌아서지는 않을 것으로 예상된다. 반면 글로벌 재정위기의 중심에 있는 서유럽시장은 기본적으로 지난 2009년 이후 폐차 인센티브 등 정책효과를 통해 수요를 부양하여 미국보다 과거대비 수요 감소폭이 작았으나 재정위기가 확대된 현 시점에서는 2012년에도 수요회복은 어려워 보이며 추가적인 수요 감소도 예상된다.

신흥시장은 국가별로 다소 차이가 있겠으나 2012년에도 세계 경제의 불안 속에서도 지속적인 성장을 보일 것으로 예측된다. 2010년 말 각종 세제지원 혜택이 종료되는 중국의 자동차 시장은 과거 추세에 비해서는 다소 낮은 수준에 머물 것으로 예상된다. 이는 중국 정부의 긴축 정책과 대도시 지역의 차량판매 억제책이 2012년에도 지속될 것으로 예상되기 때문이다. 그러나 중국은 여전히 자동차 구매 수요층이 두텁고 내륙지방은 아직도 자동차 보급초기단계로 지속적인 판매증가가 이루어질 전망이다.

우리나라 자동차산업은 국가경제를 주도하는 핵심주력산업으로 제조업 생산의 10.0%(2009년 기준), 수출의 11.7%(2010년 기준)를 차지하고 있다. 또한 고용창출효과가 큰 산업으로 2009년 현재 전 제조업 고용의 10.2%를 차지하고 있다.

국내 자동차 산업은 내수시장의 한계와 규모의 경제 도모를 위한 외형확대를 수출시장 확대를 통해 해소하고 있어 수출의존도가 높은 특성을 보이고 있고, 또 타 산업에 비해 대규모 자본이 소요될

뿐만 아니라 지속적인 신차개발, 환경 및 안전 등과 관련된 연구개발, 생산설비의 자동화 및 제품수명단축에 따른 라인설비투자 등의 재투자부담 또한 매우 높아 대량생산 및 판매에 의한 규모의 경제 확보가 필수적으로 요구되는 특성을 지니고 있다.

2012년 자동차 내수시장은 다소 감소할 것으로 예상된다. 2012년 국내경제 성장률이 부진하고 높은 물가, 부채 부담 등이 수요억제 요인으로 작용할 것으로 보이기 때문이다. 또한 지난 3년간 자동차 판매가 꾸준히 이루어져 교체수요가 상당부분 실현된 점도 자동차 내수에 부정적 요인으로 작용된다. 그동안 국내 자동차산업 성장을 견인한 수출은 증가세를 유지하겠으나 증가 폭은 다소 둔화될 것으로 전망된다. 2012년에는 글로벌 재정위기로 인한 불확실성이 지속되면서 미국 등 주요시장의 자동차수요 회복이 더딜 것으로 예상되고 대지진으로 생산 차질을 빚은 일본업체들의 생산정상화와 최근 구조조정을 마친 구미업체들로 인해 경쟁이 치열해지는 등 부정적인 요인도 안고 있다. 그러나 신흥국을 중심으로 해외수요가 꾸준히 확대될 가능성이 높으며 경쟁국 일본의 엔고 지속으로 국내 완성차의 가격경쟁력이 확보되는 점 등이 긍정적인 요인으로 작용할 것이다. 또한 최근 국내 완성차업체들의 브랜드 인지도와 재구매율이 높아지고 있어 해외시장에서 견조한 판매 증가세를 유지할 것으로 예상된다. 해외생산은 브라질과 중국에 현지생산공장이 신설될 예정이어서 지속적인 증가세를 보일 것으로 예상된다.

국내 완성차업체들은 2012년에 전기차를 출시할 예정이며, 친환경차는 아직까지 국내 보급이 활발하지 않으나 유럽업체를 중심으로 판매되고 있는 클린디젤차가 국내시장에서도 큰 관심을 얻을

것으로 보인다. 또한 국내 완성차업체가 출시한 하이브리드차도 꾸준한 증가세를 보이고 있어 친환경차 분야에서도 시장 경쟁이 전개 될 것으로 보인다.

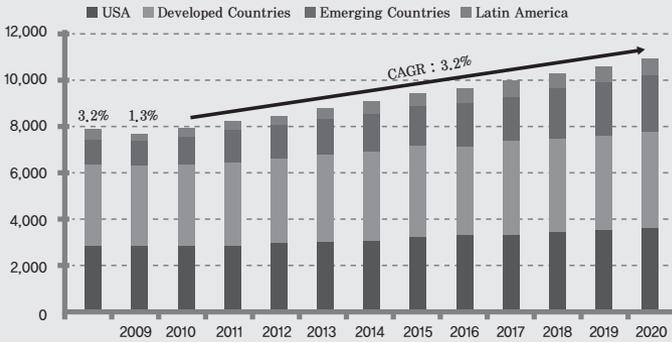
- 국내 자동차업계는 기존 내연기관차에서 친환경차로 전환되는 패러다임 변화에 부응하여 개방형 혁신 시스템을 통해 이업종 업체 및 부품소재업체와의 수평적인 혁신활동을 전개해 나가야 한다.
- 우리 정부는 국내 자동차산업이 패러다임 전환에 능동적으로 대응할 수 있는 역량을 조기에 확보할 수 있도록 공정한 시장경쟁과 협력이 산업생태계를 조성하여나가야 한다.

환경산업은 자원·오염관리부문의 성장이 뚜렷

환경산업은 환경문제에 수반되는 ‘외부성(externality)’을 해결하기 위한 정부의 공적 규제로부터 수요시장이 창출된다. 또 R&D 지원을 중심으로 한 정부의 지원에 의해 기술개발 등을 통한 공급기반이 구축되는 특성을 지니고 있으며, 화학 및 생물학 등을 중심으로 전기, 기계, 화공 및 토목 등이 동원될 뿐만 아니라 플랜트엔지니어링 등을 필요로 하는 융·복합적 특성을 가지고 있고, 환경오염의 발생과정, 오염물질의 종류 및 특성 등의 차이에 따라 주로 주문생산 방식에 의존하는 고객지향적인 산업의 특성을 갖고 있다.

환경산업 관련 세계적인 컨설팅기관인 Environmental Business International(이하 EBI)에 따르면 세계 환경산업 시장 규모는 2010년 약 8,000억 달러에 달한 것으로 추정된다. 분야별로 보면 물 산업이 가장 커서 35%를, 폐기물 산업은 31%, 청정에너지는 15%, 대기 분야는 5%를 차지하는 것으로 추정하고 있다.

| <표1-15> 세계 환경산업 성장률 |



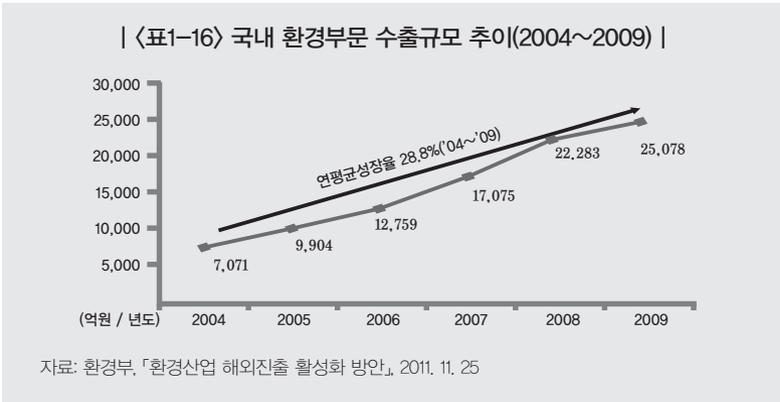
자료 : Environmental Business International Inc.(2009), 환경부, 「환경산업 해외진출 활성화 방안」, 2011. 11. 25에서 재인용

세계 환경산업 시장은 EBI에 따르면 향후 2011~2020년 기간 중 연평균 약 3.2% 성장하여, 2013년 8,760억 달러, 2017년 9,930억 달러로 증가될 것이며 2020년에는 약 1조 865억 달러에 달할 것으로 전망된다. 이는 2000년 대비 2배 이상의 증가된 규모다.

한편 국내 환경산업 시장규모⁵⁾는 환경부에 의하면 2009년 기준으로 약 44조 64억 원으로 추정된다. 이는 GDP대비 약 4.2%로 최근 5년 간 2배로 급신장한 것이다. 분야별로는 자원관리관련 유통업을 제외한 전 부문이 증가하였으며, 특히 오염관리관련 제조 및 건설업의 매출이 전년대비 각각 20.2%, 14.2% 큰 폭으로 증가하였다. 그리고 대기관련부문의 매출은 감소한 반면, 폐수관련부문의 매출이 큰 폭으로 증가하여 오염관리관련 제조 및 건설업의 매출액 증가 요인으로 작

5) 이하 국내 동향은 환경부, 2009년 기준 환경산업통계조사 보고서, 2011. 3의 해당 내용을 요약·발췌한 것임.

용하였다. 국내 환경산업의 수출 규모는 2004년 7,071억 원에서 2009년 2조 5,078 억 원으로 동 기간 중 연평균 28.8% 급성장하였으나 세계 시장 점유율은 아직도 0.3% 수준으로 미미한 실정이다.



분야별로는 담수설비 및 오폐수관리관련 설비·건설 부문 등 수질부문의 해외 수주가 증가하여 자원관리관련 제조 및 오염관리 관련 건설이 각각 전년대비 139.4% 및 50.1%의 큰 폭의 증가세를 보였다. 오염관리관련 서비스업은 2008년 대비 42.1% 증가하였는데 이는 폐기물 처리업체의 재생원료 및 재생제품 수출 증가의 영향으로 파악된다.

향후 국내 환경산업의 매출액은 2015년까지 연평균 약 10.3% 성장하여 약 79조 원 규모에 달할 것으로 전망된다. 이후에는 성장세가 약간 둔화되어 2020년까지 연평균 약 8.6% 성장하여 119조 6,000억 원 규모에 이를 것으로 전망된다. 분야별로는 역시 자원관리관련 생산부문의 성장세가 가장 두드러져 향후 2015년까지 연평균 약 20% 성장하여 시장규모가 약 24조 원에 달하고 이어 2020

년까지는 연평균 약 15% 성장하여 약 48조 3,000억 원 규모에 이를 것으로 전망된다. 그 다음으로 성장세가 높을 것으로 전망되는 분야는 오염관리관련 건설부문으로서 향후 2015년까지 연평균 약 10% 씩 성장하여 14조 3,000억 원 규모에 이를 것이며, 이후 2020년에는 약 21조 원에 달할 것으로 전망된다.

그밖에 오염관리관련 서비스부문은 2015년 약 15조 원, 2020년 약 18조 3,000억 원, 그리고 자원관리관련 유통부문은 2015년 약 14조 3,000억 원, 2020년 약 17조 4,000억 원에 달할 것으로 예상된다. 한편 오염관리관련 생산은 가장 성장세가 완만할 것으로 예상되어 향후 2015년 약 11조 4,000억 원, 그리고 2020년 약 14조 6,000억 원 규모의 시장이 될 것으로 전망된다.

● 환경산업은 융·복합적 특성을 갖고 있고 특히 소득수준 향상에 따라 환경 규제 수준의 강화에 대한 요구가 점증하고 있으며 최근 새로운 환경 위해요인이 속속 발견되고 있을 뿐만 아니라 그 정밀도도 나노 단위를 요구하고 있는 만큼 NT, BT 및 IT 등의 첨단 인접 학문/기술과의 연계를 더욱 강화할 필요가 있다. 아울러 연구·개발 단계에서 상용화가 단기간에 효율적으로 이루어질 수 있도록 R&D 추진체계를 정비할 필요가 있다.

● 또 환경이슈가 녹색성장 및 녹색산업 등으로 확대되면서 넓은 의미의 환경산업에 대한 수요가 이전보다 더욱 증가할 것으로 예상된다. 이에 따라 경제성장세가 중·장기적으로 지속될 것으로 예상되는 중국, 인도 및 브라질 등 이른바 신흥국 중심으로 수요 급증이 예상되므로 이들 시장을 타깃으로 한 맞춤형 진출 전략 마련이 필요하다.

무선통신기기산업은 모바일 클라우드 서비스의 활성화가 기대

통신기기는 미래의 고도 정보화 사회, 스마트화 및 유비쿼터스 사회를 구축하는데 있어 중요한 역할을 담당하는 산업이며, 신기술과의 융합으로 그 응용의 폭이 더욱 확대되면서 지속적으로 신규수요를 창출하고 있다. 최근 무선통신기기산업은 휴대폰, 장비뿐 아니라 콘텐츠 및 소프트웨어 등에 이르기까지 경제적 파급효과가 크게 확대되고 있다. 특히 세계 스마트폰 시장은 모바일화, 융합화 등이 진전되면서 급성장 추세에 있고 선진국을 중심으로 4G LTE 상용서비스가 본격화되고 있는데, 산업의 핵심 경쟁요인도 이를 중심으로 변화되고 있다. 국내 무선통신기기산업은 수출주도형 산업으로 한국 경제에서 중요한 핵심 산업 역할을 하고 있다. 2011년 국내 무선통신기기 시장은 스마트폰에 대한 수요 급증과 하반기부터 시작된 4G 이동통신서비스 등에 힘입으면서 전년과 비교해 높은 성장세를 시현하였다. 스마트폰의 수요 확산으로 일반폰(feature phone)의 수요는 크게 위축되었으나, 애플의 아이폰4S, 삼성전자의 갤럭시 시리즈 등 국내외 글로벌 업체들의 신규 스마트폰 출시가 확대되면서 국내 스마트폰 시장은 경기 위축의 영향에도 불구하고 가파른 성장세를 나타내었다. 2011년 3월 국내 스마트폰 가입자가 천만 명을 넘어선데 이어 불과 7개월 만에 다시 2천만 명을 상회하는 등 국내 스마트폰 시장은 비약적인 증가세를 보이고 있다. 또한 스마트폰, 태블릿PC 등 스마트 모바일기기의 확산으로 데이터통신 트래픽 해소와 4G LTE 서비스를 위한 네트워크망 증설 및 3G망 고도화 투자가 활발하게 이루어졌으며, 이에 따라 국내 통신장비 시장도 성장세를 기록하였다. 2011년 무선통신기기 수출은 2009년 이후의 마이너스 성장

세에서 벗어나 전년대비 소폭 증가한 265억 달러에 달한 것으로 추정된다. 이는 무선통신기기 수출에서 95% 이상의 비중을 차지하는 휴대폰 특히 스마트폰의 성장세에 기인한다. 국내 스마트폰산업은 시장 확산 초기에 부진하였지만, 글로벌 경쟁력을 빠르게 회복하면서 2011년에는 연간 100억 달러 수출을 달성하였다.

한편 국내 휴대폰 수출이 꾸준한 세계시장 점유율 상승에도 세계 수요의 위축으로 소폭의 증가세에 머물렀다. 국내 휴대폰의 해외 생산 비중은 2007년 약 35%였으나 2011년 3분기에는 77%를 상회하였으며, 스마트폰의 해외 출하량 비중도 2010년 약 3.5%에서 2011년 2분기 36%로 크게 증가하였다. 우리나라는 글로벌 재정위기 등에 따른 세계경기 침체의 영향에도 불구하고 세계 휴대폰시장에서 점유율이 꾸준히 확대되었으며 2011년 2분기 기준 세계 1위의 휴대폰 강국으로 도약하였다. 이는 분기 기준이지만 국내 휴대폰산업이 2003년 세계 휴대폰 시장에서 2위로 올라선 이후 7년여 만에 이룬 성과이다. 스마트폰 시장에서도 마찬가지로, 2011년 2분기 세계 스마트폰 시장에서 우리나라는 시장점유율 1위의 국가로 올라섰다.

〈표1-17〉 주요 업체별 세계 스마트폰 시장점유율 추이 |

단위 : %

	2007	2008	2009	2010	'11. 1Q	'11 2Q(p)	'11 3Q(p)
삼성전자	1.8	4.0	3.7	8.0	2.2	18.3	23.4
Apple	3.0	9.1	14.4	15.9	18.1	18.4	14.3
노키아	49.3	40.0	38.8	33.4	23.5	15.1	14.0
립(RIM)	9.9	15.6	19.7	16.3	13.4	11.3	9.8
HTC	2.9	6.6	6.0	8.0	9.3	10.8	10.8
모토로라	5.6	3.0	3.3	4.6	4.0	4.0	4.1
LG전자	-	-	0.5	2.0	4.0	5.6	3.8

자료 : Strategy Analytics (판매량 기준)

2011년 세계 무선통신기기 시장은 글로벌경기 위축 요인이 작용하였으나 스마트폰과 4G LTE 이동통신 시장이 확대되면서 성장세를 보였다. 반면에 스마트폰과 LTE 시장이 크게 성장하면서 이를 둘러싼 글로벌 업체간 경쟁은 더욱 심화되고 있다. 특히 2011년은 그 어느 때보다도 모바일 OS플랫폼 및 콘텐츠 그리고 이를 기반으로 하는 스마트폰 시장을 주도하기 위한 글로벌 업체간 경쟁이 치열했던 한해였다.⁶⁾ 한편으로는 소프트웨어부문에서 구글 안드로이드 진영의 경쟁력 제고로 세계 스마트폰업체 간의 차별화가 축소되면서 제품의 첨단기능과 처리속도, 고해상도 디스플레이 등 하드웨어 사양 경쟁도 격화되었다.

이처럼 스마트폰을 둘러싼 다양한 분야에서 경쟁이 확산되면서, 하드웨어에서 소프트웨어에 이르는 모바일생태계 경쟁력을 확보하기 위한 글로벌 업체 간의 협력과 경쟁도 활발하게 전개되었다. 대표적으로 2011년 1월에는 노키아가 독자 운영체제인 심비안을 포기하고 MS사와 제휴하였으며, 8월에는 구글이 모바일 핵심특허와 단말제조 역량 강화 등을 목적으로 모토로라 모빌리티를 인수하기도 하였다. 애플은 모바일 시장 주도권 강화와 핵심기술 확보를 위해 기업 M&A를 적극 추진하고 있으며, 세계 스마트폰 시장에서 안드로이드 진영 등과 특히 분쟁을 확대하고 있다.

2012년 세계 IT 시장은 글로벌 경기 둔화, 특히 유럽지역 재정 위기의 영향으로 전년에 비해 위축될 전망이다. 가트너(2012.1)에

6) 스마트폰은 특성상 하드웨어를 제어하고 각종 응용소프트웨어를 동작하게 해주는 운영체제(OS)와 같은 플랫폼이 중요하며, 이를 기반으로 하는 모바일 콘텐츠 등이 스마트폰 시장에서 핵심 경쟁요인으로 작용하고 있다.

의하면, 2011년 세계 IT시장은 전년대비 6.9% 성장하였으나 2012년에는 3.7%의 저성장세를 기록할 전망이다. 그러나 이중에서 세계 통신기기시장은 2011년 7.7% 성장률보다 다소 낮지만 전년대비 6.9%의 비교적 양호한 성장을 할 것으로 예상된다. 이는 모바일화, 융합화 등의 가속으로 2012년에도 세계 스마트폰 시장의 견조한 성장세가 예상되고 선진국을 중심으로 4G LTE 서비스 시장과 모바일 클라우드 서비스 등이 크게 활성화될 것으로 전망되기 때문이다. 그러나 세계 무선통신기기 시장의 성장세는 단말 보급률이 낮고 통신분야의 성장잠재력이 높은 중국 등 신흥국이 주도할 전망이다.

세계 스마트폰 시장에서는 제품의 양극화가 심화될 것으로 예상된다. 즉, 2012년 스마트폰 시장은 저가의 보급형 스마트폰 시장이 성장하는 한편, 제품의 하드웨어 사양 경쟁이 심화되면서 LTE를 지원하고 풀HD급의 디스플레이, 고사양 프로세서, 고효율 배터리 등을 채택한 하이엔드 스마트폰 시장이 확대될 것으로 보인다. 한편 차세대 표준 인터넷 규격인 HTML5 기반의 웹(Web) 운영체제가 차세대 모바일 운영체제로 부각되면서, 2012년은 동 운영체제 확산의 원년이 될 전망이다. 그리고 촉각, 음성인식 등 인간의 오감을 감지하는 센서, 상황인지 기술 등의 개발로 모바일기기의 지능화 및 감성화 추세가 급속히 진전될 것으로 보인다. 또한 클라우드, NFC(근거리무선통신) 등의 신규 모바일 서비스 시장이 확대되는 한편, 데이터 트래픽 해소 문제와 정보보호 및 보안에 대한 필요성도 크게 부각될 전망이다.

2012년 국내 무선통신기기 시장은 경기위축 요인이 있지만, 신규 스마트폰에 대한 수요가 증가하면서 성장세가 지속될 전망이다.

아이폰5, 갤럭시S3 등 글로벌 업체들의 신규 스마트폰 출시 계획은 내수 확대에 긍정적 영향을 미칠 전망이다. 특히 국내 이동사들은 금년 상반기까지 4G LTE 전국망 구축을 완료하고 서비스를 본격화할 계획으로 국내 LTE 스마트폰과 관련 장비 시장이 확대될 것으로 보인다. 한편 시장조사기관인 스트래티지 어널리틱스는 2012년 세계 스마트폰 시장은 전년대비 29.6% 증가한 6억 2천만대 규모에 이를 것으로 전망하고 있다.

주요 이동사와 단말제조업체들의 모바일 클라우드, NFC 서비스의 확대 계획도 국내 모바일 시장 활성화에 긍정적으로 작용할 전망이다. 그리고 저렴한 통신요금체계가 가능한 이동통신재판매(MVNO) 서비스가 본격화되면서 저가 통신시장이 열릴 것으로 기대된다. 작년에 부분적으로 시행되었던 휴대폰 가격표시제도와 블랙리스트제도⁷⁾가 본격 시행되면서 이동통신단말기의 유통구조에도 변화가 일어날 전망이다. 이러한 변화는 당장은 아니겠지만 통신요금 및 단말기 가격의 인하 효과를 가져 오면서 국내 이동통신시장 활성화에 기여할 것으로 보인다.

2012년에는 국내업체들의 휴대폰 글로벌 생산체계가 확립된데 이어 중국, 베트남 등을 중심으로 스마트폰의 해외생산 비중이 더욱 높아질 것으로 예상된다. 이러한 영향으로 국내 스마트폰과 일반폰은 큰 폭의 수출성장세를 실현하기 어려울 것으로 보인다. 그러나 금년에도 국내 휴대폰부문의 세계시장 점유율이 꾸준히 확대되면서, 국내 무선통신기기의 수출은 소폭의 성장세를 기록할 것으

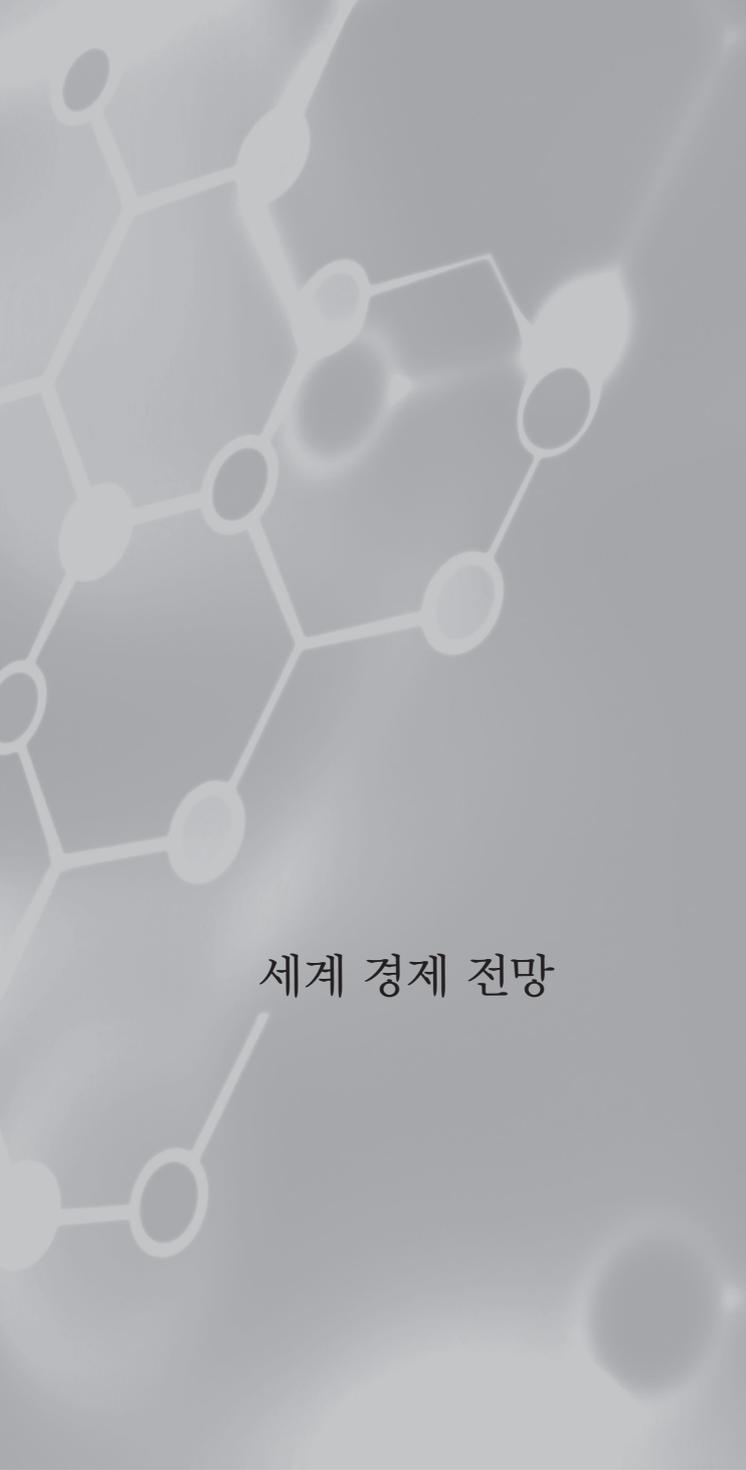
7) 블랙리스트제도의 시행으로 단말기 유통시장이 다양하고 투명해지면서 단말기 가격의 인하 효과가 예상되며, 중소 단말업체들의 참여도 점차 활발해 질 것으로 보인다.

로 예상된다. 한편 세계경기 불확실성과 글로벌 업체간의 제품 출시 및 가격 경쟁, 특히 분쟁의 확산 등은 수출확대에 부정적 요인으로 작용할 전망이다.

● 세계 무선통신기기 시장은 모바일 및 스마트 혁명이 가속화되면서 하루가 다르게 발전하고 있어, 이전과 같은 하드웨어 중심의 성장전략과 패스트 팔로워(fast follower) 전략만으로는 더 이상 산업 트렌드 변화에 대응하기 어렵다. 따라서 국내 무선통신기기산업은 차세대 이동통신 및 신규 융합 서비스분야 등에 대한 선제적 투자가 중요하고 핵심·원천기술 확보와 전문인력 양성, 인프라 지원이 필요하다.

● 모바일 융합 및 스마트화 기술의 핵심요소인 소프트웨어부문의 역량 강화도 중요하기 때문에, 벤처기업의 창업 활성화와 중소기업이 글로벌 업체로 성장할 수 있도록 제도적 장치를 마련해 주어야 한다.

● 또한 차세대 무선통신, 융합화 및 스마트 시대에 걸맞고 글로벌 트렌드에 부합하도록 기존의 법·제도 정비가 필요하며, 차세대 무선통신 분야에 대한 투자 확대와 함께 새로운 수요 창출할 수 있는 여건을 조성해 나가야 한다.



세계 경제 전망



세계 경제 전망

세계경제는 유로존 재정위기로 성장세 저해

세계는 2008년 미국발 금융위기에서 촉발된 전세계적인 경기 침체로부터의 회복과정중에 있다. 2011년 세계경제는 연초까지는 비교적 견실한 회복세를 이어왔으나, 하반기 이후 선진권의 재정위기 등이 부각되면서 둔화 국면에 접어들고 있다. 2011년 초 중동 정정 불안에 따른 유가 급등 여파로 인플레이 압력이 강화되면서 긴축으로의 정책 선회가 확산된 데다, 3월 동일본 지역을 강타한 대지진 여파로 일본경기가 급락하면서 세계 실물경기는 본격적으로 둔화되는 움직임을 보였다.

더욱이 하반기 들어 국제신용평가기관인 S&P사가 미국의 신용등급을 강등한 데 이어 유로권 재정위기가 다시 부각되면서 금융 시장 불안 및 경기 향방에 대한 불확실성은 더욱 높아지고 있다. 세

계경기의 향방을 가늠할 수 있는 OECD 경기선행지수도 2011년 하반기 들어 지속적인 하락세를 보이면서 세계경기의 하향 가능성을 시사하고 있다.

〈표1-18〉 세계 주요국의 성장률 추이와 전망 |

단위: %, 전년동기비

구분	2010					2011					2012
	1분기	2분기	3분기	4분기	연간	1분기	2분기	3분기	4분기	연간(f)	
세계					5.2					3.8	3.3
선진권	2.6	3.5	3.4	3.1	3.1	2.5	1.7	1.7	-	1.6	1.2
미국	2.2 (3.9)	3.3 (3.8)	3.5 (2.5)	3.1 (2.3)	3.0	2.2 (0.4)	1.6 (1.3)	1.5 (1.8)	1.6 (2.8)	1.7	1.8
일본	4.8	4.4	5.4	3.1	4.4	-0.2	-1.7	-0.7	-	-0.9	1.7
유로	1.0	2.1	2.1	2.0	1.9	2.4	1.6	1.3	-	1.6	-0.5
개도권					7.3					6.2	5.4
중국	11.9	10.3	9.6	9.8	10.4	9.7	9.5	9.1	8.9	9.2	8.2
세계교역					12.7					6.9	3.8

자료 : IMF; OECD; 미 연준; 일본은행; 유로 통계청; 중국 국가정보센터(SIC).
 주 : 2011년 연간 수치는 미국과 중국은 실적치 기준임.

2012년 세계경제는 선진권의 재정불안이 지속되고, 신흥권의 성장세가 둔화되면서 전반적으로 부진한 양상을 보일 전망이다. IMF는 2011년 9월 발표한 전망 자료에서 선진권 경기의 부진과 개도권의 성장세 둔화를 이유로 2012년 세계경제 성장률을 당초의 4.5%에서 4%로 하향 조정한데 이어, 2012년 1월에 다시 3.3%로 0.7% 추가 하향 조정하면서 2012년 세계 경기부진을 전망하고 있다.

유로권 재정위기 문제가 파국으로 치달을 경우 2008~09년과 같은 세계경기 급락을 초래할 가능성도 배제할 수 없는 상황이다. 개도권도 그 동안 고성장을 지속해 온 중국이 선진권 부진의 영향, 물가 불안 등으로 성장세가 둔화되면서 2011년보다 낮은 성장률을 기록할 가능성이 높아 보인다. 다만, 유가의 하향 안정에 힘입어 인

플레 압력이 완화되면서 경기연착륙 또는 경기 회복을 위한 정책 환경이 개선될 것으로 예상되는 점은 다소 긍정적이다.

주요국은 저성장 또는 제한적 경기회복

미국은 소비와 투자 등 내수 지표들이 2011년 들어 전년에 비해서 현저히 부진한 모습을 보였으나, 하반기 이후에는 금융시장 불안에도 불구하고 비교적 견고한 흐름을 이어가고 있다. 분기별 경제성장률은 전기비 기준으로 2011년 1분기에 0.4%까지 급락한 이후 완만한 오름세를 보이고 있으며, 전년동기비로는 2010년 3%대 수준에서 2011년 1분기 2.2%, 2분기 1.6%로 하락한 이후 동 수준을 유지하고 있다. 노동시장에서는 실업률이 8%대로 떨어졌으며, 제조업 일자리 수도 2011년 8~9월을 제외하고는 증가세를 유지하고 있다.

| <표1-19> 미국의 주요 경제성장 내역 |

단위 : %

구분	2010					2011				
	연간	1/4	2/4	3/4	4/4	연간	1/4	2/4	3/4	4/4
실GDP (전기비 연율)	3.0	2.2 (3.9)	3.3 (3.8)	3.5 (2.5)	3.1 (2.3)	1.7	2.2 (0.4)	1.6 (1.3)	1.5 (1.8)	1.6 (2.8)
개인소비	2.0	0.9	2.1	2.2	3.0	2.2	2.8	2.2	2.0	1.6
민간투자	17.9	9.4	23.7	25.5	14.0	4.7	7.4	2.9	1.0	7.7
비주택투자	4.4	-4.5	4.0	7.7	11.1	8.6	10.0	8.0	9.1	7.3
설비투자	14.6	8.5	15.5	17.6	16.6	10.3	13.4	9.2	9.7	9.0
IT 장비	9.9	9.7	11.3	9.9	8.8	5.9	7.5	7.1	5.4	4.1
주택투자	-4.3	-6.8	4.2	-7.8	-6.3	-1.4	-2.9	-6.9	1.4	3.4
순수출*	-421.8	-376.8	-437.4	-458.7	-414.2	-412.3	-424.4	-416.4	-402.8	-405.8
정부지출	0.7	1.2	0.7	0.6	0.1	-2.1	-1.1	-2.2	-2.4	-2.9

자료 : 미 상무부

주 : 전년동기비 기준. 단, *는 10억 달러(실질) 기준

2012년 미국 경제는 대체로 2011년과 비슷한 수준의 저성장을 이어갈 전망이다. 유럽발 재정위기에 따른 금융시장의 불확실성이 2012년 미국 경제는 대체로 2011년과 비슷한 수준의 저성장을 이어갈 전망이다.

유럽발 재정위기에 따른 금융시장의 불확실성이 위험요인으로 남아 있으나, 고용부문이 개선 조짐을 보이면서 소비자들의 체감 경기에 긍정적으로 작용하는 점은 고무적이다. 다만, 주택·건설경기가 더디게 회복되고 있어 내수의 급반등을 기대하기는 어려워 보인다.

그러나 유가 하락으로 에너지 가격이 하향 안정되면서 인플레이 압력이 완화된 데다, 미 연준도 추가 양적 완화 가능성도 열어 두고 있어 경기 급락 가능성은 낮아 보인다.

일본은 지난 2011년 3월에 동일본 지역을 강타한 대지진 여파로 내·외수가 동반 침체에 빠진 이후, 하반기 들어 실물경기가 진정 국면에 접어들고 있으나 여전히 취약한 상황이다. 분기별 경제성장률은 전기비 기준으로 2011년 1분기~3분기중 3분기 연속 마이너스를 기록하였으며, 전년동기비 기준으로는 2011년 1~2분기 마이너스를 기록한 이후 3분기에 플러스로 전환되었다.

2012년 일본 경제는 2011년 침체 이후의 반등효과와 지진 복구 수요 등에 힘입어 마이너스 성장에서 벗어날 것으로 보이나, 실물경기 여건이 아직 취약한 데다 유럽 재정위기 영향과 엔고 추세 등이 경기 회복에 제한적인 요인으로 작용하면서 연 1%대 후반의 성장이 예상된다.

〈표1-20〉 일본의 주요 경제성장 내역

단위 : %

구분	2009	2010					2011		
	연간	연간	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4
실질GDP (전기비)	-5.5	4.4	4.8 (1.6)	4.4 (1.1)	5.4 (0.5)	3.1 (0.0)	-0.2 (-1.7)	-1.7 (-0.5)	-0.7 (1.4)
내 수	-4.0	2.7	1.4	2.7	4.2	2.7	0.1	-0.4	-0.1
민간소비	-0.7	2.6	3.8	2.2	2.9	1.6	-0.4	-0.3	0.3
설비투자	-14.3	0.5	-6.8	2.8	4.8	3.1	3.3	-1.6	-2.4
정부지출	2.3	2.1	1.7	2.9	2.0	1.9	2.6	2.0	1.8
순 수출*	7,428	16,975	3,962	4,157	4,479	4,377	3,812	2,485	3,755
수 출	-24.2	24.2	35.0	30.4	21.4	13.5	6.5	-5.5	0.9

자료 : 일본 내각부

주 : 전년동기비 기준. 단, *는 10억 엔 기준(계절 조정)

소비 증가세의 회복과 투자 감소폭의 축소, 정부지출의 증가세 유지 등을 감안할 때, 내수 경기가 현 수준에서 크게 위축될 가능성은 상대적으로 낮아 보이나, 강한 경기 반등을 기대할 만한 여지도 없는 상황이다. 또 글로벌 경기 둔화 여파로 외수의 성장 기여도가 크지 않을 것이라는 점과 일본 정부의 시장 개입에도 불구하고 엔고 추세가 유지되고 있는 점은 경기 회복에 부담요인으로 작용할 가능성이 높아 보인다.

유로권은 2011년 초 수요 강세에 힘입어 역대 경제성장률도 글로벌 금융위기 이후 최고치를 기록하였으나, 2분기 이후 내·외수의 동반 약세와 재정위기 문제 여파로 하락세를 보이고 있다. 분기별 경제성장률은 전기비 기준으로 2011년 1분기 0.8%까지 오른 이후 2~3분기에는 제로 수준에 그치고 있으며, 전년동기비 기준으로는 1분기 2.4%(금융위기 이후 최고치)를 기록한 이후 하락세를 보이고 있다.

〈표1-21〉 유로권의 주요 경제지표

단위 : %

구분	2009	2010					2011		
	연간	연간	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4
실질GDP (전기비)	-4.2	1.9	1.0 (0.4)	2.1 (0.9)	2.1 (0.4)	2.0 (0.3)	2.4 (0.8)	1.6 (0.2)	1.3 (0.1)
내 수	-3.6	1.0	-0.2	1.4	1.4	1.5	1.6	0.7	0.4
민간소비	-1.1	0.8	0.6	0.7	1.0	1.1	0.9	0.2	0.0
설비투자	-11.9	-0.8	-4.8	-0.2	0.8	1.3	3.6	1.6	1.3
정부지출	2.5	0.6	1.2	0.7	0.5	-0.1	0.5	0.1	0.0
순수출*	102.4	169.5	35.8	41.1	45.3	47.4	54.4	61.8	65.9
수출	-12.8	11.3	7.5	13.4	12.2	12.0	10.4	6.8	5.8

자료 : 유로통계청

주 : 전년동기비 기준. 단, *는 10억 유로(실질) 기준(계절조정)

2012년 유로권 경제는 재정위기 문제가 지속되면서 부진을 면치 못할 것으로 전망된다. 역내 재정위기를 해결하기 위한 노력이 지속되고 있으나, 구조적인 문제가 해결되지 않는 한, 상당 기간 경기 회복에 걸림돌로 작용할 가능성이 높아 보인다. 재정위기 문제의 악화에 따른 금융 불안과 경기 부진이 장기화할 가능성에 대비하여 유럽중앙은행(ECB)의 정책 대응에 귀추가 주목되고 있으나, 아직까지 적극적인 자세를 보이지 않고 있는 점도 경기 향방에 불확실성 요인으로 작용하고 있다. 현재로서는 2012년 유로권의 마이너스 성장 가능성은 불가피할 것으로 보인다.

중국은 2010년 하반기 이후 통화당국(인민은행)의 긴축 여파로 내·외수의 성장 견인력이 급속히 약해지면서 경제성장률의 하락 추세가 이어지고 있으며, 소비자물가 상승률도 2011년 말 현재까지 하락 추세를 보이고 있다. 중국의 소비자물가 상승률은 그동안 통

화당국의 긴축 정책에도 불구하고 식품가격 상승세가 이어지면서 2011년 6~9월중 4개월 연속 6%대의 높은 수준이 지속된 바 있다. 대외경기 여건은 동일본 대지진과 서방 선진국들의 재정불안 문제 등이 부각되면서 수출 증가세가 2010년에 비해서 현저히 둔화되고 있다.

2012년 중국 경제는 비교적 완만한 성장 둔화 추세가 이어지면서 연간 8%대의 성장을 기록할 것으로 전망된다. 선진국 경기의 부진 여파로 외수의 강한 회복을 기대하기는 어려우나, 대내적으로 인플레이 압력이 완화되고 있는 점에서 내수 진작을 위한 통화당국의 정책 선회 시점과 그 강도가 주목된다. 선진국들의 경기부진을 감안할 때 외수에 의한 성장 주도력은 크지 않을 것으로 예상되며, 내수 중심의 성장력을 회복하기 위한 정책 당국의 경기 부양 의지가 변수가 될 가능성이 높다. 이와 관련하여 최근에 정책 관계자들이 향후 정책 기조의 선회 가능성을 시사하고 있는 점은 그러한 가능성을 뒷받침하고 있다.

〈표1-22〉 중국의 주요 경제지표 |

단위: %

구분	2010					2011				
	연간	1/4	2/4	3/4	4/4	연간	1/4	2/4	3/4	4/4
실질GDP	10.3	11.9	10.3	9.6	9.8	9.2	9.7	9.5	9.1	4/4
산업생산	15.7	19.6	16.0	13.5	13.3	13.8	14.5	13.9	13.8	8.9
고정투자 ¹⁾	24.5	26.4	25.5	24.5	24.5	23.8	25.0	25.6	24.9	12.8
소매판매	18.4	17.9	18.5	18.4	18.8	17.1	16.3	17.2	17.3	23.8
소비자물가	3.3	2.2	2.9	3.5	4.7	5.4	5.0	5.7	6.2	17.5
수 출	31.3	30.3	41.0	32.5	25.2	21.0	26.5	22.4	20.7	4.6

자료 : 중국국가통계국

주 : 전년동기비 기준. 단, 1)은 누계액 기준

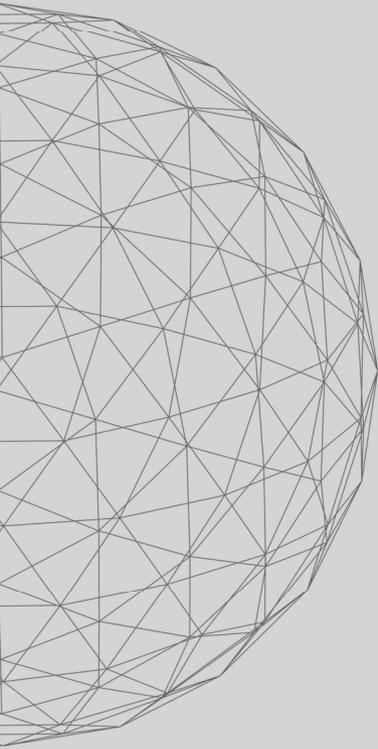
The background is a light gray gradient. It features several abstract molecular or network structures. On the left, there are clusters of small circles of varying sizes, some connected by thin lines. In the center and right, there are larger, more complex structures with nodes (circles) and connecting lines. On the right side, a prominent feature is a large sphere constructed from a dense network of thin lines, resembling a geodesic dome or a complex molecular model. The overall aesthetic is clean, technical, and futuristic.

Science Technology

:: PART 2

과학 기술 전망

- 건강한 세상을 위한 생명·보건기술
- 풍요로운 세상을 위한 미래융합기술
- 지속 가능한 세상을 위한 에너지·환경기술



건강한 세상을 위한 생명 · 보건기술

생 활수준이 높을수록 인간은 자신의 삶을 더욱 건강하고 안전하게 누리기를 바라게 된다. 즉, 높은 삶의 질을 충분히 보장받는 동시에, 수명 연장에 관한 욕구가 생겨나는 것이다. 이를 위해서는 우선 질병과 장애의 극복이 이뤄져야 하는데, 미래의 건강을 개척하는 기술로 평가받는 생명공학 및 뇌 · 인지과학과 의료와의 결합이 큰 역할을 하게 될 것이다. 치료가 어려웠던 각종 난치병을 극복하고, 개인의 특징에 따른 질병 발생 가능성의 예측, 장기 재생, 뇌 · 신경 질환의 치료법 개발 등을 통해 건강수명이 연장된다. 특히 고령화사회로 빠르게 진입하고 있는 우리나라에서는 고령층의 건강을 지원하는 정책이 더욱 절실히 요구될 것이다. 이렇듯 고령화가 국가적 아젠다로 대두되면서, 생산가능 인구 비율의 급감, 노인들의 사회 참여 연장과 같은 사회적 문제들이 등장하고 있다. 특히 연장된 삶의 질을 향상시킬 수 있는 공공 의료 복지에 대한 국가의 역할이 강조되면서, 지금까지와는 다른 신개념 진단/치료에 대한 연구 개발이 요구되고 있다.

특히 뇌과학분야와 관련하여, 초고령화 사회로 급속히 접어들면서 알츠하이머병(Alzheimer's Disease, AD)을 중심으로 한 치매나 파킨슨병(Parkinson's Disease, PD)에 대한 많은 연구가 있었음에도 불구하고 알츠하이머병과 파킨슨병 같은 퇴행성 뇌질환은 병인의 기전에 대해 명확히 규명된 바가 없어 근원적인 치료제가 전무한 상태이다. 따라서 명확한 병인에 근거하는 분명한 약의 작용기전을 확립하는 등 퇴행성뇌질환의 근원적 치료제(Disease

Modifying Agents)의 개발이 시급하며, 향후 이에 대한 연구가 집중적으로 수행되어야 한다. 따라서 생리활성물질 분야에서는 오믹스 기반 진단기술, 테라그노시스, 표적항암제, 퇴행성뇌질환 치료제 개발에 대한 중요성이 더욱 확대될 전망이다.

또한, 게임기, 휴대폰, 노트북, 자동차 등에 마이크로시스템(Micro Electro Mechanical System, MEMS⁸⁾) 널리 활용되던 MEMS 기술 역시 생명/보건 분야와 연관되어 우리 생활에 밀접하게 다가왔다. MEMS 기술은 단순히 크기만이 이슈가 되는 것이 아니라⁹⁾, 사고의 전환을 일으키고 있다.

MEMS 기술은 초기에는 실리콘 단결정을 이용한 압력센서 활용 연구로 시작하여 1970년대 중반 자동차용 압력센서, 1980년대 잉크젯 프린터용 초소형 마이크로 펌프 상용화, 1990년대 표면가공 기술을 이용한 가속도센서 등에 대한 연구가 진행이 되었다.

MEMS 연구의 2세대는 2000년대에 들어 인간유전자 지도가 해독되면서 바이오기술과의 접목을 통한 새로운 융합연구를 본격화 하면서 시작되었다. 이러한 연구 시도는 1990년대부터 관심을 갖기 시작한 극미세 전기영동¹⁰⁾ 방법에 의한 극미량의 생체분자 분리기술에 관심을 갖으면서 태동되었다. 1세대 연구의 핵심이었던 Si 가

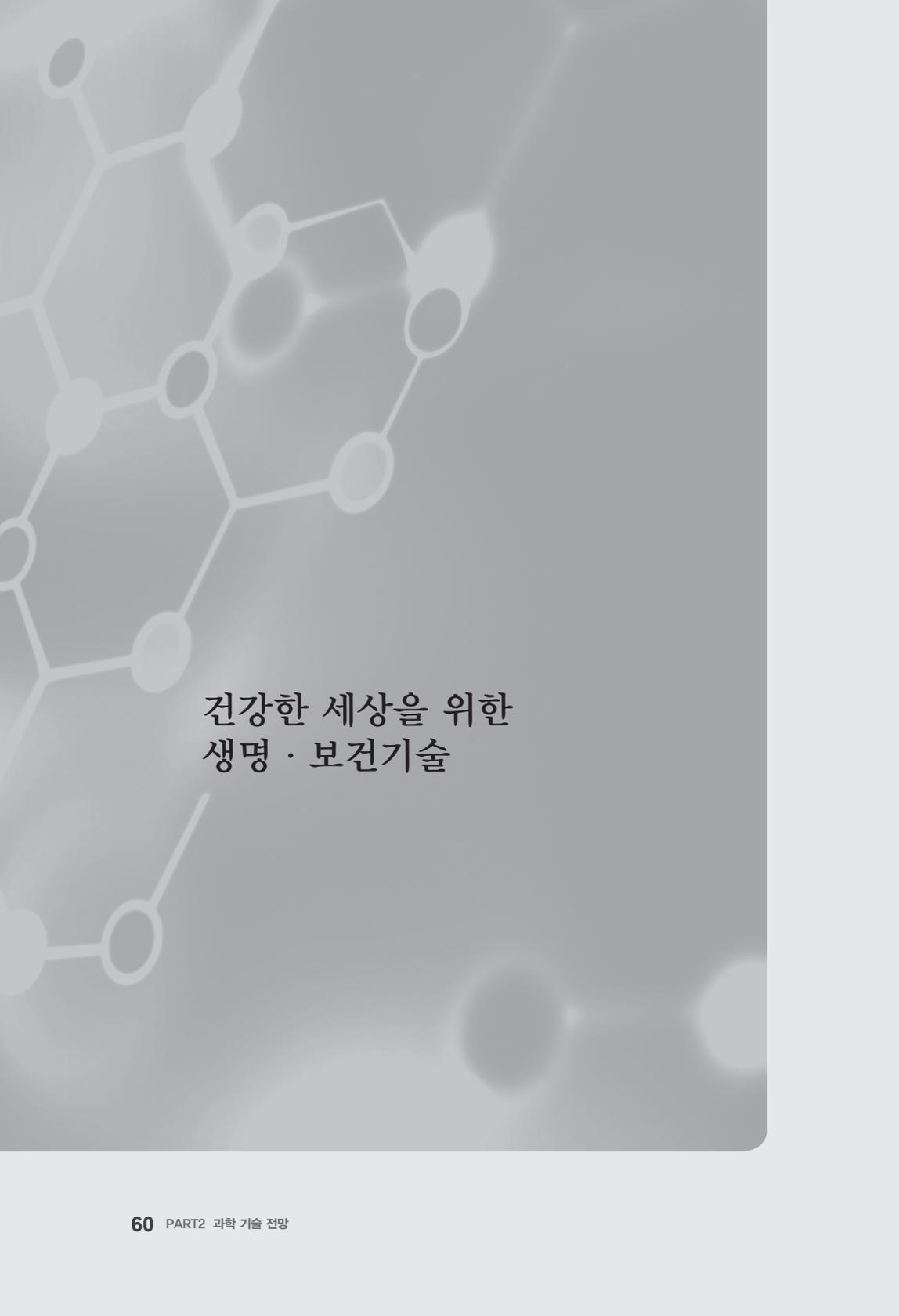
8) 첫 글자인 마이크로는 백만분의 1 미터 크기를 나타내는 단위를 나타내며 대체로 사람의 머리카락 굵기가 50-70 μ m정도 이므로 이정도 크기의 디바이스로 생각하면 이해하기 쉽다.

9) 예를 들면 메모리 반도체가 나노수준의 크기를 갖는 2차원 또는 3차원적인 구조물을 이용하여 전기적인 신호에 의하여 제어되는 전자소자의 구현을 목적으로 연구되어지지만 마이크로시스템(MEMS)기술은 여기에 기계적 움직임 또는 기계적 가공이 기능상 공존하도록 디자인된 새로운 차원의 구조물 구현을 목적으로 한다.

10) DNA나 단백질을 크기에 따라 분획하기 위한 방법중 하나로서, DNA와 단백질은 전하를 띠고 있기 때문에 전기를 걸어주면 각 분자의 전기적 특성에 따라 전장을 이동하게 된다.

공대신에 폴리머 재료를 이용한 soft lithography공정과 glass가공을 이용하였으며 극미세 유체(microfluidic) 조절 기술과 이를 이용한 화학 및 생체분자 분석을 목적으로 한 바이오 MEMS 기술 (lab on a chip 또는 micro Total Analysis System; micro TAS)이 있다. 특히 MEMS 기술이 갖는 장점이 초소형화와 저전력 사용에 있는만큼, 인체에 삽입하거나 착용하더라도 고통을 최소화하는데 유리하여 최소침습형 기기로 응용해 나갈 수 있다.

본 장에서는 인간의 삶의 질 증진을 위한 질병의 조기 진단, 뇌 기능 혹은 생명현상 규명, 암의 전이 메커니즘 규명, 체외에서 줄기 세포나 혹은 암세포의 조작 및 분석 기술 연구 등과 관련한 기술을 소개한다.



건강한 세상을 위한
생명 · 보건기술

퇴행성 뇌질환 치료제 개발



빠른 의학기술의 발달로 인간의 수명이 연장되고, 고령화 사회로 접어들면서 퇴행성 뇌질환은 가장 중요한 사회적 문제의 하나로 대두 되고 있다. 퇴행성 뇌질환은 나이가 들어감에 따라 뇌에서 퇴행성으로 발생하는 질환을 뜻하는 것으로, 뇌신경계의 정보전달에 가장 중요한 뇌신경세포의 사멸, 뇌신경세포와 뇌신경세포 사이의 정보를 전달하는 시냅스의 형성이나 기능상의 문제, 뇌신경의 전기적 활동성의 이상적 증가나 감소로 인하여 야기된다. 이러한 질환은 다양한 형태로 나타나며 대표적인 질환이 알츠하이머병(Alzheimer's Disease, AD)과 파킨슨병(Parkinson's Disease, PD)으로 현재까지 근원적 치료제가 전무한 상황이다.

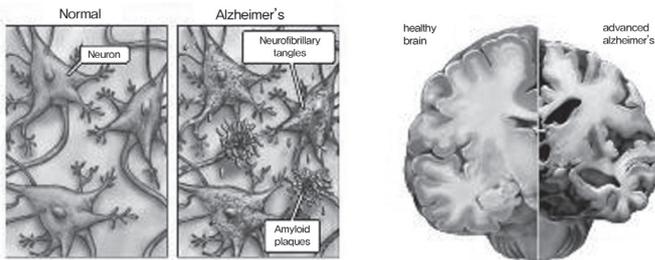
알츠하이머병¹⁾은 고령화 사회가 되면서 나타난 가장 대표적인 신경퇴행성 질환으로 65세 이상의 10%와 85세 이상의 50%가 이

질환으로 고통을 받고 있다. 알츠하이머병은 기억력 감퇴와 인지능력 장애 및 행동장애를 수반하며, 환자들은 균형 감각 등의 신체적인 문제나 우울증 같은 정신적인 고통을 겪게된다. 알츠하이머병은 해마(hippocampus)나 피질(cortex)에서 신경세포의 사멸로 일어나는 불치병으로, 기억력 감퇴 및 인지 장애를 일으키며 사망에 이르기 까지 점진적으로 진행된다. 현재까지 뚜렷한 원인은 밝혀져 있지 않지만 많은 연구들을 통해 베타 아밀로이드(β -amyloid, Ab)에 의한 신경독성과 인산화된 타우 단백질(tau proteins)에 의한 가능성이 보고되고 있다. 현재까지 5가지(donepezil, galantamine, memantine, rivastigmine and tacrine)의 치료제가 FDA의 승인을 받아 처방되고 있지만 일시적인 인지능력의 향상을 보이고 있을 뿐, 알츠하이머병의 진행을 막거나 회복시킬 수 있는 근원적인 치료제가 없을 뿐만 아니라 정량적으로 진단할 수 있는 방법조차 전무한 상황이다. 현재, 알츠하이머병을 정확히 진단 할 수 있는 방법은 오직 부검을 통한 방법뿐이다. 따라서 간단하면서 신빙성이 있는 진단방법의 개발이 관심을 받고 있으며 또한 절실한 상황이다.

11) 알츠하이머병의 정확한 원인은 아직 밝혀져 있지 않지만 환자의 부검을 통해 뇌의 축소, 혈액뇌관문(blood-brain barrier)의 손상과 신경세포의 사멸에 의한 시냅스 손실(synaptic loss) 등의 특징이 확인 되었다. 신경독성(neurotoxic)을 갖게 되는 가능성으로는 단백질 덩어리(aggregated proteins)의 농도 증가, 미토콘드리아 기능이상(mitochondria dysfunction), 신경조절물질의 감소, 염증 그리고 산화적 스트레스(oxidative stress) 등으로 알려져 있다. 그 중에서도 베타 아밀로이드와 타우 단백질 가설이 다양한 실험이나 임상에서의 증거들을 통해 높은 가능성을 보여주고 있다. 이 두 단백질은 1907년에 Dr. Alois Alzheimer에 의해 알츠하이머병의 생물학적 지표(biomarker)로 보고가 되었다. 알츠하이머병 환자의 뇌의 해마와 피질에서 노인성 반점(Senile Palques, SP)과 신경섬유 덩어리(Neuro Fibrillary Tangles, NFT)가 특징적으로 발견되었다. 노인성 반점은 구조적으로 변형된 베타 아밀로이드 단백질(misfolded Ab proteins)들로 구성되어 있고 신경섬유 덩어리는 비정상적으로 과인산화된 타우 단백질들로 만들어 진다.

또한 지금까지 알츠하이머병의 진단방법은 조직검사가 아닌 정신 상태를 테스트 하거나 다양한 시험들을 통해 이루어져 왔다. 하지만 조기진단의 필요성이 대두되면서 간단하고 신뢰할 수 있는 진단법에 많은 관심이 집중되었다. 최근에는 살아있는 두뇌에서 노인성 반점과 신경섬유 덩어리를 직접 영상화하려는 노력이 있었으며, 그 중에서도 방사성 동위원소가 표지된 영상탐침자(radiolabeled imaging probes)를 개발하여 단일광자 단층촬영기(SPECT) 또는 양전자방출 단층촬영기(PET)를 이용하여 영상화 하는 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 이러한 방법들은 실시간으로 원하는 생체 내 표적분자를 영상하고 농도를 측정할 수 있는 장점이 있다. 따라서 알츠하이머병의 조기진단과 병의 진행 정도를 측정하기 위해 AD환자의 뇌에 형성되는 베타 아밀로이드 올리고머 또는 피브릴(Aβ oligomer/fibrils)에 선택적으로 결합하는 탐침자(probe)의 개발이 시급히 요구되어 왔으며, 현재 비록 연구용에 제한적으로 사용되고 있지만 [11C]-PIB와 [18F]FDDNP 등이 알츠하이머병의 조기 진단용 탐침으로 사용되고 있다.

〈그림 2-1〉 알츠하이머병 환자의 뇌 구조 및 신경세포 |



파킨슨병¹²⁾은 두 번째로 흔한 퇴행성 신경질환으로, 60세 이상에서 1%, 70세 이상에서 3.4%, 80세 이상에서 4%의 발병률을 보인다. 일차적인 증상으로는 느린 움직임, 정지 시 떨림, 자세의 불안정, 굽은 자세가 특징적으로 나타나며, 병의 진행에 따라 우울증, 불면증, 치매 등의 2차적 증상을 동반한다. 파킨슨병은 도파민(dopamine, DA) 신경세포의 사멸에 의해 발생하며, 이 또한 근원적인 치료제가 전무한 상황이다.

최근에는 산화적 스트레스(oxidative stress)가 PD의 중요한 원인으로 여겨지고 있으며, 도파민의 대사과정이 산화적 스트레스와 관련되어 세포의 생장에 중요한 역할을 하는 세포 내 고분자들(macromolecules)의 변성(modification)을 일으킨다고 보고되었다. 또한 활성화된 소교세포(microglia)에 의한 뇌염증 반응(neuroinflammatory response) 과정에서 생성된 활성산소(Reactive Oxygen Species, ROS)는 도파민성 신경세포(DAergic neurons)가 분비하는 물질들에 의해 더욱 가속화되고, 신경세포의 사멸을 야기한다.

12) 파킨슨병은 흑색질 치밀부(substantia nigra pars compacta)라 불리는 중뇌 부위에서 신경전달물질인 도파민을 생성하고 있는 도파민성 신경세포의 손실에 의해 일어난다. 사후에 파킨슨병 환자의 뇌에서 발견되는 두 가지 병리학적 특징으로는 루이체(lewy bodies)라 불리는 단백질 봉입체(proteinacious inclusion bodies)와 반응성 소교세포증(reactive microgliosis)이 관찰되었다. 이러한 파킨슨병의 원인을 규명하기 위하여 활발한 연구가 진행되고 있다. 제초제나 살충제의 사용이 PD의 위험성을 증가시킨다는 보고, 바이러스성 뇌염 등의 감염설, 선천적으로 발병한다는 유전설 등이 있으나 정확한 원인은 규명되지 않았다. 또한 파킨슨병 환자의 10~15%는 가족력을 가지고 있으며 현재까지 이들과부터 SNCA, PARKIN, UCHL1, PINK1, DJ-1, LRRK2, Omi/HtrA2 유전자 변이가 가족성 파킨슨병을 일으키는 것으로 밝혀졌다. 상기 유전자로부터 밝혀진 파킨슨병의 환경요인 및 병인에는 1) 비정상적인 삼차원 구조를 가진 단백질(α -synuclein)의 응집, 2) 미토콘드리아 이상, 3) ubiquitin 단백질분해 시스템 이상, 4) 산화성 스트레스, 5) excitotoxicity, 6) inflammation 등이 관여하는 것으로 알려져 있다.

PD의 일차적인 증상들은 신경전달물질(neurotransmitter)인 도파민의 손실과 관련이 있는 이유로, 도파민의 신경전달(daergic neurotransmission)을 증진시켜주는 약들이 현재 치료목적으로 사용되고 있다. 대표적으로는 도파민의 전구체인 L-3,4-dihydroxyphenylalanine(L-DOPA), monoamine oxidase inhibitors 그리고 도파민 수용체 작용제(DA receptor agonist) 등이 있다. 그러나 이러한 방법들은 병의 진행을 지연시켜 줄 뿐 근원적인 치료가 되지 않으며, 장기간의 복용에 따른 부작용과 합병증을 동반한다. 따라서 최근에는 신경보호(neuroprotection)를 통해 병의 진행방향을 바꾸려는 노력이 활발히 진행되고 있다.

파킨슨병 환자의 증상은 도파민성 세포가 70% 이상 퇴화하기 전에는 크게 나타나지 않기 때문에 신경 퇴화의 진행을 지연하기 위해서 조기에 진단하는 것이 매우 중요하다. 살아 있는 사람에게서 파킨슨병을 진단하는 것은 거의 전적으로 임상적 소견에 의존하여 왔다.

그러나 파킨슨병 환자의 임상적인 증상이 나타나는 것은 이미 흑질의 도파민신경이 50% 이상 감소되어 있는 상태이다. 따라서 최근에는 이러한 신경 세포내 특이 단백질을 양전자방출 단층촬영기(PET)나 기능적 자기공명영상(fMRI)을 이용하여 영상으로 측정함으로써 조기 진단의 가능성을 열었고, 조기 진단과 진행 정도의 파악을 위한 바이오마커에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

퀴논환원효소(NAD(P)H:quinone reductase; NQO1)는 도파민 퀴논(DA quinone)을 도파민으로 환원시킬 수 있는 효소로 최근 파킨슨병 환자의 흑질 부위에서 발견되었다. 도파민 퀴논은 파킨슨

병의 병인으로 여겨지므로 NQO1에 의해 도파민 퀴논의 축적을 막는다면 신경세포를 보호할 수 있을 것이다. NQO1의 유전자 발현은 전사인자인 Nrf2가 항산화반응요소(Antioxidant Response Element, ARE)에 결합함으로써 유도된다. 따라서 NQO1과 Nrf2는 신경세포보호를 통한 PD의 치료제 개발에 있어서 중요한 목표(target)로 대두되고 있다.

현재 퇴행성 뇌질환에 대한 뚜렷한 치료법 전무, 지연 및 완화에 일차적 주력

현재까지 알츠하이머병의 환자의 치료는 거의 불가능하며 오직 NMDA(N-methyl-D-aspartate)의 길항제인 memantine과 acetylcholinesterase inhibitor인 donepezil만이 알츠하이머병을 위해 치료제로 쓰이고 있다. 하지만 병의 진행을 막지는 못하고 지연시키거나 인지능력의 향상이 일시적으로 나타나는 한계를 가지고 있다. 따라서 베타 아밀로이드 형성단계(Ab cascade)의 조절을 통해 알츠하이머병의 진행을 막으려는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 중에서도 b- & γ -secretase inhibitors, 베타 아밀로이드 단백질 분해효소 조절제(Ab protease regulators), 베타 아밀로이드 응집 저해제(Ab aggregation inhibitors), 금속 킬레이터(metal chelators) 그리고 베타 아밀로이드 올리고머(Ab oligomers)의 농도를 낮추는 방법들이 가능한 치료방법들로 여겨지고 있다.

세계제약회사에서 약 241개의 약물을 신경질환(neurologic disorder) 치료제로 개발하고 있으며 이들 중 알츠하이머병 치료제로 개발되는 약물은 42개로(2번째) 미래시장이 매우 확대될 것으로

전망되는 질환분야라고 할 수 있다. 다양한 치료분야 중 알츠하이머병 백신 분야는 elan, amgen, eli lilly, pfizer, sanofi-synthelabo, bristol-myers squibb 등 제약대기업들이 있고 베타 아밀로이드를 타겟으로 약물 개발을 하는 neurochem, axnoyx, mindset, nymox, prana 등의 알츠하이머병 전문 바이오텍 업체들이 있다.

베타 아밀로이드를 타겟으로 하는 백신과 소분자에 대한 연구는 머지않은 시일 내에 알츠하이머병의 치료제 출현을 예고하고 있으며, 이를 datamonitor는 2007년 “beta treatments on the horizon” 이라고 표현하였다. 특허분석을 통해 알츠하이머병 관련 기술동향을 살펴보면 특허 등록 증가율이 가장 높은 기술은 secretase inhibitor, 베타 아밀로이드 길항제(β -Amyloid antagonist) 기술로 나타난 상태이다.

파킨슨병은 현재까지 질환의 진행을 지연할 수 있는 치료법은 전무한 상황이다. 따라서 신경세포 보호를 위한 근원적인 타겟에 대한 이해와 연구가 필요하다. 도파민 대사로부터 야기된 산화성 스트레스(oxidative stress)와 염증(inflammation), 그리고 미토콘드리아 기능이상(mitochondrial dysfunction)은 PD의 병리학적 특징으로 생각되며, 항산화 기작을 이용한 파킨슨병환자의 치료법을 이용하면 효과적인 신경세포보호 치료를 할 수 있을 것이다. 그러나 어떠한 항산화 물질도 단일 투여나 혼합투여에서 파킨슨병의 진행을 지연하는 효과를 보이지 못했다.

세계제약회사에서 신경질환 치료제로 개발하고 있는 약 241개의 약물 중 파킨슨병 치료제로 개발되는 약물은 21개로(5번째) AD

치료제와 더불어 미래시장이 매우 커질 것으로 전망되며, 파킨슨병은 알츠하이머병과 함께 2040년까지는 현재 사망원인 1위인 암을 추월할 것으로 예상되고 있다. 파킨슨병 환자의 현재 치료방법은 Levodopa(L-dopa) 등의 대중적 약물치료제(도파민 효현제, 항콜린제)가 있으나 근원적인 치료는 불가능 하며 약물의 장기간 사용시 합병증을 유발하여 치료의 한계가 있어 대체 약물의 개발이 필요한 상황이다. 또한 현재 사용되고 있는 도파민성 약제, 도파민 작용제 등 관련 물질특허의 특허권 존속기한의 만료에 따른 저가 제네릭 제품간의 경쟁이 치열해 질 것으로 보인다.

파킨슨병에서는 병변 부위가 흑질로 국소화되어 있다는 장점이 있으므로 뇌의 다른 부위에 대한 부작용을 최소화하는 치료방법의 개발이 기대되고 있다. 파킨슨병 치료의 궁극적 목적은 비침습적인 방법으로 퇴행의 진행을 억제하는 것으로, 증상을 완화시키지만 부작용을 동반하는 기존의 약제에서 벗어나 신경퇴행을 억제하는 보호제 개발에 주력하는 것이 관건이며 현재 Merck, Neurogen, Bayer, Glaxo Smith Klein, Pfizer, Schering-Plough, Amgen, Guklford, Kyowa, Boehringer Ingelheim, IVAX, TEVA, Schwarz, Newron, Solvay, Ttan, Sanofi-Synthelabo 등에서 활발하게 개발하고 있다.

현재 시장규모는 작으나 연평균 15%로 빠르게 성장

2007년 신경계 질환 치료제 시장규모는 1,553억 달러로 제약시장의 22%를 차지하며, 이 중 치매 치료제는 현재 시장규모는 작으나 연평균 시장성장율(CAGR) 15%로 매우 빠르게 성장하는

추세에 있다.

퇴행성 뇌질환 관련 의약품 세계 시장은 2005년 923억 달러 규모를 형성하였으며 2010년에는 1천억 달러를 넘어설 전망이다. 또한 상위 10대 세계의약품 시장을 질환별 성장률을 기준으로 분석해 보면 알츠하이머 치료제가 1위로서 연평균 34% 이상의 성장률을 보이며 항암제의 경우는 18.6% 그리고 고혈압 치료제가 18.1%로 뒤를 잇고, 파킨슨병 치료제도 12.9%로 높은 성장률을 나타내고 있다.

| <표 2-1> 성장률 기준 질환별 상위 10대 세계의약품 시장¹³⁾ |

순위	치료군	매출 (2005, 조원)	연평균 성장률(% (고정달러)
1	알츠하이머병	4.0	34.5 (20)
2	항암제	28.5	18.6
3	고혈압	14.2	18.1
4	파킨슨병	2.7	12.9 (10)
5	정신분열증	16.2	10.7
6	당뇨(비 인슐린 성)	10.7	6.9
7	고지혈증	32.4	6.8
8	항궤양제	26.7	3.8
9	간질	11.6	0.9
10	우울증	19.8	-3.9

13) 자료 : IMS MIDAS, MAT Dec 2005

퇴행성 뇌질환 치료 개발은 아직 초기단계, 세계 시장선점이 관건

다국적 제약사들은 뇌질환 치료제의 개발을 위해 평균 1조원의 예산을 집행하고 있는 것으로 나타나고 있으며, Pfizer, Eli Lilly, Johnson & Johnson, Novartis, Astrazeneca, GlaxoSmithKline, Merck 순으로 뇌질환 치료제의 연구개발에 투자를 집중하고 있다. 반면 국내 제약사들의 경우, 연구개발 과제들 가운데 퇴행성뇌질환 분야가 가장 취약한 것으로 나타났다. 그러나 퇴행성 뇌질환 치료제 개발 분야는 해외에서도 아직 도입기에 있으므로, 국내에서의 치료제 개발 분야는 향후 성장가능성이 높고 특히 선진국의 개발인프라도 아직은 초기단계이므로 개발 성공시 세계 시장 선점 가능성이 높다. 따라서 세계시장 선점을 위해 퇴행성뇌질환 연구개발에 대한 국가적 지원이 필요한 상황이다.

KIST는 2000년도 초반부터 알츠하이머병 치료제 개발을 중심의 연구에 착수하여 국내의 퇴행성뇌질환 분야 연구를 선도하고 있다. 알츠하이머병 및 파킨슨병의 병인 및 병리학적인 기초연구뿐만 아니라 이의 영상학적인 진단 및 치료제 개발에 있어서도 세계적인 수준에 다달았다.

이에 대한 대표적인 연구로는 ‘성아교세포에서의 토닉 가바 분비와 퇴행성뇌질환과의 관련성’, ‘알츠하이머병에서 아밀로이드 단백질의 집적화가 타우 단백질의 인산화와 집적화에 미치는 영향’ 등이 있으며, 알츠하이머병 치료제로서 아밀로이드의 집적 저해 효능을 나타내는 KMS88009 와 KMS B600, 뇌신경보호 효과를 나타내는 파킨슨병 치료제 KMS4014 등이 전임상연구 중에 있다.

또한 이와 같은 연구를 수행하기 위한 다양한 유전자 변형 동물 모델을 보유하고 있으며, 이를 이용한 행동시험, 생화학 및 면역학적 시험 등의 인프라를 구축하고 있다.

중요 연구과제로는 2009년도부터 교과부의 ‘퇴행성뇌질환 사업단’을 유치하여 신규 타겟에 대한 알츠하이머병 및 파킨슨병의 치료제 개발을 수행하고 있으며, KIST 뇌과학연구소의 플래그십 과제의 일환으로 유전자 차원에서의 병인 및 병리학적인 연구를 수행하고 있다. 이에 대한 대표적인 연구과제는 <표 2-2>와 같다.

| <표 2-2> KIST에서 수행 중인 퇴행성뇌질환 관련 연구과제 |

사업명	연구과제명	관련질환
KIST 뇌과학연구사업	학습/기억 뇌회로 작성과 조절연구	알츠하이머병
KIST 뇌과학연구사업	행동/감각 뇌회로 작성과 조절연구	파킨슨병
교과부 질환중심 글로벌신약후보물질 개발사업	미토콘드리아 기능조절에 의한 치매 치료제 개발	알츠하이머병
교과부 질환중심 글로벌신약후보물질 개발사업	항산화활성 유도효과를 나타내는 파킨슨병 치료제 후보물질 개발	파킨슨병
교과부 바이오의료기술 개발사업	알츠하이머병 조기진단용 분자영상 지능형 표지자 개발	알츠하이머병

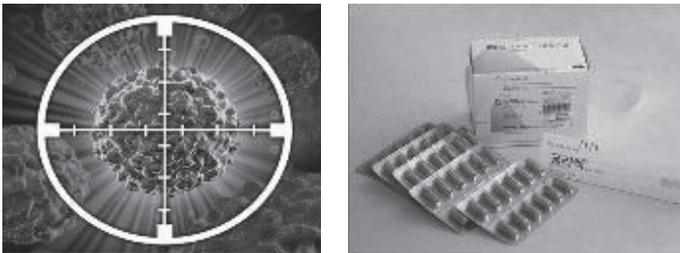
● 퇴행성뇌질환은 병리학적인 병인이 완전히 밝혀져 있지 않을 뿐만 아니라 근원적인 치료제가 전무한 상황으로, 이에 대한 연구개발의 최우선 방향은 정확한 병인에 입각한 진단방법 및 치료제 개발이 되어야 할 것이다. 또한 병리학적으로 한참 진행되고 난 이후에 증상이 나타나는 병의 특성상 병인에 입각한 조기진단법의 개발이 시급한 상황이다.

● 단기적으로는 현재 활발히 진행되고 있는 조기진단을 위한 양전자 단층 촬영용 탐침자의 개발이 이루어 질 것이고, 중장기적으로는 알츠하이머병의 경우 아밀로이드의 집적을 저해하는 것뿐만 아니라 직접체를 단량체로 전환 시키는 기술개발, 백신개발, 파킨슨병의 경우, 산화성 스트레스에 의해 흑질에 생성되는 도파민퀴논의 생성을 억제하는 기술개발과, 산화성스트레스를 야기하는 여러 단백질의 비정상적 응집을 저해하는 기술개발이 수행 될 것이다.

표적항암제 개발

표적항암제란 암의 성장과 발암에 관여하는 특별한 분자의 활동을 방해하여 암이 성장하고 퍼지는 것을 막는 의약품을 말한다. 분자와 세포 변화에 초점을 맞추어 보면 표적 치료는 비교적 정상 세포의 손상을 최소화하면서 선택적으로 암세포만 공격하기 때문에 부작용을 최소화할 수 있다는 장점이 있다.

| <그림 2-2> 대표적인 표적항암제인 글리벡(Gleevec) |



항암제의 대표적인 분자표적에는 단백질 키나아제 저해제 (Protein Kinase Inhibitor, PKI)¹⁴⁾, 세포사멸 조절제(Apoptosis

14) 단백질 키나아제란 인산화(Phosphorylation) 효소로, 단백질 분자에 인산기를 붙이는 효소를 말한다. 단백질 키나아제 저해제는 이러한 단백질 키나아제의 활성을 저해하여 단백질이 인산화되는 것을 막고, 결과적으로 암세포의 성장과 분열을 막아 항암효과를 나타내게 된다.

Modulator), 후생학적 저해제(Epigenetic Inhibitors), 단일클론 항체(Monoclonal Antibody) 등이 있다. 그 중 단백질 키나아제는 항암제 개발에 있어 가장 중요한 표적이며, 글리벡, 이레사, 넥사바 등의 성공적인 발매 이후 약 200개의 키나아제 저해제가 현재 개발 중에 있다.

1970년대 ‘암과의 전쟁(War on Cancer)’ 이후 종양에 대한 생물학적, 병리학적, 이형성 연구, 임상연구가 발달하면서 많은 혁신적 치료제가 성공적으로 발굴되었다. 항암 치료제 연구개발은 많은 수요로 인해 신약개발분야 중 가장 왕성한 연구가 진행되고 있다. 현재 세계적으로 진행되고 있는 3만 450건의 임상시험 중 종양에 관한 것이 6,562건으로 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 또한 2006년 FDA에서 승인된 신약과 바이오약물의 약 25%가 종양 치료제라는 사실도 이를 뒷받침하고 있다.

의약품은 크게 저분자 화합물, 항체, 백신 등으로 분류될 수 있는데, 임상 승인 현황으로 살펴보면 저분자 화합물이 가장 많으며, 저분자 화합물 중에서 가장 승인을 많이 받은 분자표적군은 키나아제로, 저분자 화합물 전체의 35%를 차지한다. 항체 중에서도 키나아제를 분자표적으로 하는 항암제가 다수 있는데, 표적항암제인 Herceptin, Erbitux, Avastin이 리셉터 티로신 키나아제(Receptor Tyrosine Kinase)를 억제하는 작용기전을 가지고 있다. 현재 인간 게놈(Human Genome) 연구를 통해 518개의 키나아제가 알려졌으며, 제약산업에서 의약품으로 가장 성공가능성이 있는 타겟(druggable target)으로 인식됨에 따라 향후 지속적인 연구가 이루어질 전망이다.

선진국을 중심으로, 표적 항암제에 대한 연구 가속화

미국, 프랑스, 일본, 영국 등 주요 선진국들은 표적항암제를 포함한 항암제 개발을 위하여 적극적인 지원 정책을 펼치고 있으며, 향후 이에 대한 투자가 더욱 증대될 전망이다. 미국의 국립암연구소(National Cancer Institute)는 2005년 암의 기초연구, 진단, 예방, 임상시험 지원으로 약 48억달러를 집행한 바 있으며, 일본 후생노동성은 제3차 암 종합 계획 연구/임상 지원에 약 39억8천만엔(전년 대비 약 11% 증가)을 투입하였다. <표 2-3>은 표적 항암제 개발에 있어서 각 핵심 기술 분야별로 세계 최고 수준의 기술을 보유하고 있는 기관의 현황과 국내 연구기관의 기술 수준을 비교하여 나타낸 표이다.

<표 2-3> 선진국 대비 한국의 기술 수준 비교			
분야	요소기술	세계 최고 수준기술 보유기관	국내수준 (최고수준대비%)
신규한 분자 표적 발굴/동 정/검증	신규한 분자표적 발굴/동정/검증 기술	Harvard Medical School, NIH Novartis, Pfizer, Merck, GSK	90
의약화학	신규골격화합물 합성 경로 개발	Novartis, Pfizer, Merck, GSK	90
	focused chemical library제작	IRORI, pharmacopela, Novartis, Pfizer, Merck, GSK	70
	선도/후보물질 도출 기술	Novartis, Pfizer, Merck, GSK	80
CADD	초고속가상검색	Novartis, Pfizer, Merck, GSK	80
	분자설계	Novartis, Pfizer, Merck, GSK	90
구조생물학	X-ray crystallography /NMR	SGX, Syrrx, Astex	80
약효평가	시험관활성검색 및 기전연구	Ambit, Invitrogen, HMS, NIH	80
	약리	Novartis, Pfizer, Merck, GSK	80
	생체효능평가	Novartis, Pfizer, Merck, GSK	80
독성평가 / formulation	전임상독성평가	Charles Liver	80
	제제화 기술	Novartis, Pfizer, Merck, GSK	80

한편, 한국 신약연구개발조합의 2007년 자료에 따르면 우리나라 제약기업은 암 관리 연구에 연구비의 25%를 지원하는 등 10대 질병 중 암과 관련해 가장 많은 연구들을 진행하고 있다. 또한 세계적인 수준의 암 전문병원 및 의료진은 물론 사망 1위인 암 질병을 치료하며 축적된 막강한 노하우도 확보하고 있다. <표 2-4>에서 볼 수 있듯이, 세계적인 추세에 맞추어 국내 연구진들도 표적항암제 개발에 많은 노력을 경주하고 있다.

| <표 2-4> 현재 국내에서 연구개발 중인 주요 분자표적의 유형 및 연구현황 |

표적	접근법	국내 연구진행 정도
EGFR	Small Molecule, Enzyme Assay	약효평가, Lead보유
Bcr-Abl	Small Molecule, Enzyme Assay	약효평가, 임상진입 예정
VEGF	Small Molecule, Anti-body, Enzyme Assay	약효평가, Lead보유
b-RAF	Small Molecule, Enzyme Assay	약효평가, Lead보유
HDAC	Small Molecule, Enzyme Assay	약효평가, Lead 및 후보물질 보유
FLT3	Small Molecule, Enzyme Assay	약효평가, Lead 및 후보물질 보유
HSP-90	Small Molecule, Enzyme Assay	약효평가, Lead보유
c-Met	Small Molecule, Antibody, Enzyme Assay	약효평가, Lead보유
FAK	Small Molecule, Enzyme Assay	약효평가, Lead보유
Aurora Kinase	Small Molecule, Enzyme Assay	약효평가, Lead보유
PLK1	Small Molecule, Binding Assay	Hits 도출 단계
KSP	Small Molecule, Binding Assay	초기 관심 단계
CDK	Small Molecule, Enzyme Assay	약효평가, Lead보유 독성이 큰 표적임
Ron	Small Molecule, Enzyme Assay	약효평가, Lead보유
ALK5	Small Molecule, Enzyme Assay	약효평가, Lead보유
HIF-1 alpha	Small Molecule, Phenotype Assay	너무 많은 pathway관여, Hits보유

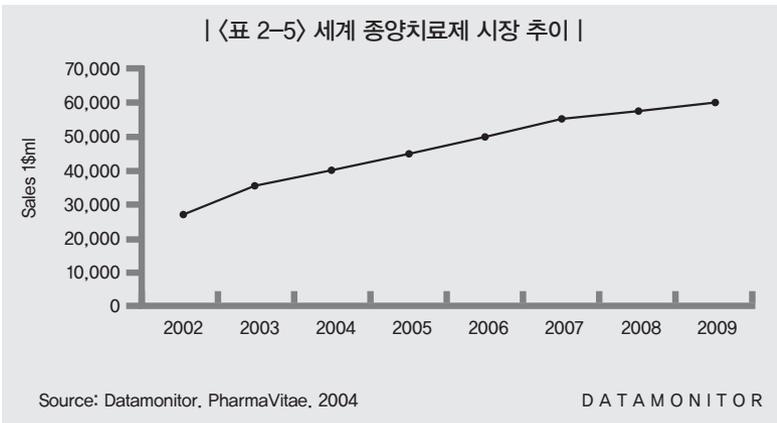
표적	접근법	국내 연구진행 정도
Nox1	Small Molecule, Phenotype Assay	in vivo validation 미흡
Glutathione peroxidase 2	Small Molecule, Phenotype Assay	in vivo validation 미흡
BAFF agonist	Small Molecule, Binding Assay	단백질 신약연구, Asthma연구
Zinc Finger Protein ZNF312BProteinZNF312B	Small Molecule, Phenotype Assay	국내발굴 표적, 신약 스크리닝 확립, in vivo validation, 독창성
Mdm2	Small Molecule, Binding Assay	SAR-by-NMR 연구중
AMPK	Small Molecule, Phenotype Assay	대사 질환과 관련 있음, 선택적 AMPK 억제제 한계
Wnt	Small Molecule, Phenotype Assay	지식경제부 바이오스타 과제, 전임상 후보
AIMP2-DX	Small Molecule, Phenotype Assay	국내 drug screening system확보, 독창성
Runx3	Small Molecule, Phenotype Assay	국내 drug screening system확보, 독창성
CD24	Anti-body	오래된 표적임에도 항체 연구 미진, 표적가치 적음, 항체 연구 중

표적종양치료제, 10년 후 암치료의 55%를 차지할 것으로 예측

종양은 많은 경우 노령 층에서 발생하고 있다. 세계적으로 65세 이상 노령층 인구가 매년 증가하고 있어 2020년에는 9%, 2050년에는 16%로 증가될 전망이다. 이러한 노령층 인구의 증가로 인해 종양 발생률 또한 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 2020년 1천 7백만명, 2050년 이천 7백만명의 새로운 암환자가 발생할 것으로 예상되고 있다.¹⁵⁾ 특히, 의료시설과 의료진이 부족한 아시아나 남아메리카 같은 개발도상국의 암 발생이 선진국보다 크게 증가할 것으로 보인다. 미국암협회(American Cancer Society, ACS) 자료에 의하면 2007년 한해동안 세계적으로 새롭게 암 진단을 받은 환자는 1,200만명 이상이며 사망자는 760만명으로, 이는 매일 약 2만

15) Nature Review Cancer, 2005, 6, 63-74

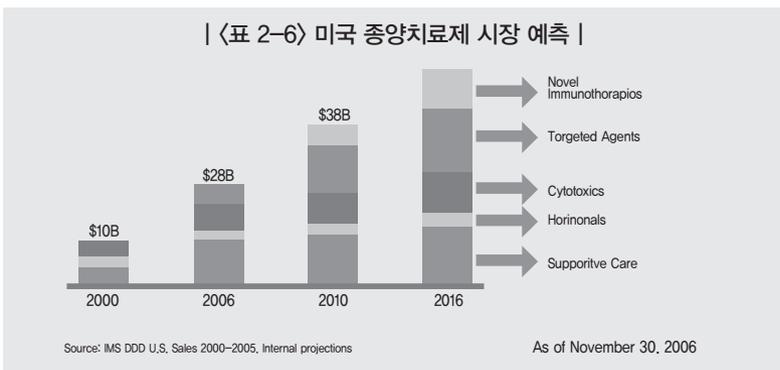
명씩 암으로 사망한 수치이다. 암종별 발병현황을 살펴보면, 가장 발병률이 높은 암은 대장암이며 그 다음으로는 유방암이다. 사망률이 높은 암종은 폐암, 대장암, 유방암의 순이다. 한국인의 경우 폐암으로 인한 사망자가 가장 많으며, 위암, 간암 순으로 사망 환자 수가 많은 것으로 나타났다. 세계 45대 제약회사의 2006~2012년 치료제 시장을 분석해 보면 4,248억달러에서 4,847억달러로 성장할 것으로 예측하고 있으며, 이중 가장 성장이 두드러진 분야는 종양 분야이다. 데이터모니터(Datamonitor)사의 2007년 자료에 따르면 종양치료제 시장은 2003년도 330억달러 규모에서 매년 약 10%이상씩 성장하여, 2012년도 890억달러 규모의 거대시장을 형성할 것이며, 발병률 및 유병률의 증가로 종양치료제 시장은 연14%의 성장률로 지속적인 성장을 이룰 것으로 예측되고 있다.



이러한 시장의 증가세는 최근 종양치료제의 새로운 변화를 불러온 분자 표적치료제로 대변된다. Gleevec(Novartis), Iressa(Astrazeneca), Tarceva(Genentech), Tykerb(GSK), Sutent(Pfizer), Nexavar(Bayer/

Onyx), Sprycel(BMS) 등의 종양표적 저분자 신약과 Herceptin(Genentech/Roche), Rituxan(IDEC-Biogen), Avastin(Genentech/Roche), Erbitux (Imclone/BMS)의 종양표적 항체신약 등과 같은 혁신적 종양치료제가 상품화되어 신규 시장이 창출됨에 따라 전체 종양치료제 시장이 급격히 성장하고 있다. 게다가 진단 기술이 발달하면서 적기의 수술요법 및 약물요법이 가능해지고, 환자의 생존기간이 연장되는 동시에 장기치료 및 병용요법치료가 증가 추세에 있어 지속적인 시장 확대가 예상된다. 현재에는 상위 20대 종양치료제 중에서 독성종양치료제(Cytotoxics)가 45%, 표적치료제가 30%, 호르몬제제가 25%의 비중을 차지하고 있으나, 10년 후에는 표적치료제가 전체의 55%를 차지할 것으로 예측된다.¹⁶⁾

Pfizer 보고서에서도 표적종양치료제에 대한 연구가 점차 증가하고 신약개발 성공률이 과거의 전통적인 세포독성치료제보다 높다는 측면에서, 향후 미국에서 표적종양치료제와 면역치료(immunotherapy)가 보다 성장할 것으로 예측하고 있다.



16) Datamonitor 2007

우리나라, 표적항암제의 제약회사 기술이전에 성공

KIST는 최근 케미컬 키노믹스(Chemical Kinomics)¹⁷⁾ 접근법을 통해 혁신신약후보물질(표적항암제)을 개발하고 국내 대형 제약회사인 중외제약에 기술이전하는 성과를 창출했다(2011. 3월, 10억원). 개발된 또 다른 혁신신약후보물질은 대웅제약에 기술을 이전하기로 결정되었으며, 현재 계약 체결 절차가 진행 중에 있다.

그간 우리나라에서는 공공연구기관에서 개발한 혁신신약물질의 기술을 메이저 제약사로 이전하는 것은 거의 없었다. 또한 글로벌 신약 1개가 가지는 가치는 국내 자동차 전체 시장과 견줄 정도로 큰 것이기에 KIST의 성과는 고무적인 것으로 평가되고 있다.

2012년 KIST는 표적항암제 혁신신약 개발에 더욱 박차를 가하기 위해, 하버드 의과대학, 싱가포르 국립대학, 노바티스사를 비롯한 세계적 선도 연구기관 및 대형 제약사와 공동 연구를 위한 기반 구축을 추진하고 있다.

또한 KIST는 케미컬 키노믹스 중개연구를 수행하기 위하여 경북대학교 의대와 함께 복지부 대형과제(5년간 40억원/연)를 수주함으로써 케미컬 키노믹스 중개연구의 글로벌 리더가 되기 위한 기반 조성에 주력할 계획이다. 이로써 KIST는 하버드 의과대학, 싱가포르 국립대학 등 해외는 물론 경북대 의대, 삼성의료원, 서울 아산병원 등 국내 연구팀들과 연구기능의 혁신적 성장을 위한 협력 네트워크를 강화하고 공동연구를 통해 시너지 창출을 극대화할 예정이다.

17) 케미컬 키노믹스(kinomics)란 인산화를 유도하는 효소들의 기능을 규명하는 학문(인산화유도단백질 응용기법)이다. 케미컬 키노믹스는 kinome을 해독하는 방법으로 유망한 접근 방법으로, 케모제노믹스(Chemogenomics)라고도 하며, 인산화효소의 기능을 조절하는 소분자 화합물을 이용하여 인산화를 기반으로 하는 세포내 신호전달 네트워크를 해독하는데 유용하게 사용된다.

● 혁신신약의 성공적인 개발을 위해서는 신개념 맞춤형약 중개연구가 필수적이다. 중개연구란, 기초과학적 연구나 연구성과를 임상시험에 접목시킴으로써 질병에 대한 새로운 지식을 도출하고, 개념 증명 및 임상 적용가능성을 확보하는 연구로 기초-임상 양방향적 연구(Bench to Bedside & Bedside to Bench)라 할 수 있다. 최근 세계 주요국에서는 기초연구와 임상연구를 접목한 중개연구가 진행되고 있으나, 국내에서는 KIST가 처음으로 시도하며 적극 추진하고 있다.



오믹스 기반에 의한 진단 기술개발

생명과학 연구 분야는 지난 50년 동안 급격한 성장을 이루었다. 특히 20세기 들어 인간 게놈 프로젝트가 완성되면서 이를 활용 한 오믹스¹⁸⁾ 기술이 발전하기 시작하였다. 오믹스 기술은, 기존의 단백질, 대사체를 개별적으로 연구하던 것에서 이를 하나의 군으로 이해하고자 하는 차원으로 발전되면서 나타난 생명과학의 한 분야로서, 유전체학(genomics), 단백질체학(proteomics), 대사체학(metabolomics) 등 다양한 종류의 오믹스 기술 연구가 최근 가속화되기 시작하였다.

18) 오믹스(Omics)란 생물학에서 통합적인 용어로서 'ome'은 전체라는 의미를 가지고 있고 'omics'는 일정한 수준의 생물학적 분자들과 정보의 집합체의 군을 나타내는 접미어이다. 즉, 오믹스란 유전체(Genomics), 단백질체(Proteomics), 대사체(Metabolomics)를 통틀어 일컫는 말로, 전산기법을 활용해 세포 등에서 발견되는 유전체 정보 데이터를 분석, 규명하는 연구 분야이다.

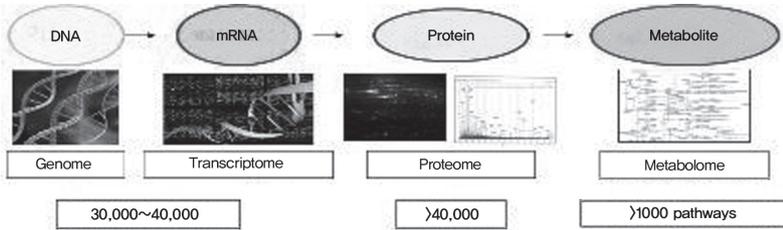
또한, 오믹스와 관련된 방대한 데이터의 축적이 이루어지면서 여러 요소들을 총체적으로 이해하고자 하는 시스템 생물학(systems biology)에 대한 관심이 높아졌다. 시스템 생물학은 생명체의 역동적인 네트워크 구조를 수학, 물리학, 공학 등의 융합적 관점에서 이해하고자 하는 학문분야로서, 생명체와 관련된 정보를 정확하고 빠르게 획득하여 종합적인 생물학적 의미를 찾아내는 것은 질병의 진단 및 예방에 있어서는 필수적이다. 이러한 차원에서 오믹스 기술 개발과 더불어 오믹스의 융합 분야는 생명과학분야의 현재와 미래를 이끌 학문 분야로 여겨지고 있다.

생명체를 이해하는 오믹스 기술

오믹스 기술은 크게 세가지 - 대사체학(Metabolomics), 단백질체학 (Proteomics), 상호작용 네트워크(Interactome Network) - 로 구분할 수 있다.

먼저 대사체학은 대사체(metabolite)를 총체적으로 분석하는 분야로, 특정 질병이나 외부 환경의 변화에 의한 세포, 조직, 혈류 내 대사체의 양적 변화를 확인하고 이것으로부터 실험 대상의 생리적 상태를 해석하는 연구 분야이다. 대사체는 세포내의 전사체, 단백질체, 상호작용 복합체등의 세포내 융합적인 결과물로 표현형(phenotype)을 직접적으로 반영하는 물질로 알려져 있으며, 총체적 대사체 분석으로 단순한 대사체 구성요소들을 제공하는 것뿐만 아니라 기능적인 해석을 가능하게 하여 생체 상태의 변화를 판단할 수 있다. 따라서 대사체학은 진단 표지물질이나 대사 조절물질의 개발에 유용할 것으로 기대된다.

| <그림 2-3> 유전자, 단백질, 대사체의 생명 정보의 흐름도 |



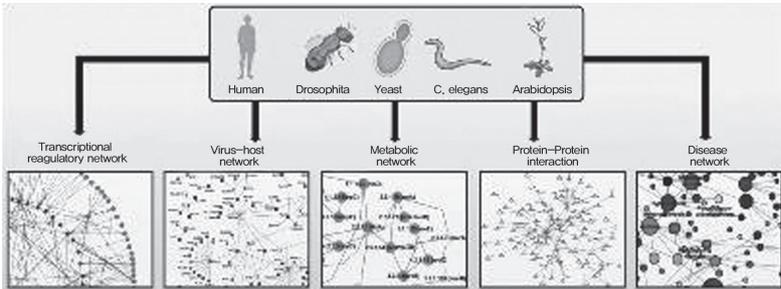
두 번째로 단백질체학은 세포내의 총체적인 단백질의 기능 및 변화를 연구하는 학문으로, 주로 작용 단백질을 대규모로 분석하는 것을 목적으로 한다. 특히 외부 환경 및 질병에 의해 변화되는 단백질 발현 수준의 변화 측정 및 변화 단백질의 동정, 상호 결합 단백질의 동정 및 인산화, 유비퀴틴화와 같은 단백질의 변형(posttranslational modification)등을 분석한다.

최근 단백질이 의약품 개발에 있어서 주요 표적 물질로 떠오르면서, 질량분석기를 이용한 대량 분석과 더불어 항체를 이용한 ELISA-based assays, protein microarray, confocal imaging 등의 기법을 통해 단백질이 가지고 있는 주요 특성들을 분석하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.

세 번째로 상호작용 네트워크는 유전체학, 단백질체학, 대사체학을 통하여 얻어진 대량의 데이터들을 다시 융합하고 네트워크화 하는 것이다.

이는 질병의 발생과 진행과정 및 진단의 타깃을 찾는 데 매우 중요하며 유전형(genotype)과 표현형(phenotype) 간의 연결 고리를 알게 해주는데 있어서 큰 의미를 지닌다고 할 수 있다.

| <그림 2-4> 생체내의 상호작용 네트워크¹⁹⁾ |



오믹스와 관련한 분석 및 기능 검증 기술들은 바이오마커²⁰⁾의 개발에 활용될 수 있다. 질병상태에서 변화되는 주요 단백질 및 대사체들을 검출하고 정상상태와 비교함으로써 질병 진단이 가능하며 미량의 단백질 및 대사체들을 검출하여 질환을 조기에 진단하는 것이 가능하다. 오믹스를 이용한 바이오마커의 발굴은 진단마커 (diagnosis marker)뿐만 아니라 병의 예후를 확인할 수 있는 마커 (prognostic marker)로도 응용될 수 있어 그 이용 가치가 높다고 할 수 있다.

또한 오믹스 기술은 실제 약물의 개발에 있어서 약물의 효능이나 독성의 평가에도 활용될 수 있다. 약물의 개발 단계 혹은 임상시험 단계에서 약물의 독성 등을 대사체 프로파일링 기법을 이용하여 분석하며 약물의 효능 또한 기존의 약물과의 프로파일링 비교를 통해 스크리닝 함으로써 약물의 개발을 촉진시킬 수 있다.

19) Vidal M, Cusick ME, Barabasi AL, Cell, 2011 18:144(6):986-98.

20) 바이오마커란 질병이나 건강 상태, 생리 상태 등을 나타내 줄 수 있는 생체물질이다.

오믹스 관련 기술수준 비교 분석 및 평가

오믹스 연구는 유전체, 단백질체, 대사체의 각 단계를 분석하는 기술 개발과 이것들을 네트워크화하는 연구를 중심으로 진행되고 있다. 보다 높은 감도와 분석법의 효율성 증가를 바탕으로 질병의 조기 진단을 위해 분석능력을 향상시키는 기술이 개발 중에 있으며, 각 단계의 오믹스 분석과 함께 네트워크화를 통해 유전체, 단백질체, 대사체간의 상관관계를 밝히고자 하는 연구가 진행되고 있다.

먼저 대사체학 연구는 대사체를 총체적으로 분석하는 global metabolic profiling과 특정 대사체를 분석하는 targeted metabolic profiling으로 나눌 수 있다.²¹⁾ Global metabolic profiling 기법은 대사체를 총체적으로 분석하는 기법으로, 전체적인 패턴을 파악할 수 있는 장점이 있으며 기존에 알려져 있지 않은 대사체들에 대해서도 생리적 기능을 연구할 수 있는 가능성을 열어줄 수 있다. Targeted metabolic profiling 기법은 지방, 호르몬, 아미노산과 같은 특정 대사체들에 대해 분석하는 기법으로, 정량적으로 데이터를 얻을 수 있으며 대사체 하나하나의 종류에 따른 변화를 모두 관찰할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 대사체학의 연구에는 주로 핵자기공명분석법(NMR spectroscopy)과 질량분석법(Mass spectrometry)이 활용되고 있으며, 궁극적으로는 화학적 성질과 농도가 서로 다른 수백개의 대사체들을 동시에 분석하는 기법의 연구가 반드시 필요하다고 할 수 있다. 대량으로 얻어진 대사체 분석결과는 통계적인 분석을 하거나, 패턴인식도구(pattern

21) 생화학분자생물학뉴스, 질환분야에서의 대사체학, 2006.

recognition tool)를 이용하여 정상 상태와 질환 과정에서 발생하는 변화를 판독하여 질환을 진단하는데 유용하게 응용될 수 있다.

단백질체학 연구를 위해서는 다양한 질량분석기술이 이용되고 있으며, 질량분석능의 향상을 위해 고감도(high-sensitivity)/고속(high-throughput)의 펩타이드를 분석기법에 대한 연구가 진행되고 있다. 따라서 액체크로마토그래피(liquid chromatography, LC)를 이용하여 펩타이드 혼합체를 분리한 후 질량분석계에 연결하게 되는데 기존에 사용하던 비행시간차질량분석기(time-of-flight, TOF)나 사중극자형질량분석기(quadrupole), 또는 선형이온트랩 사중극자질량분석기(linear trap quadrupole, LTQ)등의 질량분석계에서 triple quadrupole, quadrupole/TOF, quadrupole/ion trap과 같이 두 가지 분석계가 결합(hybrid)된 질량분석계들이 이용되고 있다. 또한 이외에도 높은 감도를 갖는 푸리에변환 이온싸이클로트론공명 질량분석기(FT-ICR)등이 결합되면서 그 역할이 증가할 것으로 기대되고 있다. 질량분석능의 향상뿐만 아니라, 분리분석기술도 개발되고 있으며 대량의 데이터로부터 생물학적으로 의미가 있는 데이터들을 선별하기 위한 인포매틱스 기술도 함께 연구되고 있다. 대량으로 전체 구성 단백질을 동정하고자 하는 이외에도 바이오마커를 개발하거나 미량으로 존재하는 단백질을 분석하고자 하는 목적으로 특정 단백질에 대한 선택성을 높이거나, 정량적으로 펩타이드를 분석하는 기법들이 개발되고 있다. 대표적으로 product 이온을 선택적으로 검출하는 single-reacting monitoring(SRM), multiple-reaction monitoring (MRM) 모드 등이 유용하게 사용되고 있으며, 단백질 합성시에 생체 내(in vivo)

에서 단백질을 라벨링하는 SILAC(stable-isotope labeling with amino acids in culture) 법이나, 단백질을 추출 후 라벨링하는 iTRAQ (isobaric tags for relative and absolute quantification) 등을 이용한 정량분석 관련 연구가 진행되고 있다.²²⁾

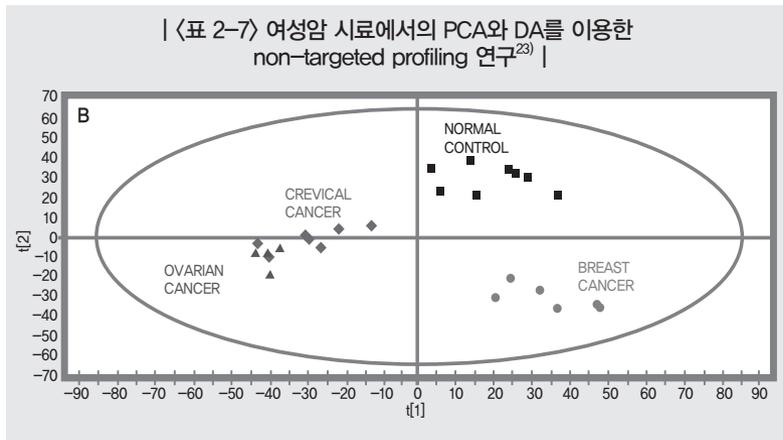
초기의 생체물질 상호작용 네트워크 연구에 대한 시도는 1990년 단백질 수준의 상호작용 분석으로부터 시작되었으며 이것은 다른 분야에도 영향을 미쳐 대사체 경로, 신호전달 경로, 전사인자와 특정 유전자의 발현을 조절하는 염기 서열 등의 네트워크화가 시도되었다. 네트워크화를 위한 방법으로는 대표적으로 세 가지 방법을 들 수 있다. 첫째, 기존의 문헌상에 발표되어 있는 단편적인 상호작용 정보들을 모아서 재분석하는 방법, 둘째, 염기서열, 단백질 구조 등의 정보를 바탕으로 컴퓨터를 이용하여 예측하는 방법, 셋째, 유전체, 단백질, 대사체와 같은 다량의 데이터들을 이용하는 기법이다. 그러나 기존 문헌상의 데이터들을 이용하는 경우 데이터가 시스템적으로 얻어지지 못해 유용한 정보를 얻기가 어렵고 컴퓨터를 이용한 예측의 경우 빠르게 실행하여 얻는 장점은 있으나, 간접적인 정보들로 인해 node와 edge가 완벽히 연결되어 있지 못한 결점을 가지고 있다. 대량의 초고속 데이터들을 이용하는 경우 데이터 분석이 시스템적으로 잘 조절되어 있다면 가장 좋은 네트워크 지도를 얻을 것으로 기대되고 있다. 더불어 각각의 유전체, 단백질, 대사체에서 얻어진 네트워크들을 융합하여 모델화하는 것이 필요하다.

22) 생명공학정책연구센터, 단백질학 연구 및 활용기술, 2008

평균 20%, 최대 45% 이상의 성장성을 지닌 기술

국내에서는 KIST를 중심으로 대사체학과 단백질체학 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내의 단백질체학 연구는 프로테오믹스 이용 기술 개발사업단을 중심으로 지난 10년간 크게 발전하였으며, 단백질체학에 필수적인 질량분석 기술의 개발, 단백질 분리 기술 개발, 실제 임상 시료를 이용한 바이오마커 발굴 연구가 진행되고 있다.

특히 KIST의 대사체학을 이용한 바이오마커 발굴 및 진단법 개발 연구는 국내뿐만 아니라 세계에서도 선두 그룹을 형성하고 있다. KIST는 혈액, 소변, 머리카락 등의 인체 시료로부터 다양한 대사체의 분석 기법을 개발하였으며, 질량분석법 기반 대사체 프로파일링 기술을 이용하여 정상군과 질병군을 차별화하는 기법을 개발, 각종 부인성암 유발 대사체의 변화를 확인하고 전립선암과 전립선 비대증의 차별화된 대사경로를 규명하였다.



23) Woo HM, et al., Clin Chim Acta. 2009, 400(1-2), 63-69.

또한 대사체 지문(signaturing)에 의해 차별 대사체를 발굴할 수 있는 기법을 개발하였으며 이를 토대로 대사체 네트워크를 구축하였다.

이러한 분석법의 개발을 통해 80종의 인체 내 활성 스테로이드를 동시 측정하여 분석할 수 있었으며 대사체의 정량적 평가를 위한 시료전처리 방법과 스테로이드 대사에서 정량적 상관성에 의한 다효 소활성 동시측정법을 구축하였다.

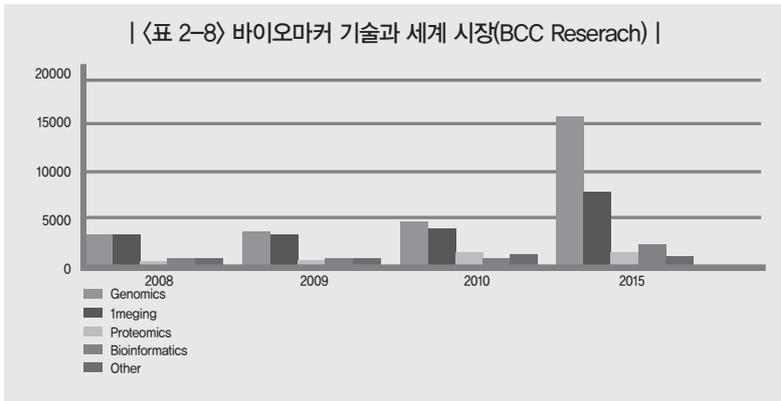
세계 오믹스 분야의 연구는 현재 미국이 주도하고 있으며, 한국은 지난 10년간 여러 오믹스 분야 국가 연구 개발 사업의 사업단을 통해 기술 개발이 이루어져 많은 성장을 이루었다. 이를 통해 유전체학, 단백질체학, 대사체학 분야가 고르게 성장하였으며 이 기술들을 이용한 바이오마커 발굴이 가속화되고 있다.

그러나 세계 기술의 선두주자인 미국을 추격하는 데는 많은 시간이 필요할 것으로 예측된다. 오믹스 분야의 시장은 연간 20%의 성장률을 나타낼 것으로 예측되고 있다. BCC 리서치가 2011년 3월 발행한 ‘바이오마커: 기술과 세계 시장’ 보고서에서는 바이오마커 관련 시장이 2010년 약 135억 달러 규모를 기록했으며, 이후 5년간 매년 약 20%씩 성장하며 2015년에는 약 333억 달러 이상에 도달할 것으로 내다보았다.

주요 개발 분야로서 바이오마커 발굴, 분자진단과 임상 실험 분야가 시장의 50%를 차지할 것으로 전망되었다.

또한 Business Insight사의 보고서에 따르면 현재는 이미징 기반의 바이오마커 시장이 가장 큰 부분을 차지하고 있으나 향후에는 단백질체학 기반 바이오마커 시장이 연평균 30.8%로 급성장 할

것으로 예측하였으며 대사체학 기반의 바이오마커 시장은 그 규모는 작으나 연평균 45.8%의 성장률을 기록할 전망이다.²⁴⁾

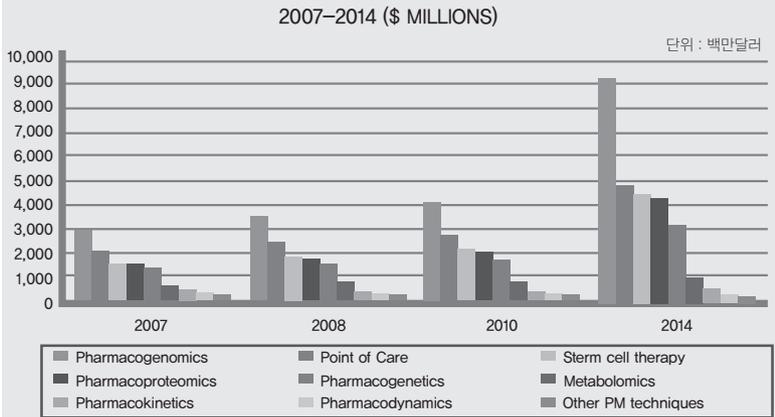


바이오마커의 응용분야인 맞춤형약 관련 세계 시장에 관한 BCC 리서치의 보고서를 살펴보면 맞춤형약 시장은 2009년 144억 달러에서 2014년 292억 달러에 이를 것으로 예측하였고, 연평균 성장률도 15.2%에 다다를 것으로 전망하였다.

연구 개발 분야로는 약물유전체(pharmacogenomics)가 전체 맞춤형약 시장의 29.7%를 차지하여 2014년에는 약 95억 달러의 시장을 선점할 것으로 예상되며, 대사체학도 약 10억 달러의 시장 규모를 기록할 전망이다.

24) 생화학분자생물학뉴스, 바이오마커 연구개발 동향, 2008

| <표 2-9> 맞춤형의약 관련 세계 시장(2007~2014) |



국내 시장도 연평균 21%를 넘어서는 속도로 성장할 전망이다. 현재 오믹스 연구는 급성장하고 있으며 국내 바이오마커 시장은 연평균 21.6%로 성장하여 2005년 2억 달러에서 2012년에는 10억 달러를 넘어설 전망이다. 단백질체학 및 이미징 기반 바이오마커 시장이 각각 전체의 46.9%와 28.3%를 형성하여 바이오마커 시장을 주도할 것으로 예측되며 대사체학 기반의 바이오마커 시장도 현재의 시장 규모는 작은 편이나 세계시장과 유사하게 45.8%의 성장률을 기록할 것으로 전망되고 있다.²⁵⁾

25) 생명공학정책연구센터, 단백질체학 연구 및 활용기술, 2008

국가 대형과제 발굴을 통해 급성장이 예상

KIST에서는 세계선도 기술에 근접한 대사체학 기술을 중심으로 단백질체학 등의 오믹스를 융합한 진단 기술을 개발하고 있다. 특히 질량 분석 기반의 다양한 생체 분자에 대한 분석법을 확립하고 있으며, 국내의 우수 의과 대학 및 의료원인 서울대병원, 세브란스 병원, 가톨릭병원, 고려대학교병원 등과의 공동 연구 시스템을 수행하고 있다. 또한 제약회사와도 긴밀한 관계를 유지하고 있어 국내의 다른 대학이나 공공연구 기관보다 수준 높은 연구를 할 수 있는 시스템이 구축되어 있다. 따라서 공동 연구 시스템을 확장하여 기관고유사업 뿐만 아니라 국가 대형과제를 도출하고 국내의 오믹스 기반 진단 연구를 주도할 수 있도록 육성해야 할 것이다.

- 국내의 오믹스 연구는 지난 수년간의 노력으로 분석 기술면에서 큰 발전을 이루었다. 하지만 실질적으로 진단에 응용 가능한 오믹스 기술 개발을 위해서는 현재보다 한 단계 높은 연구가 필요한 상황이며, 이를 위해 국가의 지속적이고 장기적인 투자가 필요하다.
- 환자 진단을 위한 바이오마커 발굴 연구가 많이 진행되고 있지만, 질병의 발병원인이 다양하고 분자 기전에 의한 경우가 많아 단일 바이오마커로는 질병의 원인을 설명할 수 없는 경우가 다수이다. 따라서 다중 바이오마커들을 이용하여 질환과의 상관관계를 분석하는 연구가 필수적이다.

로봇과 컴퓨터를 이용한 수술지원 기술

로봇이 병든 부위를 가르고 환부를 들어낸 뒤 꺾매기까지 하는 본격적인 로봇 수술 시대가 열렸다. 로봇 수술은 의사가 수술용 로봇을 이용해서 수술을 집도하는 것을 말한다<그림 2-5>.

| <그림 2-5> 다빈치 로봇을 이용한 수술 현장 |



1960년대 이후 컴퓨터단층촬영(Computed Tomography, CT), 초음파 촬영 등의 기술개발로 절개 없이 인체의 내부를 볼 수 있게 되면서, 의료분야의 진단 및 수술 방법이 변화하기 시작하였다. 이처럼 컴퓨터 기술이 의료행위에 쓰이기 시작한 것은 오래되지 않았으며, 넓은 범위로 보면, 의료영상시스템, 의료정보시스템, 전산응용수술시스템, 재활분야 시스템 등이 포함된다. 그 중에 의료로봇 및 시뮬레이터를 포함, 컴퓨터를 이용한 수술지원 기술(Computer Assisted Surgery, CAS) 분야가 점점 각광받고 있다. 최근에는 미국이 개발한 다빈치 로봇²⁶⁾이 전 세계적으로 보급되면서 수술에 대한 패러다임이 바뀌고 있다.

CAS란 수술 전 계획이나 수술 도중 컴퓨터 기술을 이용하는 수술 개념 및 방법을 말한다. CAS는 영상유도 수술(image guided surgery) 또는 수술 네비게이션(surgical navigation)으로 불리기도 한다. 이러한 CAS의 가장 중요한 구성요소는 CT, MRI(Magnetic Resonance Imaging), PET(Positron Emission Tomography), x-ray, 초음파 등 의료영상 기술을 이용하여 획득한 정보를 처리하여 환자와 관련된 정확한 모델을 만드는 일이다. 수술해야 할 신체 부위는 스캐닝 후 컴퓨터 시스템으로 보내 처리되는데, 좀 더 확실한 결과를 얻기 위하여 여러 스캐닝 방법들을 혼합·사용한 후 데이터 퓨전 기술을 이용하여 통합된 이미지를 얻는다.

26) 다빈치는 미국 인투이티브사가 개발한 수술용 로봇의 이름이다. 다빈치 로봇 수술은 환자의 몸에 2~4개의 구멍을 뚫어 수술용 카메라와 로봇 팔을 몸속에 집어넣은 다음 외부 조종석에 앉은 의사가 3차원 영상을 통해 원격 조작하는 수술이다. 국내에도 대형병원을 중심으로 다빈치 로봇의 도입이 빠르게 확산되고 있다.

이렇게 얻어진 정보에는 환자의 정상적인 조직과 병변이 있는 조직을 구분할 수 있는 3차원 정보가 포함된다. 때로는 의도적으로 만들어진 특징지표를 포함시켜 수술 시 환자와 영상정보간의 상대적인 위치를 맞추는데 활용되기도 한다. 다양한 영상장치를 이용하여 얻은 의료영상은 영상처리 소프트웨어를 이용하여 3차원 형상정보로 변환되고, 의사들이 필요로 하는 정보를 보여주도록 처리된다. 이러한 정보들을 이용하여 환자의 상태를 진단하고, 치료나 수술 계획을 수립하며, 실제 수술 전에 시뮬레이션을 해 보는데 이용되기도 한다. 또한 로봇을 이용하여 수술하는 경우 수술 로봇의 프로그래밍을 하는 전용 소프트웨어와 연계할 수도 있다.

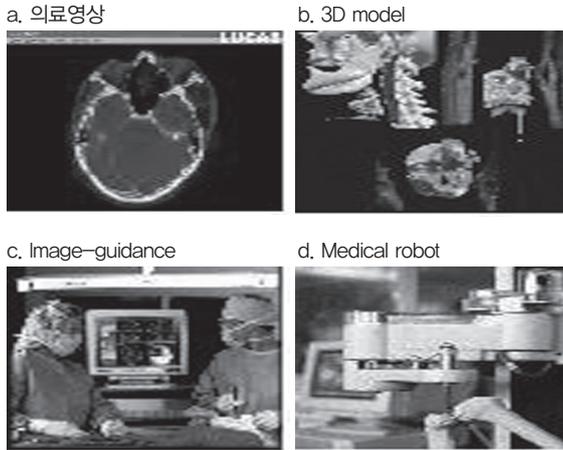
수술의 정확도와 정밀도를 향상시킨 컴퓨터를 이용한 수술 지원 기술

실제 수술 중 CAS가 활용되는 과정을 수술 네비게이션(surgical navigation)이라 부른다. 수술 네비게이션은 의사와 수술 장비(또는 로봇) 간의 상호동작으로 구성된다. 수술 네비게이션은 수술 과정에 의사가 개입되는 정도에 따라 크게 자동 수술(supervisory controlled), 원격 수술(telesurgical) 및 로봇보조(shared-control) 수술의 3가지 형태로 구분된다.

자동 수술에서는 수술 전에 미리 프로그램 된 대로 수술 과정이 로봇에 의해 자동으로 실행된다. 원격 수술에서는 의사가 로봇을 조작한다. 로봇보조 수술에서는 로봇이 의사의 손동작을 견고케 도와주고 방향을 가이드해주며, 위험상황에 대처하는 역할을 한다. 이밖에 로봇을 이용하는 것은 아니지만 수술 과정 중 실시간으로

획득하는 영상정보를 이용하여 수술하는 영상유도 수술(Image-guided surgery)도 있다<그림 2-6>.

| <그림 2-6> |



CAS는 새로운 수술에 적용되기도 하지만, 기존 수술 분야들을 대체하기도 한다. 뇌수술 분야에서는 1980년대부터 원격 조정장치가 쓰이기 시작했는데, 이 장치는 의사의 손 떨림을 10배로 보정해주면서, 뇌수술의 정확도와 정밀도를 향상시켰다. 이 기술은 최소침습 수술(Minimally-invasive surgery)²⁷⁾의 기반을 제공했고, 수술 후 예후를 크게 향상시키는데 기여하였다.

CAS는 복잡한 구조와 많은 신경 및 혈관이 있어 정밀한 수술이 요구되는 이비인후과에서도 많이 활용된다. 정확한 해부학적 각도와

27) 최소침습 수술이란 수술 절개부위를 최소화해 시행하는 수술로, 절개부위가 작아 흉터나 후유증이 거의 없고 회복이 빠른 장점이 있다.

위치 보정을 요구하는 정형외과에서는 로봇 수술과 영상유도 수술이 많이 쓰인다. 일반외과나 비뇨기과, 흉부외과 분야에서는 내시경을 이용한 최소침습 수술이 많이 활용되고 있다. 최근에는 내시경 수술이 개복 수술의 비율을 훨씬 웃돌고 있다. 내시경 수술에 로봇이 도입되기도 하는데 다빈치 로봇이 대표적인 예이다. 사이버나이프나 하이프(HIFU)를 이용한 비침습 수술도 최근 암치료나 담석, 신장결석 제거 등에 활용되고 있다.

수술부위의 최소화 및 정확화를 위한 기술개발이 관건

CAS 분야의 연구들은 현재 사용되고 있는 시스템의 문제점을 해결방안과 새로운 프로세스 및 이와 관련된 시스템을 개발에 초점을 맞추고 있다. 전체적인 관심방향은 첫째, 어떻게 하면 수술부위를 정확하게 찾아갈 것인가, 둘째, 어떻게 하면 의료영상을 잘 활용하여 정확한 수술을 할 수 있을 것인가, 셋째, 어떻게 하면 절개를 최소화할 수 있을 것인가 라는 문제에 있다.

더불어 최근 의료분야에 있어 다양한 기술들의 응용이 이루어지고 있다. 로봇 수술이나, 복강경 수술에서 싱글포트, 프랙서블 튜브를 이용한 수술, 노츠 사례 등이 연구되고 있고, 내시경 수술과 영상유도 수술을 결합한 수술방법, 증강현실을 이용한 수술방법 등도 있다. 우선, 복강경 수술 분야에서는 단일경로 수술(Single Port Surgery)을 로봇화하기 위한 차세대 수술로봇에 대한 연구가 진행되고 있다. 올림푸스를 주축으로 하는 LESS(Laparo-Endoscopic Single-Site Surgery), 코비디엔을 주축으로 하는 SILS(Single Incision Laparoscopic Surgery) 등의 연구가 있으며, 대표적인 1

세대 수술로봇인 다빈치 로봇을 개발한 Intuitive Surgical사에서
도 단일경로 수술 로봇 시제품을 개발하고 있다.

또한 노츠(NOTES, Natural Orifice Transluminal Endoscopic
Surgery)에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 노츠는 입, 항문,
비강 등 인체의 자연개구부를 통하여 내시경과 수술 툴을 삽입하여
행하는 수술이다<그림 2-7>. ²⁸⁾

| <그림 2-7> |

a. Single port surgery



b. 직장을 통한 NOTES 담낭 절제술

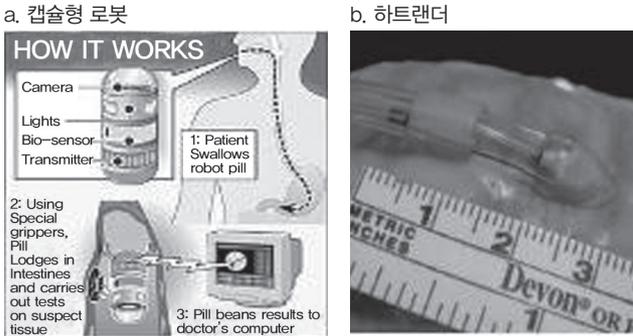


캡슐형 내시경 또는 캡슐형 수술로봇 기술의 개발도 활발하다.
EU에서는 약 180만 파운드의 자금을 투입하여 캡슐형 내시경 카메라
기술에 기초한 로봇을 개발하고 있으며, 미국의 카네기 멜론대는
심장병 환자의 가슴 속에서 심장의 표면을 기어 다니면서 치료를

28) 노츠는 피부절개가 없는 최소침습 수술이기 때문에 기존 외과 수술의 합병증인 유착
이나 탈장의 위험성이 매우 낮으며 회복기간이 짧고 피부에 흉터가 남지 않아 미용
측면에서의 이점이 뛰어나다. 그러나 흉터를 남기지 않기 위해 정상적인 장기를 천공
해야하며, 위, 직장, 질 등에 조성한 통로를 누출 없이 봉합하는 방법과 복강 내 감염
의 문제 등은 추가적인 연구개발이 필요한 과제이다. 견고한 내시경 및 수술도구의 개
발, 절개창의 봉합을 위한 도구의 개발도 노츠의 실용화를 위한 해결과제이다.

수행하는 에벌레를 닮은 로봇 장치(하트랜더)를 개발하고 있다(그림 2-8).

| <그림 2-8> |



또한 증강현실(augmented reality, AR)²⁹⁾ 기술을 수술에 사용하기 위한 연구도 활발히 진행되고 있다. 내시경 영상을 보정해 주고, 영상정보와 실제 환자의 위치정보를 일치시키기 위한 레지스트레이션 기술 등을 개발하기 위해 노력하고 있다. 미국의 존스 홉킨스 대학에서는 자기공명 영상 정합(MRI image overlay 2D) 기술을 바탕으로 한 바늘 삽입 유도(needle insertion guide) 기술을 개발하고 있다. 영국의 Imperial College London에서는 최소침습 수술을 위한 3차원 변형 측정(3D deformation)기술, 영상유도(image guidance)기술, 증강현실기술 기반 의학적 개입

29) 증강현실 기술은 현실세계에 실시간으로 가상정보를 결합하여 보여주는 기술로, 1990년 보잉의 톰 코델(Tom Caudell)이 항공기 전선 조립 과정의 가상이미지를 실제 화면에 중첩시켜 설명하면서 '증강현실'이라는 용어를 최초로 사용하였다. 의료 분야에서는 의사에게 수술 중인 환자의 정보나 상태, 수술 부위의 정확한 위치를 실시간으로 형상화시켜 보여주는 기술이 응용된다.

(medical intervention)기술을 개발하여 다빈치 수술 로봇 기반의 초음파 영상에 inverse realism을 적용하는 방법 등도 연구하고 있다.

CAS 시스템 시장은 2015년 22억 달러를 넘어설 전망

BCC Research가 2011년 10월 발행한 ‘의료용 로봇 및 컴퓨터 지원 수술 : 세계 시장’ 보고서에서, 세계 의료용 로봇 및 컴퓨터 기반 수술(MACAS) 장비 시장이 2010년 약 20억달러 규모를 기록했고, 2011~2016년 사이에 연평균성장률 11.1%, 2016년에 36억 달러 규모에 도달할 것으로 전망하고 있다. 미국은 세계 MRCAS 시장의 3분의 2 이상을 점유하고 있고, 유럽은 세계 MRCAS 시장의 약 4분의 1을 점유하고 있으며, 아시아·태평양 지역은 가장 빠르게 성장하고 있는 시장으로 2011~2016년 사이에 약 17%의 성장률을 기록할 전망이다.

한편, Global Industry Analysts사의 전망에 따르면 2010년 세계 Computer Assisted Surgical(CAS) 시스템 시장은 13억 달러로 추산, 연간 9.1%정도 성장하여 2015년에는 22억 6천만 달러에 이를 것으로 예측했다.

현재 우리나라 의료용 로봇은 도입단계로서 수입시장은 급성장하고 있으며 국민들의 관심도 높아지고 있다. 국내시장 규모는 2015년에 약 1조 2천억원 정도로 예측되고 있다.³⁰⁾

30) 한국로봇산업진흥원, 로봇융합 방안 및 시장창출 전략, 2010

의료용 로봇 기술력 확보를 위한 임상전문가와와의 협력연구 강화가 중요

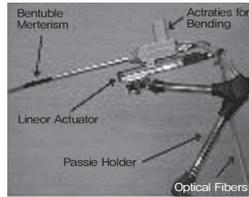
국내 의료 로봇 기술개발은 시장확대와 함께 성장하고 있다. 국내기업인 큐렉소사는 로보닥을 계속 발전시키는 연구를 진행 중이다. 2012년에는 자체 기술을 적용해 무릎 부위 절개 부위를 대폭 줄이는 '업그레이드 버전'의 로보닥을 상용화할 예정이다. 또한 특수 센서로 자궁 내 압력에 맞는 공기압을 불어넣어 출산 시간을 대폭 단축시키는 출산보조 로봇 '베이다' 시제품도 개발하고 있다. 더불어 국내 대학 및 연구소에서는 CAS 관련된 다양한 기술을 개발하고 있다. 최근 국립암센터에서는 초소형 복강경 수술 로봇 시스템 프로토타입을 개발하였다. KAIST의 텔레로보틱스 및 제어연구실에서는 미세수술용 원격수술 로봇시스템과 내시경 형태의 고관절 전치환 수술 로봇 ARTHROBOT을 개발하여 임상시험까지 수행한 바 있으며, 내시경시술과정을 연습할 수 있는 내시경 시뮬레이터 기술을 개발하고 있다<그림 2-9>.

| <그림 2-9> |

a. 국립암센터의 NOTES 수술로봇



b. KAIST의 수술보조로봇



c. 수술로봇시스템



KIST에서는 캡슐형 내시경 미로를 개발하여 KFDA 공인을 받고 상용화한 경험이 있으며, 자율주행이 가능한 새로운 내시경을

개발 중에 있다. 의료시뮬레이션 분야에서 햅틱기술 및 변형체모델링 기술을 활용한 복강경수술 시뮬레이터(NT리서치, 큐빅테크 공동 개발), 정맥주사 시뮬레이터, 치과 시뮬레이터를 개발하여 상용화를 추진하고 있다. 또한 전남대학교에서는 혈관 내에서 수영 가능한 형태의 로봇인 마이크로 로봇을 개발하고 있다<그림 2-10>.

| <그림 2-10> |

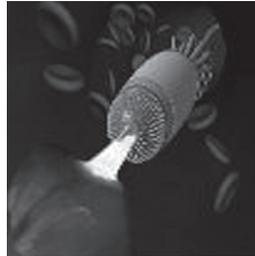
a. KIST의 먹는 내시경



b. KIST 복강경수술 시뮬레이터



c. 전남대 혈관치료 로봇



의료로봇 기술 수준은 하드웨어 분야에서는 일본이 경쟁력이 가장 높으며, 소프트웨어 분야에서는 미국이 앞서나가고 있고, 독일은 하드웨어 및 소프트웨어 분야에서 동시에 상당한 연구 개발 능력을 보유하고 있어서 앞으로는 이들 세 나라가 의료용 로봇 시장의 선두 주자로 나설 것으로 예상된다. 산업연구원 조사에 따르면 국내 로봇산업의 기술은 기술항목에 따라 다소 차이를 보이고 있으나, 제조업용 로봇의 경우는 최고 기술 보유국 대비 평균 85% 정도에 육박하고 있으며, 전문서비스용 로봇의 경우는 80%, 개인 서비스용 로봇은 84%에 이르고 있는 것으로 나타났다.

의료용 로봇 분야에서는 선두주자인 미국의 기술력을 100이라고

봤을 때 현재 우리나라는 70% 정도이며, 2015년이 지나야 100% 수준에 도달할 것으로 전망했다.³¹⁾

KIST는 의료시뮬레이션, 의료영상, 재활로봇 등의 연구경험을 활용하는 경우 국내 기술개발에서 중요한 역할을 할 수 있을 것이다. 2011년 조직개편에 의하여 의공학연구소가 생기고, 바이오닉스연구단이 생겨 필요한 인력들이 함께 일할 수 있는 환경이 조성되었다. 선도기술로 뇌수술에 대한 연구가 시작되었으며, 하버드 의대, 인천 성모병원과의 협력관계도 구축되었다.

KIST는 2012년에 기존에 축적된 기술을 활용하고, 하버드대학을 포함한 국내외 연구팀과의 협력을 강화하여 핵심원천기술 확보에 노력할 것이다. 원격제어장치에서 세밀한 수술동작을 제어하기 위한 구동범위 스케일링 기술, 무지연 제어 기술, 햅틱 제어 기술의 개발은 KIST가 그동안 휴머노이드나 서비스 로봇 개발을 통하여 확보된 기술을 활용할 수 있는 분야이다. 하버드대학의 의료영상융합 기술을 이용한 3차원 모델링 기술과 KIST의 변형체 모델링 기술, 영상정합 및 추적 기술이 결합될 경우 경쟁력 있는 네비게이션 및 가시화 기술을 확보할 수 있을 것이다.

또한 바이오닉스 연구팀의 강점 분야인 수술 중 초소형 센서를 이용하여 압력, 힘, 산소량 등을 측정할 수 있는 기술은 수술 중 발생할 수 있는 위험요소를 조기에 판단할 수 있는 기술이 될 것이다. KIST는 향후 CAS 원천기술을 확보하고 임상 의들과의 협력을 통하여 실용성 높은 연구를 추진할 예정이다. 또한 CAS 분야의 경험이

31) 한국로봇산업진흥원, 로봇융합 방안 및 시장창출 전략, 2010

많은 국내외 연구팀, 기업, 병원과의 협력을 통하여 국가적인 대형 과제를 도출하고, 국내 CAS 분야 연구를 주도할 수 있는 연구팀을 육성해 나갈 방침이다.

- 로봇지원 수술 기술은 수술시간과 수술에 투입되는 보조 인력을 줄이고, 수술에 필요한 혈액의 공급량도 줄여준다. 또한 장시간 수술의 경우 의사의 피로도를 줄여 수술의 성공률을 높여주며, 재활에 필요한 기간의 단축, 병원 입원 시간을 줄여 막대한 사회적인 비용의 감소 효과를 가져온다.
- 때문에 CAS 기술은 국가적인 차원에서 중점적으로 연구개발해야 할 기술로 임상과 연계하여 최소 5년 이상 장기적인 연구를 추진할 수 있도록 연구팀이나 연구기관에 대한 중장기적인 연구비 지원이 요구된다. 또한 제도 정비와 보완과 함께 기술규격이나 표준의 정비, 새로운 수술 방법에 대한 훈련 프로그램의 마련, 의료보험 적용 등도 요구된다.
- 부가가치가 높은 전략산업인 의료로봇시장에서 확고한 위상을 차지하기 위해서는 원천기술의 확보가 필수적이다. 또한 임상적으로 의미가 있는 연구 개발을 위하여 의료기관과 연구기관간의 협력연구가 필요하다.



IT기반 재활 및 보조기기 기술

우리나라를 포함하여 대부분의 선진국들이 2026년을 전후로 초고령사회(65세 이상 인구가 총 인구의 20% 이상)로 진입할 것으로 예상되며, 2050년에는 우리나라가 세계에서 가장 노인인구가 많은 국가가 될 것으로 전망된다. 노년층의 증가와 함께 치매, 뇌졸중 등의 노인성 질환으로 인한 인지, 운동장애 환자가 급속히 증가하고 있고 향후 가속될 것으로 예상된다.

인지기능장애는 뇌 질환 후 사회로 복귀하는데 가장 큰 걸림돌이 되는 장애로, 재활치료 프로그램에 대한 참여 의욕과 동기 및 운동기능의 습득 능력에 영향을 미친다.

따라서 성공적인 재활치료를 위해서는 질환 초기부터 정확한 인지기능의 평가와 치료가 필요하다. 인지재활 과정은 뇌 손상이나 뇌 질환 후 환자 개개인이 보이는 구체적인 인지결함의 유형 즉,

주의집중, 기억, 지각, 언어, 시공간 능력, 이해 및 판단, 추론, 관리기능, 문제해결 능력 등의 결함을 파악, 필요한 정보를 반복 학습하거나 여러 가지 보조도구, 자료, 컴퓨터 프로그램을 이용 다양한 인지전략을 가르치는 것이다.

일반적으로 인지장애와 함께 발생하는 것이 운동장애이다. 운동장애를 치료하기 위한 운동기능 재활 과정을 보다 효과적으로 수행하기 위하여, 옷처럼 착용한 상태에서 자신의 움직임을 이용하여 로봇을 제어할 수 있는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 착용상태에서 자신의 움직임으로 직접 로봇을 제어하고 그 움직임을 시각과 체감으로 바로 확인할 수 있어 기존의 로봇제어방식 보다는 직관적이고 능동적인 방법이라고 할 수 있다.

뇌병변 혹은 외상으로 전부 혹은 일부 운동 및 인지 기능을 상실한 환자의 재활을 돕기 위하여 로봇, 정보통신기술(ICT), 컴퓨터 그래픽스 등을 융합한 다양한 착용형 형태의 로봇시스템도 개발되고 있다.

치매 예방차원의 인지훈련

미국, 일본 등지에서는 여러 연령층을 대상으로 인지기능 향상을 목적으로 하는 다양한 약물 및 온라인 교육훈련, IT 기반 소프트웨어가 제공 및 판매되고 있다. 소프트웨어 솔루션은 게임과 연계되고 있어 인지능력 향상이 여가 활동 서비스와도 결합되고 있는 추세이다. 브레인 리소스 센터는 앞선 건강 심리학과 응용 신경과학을 보유하고 심리학적, 정서적, 인지적 건강을 이루는데 중요한 요소로 작용하는 뇌기능을 향상시키는데 목적이 있다<그림 2-11>.

| <그림 2-11> 포짓 사이언스와 브레인 리소스 센터 |

a. 포짓 사이언스(Posit Science)]



b. (우) 브레인 리소스 센터
(Brain Resource Center)



루모스 랩(Lumos Labs)은 인지 신경과학 연구를 수행하며 동시에 뇌건강과 수행능력의 증진에 관한 소프트웨어 툴을 개발하는 회사이다. 루모시티(Lumosity)는 루모스 랩의 첫 번째 두뇌 체조(brain fitness) 프로그램으로 다양한 인지력 트레이닝 서비스를 지속적으로 제공하고 있다. 대부분의 서비스는 정보처리능력, 기억력 등 13가지 하위 도메인(sub-domain)에 대해 5가지 영역에서 측정할 수 있다. 한 달 사이트 방문 100만 명 이상으로 미국 내 5,000대 사이트로 선정되었다. 일본 닌텐도(Nintendo)사는 PC기반의 인지력 테스트 시스템과 두뇌 활성화 프로그램을 게임형식으로 제공하고 있다. 닌텐도에서는 6,000건 이상 진단사례 DB를 보유하고 있으며, 95건 이상의 인지 관련 실험을 추진하였다.

NDS와 Wii 등의 게임 단말기를 개발/발매하고 있으며 여러 개의 두뇌 활성화 프로그램을 출시하였다. 특히, 2009년 3월 두뇌 나이(Brain Age)는 5천5백만 카피 이상 판매되었다. 국내의 경우 이러닝 게임 시장을 위주로 인지능력 향상 콘텐츠가 개발/제공되고 있으며, 인지력 향상 시장은 주로 초중고 학생들의 영어/한자 단어

암기, 수리능력 향상 등 학습 관련 분야로 인식되고 있는 실정이다. 또한 KIST에서는 노인의 인지능력 퇴행방지를 위해 로봇과 게임 콘텐츠를 결합한 인지게임을 개발하였다. 물건기억, 숫자기억, 토막 맞추기, 같은 그림 찾기, 숫자계산의 인지게임을 개발하고 로봇을 통해 보다 재미있게 사용자가 즐길 수 있는 환경을 제공하였다.

2002년에는 보건복지부에서 지원하고 서울대 의과대학과 (주)아이젠텍에서 수행한 “한국형 치매 선별 도구 제작 및 프로그램화” 프로젝트의 결과물로 DeSKo(Dementia Screening for Korean) 프로그램이 개발되기도 하였다<그림 2-12>.

| <그림 2-12> |

a. (좌) 인지능력 퇴행방지를 위한 5가지 인지게임 b. (우) Dementia Screening for Korean



코코모(Cocomo)는 KIST, 분당서울대병원, 한림대, 프림포(주)가 공동 개발한 인지측정 도구로, 장노년의 인지장애를 조기에 발견하여 치매를 예방하기 위해 7개의 인지영역별로 정규화된 Norm DB를 구축하고 이를 기반으로 임상적으로 유의미한 선별도구인 인지능력 측정 및 평가를 수행할 수 있다<그림 2-13>.

| <그림 2-13> Cocomo |



프림포(주)에서는 노인의 정신 및 육체 활동의 활성화를 위한 체험형 실내 가상 게이트볼 게임과 치매예방 게임인 스피드터치를 개발했다. 브레인터치는 기존의 뇌능력 활성화 게임이 전두엽 또는 판단력에 중점을 둔 것에 비해, 의학적으로 구분되는 뇌의 9가지 기능을 모두 포함하는 기억력, 방향감각, 언어력, 수행능력으로 구분하고 치매 예방에 도움을 줄 수 있는 뇌 기능의 향상 및 강화에 중점을 두어 제작되었다<그림 2-14>.

| <그림 2-14> Gate Touch / Speed Touch / Brain Touch |



로봇, 컴퓨터게임, 컴퓨터그래픽스 기술의 융합을 통한 상지 운동 재활로봇의 등장

운동을 통한 재활분야는 인체를 기준으로 상지와 하지 재활로봇으로 나눌 수 있다. 물론 뇌졸중과 같은 뇌병변에 의한 장애는 상, 하지의 운동기능 장애가 동시에 발생하는 것이 일반적이다.

따라서 상, 하지 각각의 운동기능 회복을 위하여 근력보조 기능에 기초한 재활치료로봇 및 기기의 개발이 이루어지고 있다.

상지로봇 분야에서는 이미 상용화를 이루어 적극적인 마케팅을 전개하고 있는 스위스의 Hocoma사가 있다. Hocoma사는 “Armeo”시리즈를 개발하여 팔(상지)의 운동기능에 장애가 있는 환자의 재활을 위한 기기를 개발하여 일부를 시판 중이다. 환자의 운동기능 장애 정도에 따라 상·중·하로 구분하여 어깨 운동 지원 (arm weight support), 보강 피드백(augmented feedback), 평가 툴(assessment tools), 치료 목적(therapeutic goals)의 4가지 기능을 단계별로 통합한 재활치료 서비스를 제공하고 있다(그림 2-15).

| <그림 2-15> 상용화된 상지운동 재활로봇 (HOCOMA사, 스위스) |

a. Armeo Power



b. Armeo Spring



c. Armeo Boom



또한 미국 MIT에서는 팔꿈치를 보조하고 신경기능을 향상시킬 목적으로 양팔 착용형 기기인 “묘모(Myomo)³²⁾”를 개발하였다. 뇌에서 근육을 움직이기 위한 신호를 보내면, 센서가 사용자 근육의 EMG(근전도) 신호를 감지하고 보조기에 명령신호를 보내어 구동하는 방식이다. 일본 Panasonic사는 공압식 인공근육을 사용하여 팔근력을 보조할 수 있는 시스템 “상지 재활 슈트(upper limb rehabilitation suit)”를 개발하였다. 상지 재활 슈트를 이용하여 인체의 근육 움직임을 검출하고 그 움직임에 따라 상지의 굽힘(flexion)과 신전(extension)을 할 수 있다. 액티브링크(Activelink)라는 자회사를 설립하여 2009년부터 판매할 예정이었으나 제품화 되지는 못했다<그림 2-16 a, b>.

| <그림 2-16> 연구 개발 중인 상지운동 재활로봇 및 보조기기 |

a. Myomo (MIT, 미국)



b. Upper Limb Rehabilitation Suit (Panasonic사, 일본)



c. ARMin (ETHZ, 스위스)



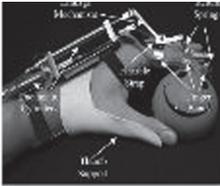
스위스의 ETHZ사는 뇌졸중 환자들에게 효과가 있는 arm therapy를 위해 반복적인 운동재활을 수행할 수 있는 “ARMin”을 개발하였다. ARMin은 4DOF(어깨 3DOF, 팔꿈치 1DOF)를 갖고 정상인의 팔 움직임 영역을 고려하여 고안되었다. 현재는 자유도를

32) <http://www.myomo.com/>

추가하여 스위스 Hocoma사의 Armeo시리즈로 개발 중이며, 2012년 시판 예정이(그림 2-16 c). 상지(양팔)뿐 아니라 손가락의 운동 기능 재활을 위한 로봇시스템 개발도 진행되고 있다. 미국 CMU는 물건을 쥐고 펴는 행위를 도와줄 목적으로 착용 가능한 “보조 외골격(orthotic exoskeleton)” 장치를 개발하였다. 엄지에 지지대가 있으며, 사용자의 EMG 신호를 감지해 다른 손가락이 구동된다. 공압식 실린더를 통해 연동되는 링크 메커니즘을 이용하여 손가락의 DIP과 PIP관절을 굽히게 되어 있다(그림 2-17 a).

|(그림 2-17) 연구 개발 중인 손가락 운동기능 재활시스템 |

a. Hand Exoskeleton (CMU, 미국)



b. Hand Mentor and Foot Mentor (Kinetic Muscle Inc., 미국)



c. Rutgers Master (Rutgers Univ., 미국)



공압식 인공근육을 사용하는 유사한 재활기기로 미국 키네틱 머슬사의 손목 및 발목용 “멘토(Mentor)”가 있다(그림 2-17 b). 손목용 멘토는 1개의 공압식 인공근육을 사용하여 손목을 당기는 역할을 한다. 손가락의 독립적인 재활훈련은 불가능하지만, 이중 링크 메커니즘을 사용하여 손목과 손가락의 신전 훈련이 동시에 가능하다. 유사한 기능을 발과 발목의 반복적인 운동에 적용한 발목용 발 멘토도 개발하였다. 미국 럿거스 대학은 뇌졸중 환자의 엄지와 검지, 중지, 약지의 신전과 쥐는 동작의 훈련이 가능한 “럿거스 마스터 II (Rutgers master II)”를 개발하였다(그림 2-17 c). 이는 공

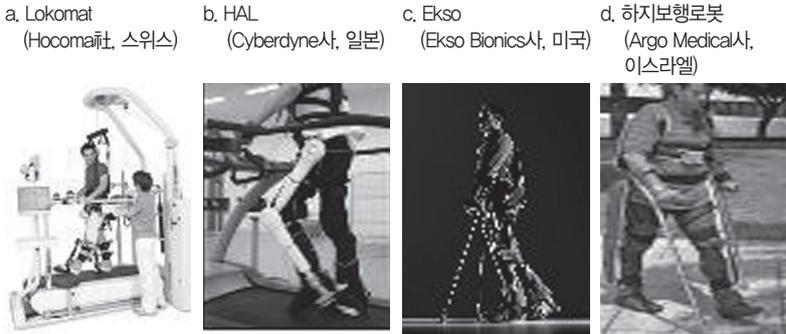
압식 실린더를 사용하였고 구동기 내에 인터페이스용 센서가 장착되어 있어 피스톤의 이동거리를 측정할 수 있다. 또한 홀센서를 사용하였고, 구부리기(flexion), 외전/내전(abduction/adduction)이 가능하다. 최대 발생 힘은 16N이며, 무게는 80g으로 가볍게 설계되었다.

운동의도 인지 및 피드백을 통한 자기주도방식 하지운동 재활 로봇

하지 운동기능 재활을 위한 착용형 로봇에 대한 연구는 학계 및 일부 회사를 중심으로 개발 중에 있으나, 상지 재활로봇에 비해 상대적으로 소규모이다. 하지마비 환자의 보조기기로 널리 사용되고 있는 “RGO(Reciprocating Gait Orthosis)”에 동력전달기능을 추가한 형태의 로봇기술 및 ICT 기술을 접목하는 연구가 일반적이며, 일부는 상용화되어 시판 중에 있다. 스위스 Hocoma사의 “로코 매트(LOKOMAT)”는 성인용과 아동용으로 개발되어 현재 시판되고 있는 유일한 보행재활치료용 로봇이다. 척추외상(SCI), 뇌졸중(stroke), 뇌성마비(cerebral paralysis)뿐 아니라 기타 신경학적 손상에 의해 보행이 불가능하거나 불완전한 환자의 치료에 사용되고 있다. 일본 Cyberdyne사는 운동기능이 정상인 사람의 전신 근력 증강용으로 “HAL(Hybrid Assisted Limb)”을 최초 개발하여 2008년도부터 일본 내 리스형식으로 판매하기 시작했다. 시스템을 착용한 사람의 인체 부위 중에 EMG 신호가 가장 강하게 발생하는 부위를 실험을 통해 찾아내어 모터와 연동시켜 구동하는 방식을 택하였다. 보통 체격의 성인이 착용할 경우 약 100Kg의 물건을 들어

움길 수 있다. 2009년부터는 보행 장애인을 위한 재활기능을 추가한다고 발표하였고, 현재 임상시험이 진행 중이다<그림 2-18 a, b>.

| <그림 2-18> 상용화된 하지운동 재활로봇시스템 |



미국 Ekso Bionics사는 2011년 목발을 사용하여 현실적으로 안정성을 보장할 수 있는 보행보조로봇 “Ekso”를 개발하였다<그림 2-15 c>. 외상에 의한 척수손상(Spinal Cord Injury) 환자를 대상으로 하는 보행보조로봇이다. 그러나 이 로봇은 신체 신호를 이용하지 않으며 뇌졸중 등과 같은 뇌병변환자를 직접적 대상으로 하지는 않았다. 이스라엘의 Argo Medical사에서는 2008년 5월 휠체어 사용 척수환자를 보조하여 보행이 가능하게 하는 착용형 로봇시스템 시제품을 공개했다. 2010년 양산 목표로 상용화 계획을 발표하였으나 현재까지 실제 시판은 되고 있지 않다<그림 2-18 d>.

스위스 EPFL의 LSRO 연구실은 상체부양 및 하지 착용방식의 보행훈련로봇시스템인 “워크트레이너(WalkTrainer)”를 개발하여 런닝 머신(treadmill)이 아닌 일반 바닥에서도 보행훈련이 가능하도록 하였다. 자연스러운 보행을 위해서 골반의 움직임을 자유도로

구현하고 내딛을 때, 발목을 보다 편안하게 해주는 메커니즘도 추가했다. 또한, “워크트레이너”를 사용하기 이전 상태에서 FES (Functional Electric Stimulator) 연동을 통해 다리 근육의 Warm-up 및 훈련 모니터링 기능을 갖춘 “모션메이커(MotionMaker)”도 개발하였는데, 2012년 상용화 예정으로 알려져 있다(그림 2-19 a).

미국 델라웨어주립대는 뇌졸중 환자들의 보행 훈련을 위한 “ALEX(Active Leg Exoskeleton)”시스템의 프로토타입을 개발했다. ALEX는 3자유도의 허리운동이 가능하고 다리 당 4개의 자유도의 구조를 갖는다. 최초 모델은 편마비 환자를 위한 한 쪽 다리 착용형으로 개발되었지만 현재는 양 쪽 다리 모두 착용 가능한 형태로 개발 중이다(그림 2-19 b).

| <그림 2-19> 연구 개발 중인 하지운동재활 로봇시스템 |

a. MotionMaker/ WalkTrainer
(EPFL, 스위스)



b. ALEX
(Univ. of Delaware, 미국)



c. Patient Assist Robot
(TOYOTA사, 일본)



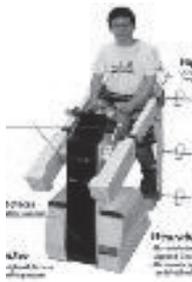
일본 TOYOTA는 2011년 보행장애인을 위한 보행보조로봇을 개발하였다(그림 2-19 c). 소아마비 등의 장애를 갖는 환자에게 근력보조를 통해 보행을 보조하는 기능을 제공한다. 그러나 다양한 보

행장애에 대한 치료 혹은 훈련용으로는 부족한 것으로 알려져 있다.

국내에서도 착용방식의 근력증강용 로봇시스템의 연구가 일부 학계 및 연구소를 중심으로 진행되었다. 서강대에서는 하지착용 방식의 노약자 및 환자용 보행보조 시스템을 개발하였다(그림 2-20 a). 모터, 배터리 등의 주변기기를 캐스터 워커에 장착하고 이를 양 팔로 밀고갈 수 있는 구조로 되어 있다. 하지 착용장비는 캐스터 워크와 연결되어 있고 발바닥의 센서 정보를 이용하여 보행보조 동작을 생성해 주도록 되어있다.

| <그림 2-20> 국내 개발 중인 하지운동재활 로봇시스템 |

a. 보행 보조기 (서강대)



b. Walkbot (피앤에스미캐닉스)



국내에서 개발된 유일한 하지 재활로봇은 피앤에스미캐닉스사와 연세대가 공동 개발한 “워크봇(Walkbot)”이 있다(그림 2-20 b). 발목관절에 굴곡형 구동장치를 추가 장착하여 스위스 Hocoma사의 로코매트에 비해 보다 자연스런 보행이 가능하도록 하였다. 현재 임상시험과 KFDA의 품목허가는 받았으나, 시판되고 있지는 않고 있으며, 아동용 버전을 개발하고 있는 것으로 알려져 있다.

폭발적 잠재력을 보유한 재활로봇 시장

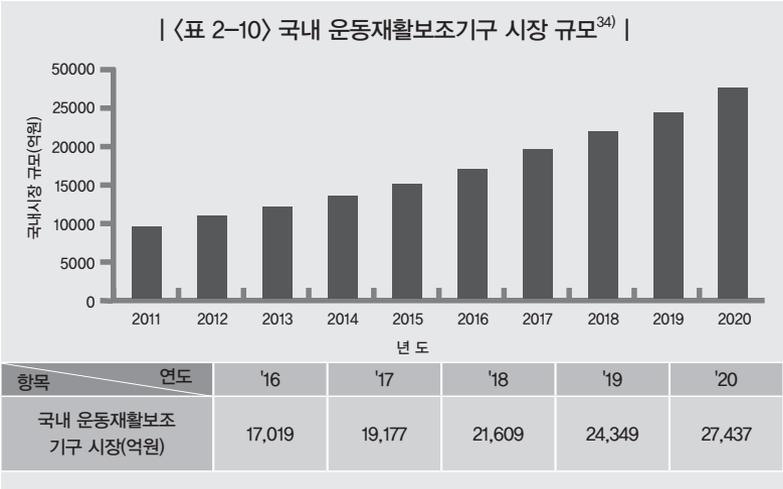
인지능력 향상 서비스 산업과 관련하여 미국의 경우 IT와 인지 기술(CT)를 결합한 두뇌 체조 소프트웨어(brain fitness software)의 시장이 형성되어 있는데, 2007년의 2억 2천 5백만 달러이던 시장 규모가 2008년에 2억 6천 5백만 달러로 증가하였고, 2015년까지 10억~50억 달러의 수입³³⁾이 예상된다. 국내 IT 기반 인지능력 향상 기술 시장은 기능성 게임 및 e-learning 시장으로 구성되어 있으며 2011년 9,452억원, 2020년 1조 9,373억원 규모로 추정된다.

또한 상·하지 재활로봇으로 유일하게 상용화에 성공한 스위스의 Hocoma사는 지금까지 약 300여대의 하지 재활로봇 “로코매트”을 판매한 것으로 알려져 있다. 국내에는 삼성병원, 서울재활병원, 연대세브란스에 3대가 도입되어 운용 중이다. 이미 유럽의 재활병원에서는 임상 적용결과를 계속하여 발표하고 있다.

재활로봇 자체만의 시장은 작은 규모이지만 역설적으로 전혀 개척되지 않은 시장으로 남아있어 시장 확대가 가능하다고 할 수 있다. 국내의 경우 지속적인 장애인수 증가와 빠른 노령화 속도에 따라 전체적인 재활 기기 관련 시장도 지속적으로 성장할 것으로 예상된다. 국내 시판되고 있는 재활치료 로봇은 없지만 재활기기의 고급화에 대한 요구는 매우 높다. 이러한 측면에서 인간-로봇 인터페이스 기술을 이용하여 단순한 신체 보조 기능뿐 아니라 치료기능을 겸비한 재활로봇의 신규 시장 창출이 충분히 가능할 것으로 전망된다. <표 2-10>는 국내보조기구의 시장규모를 보여주고 있고, 2020년까지 약 2조 7천억원 규모의 시장이 형성될 것으로 판단

33) The State of the Brain Fitness Software Market 2009, The Redshark Group

된다. 이 중 최소 10% 정도의 시장을 재활로봇에 할당한다면, 약 3천억원 정도의 재활로봇 시장을 예상할 수 있다.



임상실험을 위한 의료진과의 체계적 협력이 필수

새로운 치료법들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 중 비침습적 BCI를 이용한 인지문제의 조기 발견 및 뉴로피드백을 통한 치료법이 가장 주목받고 있다. KIST에서는 이러한 추세에 대응하기 위해 2012년 현재 인터랙티브 테이블 기반의 새로운 인지 치료 시스템과 자폐아동 치료를 위한 인지로봇 기술을 개발 중에 있다. 멀티모달 장치 및 로봇기반 치료(robot-based therapy)의 개발을 통해 인지치료사들이 인지장애 환자들을 직접 치료하는데 따르는 부담을 줄일 수 있고, 환자에게 보다 쉽게 치료에 참여할 수

34) '우리나라 보조공학 산업발전을 위한 우선과제와 발전 방안'을 이용하여 추정 (김경훈, '06.9.20)

있도록 하여 치매가 진행된 환자나 자폐 등의 어린이 환자에게 적용될 때 효과적으로 사용될 것으로 기대된다.

운동재활 분야에서는 환자의 재활의지를 충분히 반영하기 위한 환자주도형 운동재활 기술이 개발 중에 있다. 로봇으로부터의 근력을 보조받는 차원을 넘어 환자의 움직임 의도를 생체신호에 반영하고 운동 중의 뇌파를 포함한 생체신호를 다시 피드백 시켜 생각과 운동이 연계된 재활로봇을 개발하는 것이 목표이다. 2012년에는 “한국형 하지운동 재활로봇” 개발에 집중하여 임상적용이 가능한 수준의 시스템 신뢰성을 확보, 조기 임상실험단계로 진입하여 활용성을 입증 받는 것이 최우선 과제이다. 이 과정에서 임상실험을 위한 의료진과의 체계적인 협력과정이 필요하다.

● 최근 체험형 플랫폼을 기반으로 하는 인지재활 연구, 경두개 자기자극 치료법, BC(Brain-Computer Interface)를 이용한 뉴로피드백 인지치료 기술, 인지로봇을 이용한 자폐치료 등의 분야들이 연구되고 있다.

● 향후 운동재활뿐 아니라 다양한 인지재활 기능을 추가한 인지-운동 복합형 재활로봇으로 발전할 가능성이 높다. 특히, 고령세대에 가장 큰 장애 원인인 뇌졸중의 경우 인지와 운동장애를 동시에 야기하므로 복합형 재활로봇의 개발이 중요하다. 상지와 하지로 나누어져 개발되고 있는 운동재활로봇은 용도에 따라 분리되어서 계속 개발될 것이며, 이와 함께 상, 하지를 동시에 재활할 수 있는 로봇 또한 시도될 것으로 보인다. 이는 운동재활 효과 역시 유산소 운동을 통해 그리고 환자의 운동의지를 유지하려는 뇌신경재활과 밀접한 관계가 있다는 연구 추세에 근거한다.

● 재활로봇시스템을 통한 새로운 재활치료기술은 신약 개발 못지않게 많은 비용과 시간을 필요로 한다. 한 번 개발된 기술은 또한 10년 이상 장기적으로 사용될 것이고 변경이 매우 어려운 기술이다. 따라서 5년, 10년 단위의 중장기 계획에 따른 지속적인 연구비 지원과 전문 인력 확보가 필요하다.

테라그노시스 | 기술 개발 |



현재의 일반적인 대중 진단·치료 기술은 난치성 질환의 조기 진단이 어려워 질병이 일정 상태 이상 진행 된 후에야 진단 할 수 있으며, 약물 치료 후 치료효과 예후 판별에 시간이 오래 걸리고 분명치 않아 난치성 질환 환자의 호전 및 완전 치료 확률이 높지 않은 실정이다. ‘테라그노시스’ 기술은 난치성 질환의 질병 조기진단 및 효과적인 치료를 동시에 수행하여 환자 맞춤형 치료를 구현할 수 있는 신 개념의 미래지향적 진단·치료 기술로서 ‘분자영상’ 및 ‘나노의학’ 기술의 융·복합 기술이다.

테라그노시스 기술을 이루는 분자영상(molecular imaging) 및 나노의학(nanomedicine) 기술은 21세기 미래 혁신기술로, 바이오·나노 원천소재 개발을 통해 혁신적 진단·치료 테라그노시스 원천기술을 확보한다면 국내 연구역량을 세계적 수준으로 발전시켜

글로벌 경쟁력을 확보할 수 있게 될 것이다. 또한 바이오·나노 융합소재 기반의 테라그노시스 진단·치료 기술이 현실화 될 경우, 난치성 질환의 정확한 조기진단과 이에 따른 분자수준의 효율적인 치료가 가능해지게 된다. 이로 인해 환자들의 삶의 질이 향상되고 국민 보건의 향상이며, 고부가가치 산업인 의약품·보건·의료·진단 등 관련 산업이 급격히 성장할 것으로 전망된다.

| <그림 2-21> 테라그노시스 기술을 통한 질병의 진단 및 치료 |



기초연구, 진단영상기술, 진단치료응용기술개발 등 전 방위적 테라그노시스 연구가 진행 중

현재 테라그노시스의 기술종류 및 분야별 응용현황은 다음과 같다. 첫 번째로, 시스템 생물학 기반³⁵⁾ 장기표적 바이오마커 발굴 (테라그노시스 기초연구)에 디스코이딘(Discoidin) 도메인 수용체 활성의 질환 연관성 규명 및 치료제 개발이 있다.

인산화효소(kinase)는 암이나 면역질환 등의 여러 다양한 난치

35) 시스템생물학(Systems biology)은 생명현상을 복합체로 규정하고 생물학 뿐만 아니라 전산학, 수학, 물리학, 화학 등의 원칙을 사용하여 분석하고 모사 발명하는 것을 목표로 하는 학문이다.

성 질환과 관련되어 있으며, KIST의 연구개발 방향은 디스코이딘 도메인의 메커니즘을 규명하고 이를 이용한 치료제를 개발하여 치료원천기술을 확보하는 것이다.

또한 시스템 생물학 기반 신규 N-terminus 바이오마커 발굴의 경우 기존의 단백질 분해효소의 서열특이성을 분석하는 단백질체 기반의 요소기술을 개발했으나 아직 임상 활용이 불가능한 실정이다. KIST의 연구개발 방향은 N-terminus 프로파일링 핵심기술에 대한 노하우와 기술 최적화를 갖춘 후 임상연구에서 활용이 가능하게 하는 것이다. 한편, 치료제 개발을 위한 단백질 구조 연구의 경우, 단백질 표적물질을 발굴하고 생체 메커니즘을 규명하여 통합적 생물학적 분자들의 상관관계를 이해하고 오믹스/분자영상 융합기술을 도출하는 것이다.

두 번째는, 나노기술을 이용한 세포영상화(테라그노시스 기초 및 진단응용기술) 연구이다. 현재 세포내 단백질과 공존하는 나노입자의 분포 등을 영상화 하기 위한 기반을 확립 중에 있으며, 그 중 KIST의 연구개발 방향은 생체단백질-나노입자 융합물질의 세포내 위치변화 및 구조를 고해상도로 분자영상화 하는 것이다.

한편, 신경막단백질 세로토닌 수용체 결합단백질 상호작용 분석에 관한 연구가 진행되고 있는데, 현재 2000년부터 미국, 유럽, 일본 등 정부의 강력한 투자로 대형 분자영상 및 나노의학 연구센터가 설립되어 다양한 세포 내 현상을 규명하는 연구가 빠르게 진행되고 있다.

KIST의 연구개발 방향은 세포 내 단백질의 거동을 규명하고 질병과의 관계를 밝혀 원천 치료기술을 확보하는 것이다.

세 번째는 테라그노시스 핵심 나노/바이오 융합소재 개발(진단, 치료 응용 기술)이 진행되고 있는데, 폴리머닷 기반 진단/치료 융합소재 개발의 경우 현재 미국 클렘슨대학교에서는 폴리머닷 나노입자를 개발하여 생물학 분야에서 다양한 응용을 시도하여 해외 저명 저널에 10편 이상의 연구결과를 발표하였다. KIST의 연구개발 방향은 폴리머닷을 실제 임상에 적용하여 테라그노시스 기술을 적용할 수 있는 원천 기술을 개발하는 것이다.

융합단백질 기반 진단/치료 융합소재 개발의 경우 현재 Science, Nature Review에 의해 주요 연구분야로 선정될 정도로 자가포식 현상은 중요하며, 선진국을 중심으로 자가포식현상과 질병의 관계를 규명, 이를 이용한 치료제 혹은 치료방법을 개발하고 있다. KIST의 연구개발 방향은 자가포식 현상을 규명하는 새로운 융합단백질 제조기술을 확보하여 기초 학문과 치료제를 개발하는 데 주력하는 것이다.

선진국을 중심으로 BT · NT · IT가 융합된 보건의료 산업의 새로운 성장동력으로 적극 육성

미래 지향적 진단 · 치료의 원천 기술 확보를 위하여 미국, 유럽 등의 선진국에서는 나노 · 바이오 융합연구의 대형화 및 인프라 구축 사업을 국가적 차원에서 활발히 진행하고 있다.

미국 정부의 나노기술전략(National Nanotechnology Initiative, NNI)에 따르면, 나노의학 연구개발에 대한 투자가 1997년 116백만 달러에서 2004년 850백만 달러로 크게 증가하였으며, 2003년 조지 부시 미 대통령은 21세기 나노기술 연구발전행동강령을 법으로

통과시켜 현재 연간 40억 달러의 연구비를 나노기술 기반 차세대 의약기술 개발에 집중 투자하고 있다.

유럽연합은 나노·바이오 융합신산업 분야에서 독자적인 발전 방안으로 미래기술예측위원회(Converging Technologies for the European Knowledge Society, CTEK)를 구성하여 보건, 바이오 분야에 나노기술을 접목한 융합기술 분야를 중점연구 분야로 투자하고 있으며, 2005~2013년까지 총 678억 유로를 투자할 계획으로 이중 20%가 나노의학 기반의 융합기술개발에 투자되고 있다.

이와 같이 선진국의 경우 높은 성장 잠재력과 성장률을 보이는 분자영상 및 나노의학 기술의 융합을 기반으로 BT·NT·IT 기술력을 총괄하여 보건의료 산업 기술에 융합시킴으로서 새로운 성장동력 산업으로 발전시키려 노력하고 있다.

아직은 세계적으로 기술개발 초기 단계에 있으나, 질환을 조기에 영상화하는 분자영상 기술 및 나노바이오 소재를 기반으로 한 나노의학 기술의 정립을 시작으로, 2000년부터 미국, 유럽, 일본 등 선진국 정부의 강력한 투자를 바탕으로 대형 분자영상 및 나노의학 연구센터가 설립되어 다양한 융합연구가 빠른 속도로 본격화되고 있다.

국내 나노소재 연구는 세계적으로 뛰어난 수준이나, 그 외 분야에 대한 지원 확대 필요

국내의 경우 분자영상 관련 기술은 KIST 의공학연구소의 테라그노시스 연구단이 2009년부터 국내 최초로 시도하여 연구를 진행하였으며, 나노의학 관련기술은 약물전달시스템기술기반의 다양한

연구가 대학 및 연구소를 중심으로 이루어지고 있다.

나노기술의 활성화와 촉진을 위하여 2003년 나노기술개발촉진법을 제정하여 시행하고 있으나 선진국에서는 국가적 차원에서 활발히 진행되고 있는 미래지향적 진단·치료 기술개발에 대한 투자는 미미한 실정이다.

| <표 2-11> 주요 기술의 선진기술수준 대비 국내기술수준 비교 |

주요기술	선진기술대비 국내수준	당해기관과 비교분석
질병진단 및 고속약물효능 검사를 위한 고분자 나노입자 광학 프로브 개발	나노/바이오 융합소재를 이용한 다양한 응용기술이 개발되고 있으며, 특히 세포 영상, 약물효능검사 시스템의 상업화에 대한연구 수준이 높음	90%
생명현상 규명을 위한 나노구조가 제어된 융합단백질 광학 프로브 개발	대학, 병원, 회사 간의 산학연 연구를 통한 다양한 융합단백질을 이용한 분자영상 기술이 발달함	70%
나노의학을 위한 나노구조가 제어된 신규 나노 약물전달시스템 개발	나노구조가 제어된 약물전달시스템의 응용기술 개발 및 신규 약물전달체의 임상 시험이 활발함	90%

국내 테라그노시스 기반 바이오융합 기술개발은 미국 및 유럽의 선진국과 비교할 때 관련 기술에 대한 민간 전문 인력이 부족하고 체계적인 연구가 전무하여 민간이 추진하기 어려운 분야이다. 또한 분자영상 및 나노의학 기술은 2000년도 이후에 선진국에서도 개념이 정립된 신기술이며 이의 융합기술인 테라그노시스 기술에 대한 보고는 현재 없는 실정이므로, 기술도입보다는 원천기술 개발이 매우 시급한 현실이다. 현재 분자영상과 나노의학 기술과 관련

된 연구의 중요성이 인식되어 일부 대학 및 병원에서 분자영상 및 나노의학 기반 관련 기술 개발이 개별적으로 진행되고 있으나 아직까지는 미미한 실정이며 또한 이를 응용하려는 산업체도 극소수이다.

국내의 경우 전반적으로 테라그노시스 기술 분야 중 나노소재 부분은 세계적 경쟁력이 우수하나 다양한 나노·바이오 소재를 이용한 미래 지향적 진단·치료기술 등 응용기술 개발은 선진국에 비해 미비한 상태이다. 분자영상 및 나노의학이 융합된 나노 바이오 소재의 발전은 학문적인 측면에서 기존에 없었던 새로운 연구방법의 하나로 자리 잡을 전망이며, 연구 분야에 그치지 않고 임상에 적용되어 응용 분야가 지속적으로 확대될 전망이다. 하지만 국가적 지원과 다국적 거대 제약회사의 지원으로 비약적으로 발전하는 선진국에 비하여 국내의 경우는 지원 및 기초 제반 현황이 현저히 뒤쳐지는 상황이다.

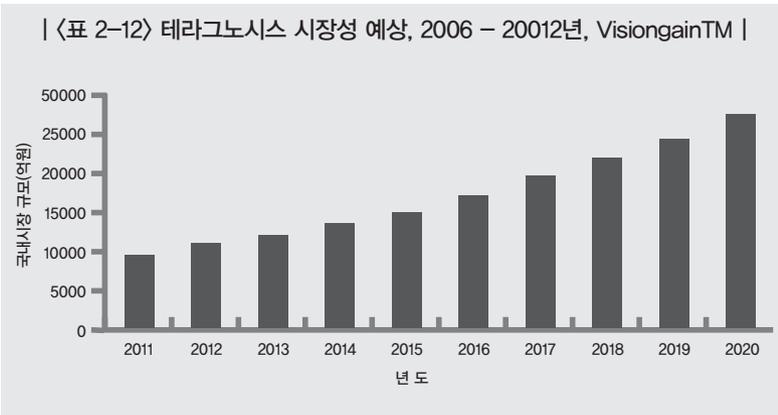
테라그노시스 세계 시장, 2015년 1,800억달러로 추정

최근 화이자, 머크, 로슈와 같은 다국적 제약회사는 신약개발의 수익성 악화로 기존 약물의 경쟁력 유지 및 신규 수익성 창출을 위한 노력을 기울이고 있다. 이러한 노력의 일환으로 나노의학 기술을 이용한 새로운 작용점 발굴, 나노 구조가 제어된 신규제형, 신규 진단·치료 기술개발에 전체 연구개발비의 30% 이상의 천문학적 연구비를 투입하고 있다.

특히, 테라그노시스 기술은 단기간에 혁신적인 원천기술 확보가 가능하고 이를 기반으로 전략적인 미래 신산업 창출이 가능하기

때문에 나노·바이오 융합소재를 이용한 신규 의약품 개발 및 진단·치료기술의 국가 간 경쟁은 치열하다.

따라서 테라그노시스 기술 관련 전체 시장 규모는 2005년 106억 달러에서 2015년에는 1800억 달러로 매우 크게 성장할 것으로 예상된다.



이와 같은 테라그노시스 기술의 실현은 질병의 진단과 치료에 있어 새로운 패러다임의 변화를 가져올 수 있는 미래기술로서 난치성 질환의 조기진단 및 치료 뿐 아니라 고부가가치의 치료제 개발이 예상되어 바이오산업의 핵심인 제약, 의학 및 보건 산업에 매우 큰 영향을 미칠 것으로 기대된다.

국내에서 테라그노시스 기술은 실용화 단계가 아니어서 향후 경제성을 예측하기는 어려우나 최근 전략 보고서에서 2010년을 기점으로 진단 시장을 포함하여 테라그노시스 기술의 시장성이 증가하면서 관련 시장이 기하급수적으로 팽창할 것이라 보고하고 있다.

이는 아직 개념 정립이 완전하지 않은 테라그노시스 기술에 관한 단기적인 예측이기에 실제 임상 및 신약개발에 광범위하게 응용된다면 국내의 시장성 및 경제성은 상상을 초월한 규모가 될 것이라 예견된다.

2012년에는 일부 대학 및 병원을 중심으로 분자영상 및 나노의학 기반 관련 기술 개발이 이루어져 분자영상 및 나노의학이 융합된 나노·바이오 소재의 발전이 학문적인 측면에서 기존에 없었던 새로운 연구방법의 하나로 자리 잡을 전망이며, 연구 분야에 그치지 않고 임상에 적용되어 응용 분야가 지속적으로 확대될 전망이다.

- 테라그노시스 기술은 ‘분자영상’ 및 ‘나노의학’의 융·복합 기술로 환자의 고통을 줄이고 cost benefit이 높은 새로운 의료기술 패러다임을 제시하며, 세계적으로 처음 시도되는 기술개발로 향후 의료/보건/제약산업 분야의 글로벌 경쟁력을 확보할 수 있는 가능성이 매우 높다.
- 2012년에는 나노 바이오 융합 소재의 테라그노시스 생체 내 효능평가를 위한 고 해상도 생체 분자영상 기술 개발, 세포, 조직, 생체 내에서 일어나는 분자유전학적 변화를 감지하여 영상화 할 수 있는 분자영상 기술 플랫폼 기술개발, 다기능성 융합 나노소재의 생체 내 독성 및 효능평가와 이를 통한 난치성 질환 진단/치료/예후예측의 기술개발이 진행될 것이다.
- 중장기적으로는 현재 의료기술의 기술적 난제를 극복하기 위하여 효율적인 진단/치료와 비침습적 생체 영상화 기술을 구현할 수 있는 나노메디슨 기술을 이용하여 진단과 치료를 병행 할 수 있는 나노 테라그노시스 기술 개발이 진행될 것이다.

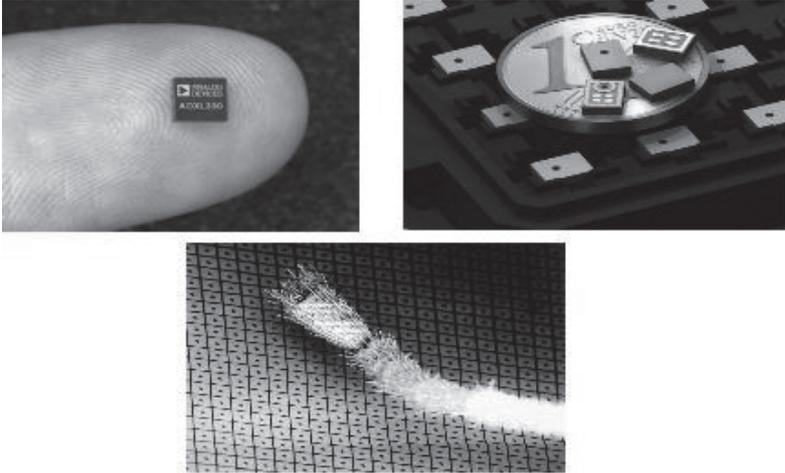


착용형/이식형 MEMS 시스템 기술

최근 MEMS 기술의 발달로 전자 및 기계 시스템의 초소형화가 가능해져 시스템을 소형화하고 성능이 향상되어, 이전에 구현이 불가능하였던 새로운 시스템들이 개발되고 있다.

고성능 시스템이 소형화되면서 인체에 착용 또는 삽입할 수 있게 되어, 난치성·불치성 질환들까지 치료가 가능해지고 있을 뿐 아니라 여러 장기와 기관들을 대체하는 수준까지 이르게 될 것으로 보인다. <그림 2-22>은 개발된 착용형/이식형 마이크로 시스템을 보여주고 있다.

| <그림 2-22> 마이크로시스템(MEMS) 기술을 이용하여 개발된 여러 시스템들 |



MEMS 기술은 심장·뇌·시청각 치료기와, 자가발전형 에너지원 중심으로 개발 중

심근경색이나 확장성 심근증 환자, 일부 심장 질환 환자들의 돌연사를 방지하기 위하여 2003년 이식형 제세동기(ICD)가 개발되어, 처음으로 인체에 삽입된 바 있다. 이 제세동기는 대개 왼쪽 쇄골 아래 흉부를 약 10cm 정도 절개하고 피부와 근육층을 일부 분리시켜 주머니를 만든 뒤 삽입하고 있다.

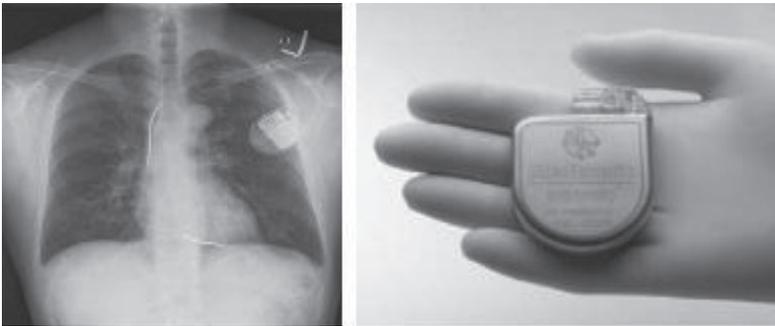
삽입된 이식형 제세동기는 심장의 활동을 감지하여 심실빈맥이나 심실 세동³⁶⁾이 발생하면 심장으로 전기충격을 전달하여 돌연

36) 심장은 심방과 심실로 구분할 수 있는데, 심실에서 발생하는 빠른 부정맥을 심실성 빈맥이라 하며, 이는 심실조기박동(ventricular premature contraction)이 연속해서 발생하는 심실빈맥(Ventricular tachycardia), 심실의 여러 곳에서 동시 다발적으로 발생하는 심실세동(Ventricular fibrillation)으로 구분할 수 있다.

사를 방지할 수 있게 된다. 이와 유사한 심장조율기(pacemaker)는 전기 신호를 지속적으로 심장에 전달하여 심박수를 일정하게 유지시키는 역할을 한다.

이식형 제세동기와 심장조율기는 미국의 Medtronic사가 주도하고 있으며, 세계 시장규모는 2014년경에 78억 달러에 이를 것으로 예상된다. 이러한 이식형 제세동기나 심장조율기 등 심장 질환 치료기는 크기가 비교적 크고, 배터리 소모량이 커서 5~7년에 한번씩 교체하는 불편이 따랐으나 최근에는 Meder Electronic사 등에서 더 소형의 MEMS기술을 적용하여 성능을 향상시켜 나가는 시도를 하고 있다.

| <그림 2-23> 이식형 제세동기(ICD) |



최근에는 대동맥류³⁷⁾ 환자의 혈압을 측정하기 위한 무선 센서가 미국 CardioMEMS사에서 개발되어, FDA를 통과한 후 상용화

37) 대동맥류(Abdominal Aortic Aneurysm, AAA)는 대동맥이 확대되어 벽이 얇아지고 심하면 파열되어 사망하는 질병 중의 하나이어서 지속적으로 대동맥의 혈압을 측정해야 한다.

를 앞두고 있다. 개발된 혈압 측정 센서는 최소 절개 삽입술 (minimal invasive surgery)을 통해 대동맥에 삽입되며, 무선으로 전력을 전송받고, 무선으로 측정된 혈압을 별도 시스템에 전송하게 된다. 시스템에 사용되는 센서는 MEMS 기술로 제작된 마이크로 코일을 이용하며, 초소형으로 제작하여 인체에 삽입하고 있다.

| <그림 2-24> CardioMEMS사에서 개발한 혈관삽입형 혈압 측정 시스템 |

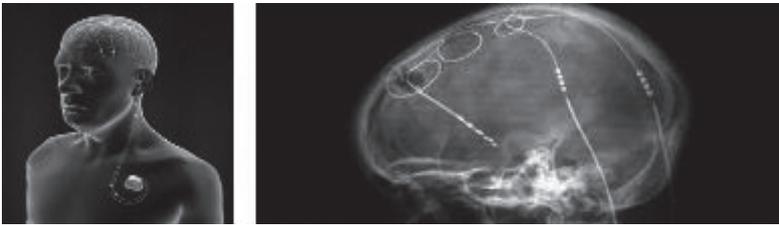


뇌질환은 초기에는 약물을 이용해서 치료가 가능하나 증상이 심해지면 치료가 어려웠으나, 뇌심부자극기의 개발로 이를 극복할 수 있게 되었다. 이로 인해 파킨슨병, 수전증, 근긴장 이상증 등 다양한 뇌질환에 이용되고 있으며, 최근에는 간질 및 치매 치료 등에도 적용하려는 시도가 이뤄지고 있다.³⁸⁾ 뇌심부자극술은 1998년 미국 FDA의 승인을 받은 데 이어 2001년 국내 식약청 승인을 취득해 2010년까지 국내에서 2000건 이상이 시술되었다. 뇌심부자극기 시장은 미국 Medtronic사가 주도하고 있다.

38) 이러한, 뇌심부자극술을 위해서는 두개강 내의 표적에 초소형 전극을 삽입하고, 전원 발생기를 가슴부위에 고정시킨 후 외부에서 프로그래밍 기기를 이용하여 조절하여 전극을 통해 전기자극을 표적에 가하게 되고, 이를 통하여 환자의 증상 완화를 시도하게 된다.

또한, 2005년 Stanford 대학에서는 빛을 이용한 신경세포 활성화(optogenetics)를 개발하여 전기자극으로 일어나는 부작용을 줄이려는 시도를 하고 있다. MIT에서는 뇌질환 치료목적으로 사람의 뉴런을 빛으로 자극하기 위하여 아데노 바이러스 등을 이용, 뉴런이 빛에 반응하도록 조작하는 연구를 진행하고 있다. 최근에는 MEMS 기술을 이용하여 뇌심부자극기를 삽입시에 뇌손상이 최소화되도록 특수구조를 개발하거나, 시스템을 극소형화하려는 연구가 진행되고 있다.

| <그림2-25> 뇌심부 자극술을 위한 전극이 뇌에 삽입된 모습 |



또한 청각장애인들이 소리를 듣도록 보청기 성격의 인공 달팽이관 (cochlear implant)이 개발되고 있다. 특히 고도난청 환자의 경우 달팽이관 내 세포가 대부분 손상되어 소리를 듣지 못하기 때문에 고성능의 강력한 소형 전자 칩을 이용하게 되면, 소리를 들을 수 있게 된다. 인공 달팽이관은 귀 뒷부분 측두골을 통해 달팽이관 내에 전극을 삽입하는 시술로, 달팽이관 내의 잔존 청신경을 자극하여 유모세포(hair cell)의 기능을 대신하게 하는 것이다<그림 2-26>. 인공 달팽이관은 호주의 Nucleus사, 미국의 Clarion사, 오스트리아 Med-EL사 등이 주도하고 있으며, 초기에는 단일 채널

에서 최근에는 16개 이상의 다채널을 사용하고 있다.

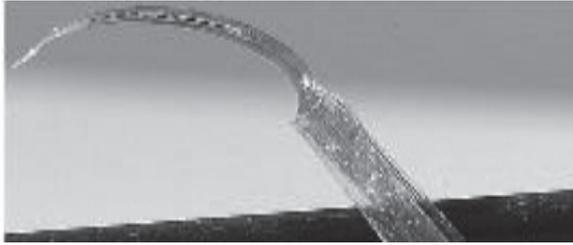
| <그림 2-26> 인공 달팽이관의 개념도와 사람에 이식한 경우의 외부 장치 |



인공 달팽이관은 삽입하는 전극의 크기와 개수, 형상이 중요하다. 최근에는 미국 미시간 대학 등에서 MEMS 기술을 사용하여 이식되는 전극의 크기를 줄이고 채널수를 늘리려는 시도를 하고 있다. 전극의 숫자가 많아지면, 소리를 주파수에 따라서 정밀하게 세분화할 수 있게 되어 보다 정확히 소리를 전달할 수 있다. <그림 2-27>은 달팽이관에 삽입되는 구조체를 달팽이관 모양으로 굽혀, 전극과 달팽이관 내부의 접촉을 용이하게 하여 더 정확한 신호 전달이 가능케 하는 장치를 보여주고 있다.

| <그림 2-27> 미국 미시간 대학에서 개발한 MEMS 인공 달팽이관 (Cochlear Implant) |





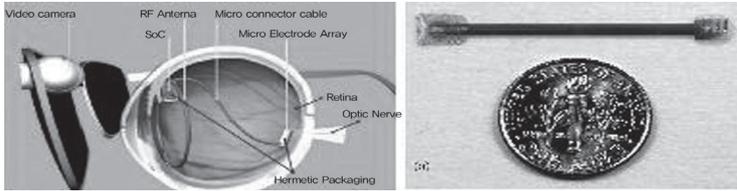
최근 망막세포변성³⁹⁾, 황반병성⁴⁰⁾ 등 후천적으로 시력을 잃은 사람들에게 빛을 되찾아주는 기술에 대한 연구가 전자공학과 MEMS 기술의 발달로 활발히 진행되고 있으며, 이를 통해 현재 시력 상실자들에게 흑백물체를 구별하거나 창문과 문을 분간하는 정도의 시력을 실현시켜 주고 있다. 이 기술은 외부 카메라를 통해 얻은 이미지를 전기 신호로 전환해 사람의 망막 내에 설치된 전극으로 전달하는 기술이다. 현재는 100픽셀 내외의 이미지를 전달해 주고 있지만, 2015년경에는 1천 픽셀까지 전달해 줄 것으로 보인다.

인지 능력을 높이기 위해서는 카메라를 통해서 얻은 이미지를 실시간으로 처리하는 기술과 이를 망막에 전달하는 전극 기술이 요구된다. 해상도가 높은 전기 신호를 시신경에 전달해 주기 위해 MEMS 기술로 제작된 전극 어레이의 밀도를 높이는 연구가 현재 활발히 진행되고 있다.

39) 망막세포변성이란 망막의 시신경세포 중 흑백 및 명암을 구별하는 간상세포(rod cell)의 수가 점차로 줄어드는 질환으로 결국에는 모든 시세포에 장애를 일으킨다.

40) 카메라의 필름에 해당하는 눈의 망막에서 가장 중심에 위치한 황반에 이상이 생겨 시력이 급격히 떨어지는 병이다. 주로 노인에게 생기면 당뇨와 함께 노인성 실명의 주 원인이다.

| <그림 2-28> 미국 캘리포니아 공대에서 개발한 인공 눈의 개념도와 시각 정보 전달을 위해서 망막에 부착되는 전극 어레이 |



인체 부착형/삽입형 마이크로 시스템의 구동을 위해서는 에너지원이 필수적이다. 인체 삽입형 시스템은 현재 수년에 한번씩 교체해야 하는 배터리를 사용하고 있어 재기술에 따른 불편과 위험 부담으로 시스템 사용이 제약을 받고 있다. 따라서 시스템에 전원을 공급하기 위한 자가발전형 에너지 획득 시스템 연구가 최근 각광을 받고 있다. 인체 부착형 시스템은 사람이 움직일 때 발생하는 에너지를 저장하는 방법을 많이 사용하고 있으나 인체 삽입형 시스템은 이런 방법을 사용하기 어렵기 때문에, 인체 내부의 열을 이용하거나 심장의 박동, 혈류 등의 움직임을 에너지원으로 이용하려는 연구가 진행되고 있다. 이와 함께 인체에 삽입된 시스템에 에너지를 전달하려는 무선 전력전송 방법도 최근에 개발되어 이에 대한 성능을 높이려는 연구가 진행되고 있다.

| <그림2-29> 미국 바이오닉 파워사에서 개발한 인체 부착형 에너지 획득 시스템(좌)와 미국 미시간 대학에서 개발한 Piezoelectric 방식을 이용하는 에너지 획득 시스템(우) |

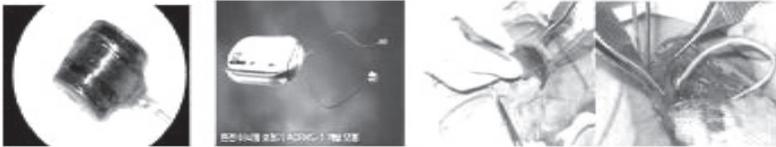


국내에서는 뇌신호 측정을 위한 신경전극 시스템 개발에 박차

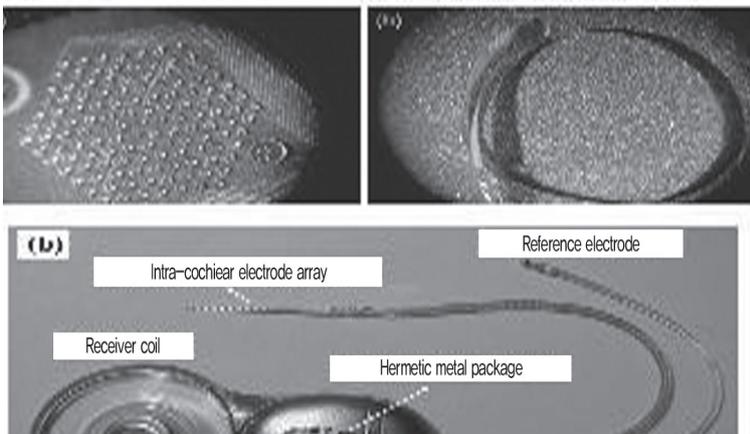
국내에서는 인체 삽입형 마이크로 시스템에 대한 연구가 일부 진행되고 있지만, 아직 상용화에 이르지 못해 뇌심부 자극 시스템, 심장 조율기, 이식형 제세동기 등을 전량 수입에 의존하고 있다.

서울대학교에서는 최근 인공 달팽이관 시스템을 개발하고 동물 실험을 통해 이를 검증하여 상용화를 추진하고 있고 인공 시각용 전극 어레이도 동물 실험을 통해 검증하고 있다. 경북대학교도 완전 이식형 인공 중이에 관한 연구를 파이컴과 공동으로 진행중에 있다.

| <그림 2-30> 경북대학교에서 개발한 완전이식형 인공 중이 |



| <그림 2-31> 서울대학교에서 개발한 인공 시각용 전극 어레이(상)와 인공 달팽이관 시스템 (하) |



이식형 마이크로시스템 시장은 2009년 190억불에서 2013년에 366억불로 급격히 증가할 것으로 전망된다.⁴¹⁾ 현재 연구가 진행 중인 이식형 마이크로 시스템이 상용화된다면 시장은 더욱 확대될 것으로 예상된다.

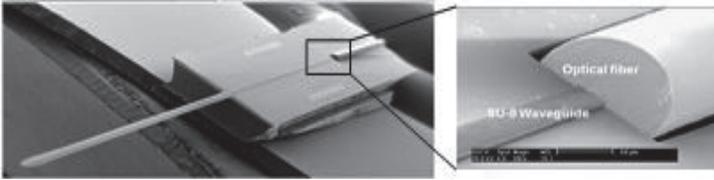
국내에서는 현재 뇌심부 자극 시스템, 이식형 제세동기, 인공 달팽이관 시술 등이 이식형 마이크로 시스템 시장의 대부분을 차지하고 있다. 뇌심부 자극 시스템은 도입 9년만인 2010년에 시술 건수가 2,000건을 돌파하였고 인공 달팽이관은 1988년 도입 이래 3,000건 이상의 시술이 이루어졌으며, 최근에도 이식 건수가 급격히 증가하고 있는 추세이다. 이식형 제세동기 역시 1996년 서울 아산 병원 심장 내과팀이 처음 시술한 이후로 170여명의 환자들이 제세동기를 몸 안에 부착했다. 미국에서는 지난해에 7만여 명의 환자들이 이식형 제세동기 시술을 받았고, 국내에서도 매년 500~1,000명이 시술을 받고 있어 제세동기 시장 역시 크게 증가할 것으로 예상된다.

KIST 뇌과학 연구소는 2012년에도 미국 미시간 대학과 공동으로 뇌신호 측정을 위한 신경 전극 시스템을 개발해 나갈 계획이다. 현재는 쥐를 대상으로 한 시스템을 개발하고 있지만, 인간의 뇌질환 치료를 위한 뇌자극 시스템으로까지 확장이 가능하다. 또한, 새로운 뇌질환 치료방법으로 주목받고 있는 광유전자 기법을 개발 중인 시스템에 적용하게 되면 새로운 뇌질환 치료도 가능할 뿐아니라 현재 개발 중인 마이크로 전극 어레이 기술을 이용하게 되면, 인공 달팽이

41) 출처: Access MediQuip, Health Advances, Wall Street research and NHDS, Information of March 1, 2009

관이나 인공 시각 등의 이식형 MEMS기술에도 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

| <그림 2-32> KIST에서 개발 중인 광유전자기법을 이용한 뇌신호 측정용 신경 전극 시스템 |



- 착용형 마이크로시스템(MEMS)은 혈압이나 혈당 등 건강 상태를 진단하는 시스템 중심으로 시장이 형성되어 가고 있고, 이식형 마이크로시스템(MEMS)은 기존 시스템 이외, 인공 눈이나 인공 장기를 개발하는 쪽으로 연구가 활발히 진행되어 가고 있어, 이에 대한 국산화 개발을 꾸준히 추진해 나가야 한다.
- 특히 국내적으로는 세계적으로 이미 상용화되어 있으나 진행되지 않은 심장 제세동기나, 인공 달팽이관, 뇌심부 자극기 등의 국산화를 추진해 나가야 하며, 향후 시장 전망이 클 것으로 기대되는 인공시각이나 에너지 획득 장치, 인공 장기 개발에 역점을 두어나갈 필요가 있다.

미세유체 기술 기반의 세포분석 시스템



미세유체 기술은 유체를 정확히 제어하는 기술로 기존 유체역학에서 무시했던 표면장력, 표면전기력이 중요시되는 분야다. 이 분야는 분리, 반응, 시료전처리 등의 효율을 증대시키는 미세유체 소자와 다양한 전기영동법 등이 개발되어 활용되고 있다.

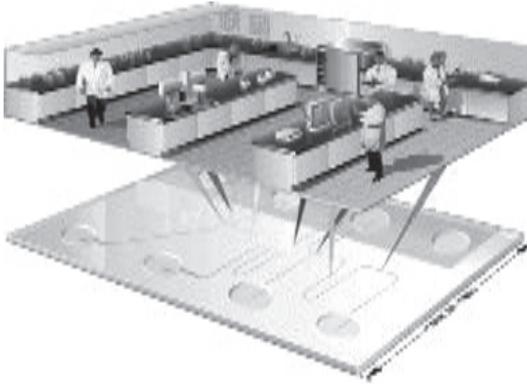
1990년대 이후 미세유체 기술을 이용한 분석 기술이 본격적으로 도입되어, 극미량의 시료와 시약으로 많은 실험을 할 수 있는 고용량분석(High Throughput Screening HTS)이 가능하게 되었고, 모세관 전기영동(capillary electrophoresis)이나 기체 크로마토그래피(gas-chromatography) 등과 같은 시료를 작은 칩에서 빠르고 정확하게 분리하는 기술이 개발되어 활용되어 오고 있다<그림 2-33>.

| <그림 2-33> Agilent사의 Bioanalyzer |



이후 전 분석과정을 칩 상에서 구현하는 랩온어칩(lab-on-a-chip) 또는 마이크로분석시스템(microTAS)과 같은 개념이 등장하였고, 최근에는 세포조직을 마이크로 환경에서 재현하거나 조직분석을 위한 도구를 제공하는 연구로 그 영역이 확대되어 가고 있다<그림 2-34>.

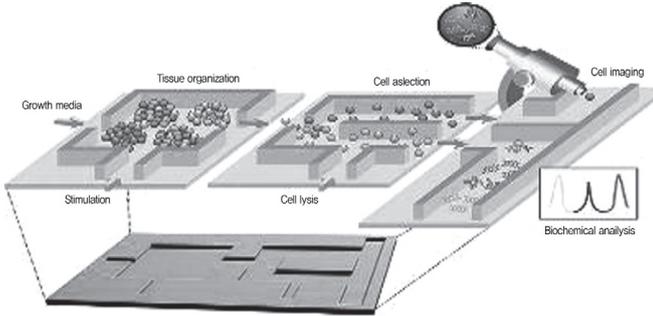
| <그림 2-34> Lab-on-a-chip의 개념도 |



미세유체기술은 세포의 성장과 자극을 시공간적으로 제어할 수 있는 새로운 도구로서 세포가 상호작용하는 표면과 세포외기질의 기하학적인 요소들을 조합하여 세포에 영향을 미치는 용해물질 요소

들을 조정해 나갈 수 있다. 더 나아가 생체물질의 미세분석도구와 결합시키게 되면, 복합기능을 갖는 플랫폼을 구현할 수 있을 뿐 아니라 휴대용 진단소자로 활용해 나갈 수 있게 된다<그림 2-35>.

| <그림 2-35> 마이크로시스템에서의 세포 분석 및 조직 배양⁴²⁾ |



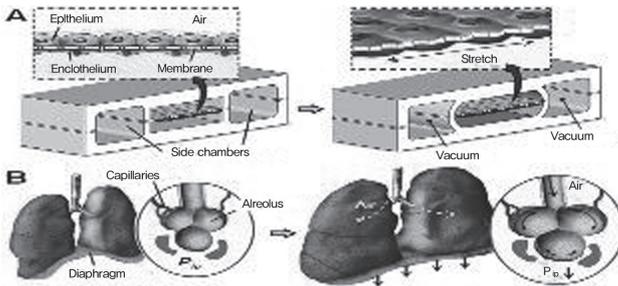
마이크로 소자기술은 세포를 배양하기 위한 세포외부 환경 조절, 세포분리, 세포용해(lysis), 생물질 전처리 등을 행하는 종합적인 마이크로 세포분석 기술이라 할 수 있다. 초창기에는 세포를 다루는 기본단위의 소자가 개발되었으나 현재는 점차 임상시료 분석 기술로 활용하기 위한 통합시스템 기술이 개발되어 가고 있다. 또 의약개발용 대용량분석을 위한 어레이 기술이 개발되어 사용되고 있다. 마이크로 세포분석은 세포의 배양, 세포전처리, 세포선택, 세포용해, 생분자 분리, 생분자 분석 순서로 진행되며 각 단계에서 필요한 마이크로소자가 개발되어 활용되고 있다.

42) Jamil El-Ali, Peter K. Sorger and Klavs F. Jensen, Cells on chips, Nature (2006) 442, 403-41

세포분석시스템은 마이크로 세포배양기, 세포분류기, 세포 칩 중심으로 개발 중

체외에서의 세포 배양은 현대 생물학에 있어 중요한 방법이지만 아직은 가능하지 않은 단계다. 그러나 세포간의 상호작용과 세포에 영향을 미치는 용해물질이 제어되는 체내환경을 모방하는 접근방법을 사용할 경우 3차원으로 미세 가공된 세포외물질과 미세유체 네트워크 등으로 구현할 수 있다. 세포칩에 대한 연구는 세포외기질을 패터닝하여 마이크로패턴이 세포에 미치는 영향을 분석하는 연구⁴³⁾를 계기로 기존 생물학연구에서 할 수 없었던 다양한 연구를 시도하고 있다.⁴⁴⁾ 최근에는 폐를 모사한 칩을 미세유체칩에 구현하여 나노입자의 독성을 테스트 할 수 있는 새로운 도구가 개발되어 활용되고 있다<그림 2-36>.⁴⁵⁾

| <그림 2-36> 인간허파를 모사한 Lung-on-a-chip |



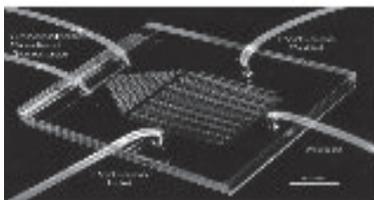
43) Chen, C. S., Mrksich, M., Huang, S., Whitesides, G. M., & Ingber, D. E. Geometric control of cell life and death, *Science* (1997), 276, 1425 - 1428 .

44) Tan, J. L, et al. Cells lying on a bed of microneedles: an approach to isolate mechanical force. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* (2003), 100, 1484 - 1489 .

45) Dongeun Huh, Benjamin D. Matthews, Akiko Mammoto, Martn Montoya-Zavala, Hong Yuan Hsin and Donald E. Ingber, Reconstituting Organ-Level Lung Functions on a Chip, *Science* (2010), 328, 1662-1668

세포배양 칩은 이차원 또는 삼차원 배양이 가능한 많은 연구결과가 발표된 바 있다. 그 대표적인 예가 UC Berkeley에서 관류⁴⁶⁾가 가능한 마이크로유체칩을 이용하여 개발한 고용량 세포기반 분석칩이다. 이 칩은 세포 로딩에서 계대배양까지 할 수 있는 기능이 포함된 종합분석용 소자다<그림 2-37>. MIT에서는 이 칩으로 여러 유속조건에 따른 배양상태를 관찰하여 최적의 배양조건을 구한 바 있다⁴⁷⁾<그림 2-38>. 최근에는 3차원 환경에서 체내환경을 모사하는 연구와 조직과 기관을 미세유체 세포 배양칩으로 구현하는 연구가 진행되고 있다.

| <그림 2-37> 세포기반 분석용 마이크로 유체분석기 |



| <그림 2-38> 배아줄기세포의 배양조건 검출 칩 |



인체조직에 가까운 칩을 구현하기 위해서는 3차원 배양이 필수적인데 3차원으로 배양할 수 있는 세포배양칩 <그림 2-36>⁴⁸⁾이 개

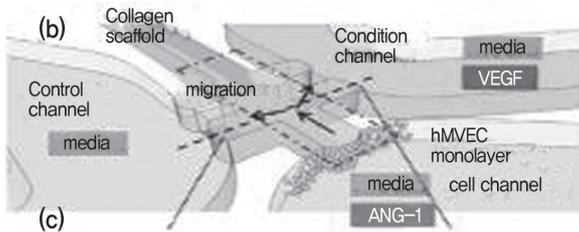
46) 어느 기관(器官)을 생체(生體)에서 적출하거나 생체 내에 둔채 외부에 노출시켜 연구할 때 적당한 관류액(灌流液, perfusate)을 계속 주입하거나 또는 그것을 혈관과 연결시킨 세관(細管, 카놀라)을 통해 혈관 내에 계속 흘러보내는 것

47) Kim, L.Y., Vahey, M.D., Lee, H.-Y. & Voldman, J., Microfluidic arrays for logarithmically perfused embryonic stem cell culture. Lab Chip (2006), 6, 394-406

48) Yoojin Shin, et al., In vitro 3D collective sprouting angiogenesis under orchestrated ANG-1 and VEGF gradients, Lab Chip, 2011, 11, 2175-2181

발되어 암세포의 전이모델 혹은 약물전달 모사를 위한 모델 등에 응용하는 연구가 진행되고 있다. 체외에서의 생체조직 모델은 그동안 생의학연구에서 연구하지 못했던 체외에서의 역동적인 모델을 제공할 가능성도 있어, 3차원 세포배양을 이용한 조직이나 기관에 대한 모사칩이 개발될 것으로 보인다.

| <그림 2-39> 혈관생성 모사용 세포배양칩 |



형광 세포 분류기(Fluorescently Activated Cell Sorter FACS)는 입자들이 검지센서를 지날 때 광학적 신호를 검지하여 세포의 종류와 개수를 평가하고 분류하는 기기다. 최근 미세기계가공 기술이 적용된 소형화된 형광세포 분류기 소자들이 개발되어 세포를 초당 약 100개 정도 분류하고 있다. Telleman사 등은 층류의 스윙 현상에 의한 자기력과 형광성을 이용하여 입자를 배열하는 기술을 개발하였다.⁴⁹⁾

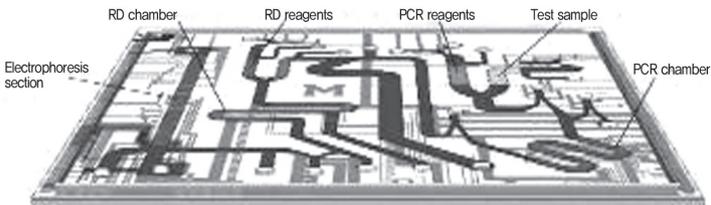
MIT에서는 비접촉 단일 세포를 붙잡을 수 있는 DEP트랩어레

49) A. Wolff, I. R. Perch-Nielsen, U. D. Larsen, P. Friis, G. Goranovic, C. R. Poulsen, J. P. Kutter and P. Telleman, Integrating advanced functionality in a microfabricated high-throughput fluorescent-activated cell sorter, Lab Chip (2003) 3, 22-27

이로 구성된⁵⁰⁾ 미세유체 칩을 개발한 바 있으며, 이 칩에 의한 유동 전이(dielectrophoresis DEP)⁵¹⁾로 세포를 분류하면 초당 10,000개 까지 분류할 수 있다. 대부분의 미세유체 세포분류기는 기존 시스템에 비해 처리량이 적어서 다른 분석기와 함께 사용되고 있다.

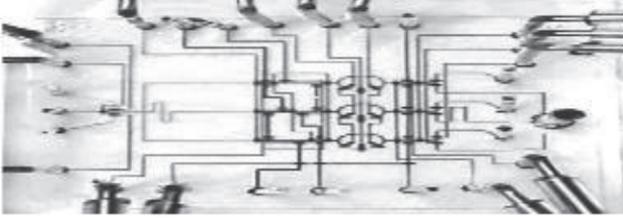
세포 분석은 PCR (polymerase chain reaction)로 증폭하여 마이크로 어레이에서 분석을 할 수 있다. 인플루엔자 감지 칩과 같이 세포분석을 통해 병원균이나 질병을 감지할 수 있다면 이를 저가의 진단 소자로 활용해 나갈 수 있다<그림 2-40>.⁵²⁾ 이러한 칩은 박테리아 병원균의 감지나 DNA 염기서열 분석에도 사용된다. 시료가 단일세포인 경우에도 세밀한 유체밸브를 이용하여 세포를 용해하고 RNA를 분석할 수 있는 미세 유체칩이 개발되어 아미노산의 분석도 가능하게 되었다<그림 2-41>.⁵³⁾

| <그림 2-40> 인플루엔자 감지용 유전자 분석칩의 구성도 |



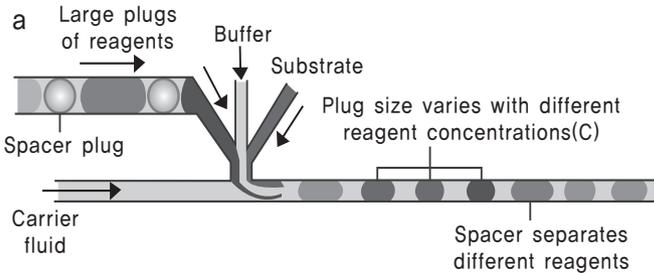
-
- 50) Voldman, J., Gray, M. L., Toner, M. & Schmidt, M. A. A microfabrication-based dynamic array cytometer. *Anal. Chem.* 74, 3984 - 3990 (2002)
 - 51) 쌍극분자가 불균질의 전장에 놓일때 그 최고의 전장영역으로 이동하는 것
 - 52) Pal, R. et al. An integrated microfluidic device for influenza and other genetic analyses. *Lab Chip* 5, 1024 - 1032 (2005).
 - 53) Hong, J. W., Studer, V., Hang, G., Anderson, W. F. & Quake, S. R. A Nanoliter-scale nucleic acid processor with parallel architecture. *Nature Biotechnol.* 22, 435 - 439 (2004).

| <그림 2-38> 단일세포 분석용 미세 유체칩 |



최근 액적을 이용한 대용량 분석기술이 단일세포를 분석할 수 있는 최적의 시스템으로 평가되어 매우 빠른 속도로 발전하고 있다. 액적을 이용한 기술은 효소의 활성분석, 단백질 결정화 조건 분석으로부터 고용량의 약물 분석에까지 활용되고 있다. 액적은 초당 10,000개 이상으로 생성이 가능하여 다양한 시약 반응을 스크리닝 할 때 유용하게 활용하고 있다<그림 2-42>.

| <그림 2-42> 1차원 미세액적 어레이를 이용한 시약 스크리닝칩 |



세포를 2차원 세포 배양칩에서 배양한 다음 여기에 적절한 생화학 시약을 가하고 이에 대한 반응을 유전자 혹은 단백질 정보로부터 유추하게 되면, 각각의 세포가 모두 다른 반응을 보이기 때문에 전체적으로 평균되어 나오는 정보보다는 각 세포의 반응을 개별

적으로 보는 것이 중요해졌다. 단일세포에 대한 분석 도구로 FISH(fluorescence in-situ hybridization)⁵⁴⁾, 고용량 RNA 서열 분석, 유전자 서열분석, 심지어는 대사물질이나 펩타이드 분석이 가능하게 되어 단일세포로부터 많은 정보를 얻을 수 있게 되었다. Fluidigm사는 96개의 세포에서 96개의 유전자를 분석할 수 있는 칩을 판매 중이며 Raindance Technologies사는 단일세포 분석이 가능한 마이크로 키트를 판매중이다. Washington 대학은 현재 단일세포의 나노수술을 위한 기술을 개발 중이며 세포에서 미토콘드리아를 분리하여 분석하는 기술과 단일세포를 보텍스(vortex)⁵⁵⁾를 이용하여 트랩하고 분석하는 도구를 개발 중에 있다.

미세유체기술은 열관리, 에너지생성기, 디스플레이 분야에 널리 이용되고 있으며 산업적으로는 LCD, 잉크젯 프린터 등에도 활용되고 있다.

미세유체칩 시장이 연평균 14% 이상 성장할 것으로 기대

미세유체칩은 Agilent사가 상업화를 주도하고 있으며 근래에는 이와 관련한 많은 벤처기업들이 생겨나고 있다. 의료용 미세유체분야의 세계 시장 규모는 2009년 2억 8천만 달러였으나, 2010년부터 2013년까지 14~18% 성장이 예상되어 2013년에는 약 5억 달러에 이를 전망이다.⁵⁶⁾

54) 형광동소혼성화 ; 특정 DNA 염기서열의 존재 유무를 규명하기 위한 방법으로 형광 물질이 부착된 탐침 DNA를 사용함

55) 유체 속에서 팽이처럼 회전하고 있는 부분

56) 2010년 RFID/USN 센터 5월호 뉴스레터 (MEMS market tracker 2009, iSuppli)

| <표 2-13> 미세 유체시장 규모 전망 |

연도	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
시장규모 (백만\$)	236	257	276	282	321	367	432	488
증가율(%)		9	8	2	14	14	18	13

KIST에서는 지능형 마이크로 시스템 사업단이 주도한 프런티어 사업을 통해 배아줄기세포의 마이크로 3차원 배양 기술과 독자적인 배양 플랫폼을 개발한 바 있다.

2012년에는 이 기술을 마이크로 조직배양에 응용하여 뇌 조직 모델을 개발해 나갈 계획이며, 향후 다양한 마이크로 조직 모델이 개발되어 나간다면 난치성 질병을 치료할 수 있는 계기가 마련될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 분석기술은 미세유체 기술과 융합하는 연구가 진행되고 있다.

- 미세유체 기술에 기반을 둔 세포칩은 조직 혹은 인체기관(organ)을 모사하거나, 단일세포를 분석하고, 액적을 분석하는 기능을 수행하고 있을 뿐 아니라 기존의 생물학 연구에서 할 수 없었던 새로운 도구들을 제시하고 있는 만큼 이에 대한 원천기술 개발이 시급한 실정이다.
- 따라서 조직이나 기관에 더 근접한 세포배양 기술과 단일세포 분석을 위한 세밀한 도구 개발이 절실하다.
- 또한 세포를 작은 칩에 배양하고 분석하는 시스템 역시 약물스크리닝이나 독성분석 등 다양한 분야에서 이용되고 있는 만큼, 산학연 협력을 더욱 강화해 나가야 한다.

MEMS 기반 바이오센서 및 진단시스템

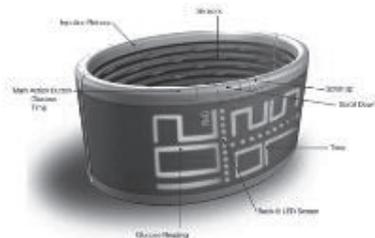


바이오센서는 생체감지 물질이 특정 물질과 선택적으로 반응·결합하는 성질을 이용하여 분석 물질의 존재 여부를 확인할 수 있는 장치이다. 초기의 바이오센서는 생체의 혈압, 체온 등 물리적 양을 주로 측정하였는데 맥박 측정을 위한 압력가속도 측정 센서, 체온측정을 위한 적외선 센서가 그 대표적인 예이다. 바이오센서는 분자진단법의 발전으로 인해 생화학 분석 분야에서 두드러졌다. 생화학 분자들의 분포나 양적 증감을 측정하기 위한 생화학적 분석법은 센서기술의 형태로 발달해왔다. 대표적으로, 혈당측정용 전기화학센서는 생화학적 신호분석이 실험실로부터 환자 곁으로 옮겨지게 함으로서 실시간 현장진단(point of care, POC)을 현실화하였다.

생화학적 분자진단에 활용되는 바이오센서는 대부분 생체감지 물질과 transducer라는 두 가지 요소로 구성된다. 생체감지물질은

효소, 항체, 항원, 렉틴(lectin), 호르몬 수용체(hormone receptor) 등이 있다. 특정 물질과 생체감지 물질의 결합·반응을 전기적 신호로 변환하는 transducer로는 전기화학, 형광, 발색, 표면플라스몬공진(SPR, surface plasmon resonance, 이하 SPR), 전계효과 트랜지스터(FET, field-effect transistor, 이하 FET), 진동 수정 마이크로저울(QCM, quartz crystal microbalance, 이하 QCM), 열센서 등이 활용된다. 2003년부터 다양한 의료용 바이오센서가 등장하였다. 일본 산쿄제약의 글루코와치(GlucoWatch)는 손목시계 모양의 외장형 바이오센서로 채혈침 없이 전자 시그널을 이용해 10~15분마다 혈당을 체크할 수 있도록 개발되어 효소기반 혈당센서를 대체할 수 있게 되었다. MIT가 개발하고 손트라 메디컬(Sontra Medical)이 상용화한 SonoPrep은 전기신호를 초음파 진동으로 바꿔 혈당량을 측정할 수 있다. 최근에는 인슐린 펌프까지 내장한 손목시계 형태로 혈당 측정용 바이오센서의 진화가 계속되고 있다. 2005년에는 Beckman Coulter사 심근경색 표지단백질을 현장검출하는 Triage 시스템을 상용화하여 전세계 POCT 시장에서 성공을 거두었다.

| <그림 2-43> 산쿄제약의 글루코와치 |



| <그림 2-44> Biosite사의 Triage 시스템 |



바이오센서 기술은 단백질, 세포, 바이러스 측정기술이 핵심

국내에서는 2001년 누리셀이 MEMS 공정을 이용한 질병 및 유전자 변형 질환 진단용 바이오칩 개발 사업을 시작하였다. 2002년 케이맥과 프로테오젠은 표면 플라즈몬 공명원리를 이용해 생체 물질 간 상호작용을 실시간으로 측정할 수 있는 분석장치를 공동개발하였다. 2005년 올메디쿠스에서는 소량의 혈액으로 혈당과 콜레스테롤을 체크하는 혈액분석 칩을 독자 개발하여 MEMS 기반 바이오센서의 선진국과의 기술격차를 좁혔다.

최근 바이오센서 기술은 화학적 분석(저분자 물질), 단백질과 핵산 정량/정성분석, 세포와 박테리아, 바이러스 등의 입자형태를 띠는 분석물의 측정기술로 구분 할 수 있다.

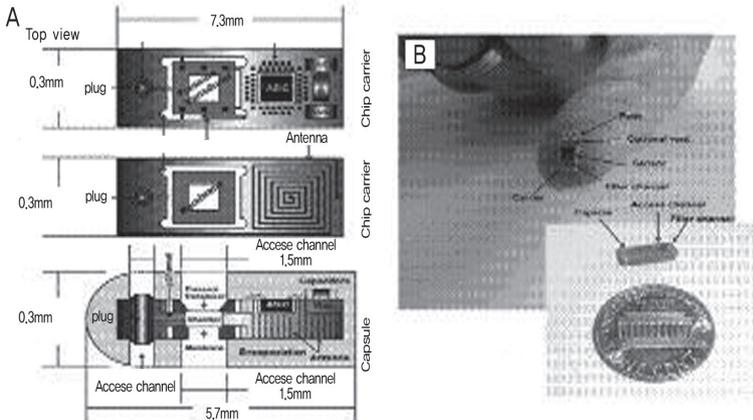
전해질이나 대사결과물을 분석하는 방법은 대상 분자에 따라 고유한 방식을 가지는데, 혈당의 경우, 연속적인 측정은 기술적 난제로 남아있다. 현재까지 상품화된 연속 혈당측정기는 5개로 대부분 전기화학적 효소센서를 이용한다. 가장 최근에 FDA의 승인을 받은 Medtronic사의 CGMS iPro 측정기는 작은 혈당 센서에 부착되어 피부 아래에 삽입되며, 3일 동안 자동적으로 혈당 수치를 측정·저장한다. 연속측정 가능시간은 센서의 수명에 따라 차이가 있어 일반적으로 3일 정도 가능하다. 따라서 장시간 구동 가능한 당센서 개발을 위하여 전극 보호막과 효소 안정화 기술이 주된 연구 대상이다.

적외선센서를 이용한 혈중 글루코즈 농도 측정은, 환자친화적인 장점에도 불구하고 신호 재현의 어려움으로 상용화되지 못하였다. 이를 극복하는 방안으로, 생체에서 배경신호가 매우 낮은 형광

과 Concanavalin A(ConA)를 결합하여 당의 농도를 측정하는 방법이 제안되기도 하였다. 글루코스에 선택적으로 결합하는 ConA는 인체 내에서 수개월간 활성을 유지하며 글루코스 결합시(2.5 to 25 mM) 정량적인 형광신호를 낼 뿐 아니라 장기간 신호 안정성이 뛰어나다. 그러나 ConA는 생체 독성 등의 문제로 인간에게 삽입되어 사용하지 못하고 있다.

혈중 글루코스의 지속적인 모니터링을 위하여 글루코스 농도편차에 따른 삼투압을 측정하는 마이크로센서 시스템이 노르웨이에서 개발되었다. Lifecare AS(Bergen)는 시약을 사용하지 않고 유해한 반응물도 만들지 않아 장기간 인체에 삽입되어 작동하는데 장애가 없고 무선 신호 송신 및 원격충전이 가능한 기능을 보유하고 있다 <그림 2-45>.

| <그림 2-45> 글루코스 농도편차에 따른 삼투압 모니터링용 센서 마이크로 칩 |



단백질과 핵산은 바이오센서가 가장 광범위하게 적용되는 표적 물질들이다. 전통적으로 효소면역분석법(Enzyme-Linked Immunosorbent assay, ELISA)을 최적화한 Rapid kit이 대표적인 검출방식이지만 최근에는 비표지 방식, 단일단계 측정 혹은 초고감도의 검출 등 새로운 방식의 센서도 개발되고 있다.

표면 플라즈몬 공명(Surface Plasmon Resonance, SPR) 방식은 금박에 부착된 단백질 층에서 일어나는 반응속도를 분석하는 방법으로 금박에 부착된 분자의 광선 입사각이나 파장의 변화를 감지한다. 최근에 Ouellet 등은 SPR과 microfluidic device를 활용하여 264가지의 단백질 반응속도를 측정할 수 있다.

UC Irvine에서는 SPR 이미징 방법을 사용하여 단백질-DNA 결합에 의한 생체물질을 감지하는데 최초로 성공한 바 있으며, 이를 통해 DNA micro-array 상에서 나노미터 수준의 DNA-RNA 상보결합을 측정할 수 있게 되었다. 또한 이곳에서는 효소를 이용한 신호 증폭 방법을 적용하여 저농도(10-100 pM)의 DNA를 감지하는 방법을 개발하였고 최근에는, 표면 플라즈마 형광 분광법(Surface Plasmon Fluorescence Spectroscopy, SPFS)을 사용하여 효소의 반응속도를 분석하고 SPR imaging 방법과 비교하는 연구를 진행하였다.

나노선(nanowires)은 분자들이 결합되면 전기전도도가 변하는 것을 측정하는 신기술로 핵산 검출에서 높은 감도를 나타내지만 실제 시료가 가지는 복잡한 환경변화를 측정하는데 단점이 있어 현장에 적용된 예는 드물다.

세포, 박테리아, 바이러스 등 입자형 검출대상 물질은 대사결

과물, 단백질 분자들과 다른 검출방식을 필요로 한다. 입자형 검출 대상 물질들은 시료 내에 극소량(10개/mL) 존재하는 경우에도 질 환 혹은 오염의 지표가 될 수 있어 획기적인 신호증폭 혹은 표적 농 측기법이 동반되지 않고는 검출하기 어렵다.

Twente 대학에서는 간접 측정(interferometric) 방법을 이용하여 생체물질을 감지하는데 활발하게 연구가 진행되고 있다.⁵⁷⁾

Sandwich Assay 방식을 박테리아 검출에 적용하면 다종의 박테리아 정량 측정이 가능하다. 유사한 Sandwich Assay를 이용하여 매우 높은 감도로 대장균 검출을 구현한 전기화학적 센서도 제시된 바 있다. 이 경우 Cu-Au bimetallic 나노파티클을 표지자로 활용하고 양극 벗김 전압전류법(Anodic Stripping Voltammetry, ASV) 기법을 통하여 1시간 이내에 30 CFU/ml 까지 정량 검출하였으나, 어셈블리 과정이 복잡하고 시료의 처리시간이 길어 현장에 적용되기 위한 후속연구가 필요하다.

병원체의 검출을 위한 바이오센서 연구는 진단, 식품환경, 생물무기방어 등을 목표로 하여 빠르게 확대되고 있다. 주로 광학, 전기화학, FET, 캔틸레버, QCM 등을 이용하여 시도되었으나 현재까지는 응용분야에서 필요한 수준의 감도와 스마트한 작동을 구현한 예는 찾기 어렵다.

57) 기존 보유한 미소유체칩을 결합하여 4개의 microchannel이 일체화된 Young Interferometer 센서를 개발하여 HSA(human serum albumin, 사람혈청알부민)를 특이결합을 적용하여 감지하였다. 또한 세계 최초로 Interferometric 센서를 사용하여 포진 바이러스를 실시간으로 감지하는데 성공한 바 있다(최저 감지 수준 850 particles/ml).

국내는 환경모니터링용 바이오센서 개발에 주력

Biotechnology Associate에 따르면, 세계 바이오센서 시장은 해마다 9% 정도 성장하여 2013년에는 48억 달러 규모에 도달할 것으로 전망된다.

| <표 2-14> 세계 바이오센서 시장의 규모 |
(단위: 국내-백만 원, 국외-억 불)

구분 (기술 / 제품명)	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	국내	국외	국내	국외	국내	국외	국내	국외	국내	국외	국내	국외
바이오센서	37,400	32	41,400	35	46,500	38	51,600	41	57,000	44	63,100	48
바이오 칩	79,900	36	106,300	45	132,800	56	175,700	69	223,900	84	28,400	100

이중 의료용 바이오센서가 시장의 약 80% 이상이나 향후 환경용 센서의 수요가 빠르게 성장할 것으로 전망된다. 세계 바이오센서 시장은 미국 37%, 유럽 42%, 일본 11% 등 선진국이 전체의 90% 이상을 차지한다.

| <표 2-15> 세계 바이오센서 시장 분야별 규모 |
(단위: 억 원, %)

구분	의료용	제약 연구용	군사용	식품용	환경용	합계
시장규모	82,782.0	6,922.8	6,066.0	1,708.8	790.8	98,270.4
비중	84.2	7.0	6.2	1.7	0.8	100.0

의료용 바이오센서 시장은 혈당 측정용 바이오센서가 가장 대표적인 진단 플랫폼이다.

| <표 2-16> 세계 의료용 바이오센서 시장 분야별 규모 |

(단위: 억 원, %)

구분	혈당 측정용 바이오센서	혈당치 테스트 스트립	기타	합계
시장규모	51,558.0	16,008.0	15,216.0	82,782.0
비중	62.3	19.3	18.4	100.0

혈당 모니터링 시스템은 효소를 이용한 검출기술기반의 플랫폼이 다수를 차지하는데, 주요 4개 기업 (J&J/LifeScan, Roche Diagnostics, Bayer, Abbott) 이 시장을 고르게 점유하고 있다.

바이오센서는 동맥 혈액 가스와 전해질 측정 센서가 주를 이룬다. 적혈구 용적율(Hematocrit), 젖산염, 산소와 이산화탄소 분압 측정 등을 주로 측정하는데, 절반 정도는 휴대용 센서가 이용된다.

세계적으로는 Abbott, Roche, J&J, i-STAT, Bayer, Therasense, Biacore, Arkray 등 50여개 업체가 병원용 바이오센서를 공급하고 있다. 국내 시장은 12% 정도의 세계시장보다 빠른 성장세를 보여, 2013년 600억 원 이상의 시장을 이룰 것으로 보았다.

국내에서는 LG전자기술원, 삼성종합기술원을 선두로 한 국내 대기업과 전자통신연구원, 생명공학연구원 등의 정부출연연구소와 바이오 벤처기업 에서 다양한 측정원리의 센서와 칩 설계, 소프트웨어를 개발하고 있다.

KIST는 지난 10년간 MEMS 기반 바이오센서 연구에 필요한 제조기반과 인력을 확보하였으며 이미 몇 가지 독자적인 플랫폼을 개발하였다. 또한 신개념 바이오센서의 실용화를 위해 나노소

자, 표면제어 및 화학, 하이브리드 재료 등의 분야와 융합연구가 가능한 단계에 있다. 또한, 주요 질환의 고정밀 분자진단과 유해환경 정보시스템은 향후 고령화 및 사회 안전망의 위기에 대응하는 기술적 자산이 될 것이다.

2012년에는 개별 센서 연구수준을 넘어, 고집적 다중분석용 chip-in-a-system 기술이나 현장분석 환경모니터링용 바이오센서 기술 개발이 추진되고 있다.

- MEMS 기술을 채용한 일회용 혈당측정기와 심근경색 진단칩과 같은 바이오센서는 보건, 안전, 위생분야에서 수요가 증대되고 있다. 그러나 MEMS 기반 바이오센서는 현장 검출에 적용하기가 분명한 반면에, 한번 사용하면 재사용이 불가능하기 때문에 이에 대한 문제점을 해결해 나가야 한다. 이를 위해서는 기존의 표적분자 측정방식과는 다른 접근법이 필요하므로, 나노재료와의 융합을 통해 이 난제를 해결해 나가도록 지원해야 한다.
- MEMS 기반 바이오 센서는 고도의 다중분석용 시스템이어서, 개발과정에서 신소재와 측정방식 등이 함께 고려되도록 다원적 융합연구를 추진해 나가야 한다.



마이크로 로봇

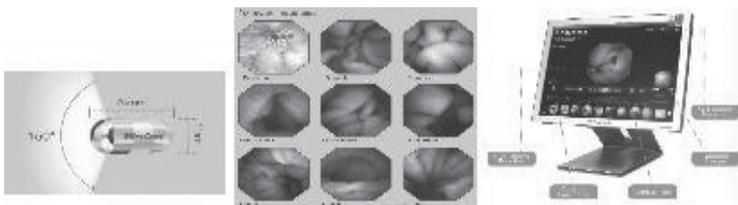
마이크로 로봇 기술은 초소형화된 로봇에 장착된 각종 센서나 논리회로, 마이크로 메커니즘과 시스템들이 결합된 기술로 마이크로 머신이라고도 한다.

최근 미국의 샌디아 국립연구소 과학자들은 반도체 공정기술을 활용한 MEMS 가공 기술을 개발하여 미래알 크기의 마이크로 머신들을 개발하였고, 이러한 기술을 근간으로 극소공학 (nanotechnology)이 발달하여 쌀알만한 크기의 자동차까지도 만들어 내게 되었다. 따라서 의료분야에서의 마이크로 로봇은 치석과혈관침착물 제거, 혈액 정보 수집, 병원체 공격, 손상된 조직 복구, 돌연변이 DNA 치료 등 다양한 질병을 치료할 수 있을 것으로 기대된다.

캡슐형 내시경 기능의 다양한 활용과 기술 진화 중

국내 마이크로 로봇 개발의 대표적인 사례는 캡슐형 내시경(mirocam capsule endoscopy)이다<그림 2-43>. 캡슐형 내시경 미로캠⁵⁸⁾은 캡슐의 형태(지름 11mm, 길이 24mm)를 가지면서 소형카메라(320X320, 10만화소), 플래시, 전송장치가 내장되어 있으며 장운동에 따라 소화기관을 통과하면서 1초당 3장의 사진을 찍은 뒤 전송하여 검사하는 방식으로, 기존의 내시경 검사법으로는 관찰이 어려운 소장에 대한 검사와 소화기관 전반에 걸친 검사를 수행할 수 있다. 또한 세계에서 가장 긴 10시간의 캡슐 수명을 바탕으로 대장 전체의 영상 촬영이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 최근에는 캡슐형 내시경의 소화기관내 정지 및 구동 기능, 기타 검사 기능, 약물주입 및 조직채취 기능에 관한 연구가 진행 중이다. 미로캠은 2007년도에 국내 GMP 허가를 완료하고 판매를 시작하였고, 유럽의 CE⁵⁹⁾를 통과하여 유럽시장에 진출하였다.

| <그림 2-46> 캡슐형 내시경 미로캠(MiroCam)의 'MiroViewTM' |



58) 미로캠은 21세기 프론티어사업인 지능형 마이크로시스템사업을 통해 개발된 후 (주)인트로메딕에 관련 기술이 이전되어 개발된 세계 최소형 소장용 캡슐내시경이다.

59) CE마크는 제품이 안전, 건강, 환경 및 소비자보호와 관련된 유럽규격 즉, EU이사회 지침(Directive)의 요구사항을 모두 만족한다는 의미이며, 유럽연합 내에서 유통되는 소비자안전과 관련된 제품에는 반드시 승인을 받고 CE마크를 부착하여야 한다. [출처] 유럽의 CE마크는 | 작성자 KC MARK

캡슐형 내시경을 세계 최초로 상용화한 회사는 이스라엘의 Given Imaging사가 최초이며, 인체 내외의 통신은 RF 무선방식을 사용하며 소장을 관찰하기 위한 캡슐내시경 ‘PillCam SB’와 식도를 관찰하기 위한 캡슐내시경 ‘PillCam ESO’를 출시하여 판매하고 있다. 또한 대장에서도 정밀하게 관찰이 가능한 캡슐내시경 ‘PillCam COLON’을 개발하여 유럽에서 승인을 받고 이를 판매하고 있다<그림 2-47>.

| <그림 2-47> 이스라엘의 Given Imaging사가 개발한 제품들 |

a. PillCam SB2



b. PillCam ESO2



c. PillCam COLON



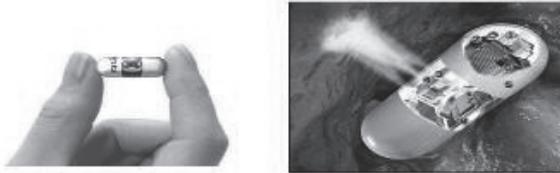
일본 Olympus 사의 EndoCapsule은 CCD 카메라를 이용하여 realtime viewer를 통해 실시간 소장 영상을 관찰할 수 있다는 차별점이 있다, 2005년 유럽시장, 2007년 미국 시장에 판매를 개시하였고 2008년에는 일본 보건부의 승인을 받아 Given Imaging사와 경쟁하고 있다<그림 2-48>.

| <그림 2-48> 일본 Olympus 사의 EndoCapsule |



일본의 RF SYSTEM LAB사는 캡슐형 내시경 Norica3을 자체 개발한 이후, 차세대 캡슐형 내시경 사야카(Sayaka) 개발을 발표했다<그림 2-49>. 카메라가 측면에 위치하여 6~8m에 이르는 소화관 전체를 회전하면서 접사 촬영할 수 있는 캡슐형 내시경이라는 특징이 있다.

| <그림 2-49> RF SYSTEM LAB사의 Sayaka |



중국의 Jinshan사는 Given Imaging사의 캡슐내시경을 모방한 OMOM을 중국 내에서 판매하고 있다. 네덜란드의 Philips사는 소화기를 지나면서 필요한 곳에 약물을 방출하는 지능형 알약 ‘아이필 (iPill)’을 2008년 11월에 개발하였다<그림 2-50>.

| <그림 2-50> |

a. Jinshan사의 OMOM



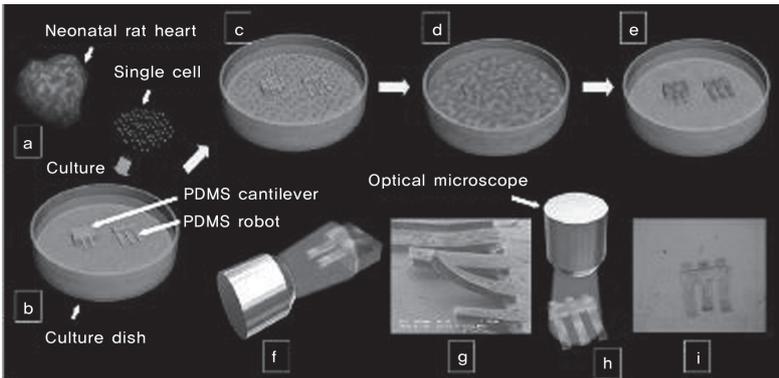
b. Philips사의 iPill



심근세포를 이용한 이동기, 관탐사로봇 등 다양한 마이크로 로봇 개발

KIST 마이크로시스템센터에서 쥐 심근세포의 수축력을 응용하여 마이크로로봇(가로 1mm, 세로 1mm)의 이동기를 제작하였다. Polymer(PDMS, polydimethylsiloxane)로 이루어진 매우 얇은 구조물 위에 쥐의 심근세포를 배양하여 세포의 수축력에 의해 발생하는 굽히는 힘을 이용하여 이동하는 로봇을 제작하였다. 자체 동력원이나 외부의 동력전달 없이 심근세포가 배양액 환경 하에서 수축력을 발생시키고 그 수축력을 구동기로 이용한 마이크로 로봇이다<그림 2-51> 참조.

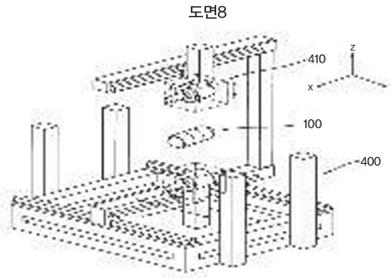
| <그림 2-51> 심근세포를 이용한 이동기 |



(주)티에스에서는 옥내 급수관 진단을 위한 자벌레 이동방식을 이용한 관탐사 로봇을 개발하였다. 관탐사 로봇은 공압을 이용하여 순차적으로 자벌레의 이동방식을 따라 유선으로 급수관을 이동할 수 있는 로봇이다. 또한 항공대 및 KIST 마이크로시스템센터에서는 캡슐

형 내시경에 장착되어 있는 자기력 센서와 체외부의 자석을 이용하여 캡슐형 내시경의 능동 구동 및 위치 제어를 위한 시스템을 개발하였다(그림 2-52).

| <그림 2-52> 캡슐형 내시경 능동 구동 및 위치 제어 시스템 |



일본은 외부에서 전자기장에 의해 초소형 로봇의 구동력을 발생시켜 혈관 내를 이동하는 메커니즘(Magnetic Swimming Mechanism)에 대해 제안하고 개발 중에 있으며, 아직까지는 초보적인 단계로 외부 실험 장치에서만 이동성을 확인하였다(그림 2-53).

| <그림 2-53> Magnetic Swimming Mechanism |

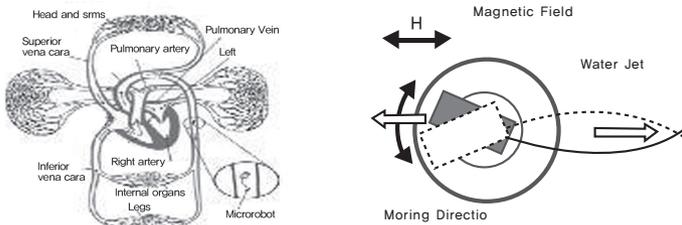
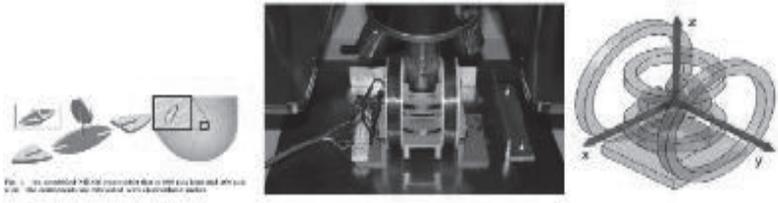


Figure 6. Driving Mechanism of Microrobot

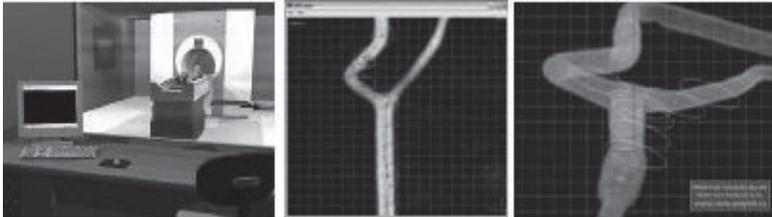
스위스 ETH는 외부 자기장과 자기장의 기울기를 제어하여 발생한 힘과 토크를 동력으로 인체 내부에서 이동할 수 있는 마이크로 로봇(길이: 900um)을 개발하였다. 또한 Helmholtz 기반의 3차원 자기장 기울기를 이용하여 마이크로 로봇을 추진하고 조향하여 안구 수술 용으로 제안하였다<그림 2-54>.

| <그림 2-54> 자기장을 이용한 마이크로 로봇 |



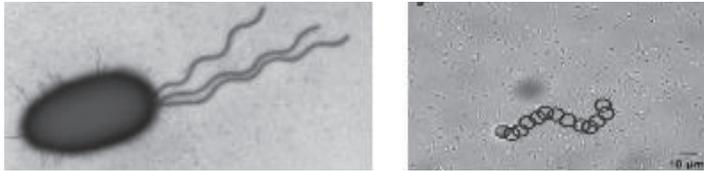
캐나다 S. Martel 교수팀은 MRI시스템을 이용하여 혈관 내부에서 이동 가능한 강자성체 구슬(ferromagnetic bead) 형태의 마이크로 로봇 시스템을 개발하였으며, 살아 있는 돼지 동맥에서의 동물실험을 통해 그 가능성을 확인하였다<그림 2-55>.

| <그림 2-55> MRI 기반의 마이크로 로봇 이동시스템 |



미국 CMU는 나선형 편모를 갖는 박테리아를 Micro bead 형태의 마이크로 로봇에 붙여 이동하는 연구를 수행하였으며, 박테리아의 활동성을 화학적 자극에 의해 조절함으로써 bacteria flagella motors 를 On/Off 할 수 있게 하였다<그림 2-56>.

| <그림 2-56> Bacteria assisted 추진 마이크로로봇 |



일본 Ritsumeikan 대학은 절개를 통해 삽입하여 인체 안에서 치료가 가능한 크기 직경 1cm, 길이 2cm, 무게 5g 인 딱정벌레 형태의 마이크로 로봇을 개발하였다. 작은 카메라, 센서 및 약물 전달 주사기를 포함하고 있으며 데이터는 작은 케이블을 이용하여 전달된다. 무선 송수신기는 현재 개발 중이다<그림 2-57>.

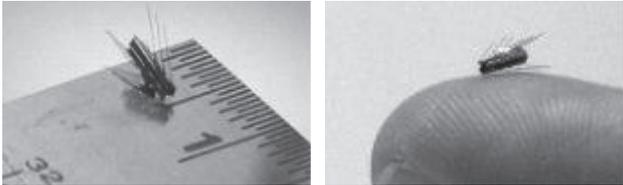
| <그림 2-57> 딱정벌레 의료용 마이크로 로봇 |



이스라엘의 Technion-Israel Institute of Technology사에서 작은 다리를 이용해 인체를 기어 다닐 수 있는 마이크로로봇을 개

발하였다. 크기는 직경이 1mm이고, 다리가 14mm이다. 동력은 외부
자력이나 자체 구동 시스템을 이용한다<그림 2-58>.

| <그림 2-58> 의료용 마이크로로봇 |



2012년 세계 캡슐형 내시경 시장규모는 3억 2천만달러, 국내 시장규모는 64억원 예상

캡슐형 내시경의 세계 시장규모는 2012년에 3억 2천만달러 정
도로 전망된다. 미국은 2012년에 소화기관용 내시경(GI Endoscopy)
시장 17억 달러, 캡슐형 내시경 시장 1억 7천만 달러로 전체 소화기관
용 내시경 시장의 약 10% 정도이며, 세계 캡슐형 내시경 시장에서는
50% 이상 차지할 것으로 예상된다. 우리나라의 경우는 64억원 정도
이며, 매년 증가 추세에 있다<표 2-17>.

| <표2-17> 캡슐형 내시경 분야의 국내외 시장 규모 |

단위: 국내-억 원, 국외-억 달러

구분 (기술 또는 제품명)	2008		2009		2010		2011		2012		2013	
	국내	국외	국내	국외	국내	국외	국내	국외	국내	국외	국내	국외
캡슐형 내시경	26	1.31	33	1.64	41	2.05	51	2.56	64	3.2	80	4.0

* 산출근거: 시장을 독점하고 있는 Given Imaging의 2008년 매출 보고서

- 1) Given Imaging의 2008년 매출액 1.25억 달러 규모, 매년 약 20~30%씩 증가
- 2) Intromedic, Olympus의 매출은 전체의 5%로 추정
- 3) 국내 시장규모는 세계시장규모의 2% 기준으로 작성

미국 캡슐형 내시경 시장은 2006년부터 2012년까지 매년 약 20%씩 성장하고 있으며, 시장성장 요인은 시술 편리성, 임상데이터의 효율성 입증, 신제품 출시 등 때문이다<표 2-18>.

구분	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Capsule endoscopes	5,680	6,590	7,870	9,520	11,750	13,780	16,050
Data recorders	570	630	710	770	820	870	920
Workstations	640	200	190	200	210	220	220

* 출처: Millennium Research Group, 2008

2012년 KIST는 캡슐형 내시경 미로캠 개발을 통해 축적된 기술들을 바탕으로 생의학(biomedical) 분야의 세계시장 선도형 제품 및 신기술 개발을 전략적 목표로 하고 있다. 인체 내 자율주행 기능, 진단 기능, 약물 주입 및 조직 채취 기능 및 치료 기능 등 복합기능이 집적된 캡슐형 내시경 연구 개발을 지속할 것이다.

- 마이크로로봇은 정보(IT), 생명(BT), 나노(NT) 융합기술을 바탕으로 의료용 뿐만 아니라 환경 감시용, 국방용, 경찰용, 탐사용, 산업용 등 각 분야에 걸쳐 응용 될 것이다.
- 마이크로로봇 분야의 발전을 위해서는 환경, 국방, 경찰, 탐사 등 그 응용 분야와의 융·복합연구가 필수적이다.

풍요로운 세상을 위한 미래융합기술

한 국 경제의 잠재성장률은 2011년 4% 정도이며, 2030년에는 1%로 하락할 것으로 전문가들은 예측하고 있다. 이러한 어려움이 예상되는 가운데 정부·기업·민간 등은 신성장동력을 창출하고 생산성을 향상시켜 국가발전의 지속성장을 이룩하고, 풍요로운 세상을 구현하기 위한 노력을 기울이고 있다. 이러한 풍요로운 세상을 위한 핵심 기술로 각광 받는 것이 신소재 나노기술과 인지로봇 기술이다. 나노기술은 생명공학, 의료 및 건강, 우주항공, 환경, 에너지, 농업, 방위산업분야에 광범위하게 응용될 수 있다. 나노기술을 통해 자연계에 존재하지 않는 새로운 구조, 분자 및 물질의 합성이 가능하게 되었으며, 나노소자 및 나노시스템 구현에 따른 과학 기술적 파급효과는 상상을 초월할 것이다. 나노기술의 영향력을 고려하여 세계 각국은 국가적 차원에서 전략적인 연구개발계획을 수립하여 추진하고 있으며, 우리나라도 정부차원에서 2010년 전부터 나노기술개발계획을 수립하여 추진해 온 결과, 현재 가시적인 여러 성과들이 나타나고 있다.

나노기술은 광범위한 분야에 응용될 것으로 예상되지만 산업적 파급효과의 규모와 새로운 시장의 창출 규모를 고려할 때 정보기술의 근간을 이루고 있는 전자소자분야가 가장 많이 응용될 것으로 보인다. 전자소자분야는 지금까지 ‘무어의 법칙(Moore's Law)⁶⁰⁾’으

60) 무어의 법칙(Moore's Law): 마이크로칩 기술의 발전 속도에 관한 것으로, 마이크로칩에 저장할 수 있는 데이터의 양이 매년 적어도 매 18개월마다 2배씩 증가한다는 법칙

로 일컬어지는 집적회로의 고밀도화를 지향하며 발전해 왔다. 그러나 이러한 발전은 궁극적으로 물리적, 자연적 한계에 봉착하게 될 것이 분명하며, 이러한 한계를 극복하기 위해 여러 물리적 현상들을 이용하여 새로운 원리 및 기능을 보유한 소자들의 연구 필요성이 부각되고 있다. 이러한 신기능 전자소자들을 포괄하여 나노소자라 부르며, 대표적으로 자기(magnetic), 광(optical) 등의 물리특성을 활용하는 소자들과 탄소나 산화물 재료들을 활용하는 소자 등으로 구분된다.

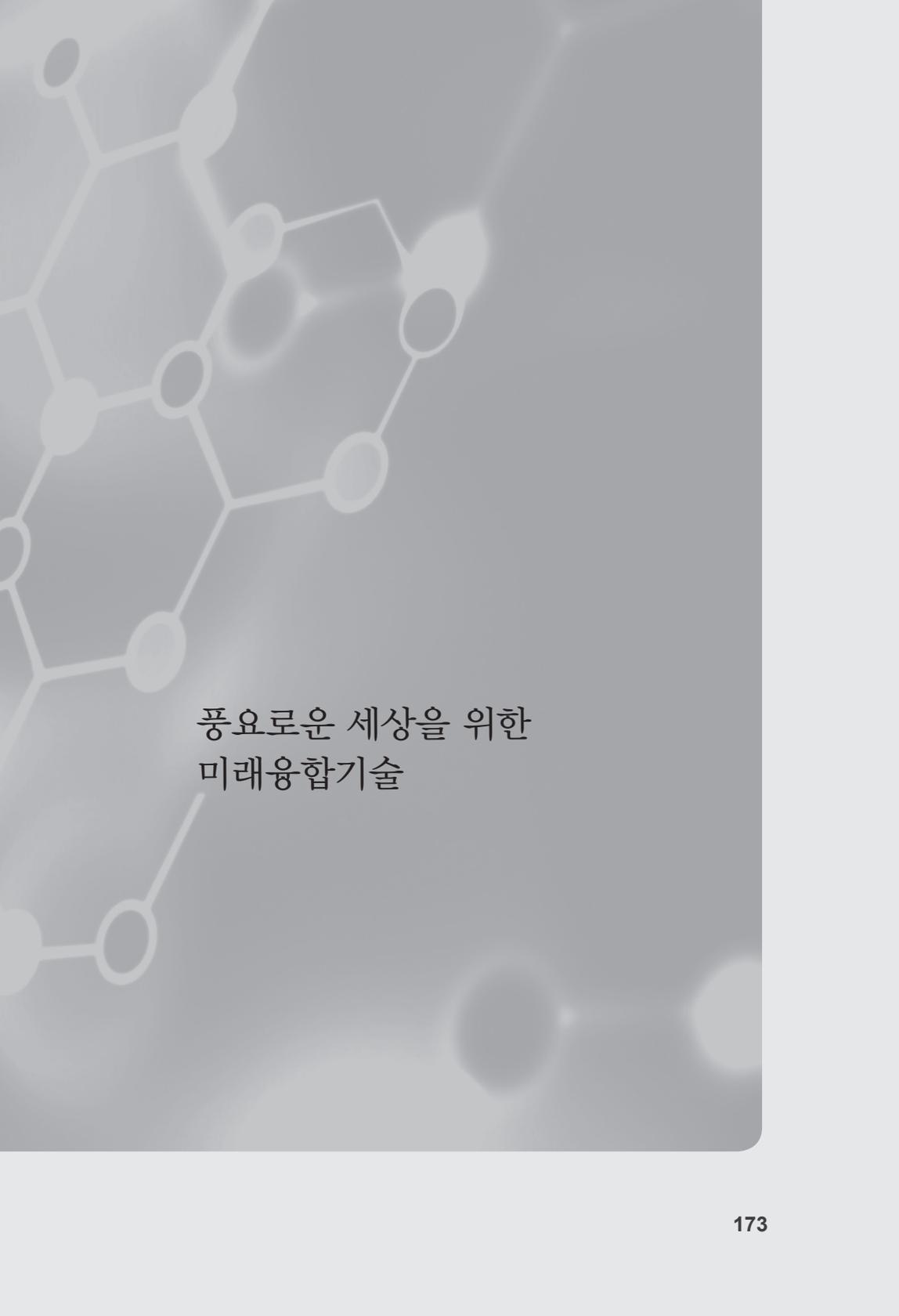
인지로봇 연구에서는 인간의 인지능력과 관련된 기술들을 결합하여, 자율성과 학습능력을 갖추고 인간과 자연스러운 교류가 가능한 새로운 개념의 지능형 로봇을 개발하고자 하는 것이다. 대표적인 분야로는 로봇 및 컴퓨터와 사람과의 상호작용을 연구하는 HCI 분야와, 이를 기반으로 하는 생활지원 로봇 분야로 나눌 수 있다.

HCI(Human Computer Interaction)란 로봇 및 컴퓨터와 사용자인 사람간의 상호작용을 연구하고, 이를 구현하기 위한 시스템을 설계, 제작, 적용하는 기술이다. 초기에는 키보드, 모니터, 마우스, 스피커 등 컴퓨터와 인간이 1대 1로 상호작용하는 기술로 출발하였으며, 이후 초소형 프로세서 및 센서가 개발되면서 초고속 무선 네트워크 기술을 바탕으로 하는 유비쿼터스 컴퓨팅으로 발전하여 유비쿼터스 환경, 생활기기, 인간형 로봇 등으로 확대되었다. 향후 생활지원 로봇 시장은 스마트폰, 인터넷과 같이 성장할 전망이다.

Nextgen Research에 따르면, 개인 로봇은 2008년 전 세계적으로 883만 대 이상이 판매되었으며, 2015년까지 약 2,500만 대가 판매될 것으로 전망된다.

향후 인지로봇 기술은 가사, 여가, 의료, 국방, 환경 등 일상생활에서 활용될 것이다. 다양한 분야에서의 인지로봇 기술의 영향에 대해 예측하고, 새로운 패러다임의 서비스와 인터랙션 기술을 동시에 개발해야 한다. 인지로봇 기술 개발을 위해서는 새로운 기술이 인간에게 육체적, 정서적으로 미치는 영향에 대한 연구, 정보보안, 윤리적 문제 등의 검토가 선행될 필요가 있다.

본 장에서는 한국의 기술적, 산업적 배경과 중요성을 감안하여 매우 광범위한 융합기술 분야에서 나노소자 분야와 인지로봇 분야에 한정하여 기술하였으며, 특히 스핀트로닉스(spintronics) 소자, 광(optical) 소자, 탄소(carbon) 소자 및 산화물(oxide) 전자소자 및 인지로봇 기술이 어떻게 적용되고 발전될 것인가에 중점을 두고 기술 전망을 하였다.



풍요로운 세상을 위한
미래융합기술



스핀소자

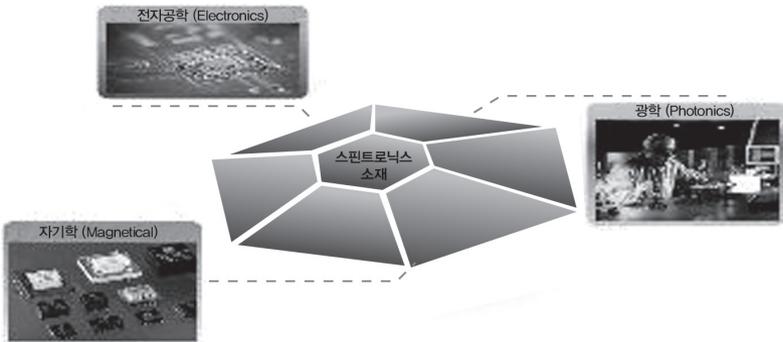
전자 혁명을 주도한 반도체기술의 전자소자는 메모리칩이 나노 단위까지 작아지면서 양자역학적 투과현상으로 인해 간섭현상이 심해지고, 소형화에 따른 열방출과 전원이 꺼지면 데이터가 없어지는 휘발성(volatility) 등의 문제점을 갖고 있다. 이러한 기술적 한계의 대안으로 부상한 것이 ‘스핀트로닉스(spintronic)’다.

스핀트로닉스 기술은 전자의 물리적 특성인 스핀을 활용하여 밀고 당기는 자석의 성질인 ‘자성’을 응용한 기술로, 전자의 전하(charge)와 스핀(spin)이라는 두 가지 물리특성을 동시에 이용하여 새로운 소자를 구현하는 전자공학 기술이다. 기존의 전자소자 기술이 전자의 두 가지 특성인 전하와 스핀 중에서 스핀을 고려하지 않고 전하만을 이용하는 데 비해, 스핀트로닉스 기술은 전자의 전하에 의한 특성뿐만 아니라 양자역학적인 스핀 물리현상을 동시에 이용

한다. 스핀트로닉스 기술을 이용한 소자는 스핀의 고유특성인 비휘발성(non-volatility) 뿐만 아니라 초고속, 초저전력 등의 특성을 가지고 있어 이를 이용하면 기존 전자소자의 기술적 한계를 극복할 차세대 전자소자를 구현할 수 있다.

〈그림 2-59〉는 스핀트로닉스 소재와 관련된 연구분야를 나타내고 있다.

| 〈그림 2-59〉 스핀트로닉스 관련 분야 |



스핀 정보저장, 정보처리, 통신소자가 핵심

1986년 프랑스의 Fert와 독일의 Grünberg⁶¹⁾가 거대자기저항 현상(Giant Magneto-Resistance, GMR)을 발견한 이후, 다층 박막계에서의 자기저항효과⁶²⁾에 대한 연구가 빠르게 진행되었다.

이 기술은 하드디스크의 재생헤드 등 실제 응용분야에 성공적

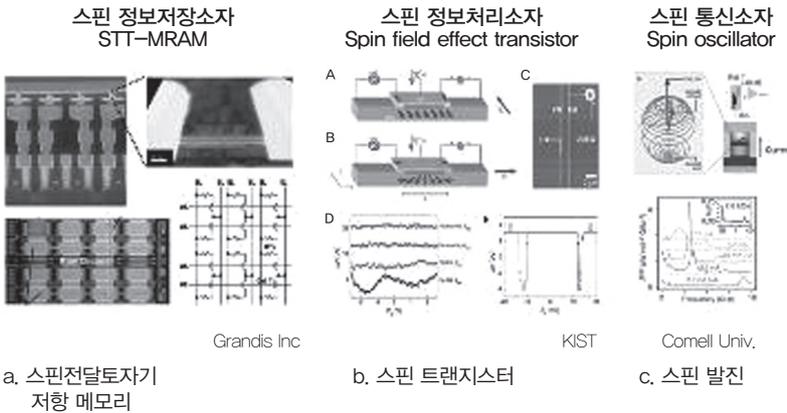
61) 2007년에 노벨 물리학상을 공동 수상하였다.

62) 자기저항효과란 외부자기장에 의해 소자의 저항이 변화하는 성질을 말한다.

으로 적용되어 왔으며, 새로운 스핀트로닉스 기술 분야로의 길을 열었다.

스핀트로닉스 소자 기술은 사용하는 물질의 특성에 따라 크게 금속다층박막, 자기터널접합, 반도체에서의 스핀전송을 이용한 기술로 분류되며, 각각의 물질에 기초하여 다양한 형태의 스핀트로닉스 소자를 실현할 수 있다. 대표적인 스핀트로닉스 소자 기술은 <그림 2-60>과 같이 스핀 정보저장소자 기술, 스핀 정보처리소자 기술, 스핀 통신소자 기술 등이 있으며, 이 기술들은 향후 5~10년 내에 실용화될 것으로 전망된다.

| <그림 2-60> 대표적 스핀트로닉스 소자 |



스핀 정보저장소자의 가장 대표적인 예는 자기저항 메모리 (Magnetoresistive Random Access Memory, MRAM)이다. 1995년, 미국의 Moodera와 Miyazaki는 양자역학적 터널링을 이

용하여 상온에서 상당한 크기의 터널 자기저항 효과(Tunnel Magnetoresistance Random, TMR)를 얻을 수 있음을 보여주었다. TMR은 하드 디스크 재생헤드의 성능을 크게 향상시켰고, MRAM이라는 개념을 제품으로 실현하는데 큰 역할을 하였다.

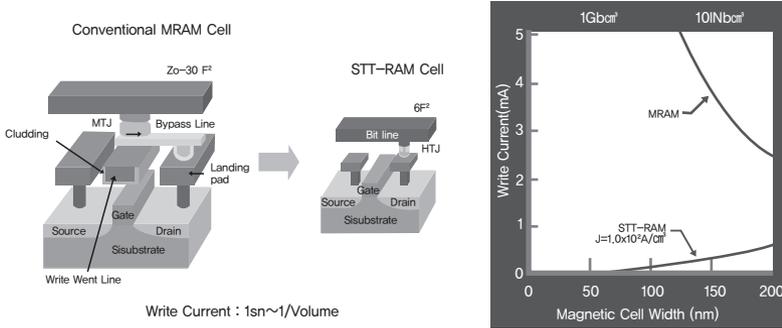
실제로 미국의 Everspin사는 자기터널접합을 이용하여 16Mb 급 MRAM소자를 개발함으로써 battery-backup SRAM (Static Random Access Memory) 시장을 대체하였다.

최근에는 차세대 MRAM인 스핀전달토크(Spin Transfer Torque, STT) MRAM⁶³⁾이 활발히 개발되고 있다. STT-MRAM은 자기저항효과와 전류구동 자화반전(Current Induced Magnetization Switching, CIMS)⁶⁴⁾이라는 두 가지 개념에 기초하여 작동하는 소자이다. 기존 MRAM에서는 도선에 전류를 흘려서 자기장으로 자기 셀을 교환하는 방식을 사용하지만, STT-MRAM에서는 스핀전달토크 현상을 이용하여 자기 셀을 전류로 직접 교환시키는 기술을 사용한다<그림 2-61 참조>.

63) STT-MARM 제품은 비휘발성이며, 빠른 속도, 소형화 가능, 저전력소모 등의 특성을 가지고 있어 기존 기술 대비 차별화 정도가 아주 높다. STT-MARM은 기존 메모리가 적용되는 모든 영역(embedded 및 stand-alone 메모리를 포함)에 적용 가능하여 다수의 메모리 제품과 시장에서 경쟁할 수 있다. 휴대용 정보기기, 컴퓨터, 디지털 TV, 멀티미디어 기기, 산업용 정보 시스템 등 차세대 고밀도·대용량 정보처리 및 정보저장 소자로 광범위한 적용이 가능하며 특히 차세대 휴대용 기기의 정보처리·저장장치의 발전에 기여할 것이다. 더불어 기존 반도체 관련 인력의 고용 유지 및 신규 투자에 따른 고용창출 효과와 저전력 메모리 보급을 통해 에너지 및 환경 문제 해결이 필요하다.

64) 전류구동 자화반전 소자의 개념은 Berger와 Slonczewski가 1996년에 독립적으로 발표한 스핀전달토크 이론에 근거하며, 이는 전류를 인가하여 국부적인 자화 방향을 반전시킬 수 있으며, 아울러 10GHz 정도의 주파수를 갖는 마이크로파를 발생시키거나 자벽을 이동시킬 수 있다고 예측하였다.

| <그림 2-61> 1세대 MRAM과 STT-MRAM의 비교(Grandis사) |



스핀트로닉스 분야의 대표적 능동 소자인 스핀트랜지스터 (Spin Transistor)는 전자가 가지고 있는 전하와 스핀을 동시에 제어할 수 있는 신개념 소자이다. 스핀트랜지스터는 1990년 Datta-Das⁶⁵⁾에 의해 제안되었으며 반도체와 강자성체(ferromagnet)의 하이브리드 구조를 이용하여 트랜지스터의 특성을 구현한다. 스핀 트랜지스터는 스핀의 정보를 초고속 반도체 채널에 전달하고 입력된 스핀의 방향을 게이트 전계로 조절하여 동작시키는 소자이다. 반도체 채널 내부를 통과하여 드레인(drain)에 도착하는 전자의 스핀 방향이 드레인의 자화방향과 평행(parallel)하거나 반평행(antiparallel) 하면 각각 저항이 낮거나 높게 나타나 트랜지스터가 on/off 동작을 하게 된다.

이러한 스핀 트랜지스터는 같은 전하량이 전달되더라도 스핀이라는 또 하나의 제어할 수 있는 변수가 있어 다양한 기능을 할 수

65) DATTA-DAS: Supriyo Datta와 Biswajit A. Das는 1990년에 스핀FET를 제안하였다.

있다. 스핀의 방향에 따라 저항이 바뀌는 것을 이용한 교환 소자로 사용이 가능하며 자성물질의 고유한 특성인 비휘발성을 이용한 메모리 기능도 갖추고 있어, 차세대 논리 및 정보저장 통합소자로 이용할 수 있다. 스핀 통신 소자의 대표적 소자인 스핀 발진기는 STT-MRAM과 마찬가지로 자기저항효과와 전류구동 자화반전이 라는 두 가지 개념에 기초하여 작동하는 소자이다. 2003년 Cornell 대학 연구그룹이 나노자성구조에서 스핀 토크에 의한 초고주파 발진을 실험적으로 증명하면서 스핀 발진기에 대한 연구가 급속히 진전되었다. 스핀통신 소자를 이용하면, CMOS 소자 위에 바로 RF 통신 소자를 집적하는 형태의 혁명적 RF기술을 실현할 수 있을 것으로 예상된다.

정보저장은 스핀전달토크 자기저항메모리, 통신소자는 발진기 개발에 역점

스핀정보저장 소자기술을 개발 중인 미국 IBM사는 스핀전달토크 및 전류구동자화반전에 대한 원천기술을 보유하고 있으며, 관련 기술인 자구벽 이동소자에 대해서도 원천 특허를 보유하고 있다. 또 산화마그네슘(MgO) 기반 자기터널접합 기술도 일본 산업기술종합연구소(AIST)와 거의 동시에 개발하여 이에 대한 특허도 보유하고 있다. Everspin사는 MRAM기술을 상용화하여 지멘스사, BMW사 등에 MRAM을 공급하고 있으며, 현재는 기존 MRAM 제품만 출시하고 있으나, 2012년 STT-MRAM 제품 출시를 목표로 추진하고 있다. Grandis사는 STT-MRAM을 개발하기 위해 세워진 벤처 기업으로 자기터널접합을 이용한 STT-MRAM 등 다양한 응용 기술

과 특허를 보유하고 있으며, 2011년 8월 삼성전자가 STT-MRAM 개발을 위해 인수한 바 있다. Qualcomm사도 대만 TSMC사와 협력하여 모바일 기기의 임베디드(embedded) 회로에 사용되는 STT-MRAM 개발을 진행하고 있다. 이외에도 STT-MRAM 상용화를 목표로 Avalanche Technology사, Spin Gate사 등의 신생회사들이 설립되고 있다.

일본에서는 Toshiba사가 수직형 STT-MRAM 개발을 선도하고 있으며, 2007년 세계 최초로 수직자화 STT-MRAM을 발표하였고 현재 이 분야에서 최고의 결과를 보이고 있다. Toshiba사는 상용화를 위해 필요한 높은 재생신호와 낮은 임계전류를 동시에 만족시키는 구조를 연구 개발 중이다. AIST 연구소는 MgO 터널접합의 원천기술을 보유하고 있으며, Toshiba사 및 Canon-Anelvas사와 협력하고 있다. 일본의 NEC사에서는 자기도메인을 전류를 이용하여 이동시키는 방식의 메모리와 수직 자기터널접합 기술을 이용하여 임베디드 메모리를 구현하는 연구를 수행하고 있다.

프랑스의 Crocus사는 TAS(Thermally Assisted Switching)-MRAM이라는 독특한 형식의 MRAM 개발을 하고 있으며, 10ns 이하에서 $2\text{MA}/\text{cm}^2$ 의 전류밀도로 구동 가능한 50nm급 STT-MRAM 기술을 확보하고 있다. Crocus사는 이스라엘의 Tower사와 TAS-MRAM을 생산하기로 협약을 맺었고, 최근 IBM사와 TAS-MRAM에 대한 공동연구 협정과 상호 특허라이선스 계약을 체결하였다.

스핀 정보처리소자를 개발 중인 미국의 Minnesota 대학에서는 스핀주입 및 검출을 위해 갈륨 아세나이드(GaAs)를 이용하였고, 미국의 Delaware 대학과 네덜란드 Twente 대학에서는 실리콘(Si)

을 이용하였다. 현재 기술수준은 수 % 정도의 스핀주입 효율을 보이고 있으며, 스핀주입 효율 향상을 위해 자성체/반도체 계면에 터널 배리어 및 쇼트키 배리어를 활용하는 방법 등이 사용되고 있다.

일본의 Hitachi사와 Tohoku 대학은 협력연구를 통해 자기터널접합과 CMOS 논리회로를 결합하여 Full adder를 시연하였다. 42 MOS 회로로 구성된 기존회로를 4개의 자기터널접합과 34개의 MOS로 구성된 논리 기억구조로 대체하여 동일한 기능을 수행하면서도 기존회로 대비 동적 출력(dynamic power)을 23% 정도로 감소시켰다. 프랑스 Spintec사도 이와 유사한 논리소자연구를 착수하고 있다.

스핀 통신소자는 미국 Cornell 대학과 미국표준기술연구소(NIST)를 중심으로 관련 연구가 진행되고 있으며, 실용화를 위해서 IBM사, Hitachi사, GST사, Seagate사 등이 동참하고 있다.

일본에서는 Osaka 대학, Tohoku 대학, AIST 연구소를 중심으로 산화마그네슘(MgO) 터널 접합에 기초한 발진기 연구를 선도하고 있다. 유럽에서 스핀 발진기 연구를 선도하는 기관은 주로 프랑스에 위치하여, Paris Sud 대학 및 프랑스 국립과학연구센터(CNRS)의 Fert와 Chappert를 중심으로 스핀발진기에 대한 연구를 도출하고 있다.

또한 프랑스 Spintec사에서도 새로운 구조와 물질을 중심으로 한 스핀 발진기 실험 연구를 진행하고 있으며, 스웨덴의 KTH 대학에서는 스핀 발진기 측정실험에 대한 연구결과를 연이어 발표하면서 새로운 다크호스로 떠오르고 있다.

스핀전달토크 자기저항메모리 세계 시장은 5년후 30조원으로 추정

반도체 메모리 시장은 DRAM, Flash 시장이 가장 크고 STT-MRAM은 현재 기존 시장 구도에서 기존 메모리를 대체하는 방식으로 사업화가 가능하며, 신규 부문의 시장 창출이 예상되고 있다. 2015년 세계 반도체 시장 규모는 4,800억 달러 정도로 예상된다. 한국은 전 세계 반도체 시장의 성장속도보다 빠른 속도로 시장점유율을 높이고 있으며, 한국의 반도체 산업 성장률은 약 15% 정도로 추산된다.

STT-MRAM 제품은 2015년에 출시할 것으로 전망된다. Everspin사는 토글(toggle) 16Mb MRAM을 이미 생산하여 시장화한 경험을 바탕으로 STT-MRAM 분야에서도 선두주자이며, 삼성/Grandis사와 하이닉스/Toshiba사는 스탠드 얼론 메모리 분야에서, Qualcomm사/TSMC사는 mobile system on chip 분야에서 중요한 업체로 대두될 것이다. Crocus사/IBM사도 thermally assisted Magnetic-Logic-Unit(MLU) 분야에서 경쟁력을 갖게 될 것으로 예상된다. 2015년부터 STT-MRAM이 기존 메모리와 경쟁을 시작하여, 전체 메모리 시장의 10%를 점유한다고 가정하고, 2015년 이후부터 매년 5%씩 시장 점유율을 늘릴 것으로 예상하면, 2017년, STT-MRAM의 전 세계 기준 추정 매출액은 약 30조원이다.

〈표 2-19〉은 Grandis사에서 STT-MRAM과 기존 메모리의 기술을 비교한 표이다. 한국 메모리 업체의 메모리 시장 점유율 40%를 감안하면, 한국 업체는 2017년 약 12조원의 매출을 달성할 것으로 예상된다.

| <표 2-19> STT-MRAM과 경쟁기술의 비교(Grandis사) |

	SRAM	DRAM	Flash (NOR)	Flash (NAND)	FeRAM	MRAM	PRAM	PRAM	STT-MRAM
Non-volatile	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Cell size(F ²)	50-120	6-10	10	5	15-34	16-40	6-12	6-10	6-20
Read time(ns)	1-100	30	10	50	20-80	3-20	20-50	10-50	2-20
Write / Erase time(ns)	1-100	15	1μs/10ms	1ms/0.1ms	50/50	3-20	50/120	10-50	2-20
Endurance	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ⁵	10 ⁵	10 ¹²	> 10 ¹⁵	10 ⁹	10 ⁹	> 10 ¹⁵
Write power	Low	Low	Very high	Very high	Low	High	Low	Low	Low
Other power consumption	Current leakage	Refresh current	None	None	None	None	None	None	None
High voltage required	No	3V	6-8V	16-20V	2-3V	3V	1.5-3V	1.5-3V	< 1.5V
	<i>Existing products</i>						<i>Prototype</i>		

스핀트랜지스터를 상용화하기 위해서는 10년 이상의 연구개발이 필요할 것으로 예상되며 기술적 과제를 해결하면 논리소자를 중심으로 한 비메모리 분야에서 시장을 점유할 수 있을 것으로 전망된다. 단기적으로는 스핀트랜지스터 자체보다는 스핀주입기술과 기존의 CMOS 기술이 결합된 형태의 소자의 출현가능성이 있으며 스마트폰 등 모바일 시장에 진출할 것으로 예상된다.

스핀 통신소자는 거의 모든 무선통신 시스템에 적용 가능하고, 차세대 지향 스마트폰, iPad 등과 같은 휴대 정보기기의 송수신기 및 유비쿼터스 무선센서의 핵심 장치 등에 다양하게 활용될 수 있

다. 스핀 통신 소자 원천 기술의 확보는 차세대 이동통신 시스템의 경쟁력 확보에 기여할 수 있을 것으로 전망된다.⁶⁶⁾

우리나라는 2014년경 수직자화 STT-MRAM 개발 가능

국내 스핀트로닉스 기술은 2010년 3월 종료된 프론티어사업(TND; 테라급 나노소자사업)을 통해서 한국과학기술연구원(KIST)과 삼성중기원 등 6개 연구기관이 참여, 장기간 STT-MRAM 기술을 개발해 왔으며, 수평 자성층을 사용한 STT-MRAM 구조의 주요 특성을 확보하였다.

또한 2009년 3월부터 삼성과 하이닉스는 한양대, KIST, 고려대 등의 대학과 협력하여 30nm급 STT-MRAM을 공동개발하기로 합의하였고, 2014년까지 개발 완료를 목표로 수직자화 STT-MRAM 연구도 진행하고 있다. 더불어 KAIST, 서울대, 포항공대, 인하대, 연세대, 세종대 등은 나노스핀 소자에 대한 기반기술 및 응용기술을 연구하고 있다. 또 하이닉스사는 2011년 7월 Toshiba사와 STT-MRAM 공동개발협정을 맺었고, 삼성전자는 2011년 8월 하이닉스사와 협력관계에 있던 Grandis사를 인수하는 등 기업 간 합종연횡이 일어나고 있다.

스핀발진기는 KIST와 한국기초과학지원연구원(KBSI)이 2009년 6월 스핀 통신소자용 나노 발진기에 대한 공동연구를 시작하였

66) 2009년에 세계 시장규모가 1500억달러(약 200조원)에 달한 휴대전화기 산업은 국가 전략적으로 매우 중요한 산업이다. 그러나 한국의 경우 휴대폰의 핵심 부품인 이동통신 MODEM 및 송수신기 관련 부품의 국내 내수 및 수출 휴대폰들에 있어 채택률이 낮은 상태이다.

고, 2011년 7월에는 교육과학기술부 미래 유망 파이오니아 사업으로 KAIST, KIST, KBSI 및 고려대간의 협력연구로 스핀 발진기를 이용한 새로운 나노라디오 시스템 개발을 착수하였다.

KIST는 반도체/자성체 하이브리드 구조를 이용하여 세계 최초로 스핀 트랜지스터를 구현한 바 있어 2012년에는 반도체에서의 스핀 홀 효과 등 새로운 스핀 현상을 중점적으로 연구하고 있다. KIST는 삼성, 하이닉스 등의 기업을 제외하고는 국내에서 STT-MRAM 단위소자를 제작할 수 있는 유일한 기관으로 그동안 기관고유사업과 프론티어 사업을 통해 STT-MRAM 기술을 개발해 왔고, 최근에는 여러 기업 및 연구기관과 협력하여 수직자화 STT-MRAM을 연구⁶⁷⁾하고 있다.

이제 KIST는 스핀 트랜지스터 및 스핀주입 기술에 있어서 명실 공히 세계 최고의 연구기관이다. KIST에서는 2009년 InAs 기반 반도체/자성체 하이브리드 구조를 이용하여 스핀주입 및 게이트 제어를 보여줌으로써 세계 최초로 스핀 트랜지스터 동작을 구현해 왔기 때문에 2012년에는 스핀트랜지스터의 신호비를 향상시키는 연구와 저온에서만 보여준 특성을 상온으로 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다.

또 KAIST와 공동으로 스핀발진기를 이용한 새로운 나노라디오 시스템 연구개발을 수행하고 있다.

67) 수직자화 STT-MRAM 연구는 자기저항비 증가와 30 nm이하 셀에서의 열적안정성 확보, 자화반전 임계전류의 저감 등이 핵심과제이다.

- STT-MRAM과 스핀 논리소자는 instant-on, high-speed라는 기능적 장점과 에너지 소비 측면에서 배터리 수명을 증진시키는 장점을 바탕으로 21세기 전자공학에 중요한 영향력을 미치는 기술로 자리매김 할 것이다. STT-MRAM은 45nm에서 SRAM과 eFlash(=embedded Flash)기술을 대체할 수 있으며, 32nm에서 DRAM을 대체할 수 있을 것으로 보이고, 22nm에서는 궁극적으로 NAND Flash와 대등하거나 우수한 성능을 보일 것으로 예상된다. 이를 위해서는 수직자화 MTJ의 실현, 열적 안정성 문제를 해결할 수 있는 재료 및 구조적 해결책, 안정적인 제조공정 확보 등 기술적 난제들이 우선 해결되어야 한다.
- 스핀 트랜지스터는 기존의 CMOS 기반 트랜지스터를 대체하기 위하여 스핀주입효율 향상, 스핀소재 개발이 병행되어야 하고, 스핀 트랜지스터 성능 향상과 동시에 기존 논리회로에 스핀특성을 결합한 다기능 논리회로의 초기제품이 개발되어야 한다. 스핀 트랜지스터는 대기전류가 크고 on/off 비가 아직 작으며 기존의 실리콘 기반보다는 화합물 반도체를 이용하는 것이 일반적이어서 실리콘을 대체해 나가는데 따르는 장애를 극복해 나가는 것이 관건이다.
- 스핀 통신 소자는 위상 잡음을 최소화시키고, 광대역에서 동작하며, 수백 배 이상의 Q값 및 수십 배 이하의 전력소모와 칩 크기를 갖도록 한다면, 미래 이동통신 기술의 새로운 대안이 될 수 있다. 따라서 물리 및 재료 연구에 한정되어 왔던 스핀 통신소자 연구를 변복조 기능을 갖춘 라디오 시스템 연구로 발전시켜야 나가야 한다. 이를 통해 주파수 선택도 및 변복조, 전송속도, 전력 레벨 등이 사용자의 요구에 따라 디지털적으로 제어될 수 있도록 하여, 궁극적으로는 차세대 디지털 통신 시스템 기술로 발전시켜야 나가야 한다.



광소자 |

컴퓨터 및 네트워크(인터넷)로 대표되는 정보통신 기술(IT)의 발달에 따라 전 세계는 정보화사회로부터 출발하여 지식기반 사회, 지능화 사회로 급격하게 발전되어가고 있다. 그러나 이를 가능케 하였던 낮은 전력의 상보성(相補性) 금속 산화막 반도체(CMOS) 기반 IT 반도체의 미래는 밝지 않다. 현재 점차 그 크기가 작아지는 CMOS 기반 반도체의 양자 물리적 한계로 인해 발생한 과도한 전력소비로 반도체의 성능 향상 속도는 점점 느려지고 있으며, 가정용 컴퓨터의 CPU 온도가 계란을 요리할 정도이다. 이러한 문제의 근본적 해결책은 나노 스케일 소자를 3차원 실리콘 기술로 집적하고, 전자가 아닌 광자로 반도체 칩을 결합하여 초고속 통신과 에너지 소비량을 획기적으로 감소시키는 융합시스템에서 찾을 수 있다.

광소자 기술은 21세기 정보통신혁명을 이끌어냈으며, 현재도 지속적인 발전을 거듭하고 있다. 광소자⁶⁸⁾ 기술은 빛의 최소 단위인

68) 나노 광소자는 전자/전공의 움직임을 3차원, 2차원, 그리고 1차원 구속을 주는 양자 점, 양자선, 양자우물 구조의 성장 기술을 근간으로, 이렇게 구속된 전자/전공의 움직임을 3차원, 2차원 그리고 1차원으로 광자와 결합시키는 기술로 만들어진 소자를 뜻한다.

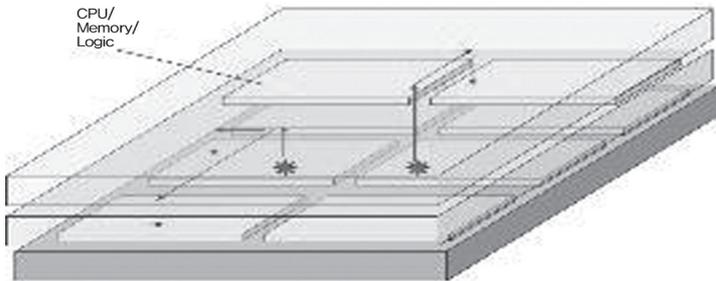
광자(photon)를 광섬유 속에 가둔 후, 광자 생성용 레이저다이오드, 광자 증폭용 광섬유증폭기, 그리고 광자 검출용 수광 소자 등의 광소자들을 이용하여 광통신 시스템을 만드는 기술이다.

광소자 기술 중 광자 덩어리가 아니라 개개의 광자를 제어하는 기술인 단일 광자기술은 절대적 보안이 가능한 양자암호통신기술의 핵심으로 주목 받고 있다.⁶⁹⁾ 양자암호통신기술은 단일광자를 검출하는 기술과 단일 광자를 추출하는 기술 그리고 빛을 파장대별로 분배하는 기술이 중요하다. 또한 빛의 전반사를 이용한 광소자 기술과 간섭계를 이용한 보강간섭 및 상쇄간섭으로 정보를 판단케하는 기술도 필요하다.

광자연결 반도체기술은 연결의 정도를 볼 때 단일 소자에서 수평적으로 실리콘 칩 내에서 통신을 하는 기술과, 칩과 칩을 수직 적층/수평 배열로 확장하여 이를 연결시키는 기술로 나눌 수 있다. 또한 기술을 세분화한다면 칩 상의 광네트워크기술, 실리콘 상에 결합된 레이저기술, 수평/수직 광도파로 형성기술 및 각각의 소자를 제어하는 기술로 나눌 수 있다. 현재 반도체 레이저의 구조 및 파장과 도파로의 재질 및 구조 선택에 따라 다양한 결합이 가능하지만, 최종적으로는 실리콘 기판 위에 반도체 레이저 및 도파로가 모두 결합되는 형태를 추구해 나가게 될 것이다<그림 2-62>.

69) 단일 광자를 생성하여 이를 일회성 암호키(비밀 열쇠)로 사용하고, 일회성 암호키를 상호 통신자 간에 분배한다. 만약 누군가 도청을 하기 위해 통신 중인 단일 광자에 영향을 주면, 단일 광자는 영향을 받아 즉시 그 특성이 바뀌게 되어, 통신자들은 도청을 즉시 알 수 있게 된다. 이를 위해서는 단일 광자를 감지하는 APD(Avalanche Photo Diode)와 양자메모리 같은 광소자기술의 개발이 필요하다. 미래에 양자암호통신 기술은 국가기밀, 금융권 나아가 개인 정보통신 보안에도 적용되어 해킹으로부터의 안정성을 보장받는 시대를 만들 수 있을 것이다.

| <그림 2-62> 양자암호통신기술 및 광자연결반도체기술 |

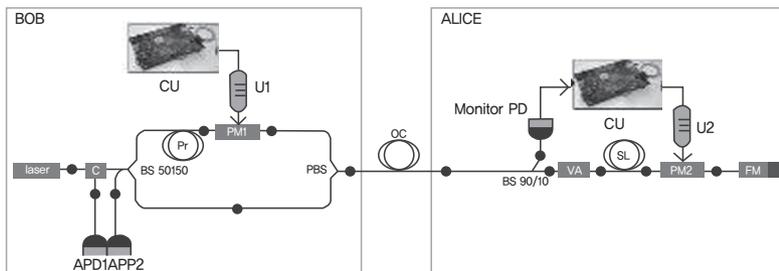


광소자는 반도체 레이저와 도파로가 결합하는 형태로 전개 중

양자암호기술은 키 분배 기술과 단일광자 검출 기술이 핵심이다. <그림 2-63>에서 보듯이 장거리 양자암호 키 분배를 위해서는 우선 양자메모리 개발을 우선해야 하고 왕복 양자 키 분배 시스템인 플러그 앤 플레이(Plug & Play)⁷⁰⁾ 방식을 단일방향 키 분배 시스템으로 전환해 나가야 한다.

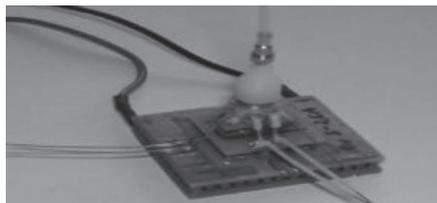
70) 플러그 앤 플레이는 컴퓨터 운영 체제에서 시스템을 설치하면 별도의 다른 설정 없이 자동으로 기동하는 것이다.

| <그림 2-63> 양자암호 키 분배 시스템인 Plug & Play system |



또한 양자암호 키 분배 속도를 증가시키기 위해서는 나노 두 번째 단위로 제어할 수 있는 기술이 개발되어야 한다. 키 분배가 끝난 뒤에 송수신자간 오차를 줄이고 효율을 높이는 쪽으로 연구가 진행되고 있다. 단일광자 검출 기술은 광신호를 전기 신호로 변환하기 위해 APD(Avalanche Photo Diode)를 사용한다. APD는 눈사태 현상(avalanche phenomenon)을 이용하여 광다이오드에 빛을 입사시키고 증가된 역바이어스 전압으로 발생된 전자가 높은 전계에서 가속되어 원자와 충돌할 때 새로운 전자와 정공이 발생하는 현상을 이용한다. 이 기술은 온도 의존성이 높기 때문에 온도를 제어하는 추가적인 장치가 필요하다. <그림 2-64>는 단일광자 검출기의 단광자 모듈을 나타낸 사진이다. 양자암호기술에서 발광소자로 는 고속 레이저 펄스(pulse)를 사용한다.

| <그림 2-64> 단일광자 검출기 SPCM(Single Photon Count Module) |



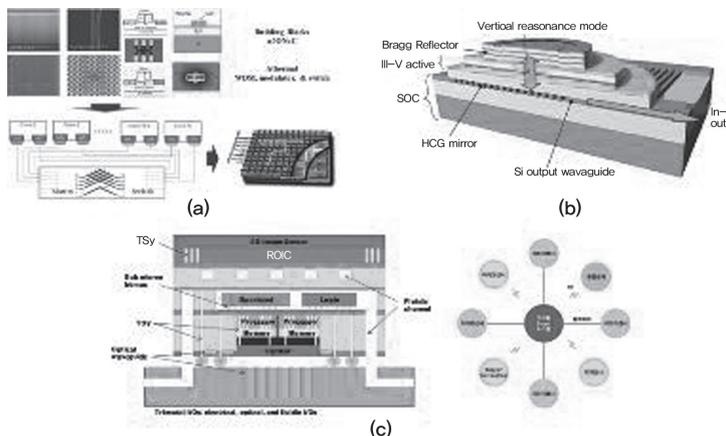
광자연결 반도체기술은 광네트워크기술, 레이저 다이오드 기술, 형성 및 소자를 제어하는 기술이 핵심이다. 광네트워크 기술은 실리콘 기판 상에 다양한 광도파로 설계 및 제작기술(수평/수직 광 분배기 및 광결합기 포함)등이 포함된다<그림 2-65(a)>.

이는 또한 칩의 온도변화에 대응할 수 있는 광도파로의 소재 및 구조 선택과도 밀접한 관계가 있다. 반도체 다이오드 기술은 광네트워크와 결합되는 반도체 레이저 다이오드의 성장기술과 최대 광결합을 위한 3차원 광결정설계/제작기술이 포함된다<그림 2-65(b)>.

실리콘 기판 상에서 이전토록 하기 위해서는 특수한 구조 레이저 다이오드 설계/성장 기술과 칩의 온도변화에 대응할 수 있는 3차원 구속 양자점 반도체 및 전자의 구속이 강한 반도체를 원자 1층 내외로 정밀하게 제어할 수 있는 성장기술이 필요하다.

수평/수직 광도파로 형성 및 소자를 제어하는 기술은 수평/수직으로 CPU/메모리/로직소자와 광도파로 및 광소자를 결합시키는 기술과 이를 유기적으로 운영하는 기술을 포함한다<그림 2-65(c)>. 수백 nm 이내의 정밀도로 물리적인 정렬을 하는 기술도 중요하지만, 이렇게 광결합된 칩들은 시스템적으로 운영하기 위한 체계가 필요하다.

| <그림 2-65> 광자연결 반도체의 주요 핵심 기술 |



a. 광네트워크 기술, b. 실리콘 상에 결합된 레이저 다이오드기술, c. 수평/수직 광도파로 형성기술 및 각각의 소자를 제어하는 기술

2014년경 양자암호기술의 실용화를 기대

양자암호기술 중 양자암호 키 분배에서 가장 큰 문제점은 키 분배 속도와 광섬유 기반의 장거리 양자통신이다. 고속의 키 분배를 위해서는 그에 따른 단일광자 검출소자도 필요한데, 현재 이를 극복하기 위해서는 시스템의 보완과 더불어 검출소자의 개발이 필요하다. 일본 정보통신연구기구(NICT)와 미쓰비시 전기, NTT사는 도쿄, 오테마치와 고가네이, 하쿠산 등 4개 거점에 양자 키 분배장치를 설치하고 양자암호의 동영상 전송에 최초로 성공하였다.

광자연결 반도체기술은 미국 Cornell 대학, IBM사, 프랑스 전자정보기술연구소(CEA-LETI), 한국의 전자통신연구원(ETRI)에서 광네트워크 기술을 선보이고 있으며, 미국 산타바바라 대학, 유럽의 겐트대학-나노 전자 공학센터(IMEC) 및 덴마크 공대에서 실리콘 상

에 결합된 레이저 다이오드 기술을 확보하고 있다.

또한 3차원 전자연결 반도체기술은 이미 많은 기업체에서 연구되고 있으나, 수평/수직 광도파로 형성기술 및 각각의 소자를 제어하는 기술에 대해서는 미국 MIT 대학에서 초기 성과를 보여주고 있다. 광자연결 반도체기술은 2차원 수평 광연결 기술에 대해 초기 시험 단계에 있다.

중국은 2007년 양자암호화망 통신시험을 처음으로 성공하였고 일본도 2011년에 세계 최초로 동영상 전송에 성공하였다. 독일의 지멘스사는 2008년에 최초의 상업용 양자암호 칩을 개발하였다.

국내에서의 양자암호 기술은 장거리 양자암호의 핵심기술인 장거리 양자메모리 개발이 주축을 이루고 있다. 그동안 양자암호는 100km를 벗어날 경우 광통신의 거리 제약으로 제 기능을 발휘하지 못했다. 세계적으로도 아직 장거리 양자암호 기술이 개발되지 않은 상태이다. 국내 연구진은 지난해 장거리 양자암호의 필수 기술인 장거리 양자 메모리 프로토콜 개발에 성공한 바 있다.⁷¹⁾

국내에서 광자연결 반도체기술은 ETRI, KIST, 삼성전자, 하이닉스 등에서 각각 기본적인 개념연구를 시작했다. ETRI의 경우 실리콘/폴리머 하이브리드 구조를 이용하여 링(ring) 공진기의 온도에 따른 파장변화를 상쇄하여 칩의 온도변화에 둔감한 광네트워킹 기술을 보였다.

KIST에서는 양자점을 이용하여 1.3 μm 에서 발진하는 레이저 다이오드를 선보이고 실리콘 상에 광소자를 이전하는 기술을 연구

71) 디지털 타임즈 2010

하고 있으며, 삼성전자 등에서 3차원 전자연결 반도체기술을 보유하고 있어 물리적인 정렬기술은 이미 보유하고 있는 것으로 평가된다. 또한 KAIST, 서울대, 인하대, GIST 등 많은 대학에서 광소자 및 광도파로에 대한 기본 기술연구를 진행 중이다. 그러나 광자연결 반도체기술에 대해 유기적으로 결합된 종합적인 연구는 준비 단계이다.

국내 기술력은 현재 장거리 양자 메모리 기술을 실험으로 증명했고 세계적으로 장거리 양자암호 실현이 화두인 만큼 필수 기술을 우리나라가 선점할 경우 상용화에 있어서 앞서 나갈 수 있다. 우리나라는 전자소자기술 및 광소자/광부품 기술에 있어 세계적인 기술을 보유하고 있으나, 광자연결 반도체기술이 상기 기술의 융합기술로 기존 전자회로 배선기술을 와해시키는 기술이며, 연구개발 초기의 기술인만큼 집중적으로 투자하고 지원할 경우 세계시장을 선점할 수 있다.

세계적으로는 스위스와 미국의 벤처기업들이 양자암호 기술을 제품화했으며, 유럽에서는 2008년 10월 연구소와 기업이 공동으로 오스트리아 빈 시내에서 양자암호 네트워크의 야외 실험을 하였고, 미국은 국방첨단연구사업국(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)이 군용으로 무선통신을 위한 양자암호화 기술을 개발했다. 일본은 NICT의 시험운용을 거쳐 이 기술을 2014년까지 실용화할 방침이며, 이후 정부기관 외에 발전소, 가스, 수도망 등 중요한 인프라 통신을 보호하는 수단으로 적용할 예정이다.⁷²⁾

72) 디지털 타임즈 2010, 국방과학연구소 2010

초고속 저전력 광자연결 반도체기술 응용시장으로서 컴퓨터 시장을 볼 때, 2009년 Gartner 자료에 따르면 세계 컴퓨터 시장 규모는 2010년 300조원(10% CAGR), 2020년 800조원으로 예측되며, 초고속 저전력 광자연결반도체 시장이 10%를 점유한다고 가정하면 2020년 80조원 규모에 이르게 된다. 특히 저전력 반도체 기술 개발 동향은 지속적으로 그 응용 분야를 넓혀 프로세서와 메모리 간에도 적용되는 물론 향후 개인용 스마트폰, PC, 데이터 서버 등 대용량 데이터 통신에 필수적인 광 연결기술과 접목될 수 있다. 결국 미래의 모든 IT 장비는 광자연결 반도체기술을 활용하게 될 것이다.

국내는 양자암호기술의 원천력 확보에 역점

국내는 양자암호기술을 사용한 경우는 드물지만 우리나라가 IT 강국인 만큼 양자암호기술을 적용할 분야가 많고, 이 기술을 적용할 경우 보안 문제로 인한 피해도 대폭 줄일 수 있을 것으로 예상되어 이에 대한 연구가 필요하다. KIST는 단일방향 양자 키 분배 시스템과 능동 홀드 오프 회로를 이용한 단일광자검출 기술을 보유하고 있으며, 양자암호기술을 이용한 양자암호시스템 개발을 위해 기업과의 협력하에 사용망에서 양자 키 분배를 시키기 위한 연구를 진행하고 있다. 뿐만 아니라 KIST는 양자암호기술의 선도 기술을 연구하는 스위스 제네바대학과 IBM 양자암호 연구기관, DTU, IMEC, CEA-LETI 등 유럽 연구기관과 협력관계를 유지하고 있고, 국내적으로는 KAIST, 아주대, 서울대, GIST 등과 협력하여, 핵심 원천기술을 확보해 나가고 있다.

광자연결 반도체기술은 ETRI에서 많은 기술을 보유하고 있으

며, KIST 역시 광도파로 제작 기술에 대하여 오랜 경험을 보유하고 있다. 이는 삼성전자, 하이닉스 등이 신규시장을 확보해 나가는 데 있어 필요한 기술인만큼, 저전력화 반도체 칩 개발도 집중해 나갈 필요가 있다. 특히 KIST는 양자점을 이용하여 1.3 μm 에서 발진하는 레이저 다이오드를 선보였고 실리콘 상에 광소자를 이전하는 기술을 연구하고 있으며, 원자 층 1개의 두께를 조절할 수 있는 반도체 성장 기술과 비소계, 인계, 안티몬 계를 포함한 3-5족 화합물 반도체 성장에 대한 경험을 보유하고 있어 이를 적극적으로 활용해 나갈 필요가 있다. 수평/수직 광도파로 형성기술 및 각각의 소자를 제어하는 기술은 삼성전자와 하이닉스가 이미 수백 nm의 물리적 정렬기술을 보유하고 있으며, 학계를 중심으로 각 칩 간 원활한 통신을 위한 운영체계를 연구하고 있다.

2012년에는 양자암호기술에 대한 원천기술을 확보하고 해외 연구팀과의 협력을 통해 실리콘 상에 결합된 레이저 다이오드기술에 기반을 둔 국내외 광네트워크를 구축해 나갈 계획이다.

광소자기술을 이용한 양자암호시스템이 개발되면 중요 정보의 보안을 유지할 수 있는 환경을 제공하게 되므로, 현재 개발된 고속 키 분배방법에 양자메모리 기술을 접목하여 나가야 한다. 이를 위해서는 양자암호시스템 시장에서 신속한 제품화와 경쟁력을 확보할 수 있도록 중장기 개발전략을 수립해 나가야 하며, 특히 물리학과 광학 등 여러 분야와의 협력을 촉진해 나가야 한다.

또한 2020년대에는 개인별 데이터 사용량이 현재의 100Mbps에서 10Gbps로 증대될 것이라고 예측되어, 에너지 소모량도 100배 증가할 것이므로, 초고속 저전력 소자의 사회적 요구에 선제적으로 대응해 나가도록 국가적인 차원에서 연구협력 체계를 구축할 필요가 있다.

산화물소자



투명전자소자는 투명성을 이용하여 기존의 전자기기가 지닌 공간적, 시각적 제약을 해소하려는 목적을 가진 소자로 투명트랜지스터를 기반으로 하고 있다. 투명트랜지스터는 투명반도체(주로 산화물), 투명절연체, 투명전도체로 구성되어 있다. 투명전자소자는 초기에는 투명하지 않은 형태의 산화물⁷³⁾ 트랜지스터를 이용한 디스

73) 산화물(oxide)이란 산소와 다른 원소의 화합물을 말한다. 금속산화물은 유사한 결정 구조를 갖고 있음에도 불구하고, 도체, 반도체, 부도체, 초전도체, 압전체, 강유전체, 강자성체, 자기저항성, 비선형 광학성질 등 다양한 특성을 지니고 있다. 그림 4-2은 금속 산화물에서 자주 발견되는 페로브스카이트(perovskite: CaTiO_3) 결정 구조를 보여주고 있다. ABO_3 라고 불리는 이 결정 구조에서 B 위치에 들어가는 금속 이온과 이를 둘러싼 산소 이온들이 정팔면체를 이루며, 이러한 정팔면체들이 정육면체(cubic) 구조로 배열하게 된다. 또한, A 위치에는 이온 반경이 비교적 큰 금속(예를 들면, La, Sr, Y 등) 이온들이 들어가서 위치하게 된다. 페로브스카이트 구조의 금속산화물들은 A와 B 위치 금속의 종류에 따라, 매우 다양한 특성과 그 응용 범위들을 보여주고 있다. 페로브스카이트 구조를 갖는 금속산화물 외에 ZnO , TiO_2 등의 산화물 또한 널리 활용되고 있다.

플레이 분야에 이용될 가능성이 높고, 장차 투명 IC, 스마트 창 형태의 신규 시장이 창출될 것으로 전망된다. 스마트 창은 투명트랜지스터와 투명 유기발광소자(OLED)를 결합한 투명디스플레이에 정보인식, 정보처리 기능이 추가로 구현되어 있는 공간 임베디드 정보 단말기를 말한다.

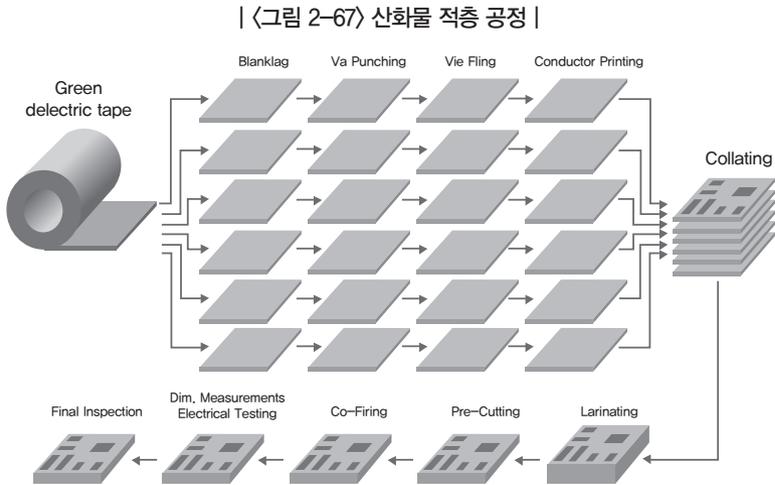
| <그림 2-66> 투명전자소자(주로 산화물)의 응용범위 |



산화물소자는 구동전력과 열발생을 획기적으로 줄이는 연구로 진행 중

산화물 소자는 20세기 들어 많은 연구가 진행되었음에도 불구하고 전자재료로 활용되는 데에 많은 제약을 안고 있다. 20세기 초 중반에는 벌크(bulk) 재료 형태로 산화물 재료의 조성 개발 및 특성 향상에 관한 연구가 진행되어 왔고, 20세기 후반부터는 후막(thick film)과 박막(thin film)형 산화물 재료를 개발해 왔다. 최근에는 나노 분말과 나노 구조체의 박막 산화물에 대한 연구가 활발하다. 산

화물 후막 공정은 <그림 2-67>와 같이 산화물 재료와 유기물을 혼합하여 슬러리(slurry)를 제조한 후, 테이프 캐스팅(tape casting) 공정⁷⁴⁾ 등을 이용하여 박판 형태로 제작하고 여기에 전극을 프린팅하여 적층하는 공정인데, 주로 MLCC 제작에 사용되며 기타 적층 압전 액추에이터 및 마이크로파 적층 칩 등에도 널리 사용되고 있다.



산화물 박막의 제조공정으로는 RF 스퍼터링(sputtering)법, MOCVD(Metal-Organic Chemical Vapor Deposition)법, 졸-겔(sol-gel)법, PLD(Pulsed Laser Deposition)법 등이 쓰이고 있고, 산화물소자로는 산화물 반도체, 투명전도성 산화물, 전자 산화물 등이 있다.

74) 테이프 캐스팅 공정은 매우 미세한 분말을 수계 또는 비수계 용매와 결합제, 분산제, 가소제 등과 적정비로 혼합하여 슬러리를 제조한 후 캐리어 필름(carrier film) 위에 균일한 두께의 판 형태로 성형하는 공정이다.

최근 가볍고 휴대가 간편한 전자소자의 수요가 늘면서 플렉시블 디바이스(flexible device)에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 플렉시블 디스플레이(flexible display)는 얇고, 가볍고, 휘거나 말 수 있는 특성 때문에 차세대 디스플레이로 주목받고 있다(그림 2-14). 이런 플렉시블 디스플레이의 구동을 위해서는 저온공정이 가능하면서 전기적 기계적 특성이 우수한 백플레인(backplane) 기술이 필수적이다. 백플레인 물질로서 Si 기반의 재료나 유기물 반도체 재료가 가지고 있는 문제점들을 해결하기 위해 산화물 반도체에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 주로 ZnO, InO, GaO, SnO 등이 사용되며 이들의 조합으로 이루어진 화합물 형태도 있다.

산화물 반도체는 비정질 Si이나 유기물 반도체에 비해 이동도가 높고 동작 신뢰성도 우수하다. 또한 다결정 Si에서 발생하는 문턱전압의 불균일성 문제가 없기 때문에 우수한 대면적 균일성을 확보할 수 있다. 또한 상온에서 스퍼터링 방법⁷⁵⁾으로 제작한 산화물 반도체 박막 트랜지스터도 추가의 열처리 없이 만족할 만한 높은 전자 이동도($\sim 10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$)를 얻을 수 있다. 하지만, 산화물 반도체 트랜지스터는 동작 신뢰성 측면에서 전기적, 광학적, 기계적 환경에 민감하게 영향을 받는 문제를 해결해야 한다. 이런 문제들은 대부분 산화물 반도체 내부의 결함과 관계가 있기 때문에 결함을 제어할 수 있는 기술과 이 재료의 전기적, 구조적 강성(rigidity)을 높이는 연구가 함께 진행될 필요가 있다.

75) 스퍼터링 방법(sputtering method)은 음극 전압 강하로 인해 양이온은 전기장의 힘을 받아 음극으로 가속되는 현상이 나타나고, 이 때 가속된 양이온은 결국 음극과 충돌하는데 충돌에너지가 큰 경우 음극을 구성하고 있는 물질의 표면에서 원자를 떼어 낼 수 있다. 이것을 공업적으로 응용한 방법을 스퍼터링이라 한다.

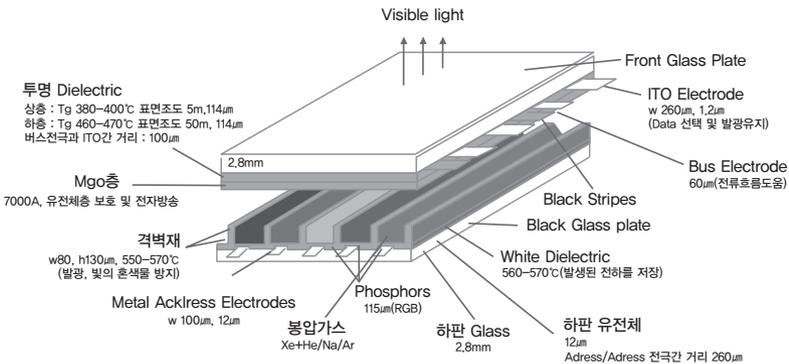
| <그림 2-68> 산화물 반도체를 이용한 플렉시블 디스플레이 |



투명 전도성 산화물은 가시광 영역(400~700nm)의 빛을 80% 정도 투과하면서도 $\sim 10^3/\Omega\text{cm}$ 의 높은 전기전도성을 가지는 기능성 박막전극이다. 광 밴드갭(optical band gap)이 3.5eV 정도이기 때문에 자외선 영역은 모두 투과시키고 적외선영역의 높은 반사율, 적절한 에칭 특성을 가지고 있어야 한다<그림 2-68>. 주로 평판디스플레이, 터치패널, 태양전지 등의 전극기판으로 널리 이용되고 있다. LCD는 공통전극 및 화소전극에 사용되며 TFT를 통하여 인가된 신호전압을 액정 셀에 가해주는 역할을 한다. 투명전극은 LCD, PDP, OLED, FED 등의 평판디스플레이 이외에도 터치 패널, 투명 전자파 차폐막, 투명 정전기 방지막, 투명 발열체, 도전성 유리, 가스 센서, 통신기기용 평면안테나, 열반사 코팅막, 태양전지 등 광범위한 분야에 응용되고 있다.

대표적인 물질로는 ITO가 있고, 이외에도 SnO₂, ZnO 등의 재료가 투명전도성 산화물로 쓰이고 있다. 지금까지 개발된 재료 중에서 ITO가 가장 투명하면서 전기도 잘 통하고 생산성도 좋지만, 열처리 시에 플라스틱 기판의 변형이 일어나므로 대면적의 플렉시블 디스플레이 전극을 제조하는 것은 매우 어렵다. SnO₂와 ZnO는 싼 가격으로 제조할 수 있지만 에칭공정이 어려워 별도의 도핑 공정이 필요한 단점이 있고 이를 해결하기 위한 연구가 진행 중이다.

| <그림 2-69> 투명 전도성 산화물을 이용한 디스플레이 구조 |



전자 산화물은 차세대 전자소자를 위해 가장 각광을 받고 있는 분야다. 기존의 실리콘 기반 반도체 전자공학의 한계를 극복할 수 있는 방법을 금속산화물에서 찾으려는 노력이 바로 산화물 전자공학(oxide electronics)이다. 많은 물질들이 ABO₃(A, B: 양이온, O: 산소)의 식으로 표현되는 페로브스카이트 결정구조를 보여주고 있다. A와 B 자리에 다양한 원소들을 치환함으로써 굉장히 넓은 범위의 물리적, 화학적, 기계적인 성질을 얻을 수 있다. Pb(Zr,Ti)O₃,

BaTiO₃ 등의 강유전체는 잔류 분극을 이용하여 비휘발성 메모리를 구현하는 FRAM에 활용되고 있다. 압전 특성이 우수한 Pb(Zr,Ti)O₃ 물질은 전기장을 이용하여 기계적인 움직임을 제어하는 MEMS 소자 제작에 대한 연구로 이어지고 있다.

또한 압전 재료를 이용하여 진동에너지를 전기에너지로 바꾸는 에너지 하베스팅⁷⁶⁾ 연구도 최근 세계적인 에너지 위기에 대응하기 위해 급격히 성장하였다. 상온 다강체(multiferroics) 물질인 BiFeO₃를 이용하여 자기적 성질을 전기장을 이용하여 제어하는 연구가 전자 산화물 분야의 큰 부분을 차지하고 있다. 이러한 다강체 물질을 이용하여 전류가 아닌 전압으로 자기적 성질을 제어할 수 있게 되면 소자 구동 전력과 열 발생을 획기적으로 줄일 수 있게 되어 소자의 집적도 향상에 큰 영향을 줄 것이다.

이 외에도 최근 많은 관심을 받고 있는 산화물 2차원 자유전자(2DEG)에 대한 연구도 이루어지고 있는데 전자들이 2차원으로 이동하는 것을 제한하기 때문에 여러 흥미로운 양자역학적 현상들이 보고되고 있고, 이를 소자로 응용하려는 노력이 진행되고 있다.

이러한 산화물의 다양한 기능성은 산화물만을 재료로 하여 여러 특성을 동시에 갖는 다기능 만능 소자의 개발로 이루어질 수 있어, 산화물 전지, 산화물 센서, 산화물 액추에이터, 산화물 기억 소자, 산화물 통신 소자를 융합한 통합 소자에 대한 개발 연구가 활발하다.

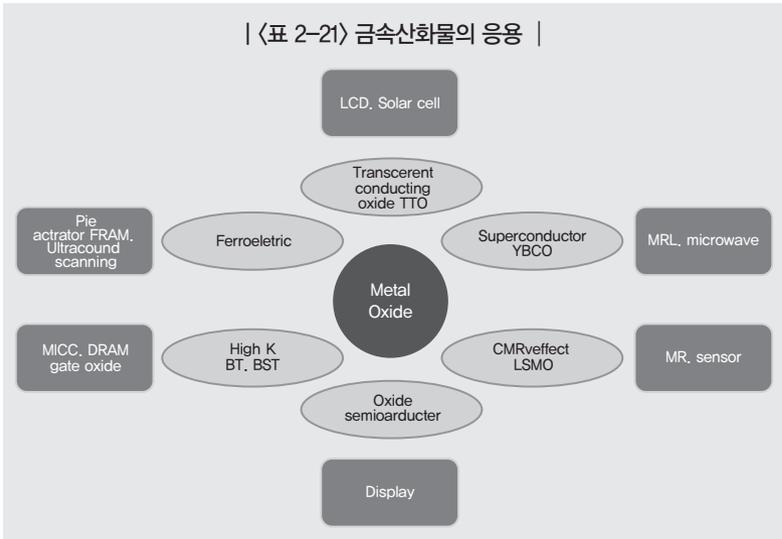
76) 에너지 하베스팅(energy harvesting)은 주변에 버려지는 에너지를 전기에너지로 변환하여 이용하는 것이다.

뿐만 아니라 산화물은 가연성 혹은 독성 가스를 조기에 감지하기 위한 가스 센서에도 응용된다. H₂나 CH₄와 같은 폭발성 가스와 CO, NO_x, H₂S, NH₃, SO₂ 등 유독가스, 환경제어를 위한 습도(H₂O), 연기, 알코올 등과 같은 가스도 감지할 수 있다. 산화물을 이용한 가스센서의 경우 산화물의 산소 반응에 따라 결정립 계면에 서 전기 전도도가 변하는 현상을 이용한다.

대표적인 물질로는 ZnO, WO₃, TiO₂, In₂O₃ 등이 있다. 경보기 이외에도 공기정화기, 자동차, 전자레인지 등 다양한 분야로 응용해 나가기 위해서는 선택성, 내구성, 안정성 등을 향상시키는 연구가 필요하다. <표 2-20>는 가스센서의 적용분야와 요구사항을 나타내고 있다.

<표 2-20> 가스 센서의 적용분야 및 요구사항		
적용제품	주요기능	요구사항
폭발성가스 정보기	폭발성 가스를 감지하여 경보 또는 차단기 구동	온습도에 따른 안전성, 장수명, 저소비전력
CO 경보기	유독 가스를 감지하여 경보 또는 차단기 구동	고감도, 선택성, 온습도에 따른 안정성
공기 정화기	공기오염도, 악취를 감지하여 정화 / 탈취 응용	신호재연성, 장수명, 저 소비 전력, 저가격
자동화	차내 공기 오염도 감지하여 환기 기능	신호재연성, 저가격, 장수명, 모듈화
전자 레인지	수분, alcohol 등 감지하여 요리 제어	신호재연성, 저가격, 장수명, 모듈화
음주 측정기	alcohol 감지하여 혈중농도 측정	고감도, 신호재연성, 저가격
기타	공기측정기, 건물내 공조시스템, 의료기기	

이처럼 금속산화물은 다양한 전자 재료로서 널리 활용되고 있다. <표 2-21>은 금속산화물의 응용 예다. 페로브스카이트 구조를 갖는 산화물 중 높은 유전상수를 지닌 BaTiO₃은 MLCC(Multi-Layer Ceramic Capacitor) 재료로 전자소재부품 분야에서 큰 시장을 점유하고 있으며, (La,Sr)MnO₃ 등의 초거대자기저항(CMR)물질은 자기저항 센서로 널리 연구되고 있다. Pb(Zr,Ti)O₃, SrBi₂Ta₂O₉ 등의 강유전체는 초음파 진단기, 압전 액추에이터(piezoelectric actuator), 비휘발성 메모리(FRAM) 등에 폭넓게 활용되고 있다. 또한 고온 초전도체를 이용한 마이크로파 필터, LCD 디스플레이에 널리 사용되는 ITO 투명전극, 압전체를 이용한 센서 등도 산화물 전자 소자의 응용이라 할 수 있다. 이외에 ZnO, TiO₂ 등의 산화물은 산화물 반도체, 광촉매, 광전극 등에 매우 폭넓게 사용되고 있으며, 연구 개발을 통해 새로운 분야를 개척해 나아가고 있다.



우리의 금속산화물 박막 기술이 세계에 뒤지지 않아

지난 20여 동안 국내에서도 금속산화물 박막을 전자소재로 이용하려는 연구가 활발히 진행되어 왔다. 1990년대 초, 고온초전도체 박막을 만들기 위하여 펄스 레이저 증착법을 표준연구소, LG 종합기술원, 삼성종합기술원 등에서 도입하기 시작하였고, 이후 고온초전도체 박막을 응용한 SQUID⁷⁷⁾, 마이크로필터 등과 같은 소자 연구들이 활발히 진행되어 왔다. 또한 메모리 산업과 관련된 강유전체⁷⁸⁾ 박막 연구도 활발하다. 고집적 D램의 고유전율 물질로서 활용될 가능성이 높은 (Ba,Sr)TiO₃ 박막과 F램에 들어가는 Pb(Zr, Ti)O₃ 및 SrBi₂Ta₂O₉ 박막은 삼성전자 및 하이닉스 등의 메모리 생산 업체를 포함하여 물리, 재료, 전자 분야에서 활발히 연구하고 있다. 특히, 부산대학교 유전체물성연구소와 서울대는 강유전체 박막과 다강체 박막의 연구를 주도하고 있으며 삼성 SDI와 LG 전자에서는 투명 전도성 산화물 관련 특허를 67%까지 보유하고 있어 한국이 세계 시장에서 우위를 점하고 있다.

이러한 노력의 결과로, 최근 국내 연구진들도 국제적으로 주목받고 있는 연구 결과를 발표하고 있다. 강유전체 산화물 박막에서 일어나는 다양한 한계 현상에 대한 연구(피로 현상, 한계두께, 분역 벽의 속도 한계 등)와 강유전체를 이용한 나노구조에 대한 연구, 저항 변화 메모리의 물리적 메커니즘에 대한 연구 등이 성공적으로 진행되어 Nature, Nano Letter, Advanced Materials와 같은

77) SQUID(스퀴드)는 초전도 양자간섭계라고 불리우며, 자기센서로써 사용된다.

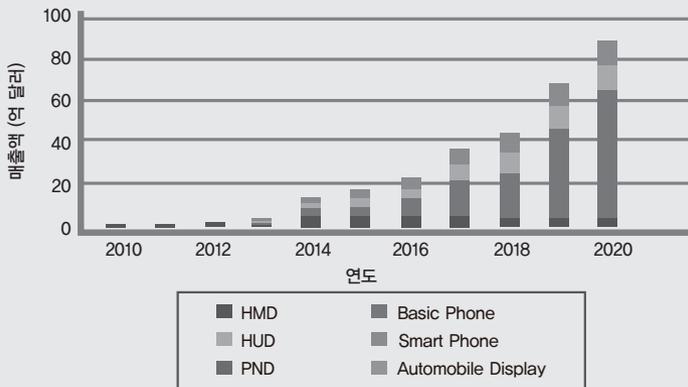
78) 강유전체(ferroelectrics)는 자발적인 전기편극을 가지고 그 자발적인 편극이 전기장에 의해 방향을 반전할 수 있는 결정이다.

우수 학술지에 논문이 발표되었다. 산화물에 대한 연구는 앞으로도 계속 그 범위와 규모가 커질 것으로 전망되며, 투명 전극 구조 또한 다양한 형태로 계속 발전될 것이다.

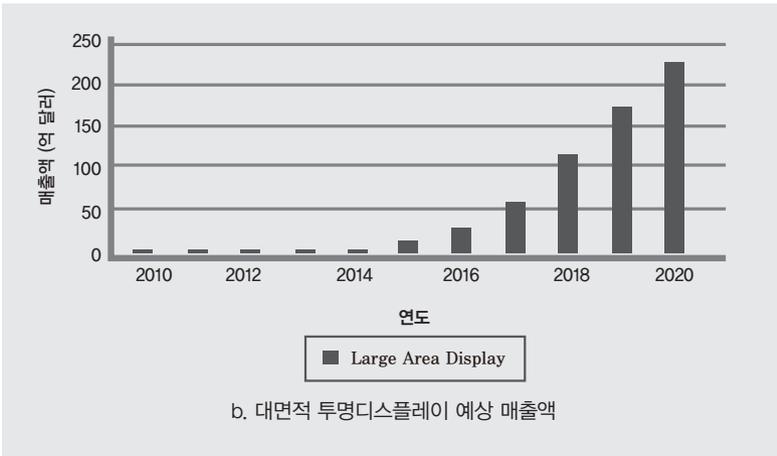
투명디스플레이 시장이 크게 확대될 듯

산화물 소자의 시장은 디스플레이, 센서, 액추에이터 등 매우 다양한 시장을 형성하고 있으며, 최근에 가장 주목을 받는 시장은 디스플레이 시장이라 할 수 있다. 산화물 반도체 TFT(Thin Film Transistor) 및 투명 산화물 전극 소자를 이용한 투명 디스플레이 시장은 향후 10~20년간 크게 확대될 것으로 예측된다. 투명디스플레이가 가장 먼저 상용화 될 수 있는 분야는 모바일 디바이스, 그 중에서도 모바일 폰이 큰 관심을 끌고 있다.

| <표 2-22> 투명디스플레이 시장 전망 |



a. 소형 투명디스플레이 예상 매출액



〈표 2-22(a)〉과 같이 모바일 폰에 투명디스플레이를 적용하는 경우에 기존의 디스플레이 위에 덧대어 사용되는 응용이 적용되어, 메인 정보 창에 투명디스플레이를 채택하는 모바일 폰이 등장할 것으로 기대된다. 이밖에도 소형 게임기에 투명디스플레이를 채택하게 되면 디자인의 장점 이외에도 새로운 UI를 적용할 수 있어 많은 응용이 예상되며 광고용이나 공공용으로 대면적 투명디스플레이로의 활용도 예상된다. 〈표 2-22(b)〉는 대면적 투명디스플레이 분야에서의 시장 전망을 나타내고 있다.

KIST는 산화물연구에 가장 기본이 되는 산화물 합성 기술을 보유하고 있다. 벌크형태와 박막형태 모두 고품질의 산화물 합성이 가능하며, top-down이나 bottom-up 공정을 통해 여러 가지 형태의 나노 구조를 제작할 수 있다. 또한 이렇게 제작된 합성물들의 전기적, 자기적, 기계적 특성을 평가하는 다양한 장비와 기술 및 인력을 함께 보유하고 있다.

2012년에는 산화물 소자와 차세대 전자 소자 분야의 원천기술을 확보하고 산학연 협력을 통해 실용성 높은 연구와 기초 연구를 선도해 나갈 계획으로 있다.

- 현재 산화물소자 산업은 세계적으로 전자산업의 일부분을 차지하고 있지만, 기존의 Si 기반 반도체를 넘어선 차세대 전자 소자의 요구가 커져 가고 있어, 산화물 전자 재료와 소자에 대한 연구가 필요한 실정인 만큼, 원천 기술 확보에 주력해 나가야 한다.
- 특히 산화물소자 분야는 스마트폰과 같이 단순히 작은 소자뿐만 아니라 하나의 소자에 다양한 기능을 탑재할 수 있는 다기능 소자 개발이 필수적이어서 이에 대한 협력체계 구축이 필요하다.
- 또한 산화물소자를 상용화하는 데에는 경제적 어려움이 있는 만큼 이를 우선적으로 해결해 나가야 하는데, 이를 위해서는 기업과 공동으로 기존의 Si기반 공정보다 어떻게 더 저렴하게 제작할 수 있는지에 대한 연구를 함께 추진해 나가야 한다.

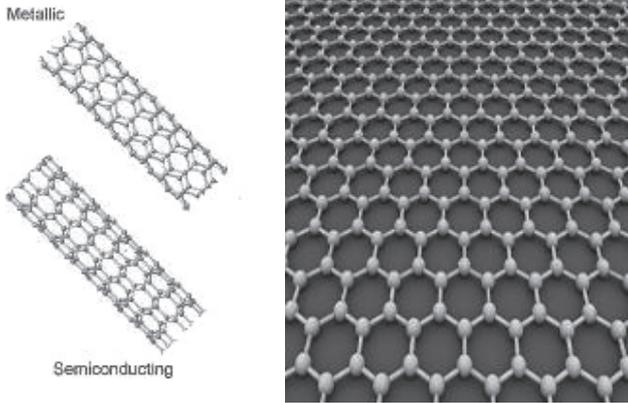


탄소소자

모래에서 추출한 실리콘을 핵심소재로 한 반도체의 사용과 전자소자기술의 광범위한 활용은 인간 생활을 윤택하게 하고 있지만, 인간 중심으로의 기술변화에 대한 요구가 새로운 형태의 전자소자기술을 요구하고 있다. 탄소기반 소재는 인류 문명 발전과 함께한 가장 고전적이지만 획기적인 소재로 평가받고 있다. 특히, 20세기 후반 발견된 탄소나노튜브(carbon nanotube)와 21세기 초 그 물리적 특성이 규명된 탄소기반 나노소재인 그래핀(graphene)은 이전의 소재가 보여주지 못했던 획기적인 열적, 기계적, 전기적 특성과 더불어 유연적 특성을 보여줘, 20세기의 실리콘 중심에서 21세기 탄소 중심으로 산업 패러다임 변화⁷⁹⁾를 예고하고 있다<그림 2-70참조>.

79) 21세기에 들어서 실리콘기반 전자소자 기술의 획기적인 발전을 바탕으로 나노소재 기반의 테스트 베드 전자소자 제작 및 특성평가 중심의 연구가 진행되어 왔다. 한편 유기소재 기반의 저가공정을 통한 전자소자연구, 더 나아가 유연전자소자의 구성 요소로 탄소소재의 활용이 예상되고 있다.

| <그림 2-70> 탄소나노튜브와 그래핀 |



탄소나노튜브와 그래핀으로 대표되는 탄소나노소재는 전자소재로서 활용성이 가장 큰 반도체와 도체의 물성을 모두 가지고 있어, 물성을 어떤 방법으로 어떻게 조절할 것인가에 따라 그 활용성이 결정된다. 따라서 그동안 연구되어온 도체와 반도체 특성을 갖는 탄소나노튜브의 합성, 분리방법, 분리된 각기 탄소나노튜브의 응용과 함께 탄소 단일 원자층으로 구성된 그래핀의 합성과 밴드갭 엔지니어링⁸⁰⁾에 따른 응용 연구를 바탕으로 다양한 유연 유·무기 전자소자의 구성요소(트랜지스터의 채널과 전극, 투명전극)로 응용하거나 인쇄공정의 응용소재(전도성 잉크소재)로 사용될 것으로 전망된다.

80) 밴드갭 엔지니어링(band gap engineering)은 반도체와 절연체에서 가전자대와 전도대 사이에 있는 전자상태가 제로로 되는 에너지 영역과 그 에너지의 차, 즉 밴드갭의 대소로 그 물질의 전기 전도성 정도가 결정된다.

유연 유·무기전자소자 구성요소로의 응용은 기존에 알려진 반도체 또는 전도체 특성을 갖는 탄소나노튜브의 합성, 전기적 특성 평가를 기본으로 하고, 그 특성에 따라 수동(passive-전극소재) 또는 능동(active-반도체소재)소재로 사용하게 된다. 그래핀도 다양한 합성연구가 진행되고 있고 이를 통해 층수 및 밴드갭 제어 등도 시도되고 있다. 또한 인쇄공정의 소재로 응용하기 위해 탄소기반 나노소재의 다양한 화학적 박리법 개발과 계면처리 그리고 분산성 개선 연구가 진행중이다. 이러한 방법으로 준비된 소재들은 용액기반의 공정이 가능하여 인쇄공정에 적용될 전망이다.

탄소기반 나노소재를 투명전극인 산화인듐주석(ITO)의 대체재로 사용하면, 디스플레이, 터치스크린, 태양전지 등에도 사용할 수 있으며, 향후에는 탄소나노튜브 트랜지스터, 그래핀 트랜지스터 등에도 적용할 수 있다.

탄소나노소재는 소재의 합성, 분리, 전자소자 응용이 핵심

탄소나노소재를 활용한 전자소자 응용 기술⁸¹⁾의 가장 핵심부분은 수동소재(전극소재) 또는 능동소재(반도체소재)로 활용하는데 따른 적절한 소재의 합성, 분리기술 그리고 전자소자 응용기술들이다. 탄소나노튜브의 경우, 전도체와 반도체 특성을 가지는 고품위 소재합성, 정제, 그리고 준비된 각기 다른 특성의 소재를 소자화하

81) 탄소나노소재를 활용한 전자소자 응용 기술은 기본적으로 소재의 합성과 분리기술이 확보되어야 하며 소재 물성의 정교한 조절도 수반되어야 한다. 따라서 전자소자에의 응용을 위한 수동 또는 능동소재의 활용을 보다 폭넓게 생각하면, 전자소자 이외에 전지, 연료전지, 수퍼 캐패시터 등의 에너지소재로 활용이 가능하고, 더 나아가 탄소나노튜브를 활용한 섬유 생산 등에 이용하여 고품위, 고강도 섬유분야 등에 적용될 수 있다.

는 기술이 중요하다. 그래핀도 합성법에 따른 층수 제어, 결함 제어 등이 핵심이다. 근원적으로 밴드갭이 없는 그래핀은 다양한 전자소자를 응용하는 밴드갭 제어가 핵심 기술이다. 또 인쇄공정에 적용 가능한 소재로 활용하기 위해서는 탄소나노소재의 정제와 분산성 개선이 필수적이다.

탄소나노튜브는 아크법(arc method), 레이저 어블레이션법(laser ablation method), 화학적 기상 증착법(CVD)으로 합성한다. 최초로 발견된 탄소나노튜브는 전기적 아크방전의 부산물로 생긴 다층벽(multi-wall)의 나노튜브에서 발견되었다. 탄소나노튜브는 두 개의 탄소전극 사이에 강력한 전압이 걸릴 경우 발생하는 탄소 증기의 자기조립현상⁸²⁾에 의해 생성되는 것으로 알려져 있는데, 경우에 따라 촉매(catalyst)를 사용하기도 한다. 이때 수율은 30% 내외로 보고되고 있다. 아크법은 사용되는 플라즈마 아크⁸³⁾(plasma arc)의 균일도와 합성온도에 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 단층벽(single-wall)과 다층벽으로 합성된 탄소나노튜브는 다량의 불순물을 함유하고 있어 추가적인 정제, 분리 등이 필요하다.

레이저 어블레이션법은 1996년 미국 라이스 대학의 Richard Smalley교수에 의해 소개된 방법으로, 고온의 불활성 기체 분위기의 챔버에서 펄스 레이저(pulsed laser)에 의해 생성된 흑연 기체(graphite vapor)가 챔버 표면에서 냉각되면서 합성되는 방법이다.

82) 자기조립현상은 정해진 조건과 재료가 되는 분자들이 특정 작용기간의 친화력에 의해 형성되는 현상이다.

83) 플라즈마 아크는 전기적으로 또는 주위에서 뽑아내어진 가스 압력에 의하여 기계적으로 수렴된 플라즈마 기둥을 가진 아크이다.

이후 금속입자형태의 촉매와 흑연을 혼합하여 약 70% 순도의 단층 벽 탄소나노튜브가 합성되고, 반응온도에 따라 탄소나노튜브의 지름을 조절할 수 있다. 그러나 이 방법은 아크방전이나 화학적 기상 증착법(Chemical Vapor Deposition, CVD)에 비해 비용면에서 불리한 점이 있다.

화학적 기상 증착법(CVD)은 탄소나노튜브의 대량 합성이 가능하여 상업적으로 가장 널리 사용되는 방법이다. 니켈, 코발트, 철 또는 이들 혼합물의 금속입자 촉매를 기판의 표면에 형성시키고 700°C의 진공 챔버에 탄소를 포함한 가스를 주입하여 금속입자 촉매에서 탄소나노튜브를 합성하는 방법이다. 이 방법을 사용하면 탄소나노튜브의 지름이 사용된 금속입자 촉매의 지름에 비례하는 것으로 알려져 있다.

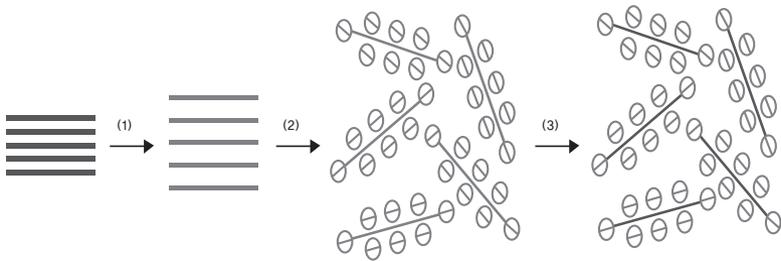
그래핀은 스카치 테이프법(scotch tape method)과 화학적 합성법, 화학적 기상성장법(CVD), 단결정 그래핀(epitaxial graphene)으로 합성한다.

스카치 테이프법은 2004년 영국 맨체스터 대학의 André Geim 과 Konstantin Novoselov 교수가 그래핀 단일층을 얻기 위해 최초로 사용한 물리적 박리법으로 스카치 테이프로 3차원의 흑연으로부터 점차 벗겨내는 방법이다. 매우 간단하게 그래핀을 얻을 수 있지만, 대면적의 그래핀을 얻기는 힘들다. 이 방법으로 만들어진 불완전한 조각들은 실제 전자소자 등의 응용 등에 제한적으로 사용되고 있다.

화학적 합성법은 흑연의 산화-환원을 통해 그래핀을 합성하는 방법이다(그림 2-71). 특히 Hummers가 제안한 방법을 연구자들

이 가장 많이 사용하고 있다. 강산과 산화제로 산화시킨 산화 흑연(graphite oxide)이 강한 친수성을 갖게 되는데, 이후 물 분자가 면과 면 사이에 침투되면 면간 간격이 다소 늘어나고, 장시간의 교반이나 초음파 분쇄기를 사용하면 상대적으로 쉽게 박리된 산화 흑연을 얻을 수 있다. 이렇게 얻어진 산화 흑연은 표면에 형성된 -OH(하이드록실기)와 -COOH(카르복실기)등의 작용기로 인해 그래핀 고유의 성질을 잃게 되지만, 환원공정을 통해 결합된 산소와 작용기들을 제거시키면 그래핀과 유사한 특성을 얻을 수 있게 된다.

| <그림 2-7> 화학적 산화-환원 반응을 통한 그래핀의 합성 방법 |



화학적인 그래핀 합성법은 그래핀의 물성이 다른 방법에 비해 저하되는 단점이 있으나, 기능화가 용이하고 대량생산과 대면적화가 가능하며 기판의 종류나 구조에 거의 제약을 받지 않는다는 장점을 갖고 있어 이에 대한 연구가 활발하다.⁸⁴⁾

화학적 기상성장법(CVD)은 2009년 성균관대학교에서 대면적 그래핀을 합성하기 위해 사용한 방법으로 그래핀 연구의 새로운 가

84) 한국전자통신연구원, 전자통신동향분석 제 26권 제3호 2011년 6월

능성을 보여주고 있다. CVD 합성법은 기존의 탄소나노튜브에서 활용된 금속 촉매(니켈, 구리)필름을 사용하여, 1000°C 이상의 고온에서 메탄(CH_4)과 수소(H_2) 그리고 아르곤(Ar)의 혼합가스를 적정량 주입하고, 고온에서 주입된 혼합가스의 탄소가 촉매 층과 반응한 후 급랭될 때 촉매 표면에 그래핀이 성장되는 원리를 이용한다. 이후 식각공정으로 촉매 층을 제거한 후 그래핀을 분리하고 새로운 기판에 전사시키면 고품위의 대면적 그래핀을 합성할 수 있다.

단결정 그래핀(epitaxial graphene)은 고품위의 그래핀을 합성하기 위해 실리콘 카바이드 단결정 위에서 그래핀을 성장하는 방법으로 미국 조지아대에서 최초로 수행되었다. 이 방법은 실리콘 카바이드(SiC) 기판을 가열한 후 실리콘 원자를 표면에서 제거하여 탄소격자를 남기는 방법이어서, 매우 작은 크기의 제한된 그래핀만을 고품위로 합성할 수 있다.

전통적인 전자소자 제조공정은 포토리소그래피 방법으로부터 잉크젯 프린팅 등을 활용한 방법으로 변화되고 있다. 특히 탄소나노튜브는 높은 전기전도도와 나노 스케일의 크기를 갖는데, 이를 새로운 잉크소재로 개발하면 상대적으로 아주 작은 크기의 도전 경로를 쉽게 형성시킬 수 있다. 이러한 우수한 전기적 특성에도 불구하고 탄소나노튜브는 원하는 기지에 좋은 분산성을 유지하기 힘든 단점을 가지고 있다. 다양한 계면활성제 또는 기능화 방법을 활용하여 고분산성의 탄소나노튜브 용액을 합성하는 기술이 보고된 바 있다. 전자소자의 전도로(conducting path)를 만들기 위한 가장 일반적인 방법은 진공 또는 습식기반의 에칭공정이나, 이러한 에칭기반의 공정기술은 보다 값싸고, 빠르게 다양한 전자회로를 구현하기

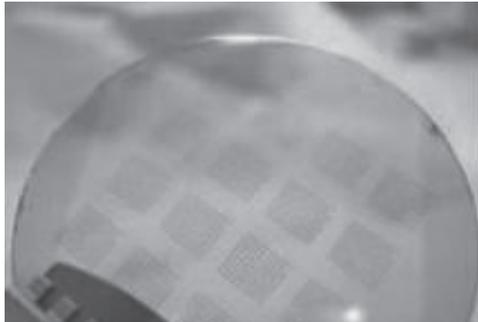
위해 프린팅 방법이 사용되고 있다. 최근 탄소나노튜브가 투명전극으로 사용되는 ITO의 대체재로 사용될 수 있음을 보여주고 있고, 탄소나노튜브가 갖는 탄성 전도체(elastic conductor)로서의 특성을 활용해 나가면 다양한 형태의 유연하고 신축성 있는(stretchable) 전자소자의 회로 소재로 활용될 수 있다. 탄소나노튜브를 전기전도체로 사용할 때에는 고분산성, 고순도, 프린팅 용액으로의 적합성 확보가 매우 중요하여 이에 대한 연구가 진행되고 있다. 전기전도체로 활용될 때와 마찬가지로 고도로 정제 분리된 탄소나노튜브가 프린팅 용액으로 적합성을 갖도록 합성, 제조되면 그 반도체 특성을 활용하여 트랜지스터의 채널소재로 활용할 수 있다. 순천대학교와 (주)파루는 인쇄기반의 탄소나노튜브 트랜지스터소자를 제작하였고 RFID⁸⁵⁾ 회로에의 활용 가능성을 보여주기도 했다.

그래핀을 활용한 트랜지스터는 실리콘 기반 트랜지스터 소자를 대체할 수 있는 가장 유력한 후보 소자로 평가받고 있다. 그래핀은 2차원적으로 배열된 탄소층으로 구성되어 있으며 다이아몬드보다 경도가 높고, 찢김에도 강하고, 매우 우수한 열적 전기적 도체로 알려져 있다. 그래서 그래핀은 반도체 소자산업의 다양한 초고속 컴퓨팅 소자로 활용될 것이며, 그래핀으로 구성된 반도체 소자는 실리콘에 비해 천 배 빠른 테라헤르츠(THz) 컴퓨팅이 가능한 후보소재로 주목받고 있다. 1998년 탄소나노튜브로 세계 최초의 박막트랜지스터를 구현한 IBM 과학자들은 2008년 기가헤르츠(GHz)의 동

85) RFID(Radio Frequency Identification)는 IC칩과 무선을 통해 식품, 동물, 사물 등 다양한 개체의 정보를 관리할 수 있는 차세대 인식 기술이다.

작속도를 보여주는 그래핀 박막 트랜지스터를 구현하는데 성공하였다.⁸⁶⁾ 〈그림 2-72〉은 IBM의 그래핀 박막트랜지스터이다.

| 〈그림 2-72〉 IBM의 그래핀 박막트랜지스터 |



국내 그래핀 연구, 선진국과 큰 차이 없어

탄소나노소재를 활용한 전자소자는 현재 사용되고 있는 전자소자의 단점을 극복할 수 있어서 탄소나노소재의 다양한 합성법과 그 특성을 고려한 다양한 응용 연구가 진행되고 있다.

탄소나노튜브에 대한 연구는 소재의 합성 및 소자로의 응용 기술 등 모든 부분에서 미국, 일본 등 선진국 중심으로 연구가 진행되어왔다. 우리나라는 핵심 원천기술개발을 위해 많은 연구를 진행하였으며, 기술격차는 선진국들과 상당히 좁혀진 상태이다. 특히 최근 주목받고 있는 그래핀에 대한 연구는 선진국과 큰 차이 없이 시

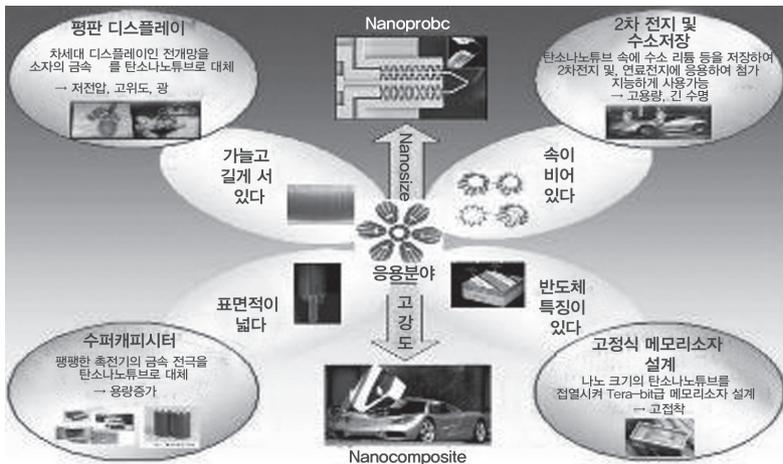
86) IDTechEx, Carbon Nanotubes and Graphene for Electronics Applications 2011-2021

작되었다. 현재 우리나라의 그래핀 성장기술이나 응용소자 기술은 세계적으로 선두그룹에 있어 그 원천기술을 확보해 나간다면 그래핀 분야의 글로벌 리더로 자리매김해 나갈 수 있다.

국내에서는 탄소나노튜브를 활용한 전도체(투명전극) 연구에서 한국전기연구원과 (주)상보가 ITO 필름을 대체하기 위한 탄소나노튜브 기반 투명전극을 개발하여 터치스크린 패널로 활용하고 있다.

그래핀 연구는 성균관대학교와 삼성종합기술원이 CVD법으로 30인치의 대면적 그래핀을 합성하여 터치스크린의 투명전극으로 활용할 수 있는 가능성을 보여주기도 했다. 포항공대는 그래핀을 활용한 유연한 전자소자에 대한 연구를 수행하고 있다. <그림 2-73>는 탄소나노튜브 특성에 따른 응용분야를 보여준다.

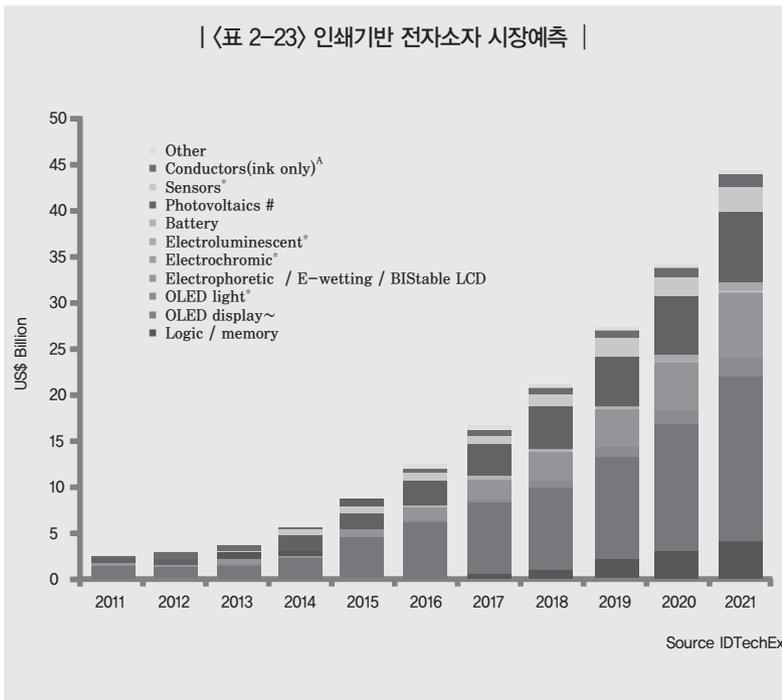
〈그림 2-73〉 탄소나노튜브 특성과 응용분야



탄소나노소자는 2015년경 인쇄기반 전자소자로 응용 가능

시장조사기관인 IDTechEx에 따르면, 탄소나노소재(탄소나노튜브, 그래핀)의 전자소재로의 상업적 이용은 2015년경 인쇄기반의 전자소자로 응용될 것으로 예측된다. 인쇄기반 전자소자로의 활용에 있어서 가장 핵심이 되는 소재의 순도, 소자 제작, 함께 사용될 소재 확보를 추진하고 있다.

탄소나노튜브와 그래핀은 인쇄기반 전자소재의 반도체 또는 전도성 잉크용 소재로 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 인쇄기반 전자소자의 시장예측을 통해 탄소나노소재가 2015년에는 100억 달러 시장을 열어갈 것으로 보인다<표 2-23>.



전 세계가 주목하는 그래핀의 반도체 응용을 위한 원천 기술 및 응용기술의 선점은 기술경쟁력 확보라는 관점에서 매우 중요하다.

KIST는 나노하이브리드 소재 연구를 통해 확보한 탄소나노소재 기반기술을 토대로 탄소나노소재기반 전자소자 기술과 연구개발 인력을 보유하고 있고, 본원을 중심으로 국내외 연구 네트워크를 구축하고 있으며, 최근 전북분원에 탄소기반 복합소재연구소를 설립하여 공동연구를 위한 환경도 조성하고 있다.

KIST는 2012년에도 CVD기반의 그래핀 합성과 전자소자 응용 연구를 진행하고 있으며, 화학적 합성법으로 만들어진 그래핀을 활용한 다양한 유기 전자소자에 대한 응용 연구를 진행하고 있다.

- 탄소 나노소재기반 전자소자 기술은 국내외적으로 아직 시장진입 단계에 있으나, 최근 인쇄기반 전자소자공정의 잉크소재로의 활용도가 높은 것으로 평가되는 등 투명전도체로의 상업화 가능성이 커져, 유연전자소자의 핵심 부품소재 또는 보조재료로도 활용될 것으로 전망된다.
- 특히 탄소나노소재기반 전자소자 기술은 원천연구가 현재 진행 중에 있어 다양한 첨단기술을 융합시켜 나가는 것이 중요하기 때문에 최소한 5년 이상 소재합성기술과 전자소자로서의 응용성이 연계되도록 지원해 나가야 한다.
- 탄소나노소재기반 전자소자 기술은 향후 시장전망이나 파급효과로 보아, 국가적인 차원에서 중점적으로 개발해야 할 기술이다. 그러나 탄소나노소재기반 전자소자 기술의 상용화에는 여러 장애요인이 있는 만큼 이를 해결해 나가야 한다.



가상현실의 실생활 활용

3차원 영화 및 게임 등이 일반화가 되면서 3차원 실감 미디어에 대한 관심이 높아지고 있다. 3차원 실감 미디어는 컴퓨터 그래픽스, 컴퓨터 비전, 가상현실, 증강현실, 미러월드 기술 등의 다양한 기술들이 복합적으로 응용되는 분야이다.

과거 가상현실 기술은 컴퓨터가 만들어내는 새로운 세계를 사용자들에게 실감을 느끼게 해주는 목적이었으나, 최근에는 연구자들이 컴퓨터나 인터넷 공간에 존재하는 정보들을 현실공간과 연결하여 활용될 수 있도록 하는 기술개발이 진행되고 있다. 대표적인 기술들이 증강현실과 미러월드 기술이다.

증강현실⁸⁷⁾은 실제 물리적인 세상에 컴퓨터로 생성해 낸 감각

87) 증강현실이라는 용어는 보잉사의 연구원인 톰 코델(Tom Caudell)이 1990년부터 사용한 것으로 알려져 있는데 당시 비행기에서 케이블 연결 작업을 돕기 위한 시스템을 개발하는 와중에 나온 개념이다.

적인 입력 즉 소리, 컴퓨터 그래픽 등을 입혀서 실제와 혼합시키는 기술이다. 증강현실과 영상 합성의 차이점은 일반적으로 현재 환경의 맥락(context)에 맞는 정보나 컴퓨터 그래픽을 실시간으로 정합시켜서 보내 준다는 것이다. 증강현실은 실제 산업 분야에 응용되는 기술로, 광고, 산업, 네비게이션, 의학, 관광, 교육, 군사분야 등에 다양하게 응용되고 있다. 미러월드⁸⁸⁾(Mirror World)란 사람들이 살고 있는 현실공간을 디지털 형태(Digital form)로 복제하여 정보 등을 부가해 놓은 것이다. 미러월드 구성에서는 현실공간의 건물과 사물의 모습을 가상현실 공간에 복제하고, 내부에 기능을 갖는 것으로 구성된다. 이상적인 미러월드와 유사한 대표적인 시스템은 구글 어스⁸⁹⁾, 마이크로소프트 Virtual Earth가 있으며, 현재는 구글 어스만 서비스 중이다<그림 2-74>.

| <그림 2-74> 구글 어스에서 본 뉴욕의 모습 |



-
- 88) 미러월드는 예일대 교수인 David Gelernter가 1991년에 쓴 “미러 월드(원제 Mirror Worlds)”란 책에서 유래하였다.
- 89) 구글 어스(Google Earth)에서는 3차원 지도 서비스를 실시, 주요 건물들의 3차원 조감도를 제공하고 있다. 또한, 구글 어스는 3D 모델 만이 아니고 파노라미오라는 사이트의 사용자 사진들을 비롯해 도로, 바다, 날씨, 갤러리, 지구촌 바로알기 등 각종 정보를 덧붙일 수 있는 플랫폼으로 발전하고 있다.

모바일 증강현실과 자연특징 기반 증강현실 기술⁹⁰⁾이 실용화 단계 중

초기 증강현실은 특정장소에서 센서 및 컴퓨터 등을 설치하였으나, 최근에는 모바일 상황에서 증강현실을 체험하는 모바일 증강현실로 진화하고 있다. 특히 고사양 스마트폰의 등장과 함께 모바일 증강현실은 일반 대중들에게도 친숙한 기술이 되어가고 있으나, 정확한 의미의 모바일 증강현실이란 움직일 수 있는 상황에서 사용이 가능한 증강현실 시스템을 말하기 때문에 입고 다닐 수 있는 웨어러블(wearable) 증강현실, 휴대할 수 있는 핸드헬드(handheld) 증강현실을 포함하는 의미이다.

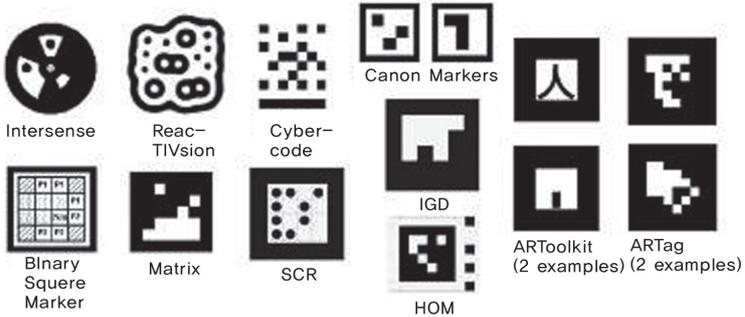
증강현실 기술 중에 가장 중요한 기술은 카메라의 정확한 자세 및 위치를 인식하고 추적하는 기술이다. 영상 자체만을 가지고 카메라 추적을 하는 기술과 영상과 센서를 동시에 이용하는 기술, 그리고 센서만 사용해서 카메라 추적을 하는 기술이 있는데, 센서만을 이용하는 경우에는 주로 GPS와 IMU 센서를 사용해서 현재의 위치를 파악하기 때문에 정확도가 떨어지는 단점이 있다.

최근에는 영상인식을 사용해서 카메라의 위치 및 포즈를 계산해서 가상 객체를 정합하는 기술들이 사용되고 있는데 가장 간단한 방법으로 증강현실 마커⁹¹⁾를 사용하는 방법이 있다<그림 2-75>.

90) 자연특징 기반 핸드헬드 증강현실이란 카메라에 들어오는 영상에서 추출할 수 있는 부분이 쉬운 점들을 특징점으로 하여 카메라의 움직임 및 자세를 추정하여 증강현실을 구현하는 방식이다.

91) 이 방법은 1997년 증강현실 툴킷(ARToolKit) 이후에 보편화된 방법으로 최근에는 QR코드(Quick Response Code, QRCode) 형태를 사용하는 방법도 개발되고 있다.

| <그림 2-75> 다양한 종류의 증강현실 마커 |



최근에는 자연특징 기반의 증강현실 기술이 점차 실용화 단계로 진행되고 있다. 자연특징 기반 방식으로 증강현실을 할 수 있는 엔진이 여러 기업에서 개발이 되고 있는데 대표적인 것이 퀄컴(Qualcomm)의 증강현실 플랫폼(AR SDK)⁹²⁾이다.

또한 기술적으로 발전된 환경 특징점 기반 증강현실 기술⁹³⁾이 있다. 이 기술은 주위 환경의 특징들을 지도 형태로 만들어서 추적을 하는 방식으로 원래는 로봇의 주행을 도와주기 위한 SLAM(Simultaneous Localization And Mapping) 기술을 증강현실 쪽에서 사용을 한 기술이다.

92) 퀄컴의 증강현실 플랫폼은 안드로이드 단말기에서 증강현실 어플리케이션을 개발할 수 있는 API(Application Programming Interface)를 제공하고 여러 가지 기능이 포함되어 증강현실 버튼 등을 지원한다.

93) 이 기술은 옥스퍼드 대학에서 연구를 진행 하였는데 PTAM(Parallel Tracking And Mapping)로 공개가 되어 있다. 아직 상용화하기에는 안정성이 떨어지고기술적으로 가장 난이도가 높으나 미래의 발전 가능성은 높다.

거리센서 기반 및 칼라카메라 기반 모델링 미러월드 기술

미러월드를 구축하기 위한 기술은 3차원 모델링 기술이 기본 기술이며, 모델링하는 방법은 모델링 툴을 사용하는 방법과 레이저 스캐너나 카메라 등의 장비를 사용하여 실제 건물이나 사물의 측정을 통해서 모델링하는 방법으로 나눌 수 있다. 구글도 스케치업 혹은 빌딩 메이커라는 소프트웨어를 제공하여 구글 어스 사용자들이 직접 건물들을 모델링하여 구글 어스에 올릴 수 있다.

또한 구글맵(google map)의 구글 스트리트뷰(google street view) 구축 시에 레이저 스캐너를 이용하여 거리를 스캐닝 하여 이 정보를 기반으로 건물이나 도로의 3D 면을 표시해 주는 서비스를 하며, 실제 건물들의 3D 데이터를 수집하고 있다. 최근에는 마이크로소프트에서 키넥트(kinect)라는 depth camera가 저렴한 가격에 출시되어 이를 이용한 모델링 기법도 연구되고 있는데, 마이크로소프트 연구진들은 키넥트 퓨전(kinect fusion)이라는 기술을 통해서 키넥트를 움직여 노이즈가 많이 포함된 키넥트의 출력을 중첩하여 정교한 모델을 구축할 수 있는 기술을 개발하였다. 키넥트는 깊이(depth)를 얻기 위해서 IR 광선을 사용하는데 이는 야외에서 사용하기가 쉽지 않다. 반면에 카메라 이미지를 이용한 모델링 기술은 여러 환경에서 사용하기가 쉽다. 워싱턴대학은 마이크로소프트와 공동으로 웹상에 존재하는 무수히 많은 사진 콜렉션(photo collection)으로부터 도시를 모델링하는 연구를 시도하였다. 이 모델링을 위해 연구팀은 이미지 매칭(image matching), 광범위 최적화(large scale optimization) 문제를 해결하고, 병렬분산매칭 시스템(parallel distributed matching system)과 큰 비선형 최소 자

승(large non-linear least squares) 문제를 해결한 광속조정 시스템⁹⁴⁾(bundle adjustment software)을 개발하여, 로마, 베니스, 두브로브니크(크로아티아)를 포인트 클라우드(point cloud)로 모델링하였다. 노스캐롤라이나 대학교에서는 위의 방법을 개선하여 클러스터 컴퓨터(Cluster Computer)⁹⁵⁾ 대신 1대의 컴퓨터로 모든 과정을 처리하여 로마를 하루 만에 모델링 하는데 성공하였고, 더욱이 여기서는 모델링 결과로 포인트 클라우드 대신 밀집도 모델(dense model)을 생성하였다<그림 2-76>.

| <그림 2-76> |



a. 콜로세움 사진(플리커 사진)



b. 포인트 클라우드로 모델링된 콜로세움⁹⁶⁾



c, d. 메시(mesh)로 모델링된 콜로세움(UNC 결과)⁹⁷⁾

94) 각 점의 사진(photo)좌표를 기본단위로 하여 다수의 광속(bundle)을 공선조건에 따라 절대 좌표로 환산하는 기법임. 각 사진의 6개 외부표정요소($x_0, y_0, z_0, \omega, \psi, \kappa$)와 미지점의 광속이 공선조건에 의해 동시에 해가 구하여지는 조정방법으로 해석사 진측량에 이용.(출처:토목연구정보센터)

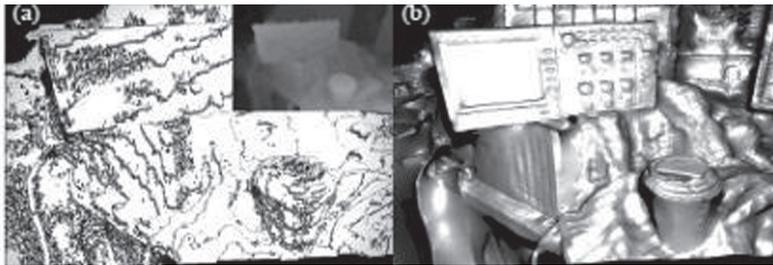
95) 많은 양의 계산을 하거나 데이터를 저장하기 위해 여러 대의 컴퓨터를 하나로 묶어 놓은 것이다.

96) <http://grail.cs.washington.edu/rome/>

97) http://cs.unc.edu/~jmf/publications/Frahm_et_al_ReconstructionFromPhotoCollection.pdf

영국의 런던 임페리얼 공과대학은 1대의 카메라로 받아들인 이미지 시퀀스(image sequence)로부터 모델링과 트래킹을 동시에 하는 DTAM(Dense Tracking and Mapping in Real-Time) 기술을 개발하였다. 이 기술은 여러 이미지로부터 카메라 pose를 트래킹한 결과와 모델링한 결과를 서로 피드백(feedback)시키면서 이에 대한 비용 함수(cost function)를 최소화(minimize)하는 방법으로 정밀한 모델링과 트래킹이 동시에 가능하도록 하였다<그림 2-77>.

| <그림 2-77> DTAM 모델링 |



a. sub-sample refinement 전

b. 후의 모델링 결과⁹⁸⁾

영국 런던대학의 공간분석센터에서는 '가상 런던 프로젝트 (Virtual London Project)'를 추진하였고, 런던 3D 프로젝트 (London 3D project)⁹⁹⁾란 사이트에서는 개인들의 참여를 통해 런던 건물들을 모델링하여 구글 어스에 올려 사실적으로 구현하고 있

98) DTAM, http://www.doc.ic.ac.uk/~ajd/Publications/newcombe_etal_iccv2011.pdf

99) <http://www.london3dproject.mfbiz.com>

다. 네덜란드는 가상도시(VirtuoCity) 프로젝트¹⁰⁰⁾를 통해 도시개발 계획에 따른 미래 도시의 모습을 현실과 유사하게 재현하여 시민들의 의사결정에 도움을 주고 있다.

국내에서는 KAIST에서 넓은 공간을 레이저 스캐너(laser scanner), 카메라(camera), 위성항법장치(GPS) 등 센서를 동시에 사용하여 3차원 모델링하는 기술을 개발하고 있는데, 2인 1조로 사람이 들고 다니며 주변 환경을 측정할 수 있도록 하고, 측정결과는 포인트 클라우드가 생성되도록 되어 있다<그림 2-78>.

| <그림 2-78> KAIST 모델링 시스템으로 경복궁을 point cloud로 모델링한 결과¹⁰¹⁾ |



또한 SK C&C에서는 항공사진으로 도시의 건물들을 모델링하는 기술을 개발했고, 국토해양부 역시 항공사진을 기반으로 서울의 건물들을 모델링하여 공간정보 오픈플랫폼 서비스를 인터넷상에 열고 2012년 1월말부터 공식 서비스에 들어갔다.¹⁰²⁾

100) <http://www.virtueel.nl>

101) Megacity Modeling Project, http://rcv.kaist.ac.kr/v2/bbs/board.php?bo_table=rs_projects&wr_id=10

102) 국토해양부 공간정보 오픈플랫폼, <http://www.vworld.kr/map/map.do>

2015년 증강현실 분야는 15억 달러 이상, 미래월드는 149조원 규모로 성장 예상

증강현실 분야는 IT 시장조사기관 가트너(Gartner)가 2008년부터 2012년 사이 유망 10대 기술 중 하나로 선정하였다. 또한 미국의 주니퍼 리서치(Juniper Research)도 모바일 증강현실 시장이 2015년에 15억 달러 이상으로 급성장할 것으로 예상하였다.

국내의 경우 AR에 관한 시장 규모를 추정하기에는 미미한 수준이지만, 2009년 아이폰의 출시와 2010년 안드로이드 기반의 스마트폰이 다수 출시되면서, 모바일 AR 관련 응용과 시장이 급속히 성장하고 있다. 미래월드는 위치기반서비스(Location Based Service, LBS) 및 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)의 미래 시장형태로 전망된다. 국토해양부에 의하면 세계 공간정보시장 규모는 2008년 72조원에서 연평균 11% 가량 증가해 2015년에는 149조원 규모의 거대시장으로 성장할 것으로 예상된다.¹⁰³⁾

KIST에서는 모바일 혼합현실 체험 투어 기술과 미래월드 기술 개발을 진행

KIST에서는 실감 공간 및 가상현실 관련 연구를 통해 원천기술이라 할 수 있는 증강현실 저작도구 및 트래킹 엔진 등의 개발에 성공하였다. 2009년부터 KOCCA에서 지원받은 “모바일 혼합현실 체험 투어 기술 개발” 과제를 수행하고 있는데, 이 기술은 혼합 현실 기술을 관광에 적용하여 체험할 수 있게 하는 것이다.

103) <http://www.etnews.com/news/detail.html?id=201101210122>

KIST는 2012년에도 과제 수행의 일환으로 혼합현실 미들웨어, 혼합현실 실내외 추적 기술 개발을 진행 할 예정이다.

또한 2010년부터 진행한 “실감교류 인체감응 솔루션” 과제에서 인터랙션이 가능한 미래월드 기술을 계속 개발 할 것이다.

● 최근의 증강현실 연구는 현실을 복제하는 형태로 발전 중이다. 아래 <그림 2-79>의 (a)는 인형 중에서 하나는 진짜이고 나머지는 인터랙티브하게 실시간으로 복제된 모델이다. <그림 2-79>의 (b)는 원격지에 있는 사람의 형태를 기록해서 앞에 있는 마네킹에 투시를 한 형태로 원격지에 있는 사람의 동작을 따라서 모터가 움직이며 음성도 나올 수 있다.

| <그림 2-79> |

a. 인터랙티브하게 모델링된 물체들¹⁰⁴⁾



b. 원격지의 사람을 투사한 형태



| <그림 2-80> Skydiver와 Touristo 게임 화면¹⁰⁴⁾ |



● 향후 현실을 복제한 증강현실 기술은 인터랙션 즉, 물리 시뮬레이션을 통해 충돌효과 등을 구현하여 사용자에게 실감을 더하는 형태가 되고, 현실과 증강현실의 구별이 되지 않으면서 끊임이 없는(seamless) 형태로 발전이 될 것이다. 또한 미래월드는 게임 플랫폼으로 진화되어 응용될 것이다 <그림 2-80>.

104) Travel Game, <http://jktravelgame.com/>



오감을 이용한 인간 컴퓨터간 교류

오감을 이용한 인간과 컴퓨터 간 교류 기술이란, 인간이 오감을 통해 다양한 방식으로 감정을 표현하고, 주변 환경을 파악하여 타인들과 소통을 하듯이, 컴퓨터로 하여금 오감 정보를 감지하고 전달, 재현함으로써 생생하게 현장감을 전달하고 인간 친화적 방식으로 실감형 서비스를 제공할 수 있도록 하는 기술이다.

실감형 HCI(Human-Computer Interaction) 기술¹⁰⁵⁾은 인간이 느낄 수 있는 색, 소리, 향기, 맛, 촉감을 디지털 신호로 바꾸어

105) 실감형 HCI 기술은 인간의 오감 메커니즘을 이용하여 보고 듣는 것뿐만 아니라 이러한 감각을 증강시키기 위해 컴퓨터를 통해 만지고, 맛보고, 향기를 맡는 등 오감 정보를 실제와 같이 느낄 수 있도록 실감형 서비스를 제공할 수 있는 인간 중심의 기술로서 인간 삶의 방식과 인간 간의 소통방식을 변화시키는데 주요한 변인이 될 것이라 보인다.

이를 이용하는 기술이다. 문자, 소리, 영상의 시청각에만 의존하던 컴퓨터 인터페이스 기술은 3D 비디오/오디오, 촉각, 후각, 미각 등 오감을 활용하는 인터페이스 기술로 진화하고 있다.¹⁰⁶⁾ 특히 인간 친화적이면서 실감화를 지향하는 차세대 휴먼 인터페이스는 단순한 데이터 전달에서 상호작용을 통한 교감을 공유하는 방향으로 발전하고 있다. 또한 실감형 HCI 기술은 공공성이 높은 분야의 기술로 국내외적으로 향후 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에 고품질 정보 서비스를 제공하기 위한 기반 기술로 부각되고 있다.

오감 정보처리기술, 멀티모달 인터페이스 기술, 실감형 사용자 인터페이스 기술로 구성

오감을 활용한 인간과 컴퓨터 간 교류 기술은 오감 정보처리기술 및 멀티모달 인터페이스 기술, 실감형 사용자 인터페이스 기술 등으로 구성될 수 있다. 시각, 청각, 촉각, 후각, 미각 등 오감 센서에 의한 오감정보 처리 기술에는 오감정보 모델링 및 표현 기술, 음성인식, 생체신호인식, 인간감성인식, 얼굴인식 등과 같은 오감정보 인식 기술, 오감정보 전송 및 융합 재현 기술, 감각 정보 변환 기술이 포함된다.

멀티모달 인터페이스 기술은 인간이 사용한 오감과 지적인 능력을 인터페이스 시스템에 적용한 기술로 인간과 컴퓨터 간의 일체감을 제공하는 기술이다.

106) 박준석, “차세대 휴먼 인터페이스의 오감 정보처리 기술”, 정보통신연구진흥원 학술정보, 주간기술동향, 1252호.

실감형 사용자 인터페이스 기술은 감각대상에 따라 제스처기반, 음성기반, 스마트 입출력, 생체신호 기반, 증강현실 기반 등의 인터페이스로 구분된다. 제스처기반기술은 제스처의 의미를 인식하고 해석하는 기술이다. 음성기반기술은 자연스러운 발성에 대한 음성 인식기술과 음성 합성기술이다.

스마트 입출력 인터페이스 기술은 3차원 무선 펜, 가상 키보드, 안경형 디스플레이 등의 기술이다. 생체신호 기반기술은 오감에서 한걸음 나아가 근전도 및 심전도, 뇌파와 같은 인위적으로 발생 가능한 생체신호를 이용, 노약자와 장애인이 컴퓨터의 인터페이스로 사용하거나 재활기기 구동 제어를 위한 명령어 생성 기술이다.

오감정보처리기술 중 시각과 청각에 대한 센싱 및 재현 관련 기술은 실용화 단계에 있는 상태이다. 예를 들어, 스마트폰이나 카메라 등의 IT기기는 인간의 눈처럼 사물을 인식하고 인터넷과 연결을 통해 그 사물이 무엇인지 어떤 관련 정보가 있는지 알 수 있다.¹⁰⁷⁾ 촉각은 기계적 자극, 열 자극에 의한 물리적 자극을 입력 하나 아직 수용기에 대한 해명이 완전히 밝혀져 있지 않아 센싱 및 재현기술은 기초개발 단계에 있다.

미각과 후각은 화학적인 자극에 의해 형성되지만 수용기에 대한 해명이 진행되고 있지 않아 센싱 및 재현에 대한 연구가 진행 중이다.

실감형 HCI 기술은 장애인 보조, 협업, 가상환경, 오감게임,

107) 애플은 아이폰4S에 음성인식 서비스 '시리(Siri)'를 탑재하여 음성인식 기술의 현주소를 보여주었으며, 포드자동차는 MS와 공동으로 음성명령으로 자동차를 운전할 수 있는 '싱크(Sync)'시스템을 개발하고 있다.

프레즌스(presence), 오감 콘텐츠, 인스턴트 메시징(instant messaging), 의료, 교육, 군사, 뉴스, 증강현실, 상황인지(context awareness) 등에 다양하게 응용될 수 있다.¹⁰⁸⁾

오감형 콘텐츠 기술은 현실 세계와 흡사한 정도의 감각 자극을 제공하는 ‘실감형 콘텐츠(realistic contents)’를 제공한다. 이 기술은 3D 디스플레이, 입체음향, 손으로 만지거나(haptic) 몸에 걸치는데(wearable) 체험형 콘텐츠 등이 있다.

심지어 냄새를 맡는 전자 코(e-nose), 맛을 보는 전자 혀(e-tongue) 기술도 개발되고 있다. 또한 시각, 청각, 촉각 등 오감과 인지 기능을 자극함으로써 실제와 같은 느낌의 서비스를 제공하는 기술로서 Consumer Telepresence¹⁰⁹⁾, 3D TV 서비스, 가상현실, Ambient Displays¹¹⁰⁾, Tangible User Interface¹¹¹⁾, Computer-Brain Interface¹¹²⁾, 제스처 인터페이스 등이 있다.

-
- 108) 오감 AR 서비스가 실현된다면 청각 장애인은 안경을 통해 대화를 이해할 수 있고, 시각 장애인도 소리를 통한 주변 인식을 통해 보행이나 생활에 도움을 받을 수 있으므로 장애가 더 이상 장애가 되지 않는 사회도 가능해진다. 또한 군인, 소방관 등 특수임무를 수행하는 직업에서는 오감 AR 서비스로 위험지역에서 사고를 낮출 수도 있다.
 - 109) 공간적으로 멀리 있는 장소 및 가상장소를 직접 가보지 않고도 네트워크 망을 통해 원격지와 연결하여 사용자들이 음성, 비디오, 그래픽 등을 공유하여 통신할 수 있도록 도와주는 기술이다.
 - 110) 특정 정보 제공을 위한 데이터를 별로 분석하거나 인식하지 않고 사용자가 한눈에 알아볼 수 있도록 단순화된 정보로 보여주는 장치이다.
 - 111) 사람이 물리적인 환경을 통해 디지털 정보와 상호작용을 하는 사용자 인터페이스로 실제로 사물을 조작하는 행위를 통해 디지털 정보를 조작하는 인터페이스 기술이다.
 - 112) 사용자의 의지에 의해 생성되는 뇌의 신호를 뇌에 이식된 전극이나 착용한 모자, 헬멧 등으로 인식하여 전자장비를 구동하는 명령어로 활용할 수 있으며 각기 다른 뇌 패턴에 대한 충분한 데이터 획득이 중요하다.

〈그림 2-81〉
Telepresence를
이용한 제품소개



〈그림 2-82〉 색으로 다양한 정보
(증시현황, 환경오염정도, 날씨 등)를
나타내는 장비(Ambient Orb)



〈그림 2-83〉
아동을 위한
Tangible User Interface



〈그림 2-84〉
Computer-Brain Interface를 이용
한 언어인식



〈그림 2-85〉
제스처 인터페이스



2030년 테프리 박사의 하루

2030년 어느 일요일 아침, 테프리 박사는 며칠 야근으로 인해 피곤한 상태에서 잠들었다. 몸 상태를 관리하는 개인형 인공지능 에이전트¹¹³⁾가 수면깊이와 수면 시간을 고려해 좀 늦은 시간에 기상을 권한다. 개인형 인공지능 에이전트가 테프리 박사에게 비타민 부족과 운동 부족을 알려준다. 오늘은 새로운 운동을 추천해줬다. 처음 접하는 운동은 테프리 박사가 입고 있는 옷에 붙어 있는 착용

113) 각 방의 벽 속에 내장돼 있는 컴퓨터. 각각의 컴퓨터는 유·무선 네트워크로 연결되어 있음. 개인형 인공지능 에이전트는 주인의 얼굴 표정, 피부 상태, 목소리 등을 항상 관찰할 뿐만 아니라, 주인의 여러 가지 취향 정보를 히스토리 또는 약간의 정보 입력에 의해서 파악하고 있다.

형 컴퓨터¹¹⁴⁾가 상세히 설명해준다. 콧노래를 부르니 기분에 맞춰 헤어스타일과 옷 등을 추천한다. 이미 테프리 박사의 목소리와 신체 상태를 체크한 상태(음성·영상·신체리듬·감성 인식)다. 테프리 박사가 컴퓨터에게 고맙다는 인사를 하니 웃으며 농담을 해 왔다.¹¹⁵⁾ 테프리 박사가 약속 장소로 가기 위해 무인자동차에 탑승한다. 차는 이미 소요시간을 계산해 두었다. 지금 출발하면 친구와 정확한 시간에 만날 수 있다. 친구는 외국인과 함께 나왔다. 언어소통이 불가능한 상황이지만 착용형 컴퓨터가 테프리 박사가 하는 말을 외국인에게 자국어로 들리도록 인공지능 통번역기로 변환해 전달하여 테프리 박사는 친구와 함께 온 외국인과 쉽게 대화할 수 있다. 인간과 컴퓨팅 장치와의 교류를 통해 다양한 형태의 인공지능을 창출함으로써 미래형 유토피아의 세계를 향해 기술이 진화될 것이다.

국내 음성인식 기술은 세계 최고 수준에 도달

미국과 유럽은 오감정보 처리 기술과 HCI 기술을 연계하여 의료 및 재활분야, 우주산업 등 특정 응용에 적합한 인터페이스 개발에 집중하고 있다. 미국의 MIT, CMU, 조지아공대 등에서는 감성 및 생체인식 등 차세대 휴먼인터페이스 기술을 개발하고, MIT 미디어랩 TTT(The Things That Think) 컨소시엄은 인간이 모든 사물, 기계 등과 자연스러운 의사소통을 하여 인간과 객체 간의 상호작용이 가능하도록 하는 자연스러운 인터페이스 기반 감성 컴퓨팅

114) 옷 속에 포함돼 있거나 팔목 등에 장착할 수 있는 가벼운 컴퓨터

115) 멀티모달 인터랙션: 인간이 환경 친화적으로 컴퓨터와 의사소통을 할 수 있는 인터페이스 기술

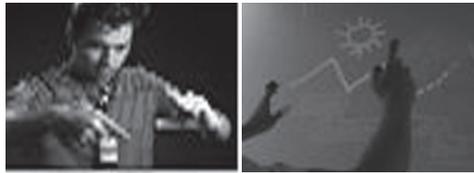
(affective computing) 기술을 개발하고 있다. 마이크로소프트는 Surface 프로젝트¹¹⁶⁾와 나탈 프로젝트(project Natal)¹¹⁷⁾를 통해 기존의 컴퓨터 입출력 방식과는 다른 새로운 사용자 인터페이스를 개발하여 미래형 컴퓨터의 가능성을 제시하였다.¹¹⁸⁾ 2009년 2월 MIT media lab에서 발표한 ‘Sixth Sense¹¹⁹⁾’는 실세계에 디지털 정보를 보다 편리하게 연결하여 사용할 수 있도록 개발된 새로운 형태의 착용형 컴퓨터로, 마커로 표시된 손가락 및 움직임을 인식하고 제스처를 통해 사용자 명령을 인식하는 제스처 기반 인터페이스 기술을 개발하였다<그림 2-86, 2-87>.

일본은 신체기능 보조를 위한 실버산업 및 오디오, 비디오 등 시각, 청각 기반의 콘텐츠 중심에서 향후 등장할 촉각, 후각, 미각 등 신개념 오감 콘텐츠 산업 창출을 위한 연구를 진행 중이다.

| <그림 2-86>
키넥트 프로젝트 관련 사진 |



| <그림 2-87>
Sixth Sense 프로젝트 관련사진 |



116) <http://www.microsoft.com/surface>

117) <http://www.xbox.com/kinect>

118) 2009년 1월 발표된 키넥트 프로젝트는 별도의 제어장치 없이 게임을 즐길 수 있도록 카메라 및 센서 디바이스를 이용하여 사용자 움직임을 인지하고 반응하며, 음성인식 및 얼굴인식을 통해 사용자 명령을 인식하는 사용자 인터랙션 기능을 개발하였다.

119) <http://www.pranavmistry.com/projects/sixthsense/index.htm>

멀티모달 인터페이스는 기존 음성인식과 영상인식 기술 및 센서 융합 기술의 불완전성, 정보기기 사용 환경이 소형화·컨버전스화, 모바일 중심으로 변화, 다양한 콘텐츠 증가, 장애인이나 노약자와 같은 특수 사용자 증가 등 변화하는 환경에서 필요한 기술이다. 대표적인 멀티모달 인터페이스 기술로는 W3C의 Multimodal Interaction Working Group이 있으며 IBM 주도의 X+V, 마이크로소프트의 SALT(Speech Application Language Tags), OMA(Open Mobile Alliance) 연구 등이 있다.

실감 인터랙션 기술은 하드웨어 개발이 핵심이며 미국이 대다수의 원천 기술을 확보하고 있고, 유럽, 일본 등도 높은 수준의 선진 기술을 보유하고 있다.

국내 연구기관들은 제스처 기반 기술, 표정 및 음성 인식 기반의 감정인식 기술, 생체 신호 기반 기술, 증강현실 및 공간 정보 융합을 기반으로 하는 인터페이스 기술을 개발하고 있다. 2011년에는 스마트폰에서 손짓을 인식하여 기능을 동작시키는 기술이 상용화되었다. 특히 오감정보처리 기술 중 음성인식 기술의 경우, 국내의 대어휘 음성인식 기술은 세계 최고 수준(선진국 대비 120%)이며, 연속어 인식 및 대화체 인식 기술은 선진국 대비 80% 수준이다. 세계 시장 진출을 위해서 연속어 기반 대어휘 음성인식 기술 개발을 추진, 기술경쟁력을 확보하기 위해 노력하고 있다.

우리나라는 인터페이스 기술개발 과정에서 센서 등 핵심 부품을 수입해서 사용하고 있다. 따라서 기술 차별화를 이루기 위해서는 상용화 기술에 대한 지적재산권 확보에 노력하며 인공지능과 같은 소프트웨어 개발을 하여 기술경쟁력을 갖추어야 할 필요가 있다.

시장규모는 2012년 국내 88조원, 국외 1,800억 달러로 추산

메릴린치에 따르면, 실감형 인터랙션 시장은 세계시장에서 2012년 26억 달러 수준으로 성장 할 것이며 국내시장은 2,000억원 규모에 도달하여 연평균 10%의 높은 성장세를 보일 것으로 예상하고 있다. 더불어 Opus Research의 조사에 따르면, 음성인식기술 관련시장 규모는 2013년에 약 3억 4천만 달러 규모로 성장할 것으로 예상하고 있다<표 2-24>.

표 2-24 오감정보 처리 및 HCI 관련 기술 시장 규모

(단위: 백만달러/세계시장, 억원/국내시장)

구분	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	성장률	
세계시장	영상처리 SW	3,625	4,006	4,426	4,891	5,405	5,972	6,599	7,292	10.5%
	음성언어 및 인공지능	34,722	38,118	42,469	47,955	54,504	62,936	73,182	85,705	13.8%
	실감형 인터랙션	1,783	1,961	2,157	2,373	2,610	2,872	3,159	3,475	10%
	가상 시뮬레이션	29,281	32,535	36,150	40,800	44,900	45,330	49,900	54,850	10%
	멀티미디어 플랫폼	68,839	69,615	71,501	73,842	76,308	81,184	84,139	87,201	3.6%
	합 계	138,250	146,235	156,703	169,861	183,727	198,294	216,979	238,523	9.58%
국내시장	영상처리 SW	14,138	16,103	18,342	20,891	23,795	27,102	30,870	35,160	13.9%
	음성언어 및 인공지능	3,012	3,485	3,797	4,234	4,736	5,201	5,712	6,274	10.3%
	실감형 인터랙션	1,391	1,530	1,683	1,851	2,037	2,240	2,464	2,711	10%
	가상 시뮬레이션	22,836	25,380	28,200	31,200	34,320	37,800	41,520	45,600	10%
	멀티미디어 플랫폼	662,196	701,292	724,968	772,224	824,952	841,452	936,192	987,504	5.48%
	합 계	703,573	747,790	776,990	830,400	889,840	913,795	1,016,758	1,077,249	9.94%

※ 출처: The Market for Visual Simulation/Virtual Reality Systems, 6th Ed(CyberEdge) CIMdata 2007, Market Share: All Software Markets, Worldwide 2008(Gartner 2009), Competitive Landscape: Digital Content Creation, Worldwide, 2009-2013(Gartner 2009), Machine Vision: Technologies & Global Markets(BCC Research, 2007, 03), CR&C, TRG2006, IITA 이동통신 생산전망(07), IDC, Gartner Dataquest 2005, Mills-Davis의 Project10X 2006년 보고서, Worldwide Search and Discovery Software 2009

※ 메릴린치, The Cloud War: \$100+ billion at stake, 2008.5.7, IDC, IT 시장전망보고서

얼굴인식 기술 관련 시장규모는 음성인식 기술이나, 생체인증 기술보다 규모가 작으나 향후 확대가 예상된다. 2009년 6월 Frost & Sullivan 조사에 따르면 인물의 조합에 이용되는 얼굴인식 기술 시장의 규모는 2008년 1억 8천 6백만 달러였으나, 그 이후 연평균 성장률 27.5%로 성장하여, 2012년에는 10억 달러에 달할 것으로 예측된다.

또, ABI Research사가 발표한 2008년의 세계 생체인증 시장 규모는 약 5억 6천만 달러로 이중에 지문인증이 전체 60%이상을 차지하고 얼굴인증은 16.4%를 차지한다. 얼굴인증 시장은 2013년까지 22%씩 성장하여 약 2억 5천만달러에 이를 것으로 예상된다.

미국 Market&Market 조사에 따르면 제스처 인식시장의 규모는 2010년의 2억달러에서 연평균성장률 25.6%로 성장하여 2015년에는 6억2천 5백만 달러에 달할 것으로 예상된다.

제스처 인식기술은 엔터테인먼트, 가전, 수송, 헬스케어 등 다양한 분야에 적용되며 2015년 이후 7~8년 동안 계속해서 성장할 것으로 예상된다. 미국의 ABI Research가 2009년 발표한 보고서에 따르면, 증강현실 시장의 매출액은 2008년 600만 달러에서 2014년 3억 5천만달러로 연평균 96.16%의 성장세를 나타낼 것으로 예측된다.

증강현실 시장, 제스처인식 시장, 얼굴인식 시장을 대상으로 2020년까지 예상 시장의 성장률(AR 96.1%, 제스처인식 25.6%, 얼굴인식 27.5%)을 적용하면 <표 2-25>에서 보듯이 AR시장은 2011년 3억8천만 달러에서 매해 두 배 이상 성장할 것으로 추정된다<표 2-25>.

| <표 2-25> 증강현실(AR)/제스처인식/얼굴인식 시장의 시장규모 |

(단위 : 백만달러)

구분	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	CAGR
AR	38	78	175	358	702	1,377	2,700	5,297	10,391	20,383	96.1%
제스처 인식	251	316	396	498	625	785	986	1,239	1,556	1,954	25.6%
얼굴 인식	386	1,000	1,275	1,626	2,073	2,643	3,369	4,296	5,477	6,984	27.5%
계	675	1,393	1,846	2,481	3,400	4,804	7,056	10,832	17,424	29,321	52.0%

* CAGR(Compound Annual Growth Rate)은 연평균 성장률을 의미함

KIST에서는 실감교류 인체감응 솔루션 과제 수행 중

KIST는 HCI 분야 기반 기술과 그에 필요한 우수한 인력을 확보하고 있다. KIST의 실감교류 로봇틱스 연구센터는 2010년도부터 오는 2019년까지 진행 중인 글로벌프런티어사업인 ‘실감교류 인체감응 솔루션’ 과제를 수행하며 중추적인 역할을 담당하고 있다. 본 과제를 통해 인간과 인텔리전트 머신 및 가상사회의 유기적 결합과 실감 및 감성의 실시간 양방향 소통을 지원하기 위한 기초원천 기술 개발을 위해 노력하고 있다. 기술 개발에는 KIST가 인간형 로봇 개발과 HCI 기술을 통해 확보한 기술들을 활용하고, 한국과학기술원(KAIST), 광주과학기술원(GIST), 고려대, 한양대, 한국전자통신연구원(ETRI) 등 다수의 국내 연구팀이 참여함으로 최상의 연구환경을 조성하여 핵심원천기술 개발을 위해 연구하고 있다.

향후 인간과 가상세계, 원격 현실세계가 상호 실감 교류를 통해 결합되어 하나의 현실 생활공간으로 만들어지는 확장공간시대를 열 것으로 전망된다. 새로운 확장공간은 원격 실감 진료 및 원격 요

양 보호, 원격존재의 대리 작업에 의한 재택근무 등과 같은 새로운 생활문화와 비즈니스 모델이 제시될 것으로 기대된다.

실감형 HCI 분야 연구는 센서 등 하드웨어 기술과 밀접한 관련을 가지고 있으며, 다양한 IT 제품 및 서비스에 기반한 기술로 개발 주기가 짧은 기술이다. 그러나 국내는 하드웨어에 대한 기술이 부족한 실정이므로 관련 핵심 하드웨어 개발 및 제품 개발 동향에 지속적인 관심을 가지는 동시에 중장기적인 안목과 로드맵으로 원천 핵심 기술 개발에 접근할 필요가 있다.

- 촉각 및 후각 인식 표현은 원천기술 특성에 따라 국내의 시장 규모는 작지만, 정부의 전략적인 정책추진으로 기술을 선도하고 기술 개발이 필요한 분야이다. 멀티모달 사용자 인터페이스는 산학연의 관심도가 높으며 기술 개발이 시급하고, 사용자 편의성의 파급도가 높으므로 중점 개발이 필요하다.
- 정보통신 서비스와 기기의 다양화로 인해 단기적으로는 휴대형 정보기와 무선인터넷 기능이 융합된 복합 단말기를 위한 소형화, 무선화, 저전력화를 위한 플랫폼 기술이 필요하며, 장기적으로는 인간의 오감정보처리와 사용자 편의성을 향상시키기 위한 다양한 형태의 인터페이스 기술이 필요하다.
- 실감 HCI 기술은 국가적인 차원에서 중점적으로 개발되어야 할 기술이다. 단기 개발을 통해 신속한 상용화를 이룰 수 있는 기술과, 중장기 개발을 통한 원천기술 개발을 분리 추진해 나가야 한다.



교육, 생활지원 인간형 로봇

일반적으로 로봇 산업의 핵심 주제는 ‘생산 보조’로 정의된다. 오래 전부터 로봇은 다양한 제조 산업 분야에서 그 역할을 수행해왔으며 기술 발전에도 기여해 왔다. 이러한 산업용 로봇과 달리, 인류가 새롭게 요구하는 미래의 로봇은 ‘서비스 로봇’이다. 산업현장에서 생산 보조원으로서 작업하던 로봇을, 인간의 일상생활로 불러들여 생활 보조원으로서의 임무를 맡기려고 하는 것이다¹²⁰⁾.

120) 국제로봇연맹(IFR)에서는 로봇의 사용 목적에 따라 산업용 로봇(Industrial robot)과 서비스 로봇(Service robot)으로 구분한다. 서비스 로봇이란, 제조 작업을 제외한 분야에서 인간 및 설비에 유용한 서비스를 제공하면서 반자동 또는 완전자동으로 작동하는 로봇을 말하며, 크게 개인 서비스용 로봇(Personal use)과 전문 서비스용 로봇(Professional use)으로 나눌 수 있다.

따라서 생활 속에서 인간과 공존하는 인간형 서비스 로봇은 기존의 보조적인 역할은 물론 서비스 제공이라는 중요한 임무도 추가로 수행하게 되었다.

우리나라에서는 흔히 ‘지능형 서비스 로봇’이라는 표현을 사용하는데, 이는 서비스 로봇 가운데 인간 생활과 밀접한 관계가 있는 개인 서비스용 로봇 개념이다. 이러한 로봇은 비교적 단순한 기술을 요하는 청소에서부터 복잡한 기술의 적용이 필요한 학습, 엔터테인먼트, 가사 및 생활지원 등에 이르기까지 향후 생활과 관련된 다양한 분야에서 로봇이 인간을 대체할 수 있을 것으로 예상하고 있다.

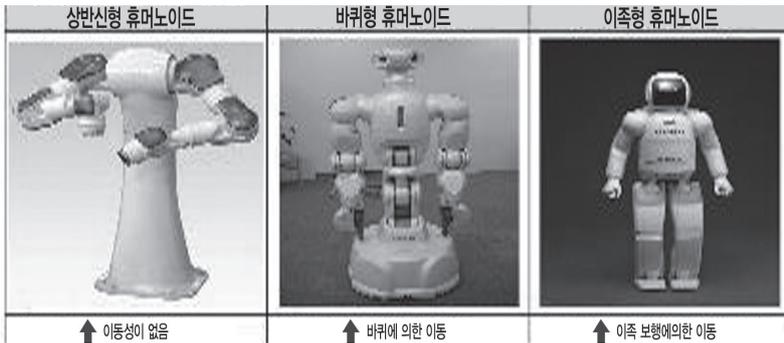
한편 ‘인간형 로봇(휴머노이드)’은 기술적인 측면보다는 외형적인 측면을 강조한 용어이다. 통상적으로는 인간의 모습을 갖추고 있는, 즉 ‘양팔과 양손, 두 다리, 몸통과 머리를 갖고 있는 로봇’의 형태를 ‘인간형 로봇’이라 부를 수 있다.

인간을 닮은, 인간과 함께 하는, 인간형 서비스 로봇

인간을 모방하여 만들어진 로봇은 인간의 생활환경에 적응할 수 있어, 산업현장이나 가정 등에서 작업들을 수행할 수 있게 된다. 바퀴가 달린 이동 로봇(wheeled mobile robot)은 인간을 위해 설계된 공간에서의 이동이 매우 한정적이다. 따라서 이족보행 로봇이 선호되고 있으며 이러한 로봇만을 인간형 로봇(엄밀히 말하면 이족보행형 휴머노이드 로봇)이라 하기도 한다. 하지만 이족보행이 가능해야만 휴머노이드 로봇이라 보는 것은 굉장히 좁은 의미의 해석이다. 즉 ‘인간형 서비스 로봇’은 인간과 닮은 형태와 크기를 갖고

있고, 바퀴 혹은 두 발로 이동이 가능하며, 양팔과 양손을 사용하여 일상 생활환경에서 사람이 할 수 있는 작업을 수행하거나 보조할 수 있는 로봇으로 정의하는 것이 적합하다<그림 2-88>.

| <그림 2-88> 인간형 서비스 로봇의 분류 |



결국 인간형 서비스 로봇이란 정보통신 기술, 인공지능 기술, 센서 및 인식 기술, 감성공학 기술, 신소재 기술 등 광범위한 첨단 요소기술의 개발과 융합이 필요한 궁극적인 형태의 로봇이라 볼 수 있다. 인간형 서비스 로봇에 필요한 기술은 이동 기술(mobility), 조작 기술(manipulability), 소프트웨어 및 지능 기술(software and intelligence) 그리고 안전성(safety) 기술 등이다.¹²¹⁾

1996년 말 혼다(HONDA)사에서 이족 보행 로봇 P2를 발표한 이후 2000년대 중반까지는 주로 “단순 이족 보행 휴머노이드”에 대

121) 서비스 로봇에 대한 기술 분류는 구조부품 기술, 구동부품 기술, 센서 기술, 제어 기술, S/W, 통신기술, 기타 부품 기술 등 7개 분야로 분류할 수 있다.

한 관심이 높았다. 즉 어떻게 해야 로봇이 걸을 수 있는가 하는 것이 주된 연구였다. 하지만 2000년대 말부터 서서히 “작업할 수 있는 휴머노이드”로의 기술 전환이 이루어지고 있다. 특히, 와세다 대학의 트웬디원(TWENDY-ONE), 윌로우개러지(Willow Garage)사의 PR2, 독일 DLR의 롤링-저스틴(Rollin-Justin) 등의 로봇은 바퀴 구동에 의한 인간형 서비스 로봇임에도 불구하고, 기존의 이족 보행형 휴머노이드가 보여 주지 못했던 다양한 기능으로 로봇 응용 분야에 대한 가능성을 보여주고 있다<그림 2-89>.

| <그림 2-89> 선진국의 인간형 서비스 로봇의 예 |



WillowGarage의 PR2



독일 DLR의 Justin



일본 와세다 Twendy-ONE

기계, 전자, 통신, 컴퓨터 및 소프트웨어 등의 유기적인 융합이 필요한 종합기술

국내 지능형 로봇과 관련된 기술 개발은 1990년대 초부터 시작되어 약 25년 정도의 기술력이 확보되었다. 또한 국내에서 개발되는 서비스 로봇은 정보서비스 및 엔터테인먼트에 대한 응용으로 목적이 한정되어 있기 때문에 직접적으로 로봇 팔과 손을 활용하여

작업할 수 있는 서비스 로봇에 대한 연구는 일부 출연연구기관이나 대학교를 제외하고 매우 미흡한 실정이다.

KIST는 2001년 생체모방로봇 ‘미모트(MiMoT)’와 바퀴 구동형 인간형 서비스 로봇 ‘아미(AMI)’를 개발하였다. 미모트는 바퀴로 구동되는 이동부와 작업을 할 수 있는 두 팔, 주변 상황을 인식할 수 있는 머리-눈 시스템 등으로 구성되었다. 아미는 50여개의 문장으로 사람과 의사소통이 가능하며 6가지 감정(희·노·애·락, 우울, 행복감)을 표현할 수 있었다. 2002년에는 이족 보행이 가능하고 만 1살 아기의 지능과 기능을 모방한 소형 휴머노이드 ‘베이비봇(BabyBot)’을 개발하였다.

이후, 2004년 안정된 보행제어, 힘-토크 센서 자체 설계 및 제작을 특징으로 하는 이족 보행의 휴머노이드 ‘휴보(HUBO)’를 개발하였고, 2005년에는 세계 최초로 네트워크를 통해 로봇 지능을 갖춘 이족 보행 휴머노이드 ‘마루-아라’를 개발하는데 성공하였다. 2007년에는 한국생산기술연구원(KITECH)에서 바퀴 구동형 휴머노이드 ‘세로피(SeRoPi)’를 개발하였다. 세로피는 허리를 움직여 바닥에 있는 물건을 집어 올릴 수 있는 기능을 가진 로봇이었다<그림 2-90, 2-91>.

| <그림 2-90> 한국과학기술연구원의 인간형 서비스 로봇 |



| <그림 2-91> |

한국과학기술원의 아미, 휴보,



한국생산기술연구원의 세로피



앞서 언급한 바처럼 우리나라는 아직 몇몇 연구기관에 의해서만 연구개발이 진행된 관계로 로봇전문 인력이 많지 않다. 다소 다행인 점은 로봇 기술 자체가 기계, 전자, 통신, 컴퓨터 및 소프트웨어 등의 유기적인 융합이 필요한 종합기술이기 때문에, 우리나라 뿐만이 아니라 많은 나라들이 종합적인 로봇 연구를 하지 못한다는 사실이다. 일본의 경우 대기업 주도로 기술개발을 수행하고 있지만, 국내는 대학과 연구기관 주도로 이루어지고 있어서 시장창출력은 물론, 기업과 연구조직 간의 협력도 미약하다.

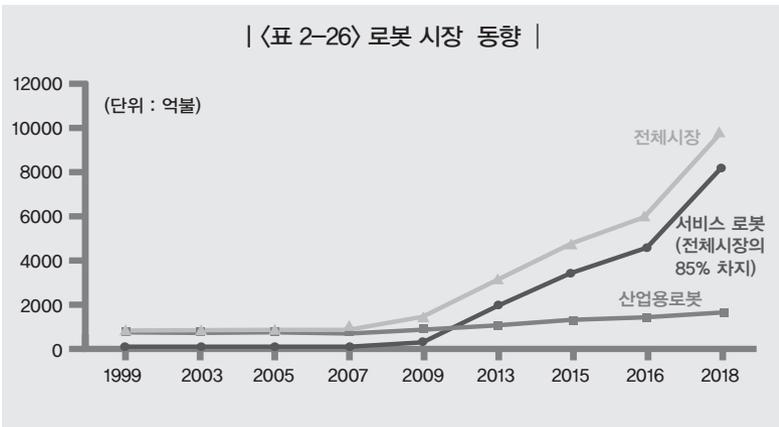
우리나라는 다양한 제조업용의 로봇 응용경험과 이동통신, 임베디드 시스템 기술 등 세계 최고 수준의 IT 및 생산기술을 보유하고 있다. 서비스 로봇 분야에는 약 100여 개의 중소벤처기업들이 있고, 서비스 로봇과 관련한 잠재시장 선점을 목표로 다양한 경쟁우위 제품을 만들기 위해 노력하고 있다. 하지만 인식기술과 지능기술에서는 선진국 대비 3~5년 정도의 기술격차를 갖고 있으며, 부품 국산화율이 20% 이하여서 제품의 가격경쟁력이 취약하다.

국내 요소기술력의 수준은 선진국 보다 낮으나 기술격차가 크지는 않다. 우리의 기술력도 세계 7위권 수준이며, 로봇 시장은 현재 세계 6위 수준이다. 우리나라는 세계 최고 수준의 광대역 통신망과 정형화된 주거환경, 로봇 문화에 대한 호감 등의 요인을 갖고 있어 향후 무한한 성장 잠재력을 내포하고 있다.

2018년 서비스 로봇의 시장규모는 855억 달러로 전망

World Robotics 2009에 따르면 세계 로봇시장 규모는 약 94억 달러이며, 이 가운데 서비스로봇은 전체 로봇 시장의 3분의 1에 불과하다.

하지만 2003년 이후 연평균 38%의 높은 성장세를 보이고 있으며, 6년 후인 2018년에는 서비스 로봇 시장이 855억 달러 규모를 형성하며, 전체 로봇 시장의 85%를 차지할 전망이다<그림 2-26>.



최근 국내 서비스 로봇은 청소·교육·감시 등의 분야에서 급 성장하고 있다. 특히 국내기업들은 R&D 투자비용을 확대하여 한 국형 로봇청소기와 수출형 로봇청소기에 대한 연구개발을 진행하였다. 그 결과 로봇청소기 시장의 유통기반이 안정화되고 시장의 급 성장이 가능했다. 삼성 테크윈은 감시로봇 시스템을 교통정보시스템(ITS)과 연계해 알제리에 수출, 해외 시장을 개척하였고, 교육용 분야에서도 KIST가 영어교사 로봇을 만들어내는 등 다양한 로봇 개발에서 발전이 있었다. 그러나 위에서 언급한 로봇들은 사람과의 직접적인 인터랙션이 없는 정보도우미 수준이며, 팔과 손을 사용하여 가사활동을 도울 수 있는 인간형 서비스 로봇의 등장은 비단 한국뿐만 아니라 전 세계적으로도 아직 요원한 실정이다.

세계 최고 수준의 IT 및 생산기술로 인간형 서비스 로봇의 개발을 선도해야

오감을 통해 느끼고, 작업할 수 있는 인간형 서비스 로봇에 대한 연구는 이제 새로운 국면을 맞이하고 있다. 특히 KIST는 서비스 로봇, 특히 인간형 서비스 로봇에 대한 지속적인 연구 개발을 수행해 온 대표적인 연구기관이다.

기존에 개발한 인간형 서비스 로봇에 대한 연구 성과물들을 통해 국내 서비스 로봇 연구에 대한 선도적인 위치를 점하고 있다. 그러나 세계 최초의 네트워크 기반 휴머노이드 ‘마루-아라’ 개발 이후 후속 과제의 부재로 인해 현재는 기술개발이 더 이상 진행되지 못하고 있다. 휴머노이드 제작을 위해서는 대규모의 연구예산이 필요하다. 그러나 일부 시스템 성능 개선, 보행 기술 성능 향상을 위해

대규모 예산을 투입하기는 현실적으로 어려운 상황이다.

2012년 이후 인간형 서비스 로봇에 대한 연구개발은 하드웨어적 기능 향상중심에서 탈피하여, 로봇이 제공 가능한 서비스에 중점을 두어 연구 개발을 수행할 필요가 있다. 이것은 단순 운동성 등 부분적으로 우수한 로봇을 개발하는 것 보다 주위 환경을 인지하고, 인간과 상호작용이 가능하여 일상생활 속에서 인간 활동을 보조 또는 보완할 수 있는 로봇을 개발하여 다양한 서비스를 제공하는 것이 중요하다.

서비스 로봇의 시장 잠재력은 매우 크다. 서비스 로봇 시장의 잠재력에 주목하는 이유는 서비스 로봇이 인간을 대신하여 국방, 의료, 안전, 소방 분야와 같이 특수 목적 서비스를 수행하는 분야 외에도, 인간과 함께 공존하며 고령자와 신체장애자의 가정생활 보조, 가사 서비스, 교육, 보안, 엔터테인먼트, 보건, 청소 등 일상생활에서 다양한 기능을 제공하는 등 그 활용도가 기술발전 속도와 함께 증대할 것이기 때문이다.

지속 가능한 세상을 위한 에너지 · 환경기술

지구온난화에 의한 기후변화로 온실가스저감을 위한 전지구적 노력이 한층 강화되고 있다. 그러면서 온실가스 저감에 의한 저탄소형 사회로의 전환이 국가경제의 미래를 결정하는 주요변수로 등장하고 있다. 지구 온난화가 계속되면 2050년에는 각국이 관련 문제를 해결하기 위해 전 세계 국내총생산(GDP)의 1%(약 6510억 달러)를 지출해야 하며, 앞으로 200년 안에 세계 경제규모가 5~20% 줄어들 가능성이 크다고 보고되어 있다.¹²²⁾ 특히 우리나라의 경우 지난 100년간 평균기온이 1.7℃ 상승하여 세계 평균 수준인 0.74℃를 상회하고 있어 에너지분야에 있어 저탄소형 사회로의 전환이 더욱 시급하다.

기후변화에 대응하기 위해 1997년 체결된 교토의정서는 유럽연합, 미국, 일본 등 38개의 의무감축국을 지정하고 2008~2012년까지의 의무감축 목표를 제시하였다. 한편 중국, 인도 등 개도국 성장에 따른 에너지 수요의 지속적인 증가와 중동지역의 정세불안, 일본원전사태 등으로 인해 향후 고유가가 지속될 것으로 전망된다. 에너지가격의 급격한 변동과 불안정한 수급은 에너지의 대부분을 해외에서 수입하고 있는(수입의존도 96.4%, 2009) 우리나라 경제에 커다란 불안 요소로서, 이에 대응하기 위해서는 지속적인 산업

122) 스티븐보고서, 2006

부문의 에너지 효율 향상이 요구된다.

이 같은 이유로 각국은 다양한 녹색성장 정책을 추진하고 있으며, 탄소배출권 시장도 지속 성장하고 있다. 그린에너지 산업은 온실가스를 배출하지 않거나 최소화하는 혁신적 에너지기술기반산업으로 높은 성장 잠재력을 보유하고 있다. IEA(국제에너지기구)는 기후변화협약에 대비하기 위한 이산화탄소 저감시나리오를 통해 다양한 그린에너지 기술개발의 중요성을 강조하고 있으며, CCS(이산화탄소 포집 및 처리), 신재생에너지, 에너지 및 연료효율향상, 원자력, 발전효율 개선기술을 주요 핵심수단으로 제시하고 있다.

우리나라는 중화학, 전자 등 주력산업 육성을 통해 고도의 경제성장을 달성하였으나, 근래에 저성장 국면에 진입하여 새로운 경제성장 동력을 확보하는 것이 필요하며 제조업 경쟁력을 기반으로 산업별 가치사슬을 저탄소형으로 전환해 지속적으로 경쟁우위를 확보하고 신규 시장을 창출하는 것 또한 시급하다.

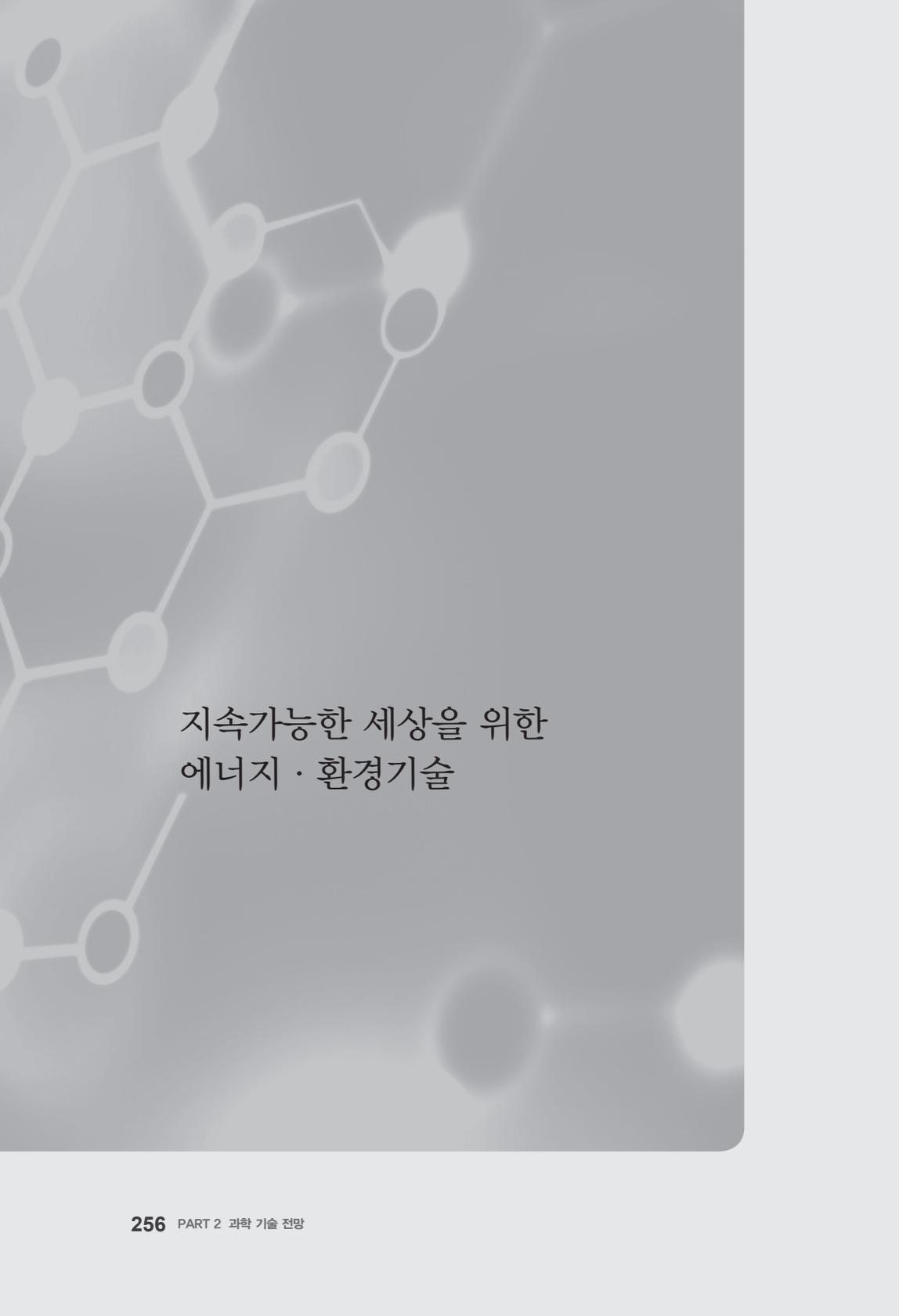
또한, 기후변화로 인해 물 부족이 갈수록 심화되고, 수질오염은 활용가능한 물의 양을 줄이고 있으며, 이로 인해 수처리 기술의 향상과 더불어 물을 재이용하는 기술이 필요하다. 물을 고도로 정화하기 위해서는 분리막을 이용한 기술과 저농도 오염물질 산화법이 효과적이다. 이를 위한 주요 기술은 분리막 생물반응기, 정삼투막여과 기술, 막 증류법, 미량 오염물질 제거를 위한 고도산화처리이다.

물 부족이 심화되면서 오염을 정확하게 진단하는 환경센서 기술은 측정 대상물의 물리량이나 화학량의 변화를 감지하고, 감지된 정도를 전기적 신호나 광학적 신호로 변환시켜 사용자의 측정을 가능케 한다.

예를 들면 전국 주요 상수원이나 하천 등의 수질 상태를 연속적으로 측정하고, 오염원의 유입을 상시 감시함으로써 수질오염사고에 신속하게 대응하기 위한 수질자동측정망을 구축할 수 있다.

기후변화는 주로 에너지 사용, 특히 화석연료 사용에 기인한 것이기에 하수처리 시스템에서의 에너지 사용을 줄이는 방향으로 연구개발도 필요하다. 우리나라는 에너지 소비 세계 10위, 해외 에너지 의존도 96.9%로써 에너지 자립도가 3%수준에 불과해 하수처리 시스템에서 신재생에너지를 개발하기 위한 연구가 진행 중이다.

본 장에서는 에너지 분야에서 저탄소형 사회로의 전환을 위한 신재생에너지 기술 분야의 핵심인 태양전지, 연료전지, 바이오연료 분야와 환경 분야에서 기후변화 및 예측, 물 재이용, 환경센서, 하수 중 유가자원 회수에 대한 기술동향 및 전망에 대해 소개하고자 한다. 이차전지는 신재생에너지 범위에는 들어가지는 않지만 에너지저장의 한 중요한 기술이므로 같이 소개한다.



지속가능한 세상을 위한
에너지 · 환경기술

연료전지 |



우리나라는 에너지 소비량이 많은 만큼 수입량이 많은 에너지 자원 최빈국이라 할 수 있다. 따라서 우리나라의 에너지 정책의 가장 중요한 이슈는 여전히 필요한 에너지 양을 차질 없이 확보하는 것이다. 그러나 불안한 유가 공급가격과 지구온난화 문제를 해결하고 지속 가능한 성장을 위해서는 지금까지 화석에너지 중심의 전통적 에너지공급 체제에서 신재생에너지를 근간으로 하는 새로운 에너지 체계로의 전환이 필요하다.

이에 따라 지난 몇 년간 국내에서도 신재생에너지 분야에 정부와 기업의 본격적인 기술개발 투자가 이루어졌고, 이중에서도 연료전지는 기존의 화석연료를 보다 효율적으로 사용하여 에너지 절약과 온실가스 배출 저감을 동시에 꾀할 수 있는 매력적인 에너지공급방식이다. 또한 태양광, 풍력 등 타 재생에너지가 갖는 에너지 수급 측면에서의 시간적, 지역적 제한성을 극복할 수 있다는 점이 부각되어 최근 매우 각광받고 있는 기술이다.

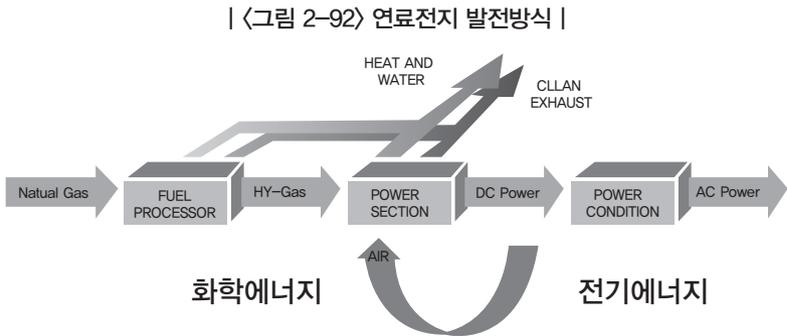
아직은 걸음마 단계인 연료전지 기술개발

이러한 기술개발 노력의 결과 연료전지 기술수준은 빠르게 향상되었지만, 본격적인 시장진입이 이루어지기 위해서는 내구성, 신뢰성, 경제성 측면에서 한 단계 더 높은 기술수준으로 도약이 일어나야 한다. 현재 연료전지가 상업적으로 쓰이는 분야는 잠수함, 우주선과 같은 군사기술에 국한되어 있다.

하지만 올해부터 분산전원 분야를 시작으로 초기 시장진입이 시도되고 있으며, 향후 자동차, 상업용 열병합전원, 이동전원 등으로 폭넓게 시장진출이 이루어 질 것으로 기대된다. 시장규모는 2010년 약 1,000억 달러에 도달하고, 이후 2015년부터 빠른 속도로 늘어날 것으로 전망되고 있다.

연료전지는 연료의 화학에너지를 전기화학반응에 의해 전기에너지로 직접 변환시키는 발전장치로서 연료전지 스택, BOP, 연료변환장치 및 제어기술을 통합하는 융복합기술이다. 연료전지는 연료로부터 전기에너지를 얻는 과정에서 연료의 연소 과정이 생략되어 전기효율이 높고, CO₂ 등 온실가스 발생이 매우 작으며, 폐열회

수로 온수/냉난방이 가능하다. 또한 천연가스, 수소, 바이오가스 등 다양한 연료를 사용할 수 있고 맞춤형으로 시스템을 만들 수 있어 가동율이 뛰어나다.



연료전지의 기술종류 및 분야별 응용현황

건물용 연료전지 시스템은 천연가스를 이용하여 일반주택에서 전기와 열을 생산할 수 있는 열병합 발전시스템으로 일본에서는 대규모 실증 후, 보급 사업이 진행 중이고 국내에서도 한국가스공사가 추진하는 가정용 연료전지 모니터링사업을 통하여 210대의 시스템이 장기간 운전되어 내구성과 신뢰성을 검증 중이다. 이러한 모니터링 사업의 성과를 토대로 2010년 그린 홈 백만 호 보급사업의 일환으로 가정용 연료전지의 본격적인 보급이 착수되었다.

이와 같은 가정용 연료전지를 적용할 수 있는 시스템은 PEMFC (Polymer Exchange Membrane Fuel Cell)와 SOFC(Solid Oxide Fuel Cell) 두 가지 시스템이 있는데 일본의 경우 PEMFC 시스템의 발전효율은 40% 이하, 열효율은 45% 이하이다. SOFC 시스템은 발전효율 45%, 열효율 40%로 난방보다 전력수요가 많은 가정

에 적합하며, 두 종류 시스템의 총 효율은 85%, 내구성은 5년 정도 인 것으로 알려져 있다.

국내 기술은 전기효율 35%, 열효율 45% 로 전체 효율이 80%에 육박하고 있다. 부품 국산화율은 80% 에 이르고 있으나, 핵심 소재·부품은 수입에 의존하고 있는 실정이다.

발전용 연료전지 중 MCFC(Molten Carbonate Fuel Cells)는 성능 향상, 표준화, 가격저감, 시스템 안정성 확보를 위한 연구가 진행되고 있으며, 새로운 응용 분야인 CCS 연계 시스템은 전 세계적으로 기술개발 논의 단계이다. SOFC는 수백 kW급 기술개발이 전 세계적으로 시도되었으나, 아직 보급을 고려하기에는 기술의 완성도가 떨어진다. 발전용 PEMFC의 경우 연료가격 저감을 위해 부생수소, 디메틸에테르(DME, Di-Methyl Ether), 액화석유가스(LPG, Liquefied Petroleum Gas), 태양광발전(SDG, Solar Distributed Generation) 등 다양한 대체 연료를 사용하는 것이 필요하며, 수소 연료보다 가격이 저렴한 석탄을 연료로 하는 IGFC는 기술개발 초기 단계로 2025년 이후 상용화가 가능할 것으로 예상된다.

수송용 연료전지 중 자동차용 PEMFC 시스템은 전 세계 주요 자동차 업체가 실증 운행 중이며, 2015년 소량 양산을 시작할 계획이다. 그러나 가격저감, 내구성 향상과 함께 시스템의 출력밀도를 높여야 하는 기술적 과제가 남아 있다. 이에 따라 미국, 일본, 독일 등에서는 백금 저감기술, Nafion 대체 전해질 개발 등 저가 고성능 소재 개발에 집중하고 있다.

EU에서는 연료전지 선박기술(FCShip, Fuel Cell technology

in Ship), 무공해 선박 기술(ZEMShip, Zero Emission Ship), FellowShip, Methapu Project를 2000년도 초반부터 진행하여 현재 선박용 MCFC 와 SOFC 시스템 개발의 기초 기술력을 확보한 상태이며, 소형 레저용 선박의 경우 PEMFC 시스템을 탑재하여 실증 운행 중이다. 일본 조선연구회는 선박 운항 상태에 따른 부하변동 대책, 연료전지 시스템의 소형/경량화, 안정성 확보 및 선박의 동요, 가속, 진동 대책 등을 연구하였으며 500 GT급 내항 화물선을 대상으로 1994년 연료전지선박의 개념설계를 완료하였다.

이동전원용 연료전지 같은 경우 일본에서는 신에너지 종합 개발 기구(NEDO, New Energy Development Organization) 프로그램을 통해 DMFC 스쿠터를 개발하여 실증 운전을 수행하였으며, 독일에서는 2.5 kW급의 소형 지게차용 DMFC 시스템 개발을 진행 중이다. 국내의 경우에는 12~20 W급 노트북용 연료전지를 개발하고, 현재 군인 휴대전원용 25~50 W급 DMFC(Direct Methanol Fuel Cell) 시스템의 현장실험(field test)를 미국 국방부와 진행하고 있다. 또한 1 kW급 연료전지 시스템을 적용한 하이브리드 전원을 개발하고, 이를 스쿠터, 지게차 등에 적용하기 위한 실증 사업을 진행 중이다. 이동전원용 DMFC 의 경우 성능향상, 가격저감, 시스템 안정성, 메탄올 보급 등에 대한 해결 과제가 남아 있다.

연료전지 응용분야를 살펴보면 다음과 같다. 기술적인 측면에서 연료전지는 전해질 및 연료를 기준으로 PEMFC, DMFC, PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cells), MCFC, SOFC 등으로 구분된다. 이 중 PEMFC, DMFC, PAFC는 저온형 연료전지로 분류되며 출력이 높고, 시동이 빠르며, 부하추종성이 우수한 장점을 가진다. 반

면, 귀금속 촉매를 사용해야 하며, 연료의 불순물에 크게 영향을 받는 단점을 가진다.

한편, 고온형 연료전지인 MCFC와 SOFC는 니켈과 같은 일반 금속 촉매를 사용하며, 연료를 다양화할 수 있다는 장점을 가진다. 또한 전기효율이 44~50%로 저온형 연료전지에 비해 높으며 (PEMFC : 35%; PAFC : 40%), 열병합발전에 유리하다. 가스터빈과 하이브리드 시스템을 구성하면 60~70%의 전기효율이 가능하나, 출력밀도, 기동 시간 등에서 저온형 연료전지보다 불리하다.

응용분야 측면에서 연료전지 시장은 다음과 같은 네 가지 범주로 분류할 수 있다.

첫째, 가정 및 상업용 소규모 필요 전력을 공급하는 건물용 연료전지이다. 이러한 건물용 연료전지는 기존의 소규모 발전장치와 비교하여 열효율이 훨씬 높을 뿐만 아니라 발전규모를 쉽게 조절할 수 있으며, 깨끗하고 조용한 장점을 가진다.

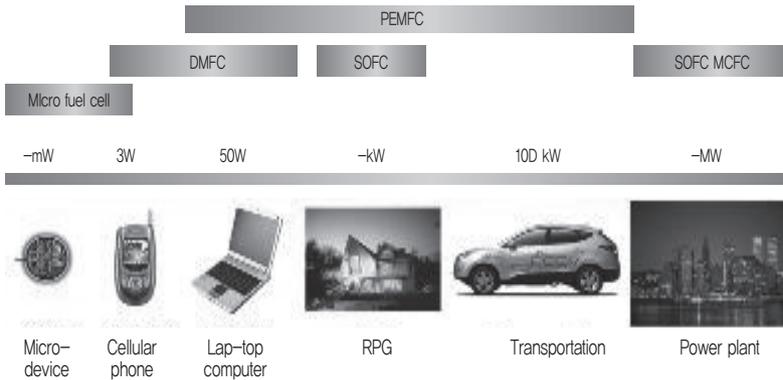
둘째는 기존의 대규모 발전소를 대체하는 용도이다. 특히 석탄 가스화와 발전용 연료전지를 결합하여 사용하는 IGFC(Integrated Gasification and Fuel Cell) 발전소는 높은 발전 효율과 친환경적인 특성으로 차세대발전시스템으로 큰 주목을 받고 있다.

셋째, 자동차 등과 같은 수송기관의 내연기관을 대체하는 것이다. 수송용 연료전지를 도입함으로써 연비향상과 무공해 배출을 동시에 달성할 수 있을 것으로 기대되며, 이는 화석에너지 사용 저감과 환경 보호라는 글로벌 문제를 해결하는 길이라고 할 수 있다.

네째는 휴대전화, 노트북 등과 같은 휴대용 전자기기의 이차전지를 대체하거나 캠핑 혹은 비상전원으로 적합한 휴대용(portable)

연료전지이다. 휴대용 IT 기기의 발전에 따라 전원의 필요 에너지 밀도는 기존 이차전지의 이론한계치를 넘어가기 때문에 이를 해결할 수 있는 새로운 전원으로 연료전지가 개발되고 있다.

| <그림 2-93> 연료전지 응용 분야 |



친환경적 에너지원으로서 다양한 활용이 가능

연료전지의 주요 연구 분야는 대략 네 가지 정도로 분류할 수 있다. 첫째는 건물용 연료전지이다. 국내 건물용 PEMFC는 연료전지 분야에서 처음으로 2010년 시범보급사업을 통하여 상업화 단계로 진입하였으며, 기술 개발과 정부 정책에 따라 대규모 시장이 형성 될 것으로 전망된다.

건물용 PEMFC의 기술수준에 있어서는 선진국 수준이나 소재 및 보조기기 부분에 있어서 수입 의존도가 높아 정부 주도하에 관련 기업의 기술개발이 필요하다. 핵심 부품인 스택, 연료처리장치, 인버터는 국산화 개발이 완료되었으나 상용화 단계 진입을 위해서는 고내구성, 고효율화, 저가화 연구가 필요하다.

둘째는 발전용 연료전지이다. 스택 및 BOP 구성요소에 대한 기반기술은 확보한 상태이며, 주로 대기업 중심의 시스템 과제가 진행되었으나 아직까지 제품화 기술력 확보 면에서는 미흡한 상태이며 선진국과의 기술 격차는 3~5년 정도로 특히 핵심 기술력이 부족하다.

따라서 가격저감 및 성능 향상을 위한 원천핵심 기술과 제품화 기술개발을 병행하여 선진국과의 기술격차를 줄이기 위한 노력이 필요하다. 대형 연료전지 개발을 통한 기존 발전플랜트와 융복합플랜트 개발에 있어서, 핵심기기의 원천기술(설계 및 제작기술)의 확보가 우선적이며, 핵심기술의 설계변경 및 융합플랜트의 최적화를 통해 융복합 발전 시스템의 개발이 가능하다.

세째는 수송용 연료전지이다. 가격저감을 위한 핵심기술은 자동차용 고효율 고출력밀도 스택 모듈 개발과 백금함량을 최소화 시키는 것이다. 연료전지자동차에서 해결해야 할 문제점 중 다른 하나는 내구성에 있다. 연료전지자동차도 내연기관과 같이 10년의 내구성 확보가 필요하다.

현재 실험실 수준에서는 10년 내구에 해당하는 운전이 가능하나 연료전지시스템의 차량탑재시 부품 이상 현상 등에 의해 2,000~3,000시간 수준으로 감소한다(실험실보다 차량주행이 더 가혹조건임). 연료전지의 출력밀도도 아직 낮은 상태이다. PEMFC의 시스템 출력밀도는 최근 620~637 W/L의 수준을 보이고 있으나, 내연기관에 비하여 조립/유지/보수 등 대량생산과 산업화에 불리한 상황이며 새로운 사고방식의 시스템 디자인 및 최적화 관점에서 집중적인 투자를 통해 극복 가능할 것으로 전망된다.

네째는 이동전원용 연료전지이다. 이동전원용 연료전지 시스템의 양산 상용화를 위해서는 DMFC 분야에서 저소비전력의 소형 BOP(펌프, 콤프레서, 밸브, 센서 등), 연료전지와 적용기기의 인터페이스(시스템 제어기술, 회로설계 기술) 기술이 개발되어야 한다. 그리고 DMFC 분야에서는 고농도 메탄올 사용이 가능한 고분자막 개발, 촉매량 감소, CO 저항성 고효율 촉매를 비롯하여 고분자 전해질 막-전극 접합체(MEA, Membrane-Electrode Assembly)의 출력과 내구성 향상이 이루어져야 한다.

각 연구분야에 대한 국내 개발현황과 기술 경쟁력을 살펴보자. 첫째 우선 건물용 연료전지에 대해서는 GS퓨얼셀, 퓨얼셀파워, 현대하이스코, LS산전, 효성 등에서 PEMFC 시스템 설계, 제작, 운영에 대한 기술을 확보하고 있으며, 현재 연료전지 시스템의 국산화율은 80% 이상(가격기준)을 달성하였다. 그러나, 촉매, 전해질, MEA, 가스확산층(GDL, Gas Diffusion Layer) 등 핵심 소재는 거의 전량을 수입에 의존하고 있다.

| <그림 2-94> 총리공관 온실내의 가정용 연료전지 |



둘째로 발전용 연료전지에 대해서는 포스코파워가 FCE(Fuel Cell Energy사, 미국)와 기술제휴를 통해 MCFC 시스템을 약 40 MW 보급하였으며, 2008년 BOP에 대한 기술인수 및 연간 50 MW 규모의 BOP 공장을 준공하였고 스택기술 확보와 생산 공장 준공이 2011년에 예정되어 있다. 두산중공업은 셀 소재, BOP, 시스템 국산화를 목표로 300 kW급 MCFC 시스템과 MW급 플랜트 연계형 시스템을 개발 중이다. 포스코파워와 삼성SDI는 2020년 상용화를 목표로 각각 100 kW급 SOFC 시스템 개발을 진행 중에 있으며, 구성요소 및 원천기술 개발에 주력하고 있다.

| <그림 2-95> 발전용 연료전지 |



세째로 수송용 연료전지에 대해서는 국내 연료전지 자동차의 성능이 경쟁국과 동등하나, 스택 관련 부품·소재 기술은 선진국의 85% 수준으로 2년의 기술격차가 존재한다. 특히 MEA 및 GDL 등 핵심소재는 거의 전량을 수입에 의존하고 있다. 선박용 연료전지에 대한 투자에 있어서는 세계 최고 수준의 조선업 경쟁력에도 불구하고 유럽 등 해외 주요 선도국의 대응에 비해 매우 미흡한 상황이다.

| <그림 2-96> 연료전지 자동차 |

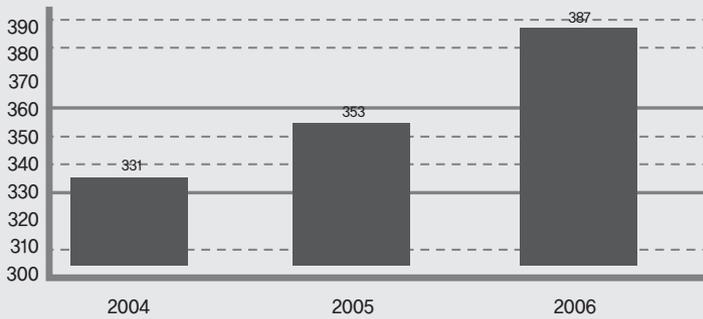


네째로 이동전원용 연료전지에 대해서는 삼성SDI, 쉘텍, 동진, 협진 등에서 촉매, 멤브레인, MEA 등을 시험용 샘플 수준을 생산하고 있으나, 원재료는 거의 수입에 의존하고 있다. 삼성SDI, 프로파워 등에서 DMFC 스택의 설계, 제작, 운전에 대한 기술을 확보하고 있다. 이를 시스템에 적용하기 위한 기반 기술은 거의 확보하고 있으나 각 개별 부품의 국내 공급 업체는 많지 않다. 연료 펌프, 공기 블로어, 메탄올 센서 등의 부품은 거의 수입에 의존하고 있다.

본격적인 성장을 앞두고 있는 연료전지 시장

발전용 연료전지는 상용화 초기 단계에 진입하였으며, 수송용 연료전지의 경우 2015년에 시장 진입이 시작될 것으로 예상된다. 연료전지 시스템만 고려했을 때 2006년 전 세계 시장 규모는 3억 8,700만 달러로 전년도에 비해 10% 정도 성장하였다. 그러나 전후방 산업까지 고려한 연료전지 관련 기업들의 총 수익은 2006년 4억 1,500만 달러로, 2005년에 비해 2배 정도 증가하였다. 아직까지 본격적인 상용화가 이루어지지 않은 상황임을 고려할 때 매우 빠른 속도로 시장이 성장하고 있다.

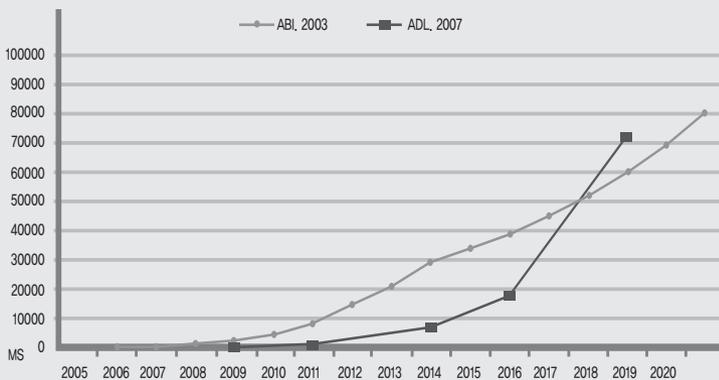
| <표 2-27> 연료전지 시스템 시장 규모 (Million US\$) |



자료 : Fuel Cell Industry Analysis

시장이 본격적으로 형성될 2015년을 전후로 폭발적으로 성장할 것으로 예상된다. 2020년 발전용 연료전지의 시장은 800억 달러, 수송용 연료전지 시장은 400억 달러(500만대)에 이르러 발전용과 수송용 연료전지의 총 시장 규모는 1,200억 달러로 예상된다.

| <표 2-28> 발전용 연료전지 시장 규모 (백만달러), ADL |



적극적인 파트너십으로 기술개발 박차

KIST 연료전지연구센터에서는 PEMFC, MCFC, SOFC, 개질기 분야에서 촉매, 전해질, 운전, 시스템 등에 관한 다양한 연구 경험과 기반을 구축하고 있으며, 현대자동차, 포스코파워, 두산중공업, 한전 전력연구원 등과 긴밀한 공동연구를 수행하고 있다.

또한 미국의 LANL, 일본의 AIST-KANSAI, 중국의 DICP, 이탈리아의 ENEA와 Ansaldo, 캐나다의 NRC 등과 활발한 국제협력을 구축하고 있으며 국제에너지기구(IEA) 및 IPHE 프로그램에도 적극적으로 참여하고 있다.

그동안 MCFC 구성요소 제조기술을 상업화하여 트윈에너지에 기술이전을 하였으며 PEMFC 운전평가장치도 CNL을 통하여 상업화하였다. 특히 고온용 PEMFC 전해질막 제조 원천기술은 동진케미칼에 약 5억 원의 기술료를 받고 기술이전을 하였다. 그동안 원천기술 뿐만 아니라 각종 분야에서의 실증실험을 통하여 원천기술의 실용화에도 주력하여 왔다.

아직까지는 국내 연료전지 기술 수준이 시스템 기술의 경우 선진 기술에 근접 또는 우위를 확보하고 있으나, 핵심 소재 기술에 있어서는 미진한 실정이다.

향후 연료전지 산업화에 필요한 돌파(breakthrough) 기술을 개발하여, KIST MCFC 구성요소 또는 KIST MEA를 개발하는 것을 목표로 하고 있다.

| <그림 2-97> 연료전지자동차 시제품 및 이동형 연료전지장착 휴머노이드 |



● 국내 연료전지 소재·부품 분야는 기반기술을 확보하였으나, 선진 기술을 추월할 수 있는 핵심원천기술은 아직 확보되지 않다. 시장 경쟁력 확보를 위해서는 고성능화, 장수명화 및 가격 저감을 이룰 수 있는 핵심원천기술이 필수적이며 이를 위해 소재/구성요소/스택의 고성능 및 장수명화가 요구된다.

● 국내에서 소재/원재료/부품을 대량생산에 맞춰 적기에 공급할 수 있는 공급망의 부재로, 소재/부품 표준화, 원천기술의 확보, 대체물질과 원자재 국산화 등 관련 산업의 육성이 시급하다. 소재 분야의 경우 기술 및 제품개발에 비교적 오랜 기간이 소요되기 때문에 장기적 안목의 접근이 필요하다. 따라서 당장의 성과위주 연구보다는 정부차원의 지원 하에 산·학·연·관 연계 프로젝트 등을 통하여 요소 기술을 개발하고 기술특허를 확보하며, 이를 유기적으로 연관시켜서 원천기술을 완성할 수 있는 장기적인 산업화 전략이 뒷받침되어야 한다.

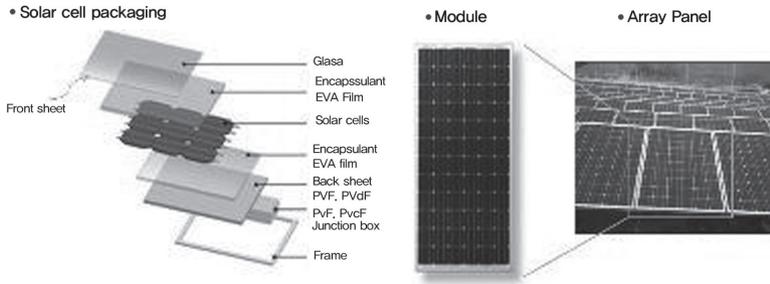
태양전지 |



태양광은 우리가 얻을 수 있는 에너지원 중에서 가장 풍부한 에너지원이다. 지구표면에 쏟아지는 태양광에너지는 90,000 TW로, 1시간 동안 받는 태양광에너지는 인류의 연간 에너지 소비량과 비슷할 정도이다. 그 중 회수할 수 있는 태양광에너지는 1,000 TW 정도로 알려져 있는데, 이 양의 0.5%만 이용할 수 있어도 세계 발전용량(약 4.5 TW)을 뛰어넘는 에너지를 얻을 수 있게 된다. 따라서 태양에너지를 활용할 수 있는 기술개발은 미래를 위한 필수적인 노력이라고 할 수 있다. 태양전지(photovoltaic 또는 solar cell)는 이렇게 풍부한 태양광 에너지를 우리가 사용할 수 있도록 전기로 변환시키는 장치이다. 즉 태양광을 받으면 광활성 물질에서 전자가 발생하고, 이를 포집하여 전기를 생산하는 소자(device)를 말하며, 이를 통해 전기를 생산하는 것을 태양광 발전이라고 한다.

태양전지의 원리는 다음과 같다. 태양광이 태양전지의 광활성 물질 또는 광활성층에 입사되면 광전효과(photoelectric effect)에 의해 전자와 정공이 생성되는데 생성된 전자는 n층으로, 정공은 p층으로 이동하여 포집된다. n층에 포집된 전자는 외부 도선을 통해 부하(load)로 공급되어 전기로 사용되고, 에너지 준위가 낮아진 상태로 p층으로 되 돌아온다. 전자와 정공을 생산하는 광활성층은 2개의 전극 사이에 놓이게 된다. 투명 전도성 산화물로 만들어진 전면 전극은 투명성과 전기전도성이 높아 태양을 잘 통과시키고, 전자를 회수하는 역할을 한다. 전면전극 위에서 생성된 전자는 나뭇잎의 줄기와 비슷하게 만들어진 가는 금속선인 핑거(finger)와 굵은 금속선인 부스바(bus bar)로 인해 포집된다. 이와 같이 구성된 태양전지를 폴리머 필름(EVA, PVF, PVDF 등)으로 감싸 습기와 공기에 노출되지 않도록 하고 다시 강화유리로 덮어 모듈(module)로 만든다. 모듈은 다시 발전 시설을 설치할 때 직렬, 병렬로 연결시킨 어레이(array) 형태로 만들어져 고전압, 고전류를 생산하는 태양전지 발전설비가 완성된다.

| <그림 2-98> 태양전지 구성품 (태양전지, 모듈, 어레이) |

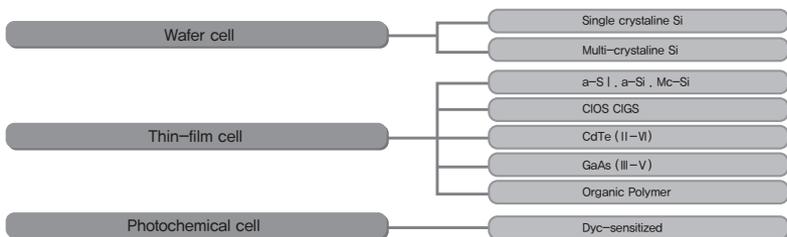


태양전지 상용화, 저비용 · 고효율이 관건

태양전지의 효율을 결정하는 가장 중요한 요소는 광활성층이다. 태양전지는 실용화 기술수준에 따라 세대별로 구분하기도 하고, 광활성층 구성 물질에 따라 실리콘계, 화합물계, 유기계 태양전지로 분류하기도 한다. 또 광활성층의 형상이나 작동메커니즘에 따라 웨이퍼형 셀, 박막형 셀, 광화학적 셀 등으로 분류하기도 한다.

1세대 태양전지는 이미 성능이 입증되고 실용화 되어 있는 태양전지 군을 지칭한다. 2세대 태양전지는 1세대보다 가격이 낮을 것으로 기대되며, 아직 실용화가 활발히 진행되지 않은 박막태양전지를 예로 들 수 있다. 차세대 태양전지는 2세대보다 더 효율이 높을 것으로 예측은 되나 이론적 기능이 아직 실증되지 않은 미래형 태양전지를 말한다.

| <그림 2-99> 태양전지 종류 |



태양전지의 주요 연구 분야는 다섯 가지로 나눌 수 있는데, 그 첫 번째는 결정형 실리콘 태양전지 연구이다. 광전변환효율이 높고 기술적으로도 안정되어 가장 널리 보급되고 있는 태양전지가 1세대, 웨이퍼형, 결정형 실리콘 태양전지이다. 결정형 실리콘 태양전

지는 다시 단결정형과 다결정형으로 나뉜다. 단결정 실리콘 태양전지는 실험적으로는 이론적 최고효율에 근접한 광전변환효율을 달성하였고, 상용제품도 20% 이상의 높은 효율과 안정적 성능을 갖고 있다. 그러나 단결정 잉곳(실리콘 덩어리) 제작비용과 200 μm 두께의 웨이퍼로 절단하는 비용이 높아 가격이 비싼 편이다. 반면, 다결정 실리콘 웨이퍼를 사용하는 태양전지는 단결정 잉곳대신 비교적 작은 결정으로 조합된 잉곳을 200 μm 두께의 웨이퍼로 절단하여 제작한 것으로, 상용제품의 변환효율이 15~16%로 단결정 실리콘 태양전지보다는 낮다.

다결정 실리콘 웨이퍼는 작은 결정으로 구성되어 있어 단결정 웨이퍼보다 잘 깨지는 편이나, 단결정 실리콘 태양전지보다 가격이 낮아 널리 보급되고 있다.

결정질 실리콘 태양전지는 온도가 상승하면 광전변환효율이 두드러지게 감소하는 단점이 있어 더운 지역에 사용할 때는 추가적인 모듈 냉각장치나 설비가 필요하다. 결정질 실리콘 태양전지의 효율 향상을 위해 활성면적을 증가시키는 셀과 모듈 구조 연구, 빛을 효율적으로 활용하기 위한 광포집 표면구조 연구, 실리콘 원소재 절감을 위한 광흡수층 두께 감소 연구, 양산장비 개선 연구 등이 진행되고 있다.

두 번째 연구분야는 박막 실리콘 태양전지이다. 결정질 실리콘 태양전지는 광흡수계수가 낮아 웨이퍼 두께가 150 μm 이하로 내려가기 어려우므로 실리콘 원료의 소모량이 많다. 실리콘박막태양전지는 실리콘 함유 가스를 이용하여 수백nm 두께의 비정질 실리콘 박막 또는 미세결정 실리콘 박막을 증착시킨 것으로, 실리콘 원료

사용량이 적고 낮은 온도에서 제작이 가능하여 공정에너지를 줄일 수 있다. 또한 대면적 양산이 가능하고, 흐린 날 산란광에서도 발전이 가능한 장점이 있다. 그러나 모듈 효율이 10% 전후로 낮은 편이어서 아직 상용제품의 보급률이 저조한 편이다. 비정질 실리콘 층과 미세결정(50~100nm 결정) 실리콘 층의 이중박막 적층 방법으로 효율을 향상시키는 연구가 진행되고 있다.

세 번째는 칼코지나이드 박막 태양전지 연구분야이다. 칼코지나이드 박막태양전지는 광활성층이 S, Se, Te 등의 칼코젠(chalcogene) 원소를 함유하는 것으로, 이미 실용화된 CIGS(Cu, In, Ga, Se, S)와 CdTe 박막태양전지가 있다. CIGS 박막태양전지는 1~ μm 두께의 얇은 광활성층으로도 충분한 양의 빛을 흡수할 수 있고, 실험적으로는 20% 를 상회하는 효율을 보이고 있다.

그러나 아직 상용화 모듈의 효율은 13% 정도로 소형 실험결과와는 큰 차이를 보이므로 대면적화에서의 효율개선 연구가 필요하다. 현재의 CIGS 박막태양전지의 광활성층은 진공챔버 안에서 형성되므로 공정비용이 비싸다. 따라서 이를 금속 나노입자 잉크로 프린팅하거나 금속이온이 녹아있는 용액 상에서 막을 성장시키는 방법 등 비진공방식으로 박막을 만들어서 공정비용을 절감하는 방법도 연구되고 있다.

또한, 광활성층의 중요 원소인 In, Ga이 희토류이므로 공급이 원활한 범용원소로 대체하기 위한 CZTS (Cu, Zn, Sn, S) 박막태양전지 연구도 진행되고 있다. CdTe 박막태양전지는 비교적 낮은 온도에서 양질의 광활성층을 만들 수 있고 원소 가격이 저렴한 장점이 있다. 이미 미국에서 상용화되어 박막태양전지 중에서는 가장

널리 판매되고 있다. 그러나 주 구성원소인 Cd의 독성에 대한 문제가 제기되어, 폐기 시 공급자가 전량 회수하는 전 사이클 관리 체계의 운영에도 불구하고, 우리나라와 일본에서는 CdTe 박막태양전지의 수입을 막고 있는 상황이다.

네 번째는 염료감응형 태양전지이다. 염료감응태양전지(dye-sensitizedsolar cell)는 엽록소가 광합성을 하는 원리를 응용한 것으로, 햇빛을 받으면 전자를 만드는 염료를 TiO_2 나노입자에 흡착시켜 전자를 발생시키고, 이를 외부 전극에 전달하는 방식이다. 염료감응태양전지는 나노입자 필름을 이용하기 때문에 투명하고, 또 다양한 색상의 염료를 사용할 수 있기 때문에 컬러 특성을 가지고 있어서 아름다움과 실용성을 갖춘 차세대 태양전지로 각광받고 있다.

염료감응태양전지는 결정질 실리콘계 태양전지에 비해 광전변환효율이 절반 수준에 불과하지만, 제조공정이 간단하고 원료 및 공정비용이 적기 때문에 전체 제조비용을 결정질 실리콘 태양전지 대비 1/3~1/5 수준으로 낮출 수 있다. 염료감응태양전지는 산란광에서도 발전하므로 하루 전체 일사량으로 비교해 보면 실리콘계 태양전지의 발전량과 비슷하다.

또한, 얇고 투명하며 염료 색상에 따라 다양한 색을 낼 수 있어서 건물 외벽이나 스테인드글라스 유리창에 적용할 수 있는 장점도 있다. 대면적 모듈의 효율과 장기안정성이 확보된다면, 건물일체형 태양전지(BIPV)에 적합한 태양전지로 평가되고 있다. 따라서 현재 효율을 더 높이는 연구와 더불어 유기전해질의 손실 등 내구성 문제 해결에 대한 연구가 진행되고 있다.

다섯 번째는 유기박막태양전지이다. 유기박막태양전지(OPV,

organic photovoltaic) 또는 폴리머 태양전지는 저온에서 제조가 가능하여 공정에너지가 적게 소모되므로 제조원가를 획기적으로 낮출 수 있다. 또한, 가볍고 유연하며 맞춤형 크기로 대량생산이 가능하므로 개인 휴대용 발전기부터 산업용 전력생산까지 적용범위가 넓은 장점이 있다. 그러나 최고 광전변환효율이 10% 이내로 다른 박막태양전지에 비해 아직 낮으며, 빛, 수분, 산소에 대해 취약한 단점이 있다. 따라서 효율 향상과 장기안정성 확보를 위한 연구가 진행되고 있다.

여섯 번째는 집광형 III-V족 화합물 반도체 태양전지이다. 이미 1세대 태양전지로 개발되어 있는 III-V족 화합물 반도체 태양전지는 광흡수율이 높아 결정질 실리콘 태양전지보다 광전변환효율이 2배 정도로 높고 안정적이다. 그러나 주 원소인 갈륨, 비소 등의 원자재 가격이 비싸고, 고가의 반도체 증착장비(MOCVD, MBE 등)를 사용하므로 제조가격이 매우 비싸 인공위성 등 특수용도로만 사용되어 왔다. 그렇지만 재료들의 조성을 변화시켜 광과장 흡수영역이 다른 층을 여럿 쌓은 다중접합 구조로 성장시킨 경우 40% 이상의 높은 광전변환효율을 달성할 수 있다.

또한 타 태양전지에 비해 고온에서도 효율을 유지하는 특징이 있어 집광형 태양광 발전 시스템에 적용하기 적합한 상용 태양전지로 개발되고 있다. 현재, 광전변환효율을 높이기 위한 다중접합 기술, 열 제거 장치구조, 집광기 등에 대한 연구와, 태양빛 입사방향과 90도를 유지하며 빛을 모으는 트래커(tracker) 연구가 진행 중이다.

마지막은 차세대 태양전지 연구 분야이다. 차세대형 태양전지

로 수 nm의 반도체 결정을 이용하는 양자점 태양전지, 광흡수 층에서의 태양광 분산, 집중, 공명현상 등을 이용해 태양광 흡수 효과를 극대화하는 플라즈몬(plasmon) 태양전지에 대한 연구가 진행 중이다. 양자점을 사이즈별로 배열한 탠덤(tandem) 방식, 폭 넓은 파장의 빛을 흡수하고 태양광 투과 손실을 줄여 광흡수효율을 높이는 중간밴드 이용 방식, 캐리어 에너지의 완화시간을 지연시키는 MEG(Multi-Exiton Generation) 방식, 높은 에너지 상태에 있는 hot carrier를 생산하는 방식 등 높은 에너지의 광을 활용하고 열에너지 손실을 줄이는 다양한 방식을 검증하는 단계에 있다.

2세대 박막태양전지, 2020년 경에는 33%를 차지할 것

태양전지는 인공위성, 우주탐사선 등 특수 용도로 개발되는 것을 제외하면 대부분이 지구상에서의 발전용으로 개발되고 있다. 따라서 광전변환효율이 높고 안정성, 내구성이 높으며 가격이 싼 방향으로 태양전지 기술을 발전시키고 있다. 이미 시장에 널리 보급된 결정질 실리콘 태양전지부터, 그보다 가격을 낮추거나 효율을 높일 수 있을 것으로 예측되는 박막태양전지, 차세대형 태양전지까지 다양한 태양전지들이 개발되고 있다.

국내에서도 축적된 반도체 기술을 기반으로 1세대 태양전지의 고효율화 및 실용화 기술 개발을 추진하고 있다. 실리콘 또는 III-V족 화합물 반도체를 기반으로 하는 1세대 태양전지 기술은 반도체 기술과 유사성이 많다. 그러나 결정질 실리콘 태양전지는 이미 이론적 광전변환효율(28%) 한계에 가까워져 기술개발을 통해 성능이 획기적으로 개선될 여지가 적다. 따라서 소재의 효율적 생산기술,

웨이퍼 두께 감소 및 모듈 제작 과정에서 효율이 낮아지는 문제 해결 등 원가절감과 양산설비 개발에 초점이 맞춰져 있다. 여기에는 원재료 생산, 태양전지 생산 및 제작 장치 생산에 관여하는 기업들이 직접 기술개발에 참여하고 있다.

한편, 실리콘 태양전지는 가격이 비싸, 이를 대체하기 위해 다양한 박막태양전지가 제안되어 있다. 박막태양전지는 상용제품의 효율이 최고 13%에 불과해 효율향상을 위한 후속 연구가 필요하다. 국내 기업들이 개발 의지를 밝힌 CIGS 박막태양전지(LG이노텍, 삼성SDI, 현대아반시스 등), 실리콘 박막태양전지(LG전자, 한국철강 등), 염료감응태양전지(동진세미켐, 티모테크놀로지 등)는 기업과 연구소, 대학들이 협력하여 효율과 안정성 향상, 양산공정 개선 연구를 통해 실용화 기술 개발을 추진하고 있다.

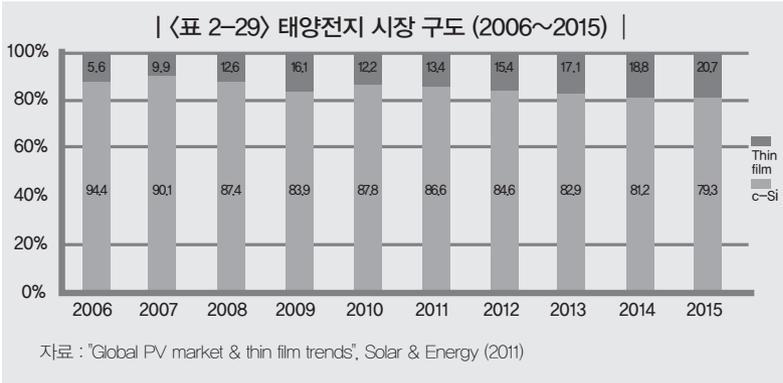
아직은 효율과 안정성이 낮은 유기박막태양전지와 가격이 높은 집광형 III-V족 화합물 반도체 태양전지는 차세대형 태양전지에 가깝게 분류되어 기초연구가 진행되고 있다. 폴리머를 기반으로 하는 유기박막태양전지는 대학, 연구소를 중심으로 기초연구가 진행되다가 최근에 기업(코오롱, LG화학 등)이 참여하여 연구가 활성화 되고 있고, 집광형 III-V족 화합물 반도체 태양전지는 주로 기업(비제이파워, 파루, 코아옵틱스, 애니캐스팅 등)이 기술개발을 주도하고 있다. 그 외 양자점 태양전지와 플라즈몬 태양전지는 대학(KAIST)을 중심으로 태양전지 특성 구현과 이론적 효율 검증을 위한 기초연구가 진행되고 있다.

전세계적으로 CO₂ 감축 의무규정이 발의되면서 태양광발전 시장은 2004년 이후 연평균 40%에 육박하는 성장세를 지속하고

있고, 신규 설치량이 2010년 17.6 GW, 2011년 21 GW에 달하고 있다. 하지만, 태양광 산업 확대를 위해 그간 각국 정부가 발전차액 보전제도(FIT : Feed-in-tariff)를 시행하였으나 최근 이를 축소하는 추세이고, 전 세계 태양광 시장의 60% 이상을 차지하는 유럽 국가들이 경제적 어려움을 겪고 있어 향후 4~5년은 태양광 시장의 발전이 주춤할 것으로 예측되고 있다. 한편, 태양전지 생산거점은 생산비용이 적게 드는 중국, 대만, 아시아 국가들로 점차 이전되고 있다.

현재 태양광 시장은 1세대 실리콘 태양전지가 80%, CdTe, CIGS 및 실리콘 박막태양전지가 20% 정도를 차지하고 있다. 최근 폴리실리콘의 가격이 낮아지고 대량생산을 통해 원가절감이 빠르게 진행되고 있어서 1세대 실리콘 태양전지의 강세는 당분간 지속될 것으로 예측하고 있다. 그러나 2세대 박막태양전지의 효율 향상과 공정안정화 기술이 빠른 시간 안에 확보되면 가격이 낮아질 수 있어 2015년 경에는 박막태양전지가 전체 시장의 20%, 2020년 경에는 33%를 차지할 것으로 예측하고 있다. 특히 결정질 실리콘 태양전지를 사용하던 기존의 주거용, 상업용 roof-top형 태양광 발전에서 탈피하여 일사량이 많고 국토면적이 넓은 미국, 중국, 인도 등 선벨트(sun belt) 지역에서의 대규모 발전이 확대될 것으로 예상된다.

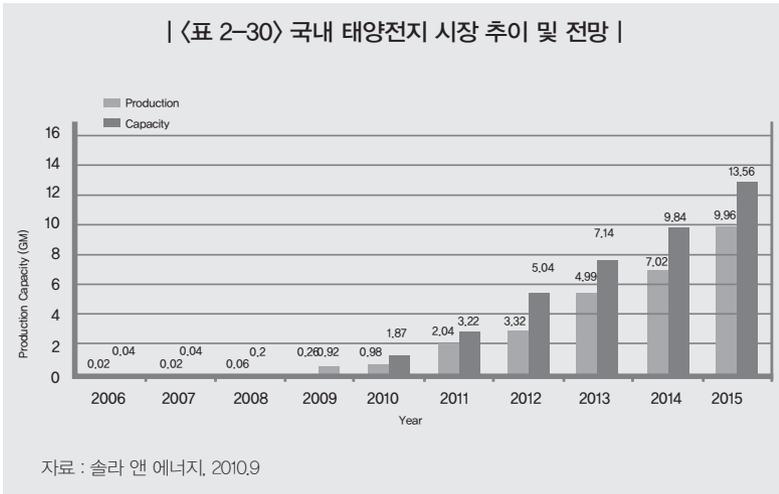
염료감응태양전지와 유기박막태양전지는 반투명성과 유연성을 가지고 있어 응용범위가 넓은 장점이 있지만, 모듈효율이 낮고 장기안정성이 검증되지 않아 세계적으로도 대단위 실용화로 이어지기에는 시간이 필요할 것으로 예측하고 있다.



국내 1세대 실리콘 태양전지 기술은 선진국에 근접, 2세대 연료감응태양전지분야는 세계 최고 수준 확보

국내 태양광 산업은 태양전지 조립 생산부터 시작되어 2007년 이후 폴리실리콘과 잉곳, 웨이퍼 생산을 시작하면서 경쟁력을 갖추기 시작하였고, 생산 능력은 2008년 200 MW, 2009년 920 MW, 2010년 1.87 GW로 급격히 증가하고 있다. 그러나 2011년 세계 태양광 발전 총 설치시장이 21 GW를 넘어서는데 반해, 국내 생산능력은 2 GW에 불과하며, 그 대부분을 결정질 실리콘 태양전지 생산에 의존하고 있다. 결정질 실리콘 태양전지 셀 생산에는 현대중공업, KPE, 제스솔라, 신성솔라에너지, LG전자, STX솔라, 한화솔라원 등이 참여하고 있고, 모듈 생산에는 현대중공업을 포함하여 15개 기업이, 실리콘 박막태양전지에는 한국철강과 알티솔라 등 2개 기업이 진출하여 있다. 최근 미국, 유럽의 경제위기와 과잉투자로 폴리실리콘 가격이 하락하면서 당분간은 국내에서도 결정질 실리콘 태양전지가 시장을 주도할 것으로 예상되고 있다. 특히 이로 인해 태양광산업이 조정 국면에 들어감에 따라 국내 대기업들(현대중공

업, 삼성, LG, 한화, SK그룹)은 수직계열화를 통해 태양광 시장에
 동시 다발적으로 진출하고 있다.



국내 태양광 산업은 조립과 설치 위주로 시작되어 선진국과 기술력 차이가 컸지만, 2007년 이후 결정질 실리콘 태양전지 소재 분야에 기업들이 활발히 참여하면서, 선진국 대비 기술수준이 85% 이상 향상된 것으로 평가하고 있다. 최근에는 기업이 주도하고 연구소, 대학이 참여하여 선진국의 고효율 셀, 모듈기술을 추격하기 위한 여러 기술개발 과제가 진행 중에 있으며, 일부에서 우수한 성과가 창출되고 있다. 이에 비해 생산업체가 적고 연구시작도 상대적으로 늦은 실리콘 박막태양전지와 CIGS 박막태양전지는 선진국 기술 대비 60% 수준으로 평가되어 향후 보다 많은 연구투자가 필요하다. 염료감응태양전지와 유기폴리머 태양전지는 아직 실용화 단계에 진입하지 않아 기술경쟁력을 가늠하기 어려우나 연구시작 시점

이 그다지 늦지 않아 오히려 그 차이가 크지 않을 것으로 예측하고 있다. 그러나 염료나 광활성 유기폴리머와 같은 원천소재 부분에서는 연구인력의 수적 열세 및 경험축적 부족으로 기술수준에 차이가 클 것으로 우려하고 있다.

KIST는 1세대 결정질 실리콘 태양전지를 대체할 2세대 박막태양전지의 실용화를 위해 요구되는 원천기술 개발에 주력하고 있다. 실리콘 박막태양전지는 고효율화를 위한 탠덤셀 요소기술 개발과 미세결정 실리콘 박막 고속증착기술과 광포집(light trapping) 효율을 높이기 위한 TCO 전극의 ZnO 미세구조 제어기술을 연구하고 있다. 칼코지나이드 박막태양전지는 효율 향상과 더불어 산업계 및 학계의 기술수요에 대응하고자 CIGS 박막태양전지의 효율 감소원인 규명을 위한 셀효율 분석기술 개발 연구를 수행하고 있다. 동시에 폴리머기판 및 금속기판을 이용한 유연기판 기반 고효율 CIGS 박막태양전지 기술과 차세대 기술로서 광흡수층 저온증착, 비진공 증착기술(용액코팅법, 전기도금법)을 연구하고 있다. 또 저가형 소재로 대체한 CZTS 박막태양전지의 고효율화 기술 개발 과제를 수행하고 있다.

염료감응태양전지의 경우, 단위셀의 광전변환효율 11%, 대면적 모듈 경우 9% 대의 높은 효율을 달성하여 해당 연구분야에서 세계 최고 수준의 기술을 확보하고 있다. 특히 가시광 전 파장을 흡수할 수 있는 팬크로매틱 태양전지, 저가이면서도 고효율을 달성할 수 있는 신구조 태양전지에 대한 여러 가지 원천기술을 확보하고 있다. KIST의 '종합연구소'로서의 장점을 살려, 소재, 소자 등의 기반기술부터 대면적화 기술, 안정화 기술, 평가기술 등 상용화 지

원 기술까지 폭 넓게 연구를 진행하고 있다. 또한 2011년에는 플라스틱 기판을 사용하여 휘어지는 플렉서블 염료감응태양전지에 대한 과제를 수행하면서 7% 대의 세계 최고 수준 효율을 달성하였다.

유기박막태양전지는 고효율, 고안정성 태양전지 구현을 위해 새로운 광활성 폴리머 설계와 합성, 고효율 소자 개발, 대면적 모듈화 기술 개발 연구과제를 수행하고 있다. 동시에 플렉서블 유기박막태양전지에 대한 연구도 진행하고 있다. 집광형 III-V족 반도체 화합물 태양전지는 다층 적층형 탠덤화를 통한 고효율 셀 개발연구와 프레즈넬 집광기를 이용한 태양전지 모듈 개발연구를 추진하고 있으며, 집광기 설계에 대한 원천기술을 확보하고 있다. KIST는 앞으로 박막태양전지 분야에서 실용화를 지원할 수 있는 원천기술을 확보하고 국내외 태양광발전 관련 기업에의 기술이전 및 기업지원 연구를 추진할 계획이다. 동시에 국내외 우수 태양전지 연구그룹과 협력연구를 통해 대형연구과제를 기획, 수행하여 국내 연구를 주도할 수 있는 연구팀으로 육성해 나갈 것이다.

| <그림 2-100> 집광형 III-V족 반도체 화합물 태양전지 모듈 시제품
(집광배율 400배) |

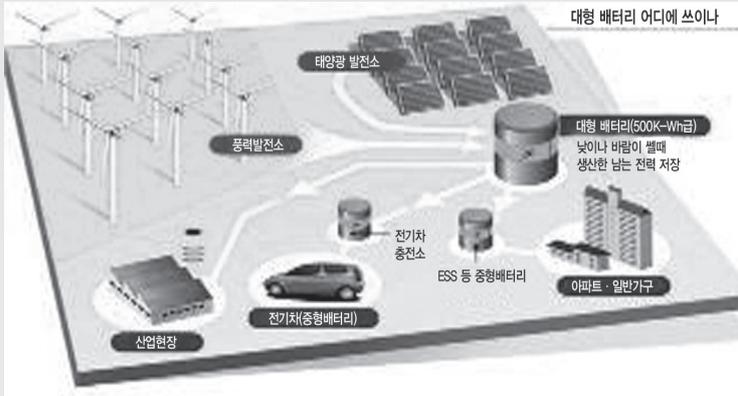


- 세계 각국이 태양광 발전량 증가 계획을 추진하면서, 태양광발전 기술은 기존의 주거용 및 상업용 BAPV(Building Applied Photovoltaics)에 의한 잉여전력 생산 방식에서 점차 대규모 태양광 발전소로의 적용으로 전환되고 있다.
- 우리나라에서는 태양광 산업의 전 분야에 걸쳐 기술개발과 연구를 지원하는 방침을 세우고, 이미 산업화 기반이 다져진 결정질 실리콘 태양전지 분야에 대한 기술개발 지원 비율은 점차 축소하면서 박막태양전지에 대한 R&D 지원을 확대해 나가야 한다.
- 특히, CIGS계열 박막태양전지에 대한 지원규모를 확대하고, 염료감응태양전지는 상용화 과제로, 유기박막태양전지는 전략과제로 지정하는 등 기술별로 적합한 지원책을 마련하여 추진해 나가야 한다.



전기자동차 시대가 열리고 있다. 소형 이차전지(배터리)에서부터 중대형에 이르기까지 이차전지의 성능이 개선되면서 진정한 전기자동차 시대가 도래하고 있다. 이에 따라 전기를 이용한 친환경 에너지 시스템이 기존 내연기관을 대체하게 될 것이다. 이렇듯 이차전지는 친환경적이고 에너지 효율성이 높을 뿐만 아니라, 전력저장 기술의 밑바탕이 되기도 한다. 따라서 다른 에너지원으로부터 생성한 전기를 대규모로 저장하는 시스템을 구성할 수 있으며 이로써 궁극적인 친환경 전기에너지 사회를 실현하게 될 것이다.

| <그림 2-101> 미래 전력저장 시스템 개념도 |



자료 : 한국경제, 2011.4.17

이차전지의 대표주자인 리튬이차전지는 1991년 일본에 의해 상용화 되었다. 기존 니켈카드뮴(Ni-Cd) 및 니켈수소(Ni-MH) 전지보다 약 1.5배 이상의 고에너지로서 이를 이용하여 소형·이동식 전자기기 개발이 매우 빠르게 발전하였다. 즉 이동형 전자기기의 동력원인 이차전지의 성능이 향상됨으로써 전자기기를 더 가볍게 제조하고 더 오래 사용할 수 있어 현재의 스마트폰 및 태블릿 시장이 급성장할 수 있었던 것이다.

한국에서는 1990년대 초반 삼성SDI와 LG화학이, 중국에서는 2000년대 초반 다수 업체들이 리튬이차전지 시장에 진출함으로써 현재는 한·중·일 삼국이 기술경쟁을 하고 있으며, 이제는 자동차와 전력저장 등 중대형용량 분야로 기술혁신범위가 확대되고 있다.

리튬이차전지의 4대 핵심 소재는 양극, 음극, 전해질, 분리막이며, 이중에서 실제로 전기화학반응에 참여하며 용량 및 수명 등을 결정짓는 중요한 것은 양극, 음극 소재이다. 따라서 양극 및 음극 소재에 대한 연구가 리튬이차전지의 용량, 수명, 출력, 안정성 등의 성능에 큰 영향을 미치게 된다.

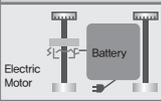
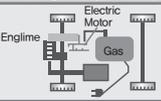
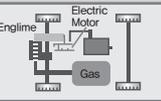
물론 전해질, 분리막 또한 안전성과 출력 등에 영향을 주므로 이들에 대한 연구도 중요하다.

하이브리드 전기자동차(HEV), 플러그인 전기자동차(PHEV), 순수전기자동차(EV)로 기술발전

전기자동차(Electric Vehicle, EV)는 순수하게 전기만을 동력원으로 이용하여 주행하는 자동차인데, 이를 위해서는 전기에너지를 차량 내에 저장할 수 있는 장치, 즉 이차전지를 탑재해야 한다. 순수 전기로만 주행하기까지는 아직 기술개발이 더 필요하고, 현재로선 기존 내연기관과 이차전지의 적절한 조합에 따른 엔진이 개발되어 있다.

크게 세 가지의 형태로 분류가 되는데 첫째가 하이브리드 전기자동차(Hybrid Electric Vehicle, HEV)이다. HEV는 상대적으로 작은 이차전지를 탑재하며, 외부로부터의 충전할 수 있는 별도의 장치는 장착되어 있지 않다. HEV는 내연기관과 이차전지의 동력을 적절히 배분함으로써 에너지 효율성을 극대화시킨 차량으로 기존의 내연기관 대비 연비가 높고 에너지 소비량과 배기가스 양이 줄어드는 효과가 있다.

| <표 2-31> 전기자동차의 종류 |

항목	EV (Electric Vehicle)	PHEV (Plug-In Hybrid EV)	HEV (Hybrid EV)
구조			
주연연료	전기	전기 및 가솔린	가솔린
배기	Zero	Extremely Low or Zero	Low
배터리용량	大	中	小
충전장치	有	有	無
비고		Battery Dominant HFV Extended ZEV Range HEV (8ho Trip, EV모드, 1mg Trip, HFV모드)	Engine Dominant HEV Power Assist IICV & HEV Q Mild HEV

두 번째로는 플러그인 하이브리드 자동차(Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV)가 있다. PHEV는 HEV보다 좀 더 큰 이차전지를 사용하는 자동차로서 이차전지가 주 동력원이다. 일상적인 운행에 있어서 주 동력원은 전기이며, 외부에서 전기를 충전할 수 있다. 탑재된 내연기관은 장거리 주행 시 보조로 사용한다. 따라서 배기가스 발생이 거의 없으며, 에너지 효율성도 HEV 보다 높다. 세번째는 가장 진보된 형태인 순수전기자동차(Electric Vehicle, EV)로서 이차전지만을 동력원으로 사용한다. 순수 전기를 사용하기 때문에 내연기관과 같은 오염물질 배출이 전혀 없는 것은 물론이고, 신재생 에너지에 의해 전기를 공급받을 경우 온실가스 및 오염원의 배출이 전혀 없는, 매우 우수한 에너지 효율을 지닐 수 있다. 전기자동차는 기존의 소형 전자기기 보다 수백 내지 수천 배 큰 규모의 이차전지를 사용하게 되므로 소형 이차전지와는 달리 안전성, 수명, 용량 면에서 갖추어야 할 요건이 까다롭다. 즉 소재 및 전지의 가격을 현재의 이차전지 대비 1/10 수준으로 낮추어야 하며,

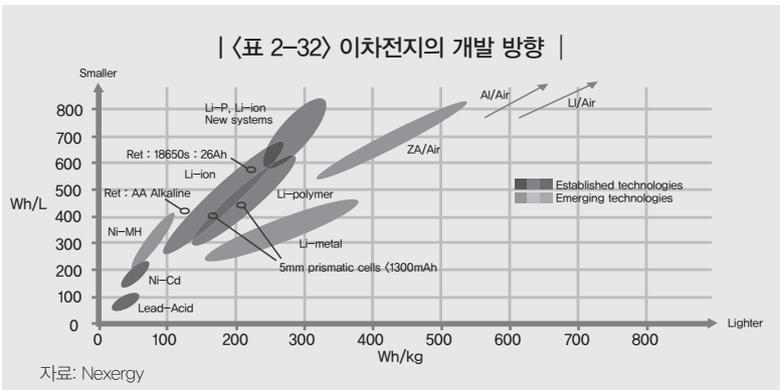
10년 이상의 수명, 약 500km 의 주행거리를 충족할 수 있는 용량과 강화된 안전성을 지녀야만 한다. 이러한 특성은 이차전지 핵심소재인 양극재, 음극재, 전해질, 분리막 성능에 좌우되므로 이에 대한 연구개발이 매우 중요하다. 한편 리튬이차전지를 능가하는 새로운 이차전지 시스템에 대한 연구도 동시에 필요하다.

이차전지 4대 핵심소재 - 양극재, 음극재, 전해질, 분리막

양극재는 전지가 방전할 때 음극으로부터 전달되는 리튬이온을 받아들여 환원되는 전극 소재로서, 단위 부피·질량당 많은 수의 리튬을 받아들일 수 있는 저가의 소재 개발이 필요하다. 또한 발화시 산소의 공급처 역할을 하게 되므로 안전성 측면에서도 연구가 진행 중이다. 기존 소형 이차전지에는 층상구조(layered structure)를 가지는 리튬코발트산화물(LiCoO₂)이 주로 사용되었고, 자동차용으로는 용량 및 안전성을 높이고 가격은 낮추기 위해 층상구조인 LiCo_xNiyMnzO₂, 리튬과다 복합체인 Li₂MnO₃-LiMO₂, 올리빈 구조인 리튬인산철 양극재(LiFePO₄) 등 다양한 소재가 사용되고 있다. 음극재는 전지가 방전할 때 양극에 리튬이온을 공급해주고 산화가 되는 전극의 소재로서, 양극재와 마찬가지로 단위 부피·질량당 많은 수의 리튬을 받아들일수록 성능이 좋다. 따라서 저가·장수명의 특성을 갖는 소재를 개발하기 위한 연구가 진행되고 있다. 기존의 소형 이차전지에서는 인조 흑연이 사용되었으나 용량, 수명 등의 문제점을 개선하기 위해 규소(Si), 천연흑연, 혼합산화물(MO_x) 등의 소재에 대한 연구가 진행되고 있다. 특히 기존의 인조 흑연에 규소 등의 물질을 일부 혼합하여 음극 소재로 활용하는 연

구도 진행되고 있다. 전해질은 리튬이온의 이동 매개체로서 장수명 확보 및 이온전도도의 증대, 그리고 고전압 내구성을 확보하는 것이 중요하다. 이를 위해 용매와 용질의 특성을 향상시키기 위한 연구와 첨가제를 이용하여 전기화학적 특성을 향상시키는 연구가 진행되고 있다. 분리막은 여러 가지 역할을 담당한다. 양극과 음극이 내부적으로 단락 되지 않고 리튬이온의 이동이 가능하게 하며, 전지가 고온의 환경에 노출되어 위험한 요소가 있을 때 리튬이온의 이동을 완전히 차단시켜주는 안전 가동 정지(safety shut down) 역할을 한다. 안전성을 확보하기 위해 분리막의 내구성 및 강도를 확보하는 기술 개발이 진행 중이다.

현재로서는 리튬이차전지가 가장 진보된 이차전지이지만, 아직 내연기관 자동차와 비슷한 성능을 내지 못하고 있다. 그래서 리튬이차전지보다 더 큰 용량과 우수한 출력 특성을 지닌 이차전지 연구도 활발히 진행되고 있으며, 현재 금속공기전지 등 초기단계의 연구가 진행되고 있다. 특히 리튬-공기(Li-Air)전지가 자동차용으로 활용 가능성이 있는지를 탐색하는 단계이다.



소형전지는 경쟁력이 있으나, 부품소재·원천기술 확보가 필요

한국은 1990년대 후반부터 소형 리튬이차전지의 개발을 시작하여 지난 10여 년간 비약적인 발전을 이루었고, 현재는 일본을 제치고 세계 1위의 시장점유를 차지하고 있다. 하지만, 여러 종류의 이차전지 중에서 리튬이차전지에만 국한되어 글로벌 경쟁력이 제한적이다. 리튬이차전지 중에서도 모바일IT용 소형 리튬이차전지 시장에서의 경쟁력이 우수할 뿐 전반적인 부품·소재기술은 그렇지 못하다. 우리나라의 기술력은 부품·소재 전체를 비교할 때 일본의 50%이하, 원천기술력은 30%이하 등 매우 열악한 것으로 알려져 있다. 따라서 부품·소재기술 및 원천기술의 경쟁력을 갖추기 위한 노력과 연구개발 투자가 필요하다.

전기자동차용 리튬이차전지의 기술력도 비슷하다고 볼 수 있다. LG화학이 미국의 GM에 이차전지를 공급하는 등 현재까지는 한국이 기술 우위를 점하고 있는 것으로 평가되나, 역시 부품·소재기술 및 원천기술의 경쟁력이 취약하여 주요 선진국으로부터 시장 선점에 대한 위협을 받고 있다.

KIST에서는 한국이 취약한 부품·소재기술 및 원천기술에 대한 연구개발 투자에 집중하고 있으며, 리튬이차전지의 양극 및 음극 소재, 전해질, 분리막 기술, 그리고 새로운 이차전지 시스템으로 금속-공기전지, 레독스플로우(redox flow) 전지, 나트륨 황 전지 등에 대한 원천기술의 개발에 집중하고 있다.

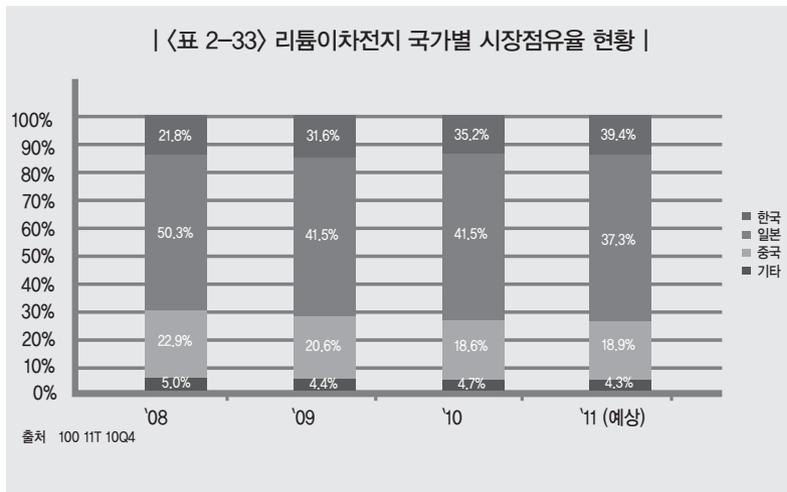
이외 국내에서는 한국전기연구원이 이차전지 안전성 향상 연구, 전자부품연구원에서 전지기술 위주의 연구가 진행되고 있으며

많은 대학들에서 전극 소재 및 전해질, 분리막에 대한 기초연구가 진행되고 있다.

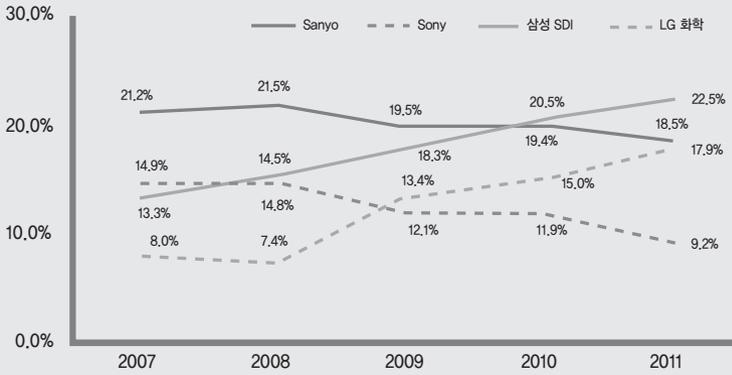
소형전지 경쟁우위를 바탕으로 중대형 시장도 선점 기대

이차전지 시장을 선점하기 위해 많은 투자가 이루어지고 있다. 선진국은 기초·원천기술력 확보를 위해 국가적 지원체제를 구축하여 R&D 투자를 확대하고 국제 M&A를 가속화하고 있다. 현재 한국·일본·중국이 세계 시장을 주도하고 있으나, 미국과 유럽도 투자 확대를 통해 이차전지 산업에서 선두주자로 나서려는 전략을 펴고 있다.

리튬이차전지 시장은 2010년까지는 일본이 세계시장 점유 1위를 지켰으나, 2011년에는 삼성SDI와 LG화학이 각각 세계 1, 3위로 올라서면서 한국이 시장점유율 1위에 등극했다. 3위인 중국도 막대한 자원과 노동력을 바탕으로 거센 추격을 하고 있다.



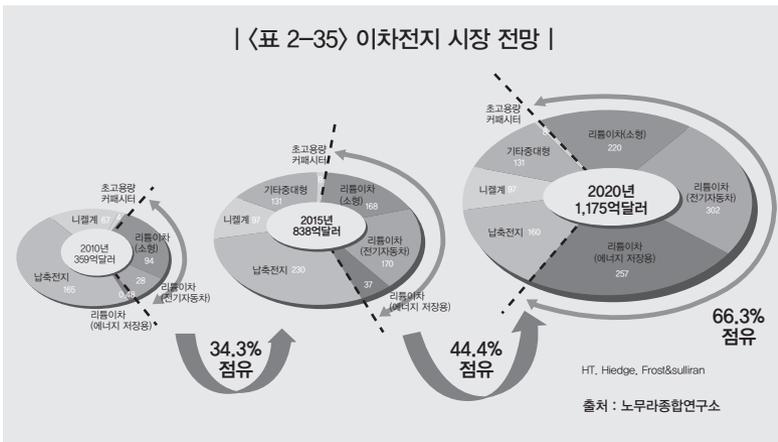
| <표 2-34> 리튬이차전지 기업별 시장 점유율 |



자료: 2차 전지 산업동향 및 발전방안, 전국경제인연합회, 2011.6

현재 리튬이차전지 시장은 모바일 IT용 소형 이차전지 위주로 형성되어 있으나, 앞으로 전기자동차용 및 에너지저장용 시장 위주로 급성장 할 것으로 예상되며, 전기자동차용 이차전지의 경우 매년 34%이상 성장할 것으로 예측된다.

| <표 2-35> 이차전지 시장 전망 |



KIST는 1990년대 초반부터 약 20여년 이상 이차전지 관련 연구를 수행한 풍부한 경험을 가지고 있으며, 방사광 가속기 및 통합 에너지 절감시스템(Total Energy & Environment Management System, TEEM) 기반 분석기술로부터 양극 및 음극 소재 합성공정, 전해질 첨가제 기술 등을 다수 기술이전 하는 등 기초·원천 기술로부터 생산기술까지 폭넓게 기술력을 보유하고 있다. 또한 미국의 브룩헤븐 국립연구소(brookhaven national lab.), 국내의 우수 대학 및 연구소 등 국내외 공동연구 네트워크가 구축되어 있다.

KIST는 고밀도, 고균일도의 전구체 합성기술 및 표면개질기술의 개발을 통해 고용량, 고출력, 고안정성의 리튬복합금속산화물 양극소재를 개발하였다.¹²³⁾ 리튬복합금속산화물 양극소재 제조기술은 전지소재업체로 기술이전되어 상용화를 위한 연구가 진행되고 있다. 음극소재는 천연흑연의 표면산화처리로 관능기를 부여하여 고용량, 장수명화를 이루었다. 이러한 기술을 바탕으로 초기용량 350 mAh/g 이상을 달성하였으며 사이클 수명 500회 이상 @ 1C, 출력 특성 90% 이상 @ 5C방전(0.2C 100% 기준)을 달성하였으며 월등히 우수한 사이클 수명을 나타냈다. KIST의 음극 소재 기술도 전지소재업체로 기술이전되어 현재 상용화를 위한 연구가 진행 중에 있다. 또한 분석기술에서는 온도를 상승시키고 Ar 및 산소 등의 분위기를 조성하여 양극 및 음극 소재의 형상을 관찰할 수 있는 기술을 미국의 브룩헤븐국립연구소와 공동으로 개발하였다.

123) 초기용량 190 mAh/g 이상, 사이클 수명 500회 이상 @ 1C, 출력특성 90% 이상 @ 5C 방전(0.2C 100% 기준), 전압안정성 3.0~4.5 V을 달성하였으며 개발된 기술에 의한 양극 소재의 사이클 수명 또한 기존 소재 대비 우수하다.

위와 같은 기술들을 바탕으로 2012년에는 이차전지 분야의 경험이 많은 산·학·연과 협력하여 국가적인 대형과제를 도출하고, 국내 이차전지 분야 연구를 주도할 수 있는 연구팀을 육성해 나갈 것이다. 우수한 원천기술을 다수 개발하여 산업에 큰 파급효과를 가져올 것이며, 이를 토대로 우리나라의 이차전지 기술력은 크게 발전할 수 있을 뿐만 아니라, 미래 전기자동차 시장에서 우위를 점하는 기반을 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

● 전기자동차용 중대형 이차전지에 대한 연구개발은 대외적으로 보았을 때, 주요 선진국을 중심으로 기초·원천 연구부터 응용연구까지 모두 망라하고 있으며, 미래를 선도하기 위한 적극적인 투자와 지원책이 따르고 있다.

● 따라서 대내적으로 중점 투자를 통한 효율성 제고가 매우 필요한 시점이다. 특히 상대적으로 경쟁력을 확보하지 못하고 있는 기초·원천 기술 및 부품·소재 기술에 대한 집중적 지원이 우선되어야 한다. 또한 이를 위한 고급 인력 양성 프로그램과 중장기 전략이 마련되어야 할 것이다.

바이오연료 |



석유자원의 고갈과 지구 온난화에 대한 효과적인 대응이 지속 가능한 성장의 핵심 조건으로 인식되면서 바이오연료 활용에 대한 관심이 급증하고 있다. 태양광을 이용하여 광합성을 하는 유기물 및 유기물을 소비하여 생성되는 모든 생물 유기체를 바이오매스라고 하며, 바이오매스를 이용하여 생산한 에너지를 바이오에너지라고 한다.

바이오매스는 나무처럼 가공하지 않은 그대로 고체 연료의 형태로 손쉽게 열을 생산하는데 이용될 수 있고 가공하여 바이오에탄올, 바이오디젤 등의 액체 연료와 수소와 메탄과 같은 기체 연료 등의 바이오연료를 얻어 수송용이나 발전용, 난방용으로 이용하는 것도 가능하다. 바이오매스는 지구상에 풍부하고 재생가능하며 실질

적으로 탄소의 배출이 없는 유일한 탄화수소 공급원으로, 특히 이산화탄소를 흡수하며 자라므로 이를 원료로 한 연료나 화학제품을 사용하더라도 이산화탄소가 순환되어 대기 중 이산화탄소의 증가 효과도 크지 않다.

따라서 바이오매스는 석유를 기반으로 한 에너지와 화학제품을 대체할 재생가능한 자원으로서의 현실적인 대안으로 떠오르고 있다. 특히 수송용 연료로서 가솔린을 대체할 바이오에탄올이나 경유를 대체할 바이오디젤은 이미 세계적으로 상용화되어 기존의 가솔린이나 경유와 혼합하여 사용되고 있다<그림 2-102>.

| <그림 2-102> 해외 바이오연료 주유소, 바이오에탄올 및 바이오디젤 자동차 |



바이오매스 고체연료는 활용이 용이한 펠릿(pellets) 등의 형태로 만들어 직접 연소하거나 열병합 발전에 사용되지만, 연소 시 환경오염물질의 배출이 문제가 된다. 가축 분뇨, 음식물 쓰레기 등 유기성 폐자원을 혐기성 발효하면 메탄가스가 주성분인 바이오가스를 얻을 수 있는데 이를 열병합 발전에 활용하면 전기 및 열에너지를 동시에 얻을 수 있다. 바이오가스를 정제하여 주성분인 메탄을 농축하고 이를 압축하면 수송용 연료로 활용할 수 있는데 현재 압

축 바이오가스는 스웨덴, 스위스, 독일 등에서 널리 사용되고 있다. 가솔린의 대체 연료로 대표적인 바이오에탄올은 사탕수수, 사탕무와 같은 당질계 바이오매스나 옥수수, 밀, 카사바 등의 전분계 바이오매스로부터 발효를 통하여 생산되고 있다. 바이오디젤은 보통 대두, 유채, 해바라기, 야자수, 자트로파 등의 유지계 작물로부터 추출한 유지 성분을 메탄올과 반응시켜 생산되며 이때 글리세롤이 부산물로 생성된다. 하지만, 현재 바이오에탄올 및 바이오디젤 생산에 더 많은 농지와 식량작물이 사용되어 곡물 가격이 오르고 더 많은 경작지 확보를 위해 자연생태계가 파괴되는 것과 비료 사용에 따른 환경오염까지 고려하면 과연 바이오연료가 환경 친화적인지 검토해 보아야 한다.

현재 기술로는 사탕수수로부터 바이오에탄올을 생산하는 것이 가장 경제적이지만 사탕수수 농장을 만들기 위해 지구의 허파인 아마존 열대우림을 파괴한다면 친환경연료로서의 에탄올 가치는 크게 떨어지고 말 것이다. 인도네시아에서 야자수 농장 확보를 위한 열대우림 삼림의 무차별적 벌채로 서식지를 잃은 오랑우탄이 멸종할 위기에 처했다는 기사도 눈여겨보아야 할 대목이다. 미국의 바이오에탄올 주원료인 옥수수의 경우 미국 내에서 생산된 옥수수를 모두 에탄올로 바꾸더라도 가솔린의 20%만을 대체할 수 있는 수준밖에 되지 않는 등 현재의 원료 수급 구조로는 액체 바이오연료의 원료 확보를 위해서는 생태계 파괴를 가져올 수밖에 없는 실정이다. 이러한 배경에서 현재 기술적으로는 쉽지 않지만 목질계, 초본계를 포함한 다양한 바이오매스를 활용하고자 하는 노력이 전 세계에서 경쟁적으로 이루어지고 있다.

바이오에너지 연구, 1세대에서 2세대로 전환

바이오에너지에 대한 연구는 크게 바이오에탄올, 바이오부탄, 바이오디젤 그리고 바이오가스에 대한 연구로 구분된다.

당질계나 전분계 작물로부터 제조하는 에탄올이 제1세대 바이오에탄올이라면 목질계 즉 리그노셀룰로오스계 바이오매스(lignocellulosic biomass)로부터 생산하는 에탄올을 제2세대 바이오에탄올이라고 부른다. 제2세대 바이오에탄올의 원료로는 왕겨, 밀짚, 옥수수대 등의 농업 부산물, 갈대, 억새, 스위치그라스, 포플러 나무 등의 에너지 작물, 폐목재, 톱밥, 유기성 쓰레기 등의 목질계 폐자원 등이 포함된다.

목질계 바이오매스는 지구상에 가장 널리 풍부하게 존재하는 바이오매스 자원으로서 앞서 언급한 식량과의 충돌 문제를 해결할 방안으로 기대되며, 직접 또는 고형연료화하여 에너지로 사용하거나 생물학적 과정 또는 열화학적 과정을 통하여 연료 및 화학원료로 전환될 수 있다.

바이오에탄올을 생산하는 과정을 살펴보면 당질계 원료는 발효와 분리정제/탈수의 간단한 과정으로 생산이 가능하고, 전분계 원료는 전분을 당으로 전환하는 당화과정이 필요하다.

하지만 목질계 원료를 에너지화 하기 위해서는 상당한 전처리 과정이 추가로 필요하다. 보통 목질계 바이오매스는 포도당의 결정형 중합체로 구성된 셀룰로오스가 30~50%, 5/6탄당의 중합체로 된 헤미셀룰로오스가 15~30%, 복잡한 방향족 구조 화합물의 리그닌이 10~25% 차지하고 있다. 수증기, 산, 알칼리 등을 이용하는 전처리는 목질계 바이오매스를 보호하는 리그닌 성분을 제거하고

결정형의 셀룰로오스 구조를 파괴는 과정으로 목질계 바이오에탄올 생산 공정의 친환경성과 경제성을 결정하는 가장 중요한 단계 중의 하나이다.

전처리 후의 당화는 산을 이용하는 화학적인 방법과 효소를 이용하는 생물학적 방법이 있다. 생물학적 방법이 안전하고 친환경적이기는 하지만 아직은 고가의 전처리 및 효소 비용이 문제가 되고 있고 리그닌 함유량이 높은 원료에는 비효율적인 단점이 있다. 바이오매스에서 단당류가 만들어지면 이를 발효하여 에탄올을 만들거나 또는 단당류 유도체를 생산하고 다시 전환하여 화학물질을 생산할 수도 있다.

목질계 바이오매스에서 바이오에탄올이나 화학물질을 생산하는 또 다른 방법으로는 가스화와 열분해를 이용하는 열화학적 방법이 있다. 가스화는 완전 연소가 되지 않는 부분 연소 조건에서 일산화탄소와 수소로 구성된 합성가스를 생산하는 방법이다. 합성가스는 내연기관에 직접 사용될 수 있고 수소, 메탄올, 합성연료의 원료로도 사용이 가능하다. 열분해는 가스화보다는 낮은 온도에서 산소가 매우 부족하거나 거의 없는 조건에서 바이오오일, 가스, 차르를 생성하는 방법이다. 열분해 오일은 수분을 다량 함유하고 있고 산소의 함유량이 높아서 추가 촉매 반응을 통하여 고급 연료로 전환이 가능하다. 생성된 가스는 주로 열분해 공정의 열원으로 사용하고 차르는 열원 또는 환경 친화적인 토양 개량재나 비료로도 사용할 수 있다.

최근에는 해조류를 이용한 제3세대 바이오에탄올에 대한 연구도 시작되고 있다. 하지만, 해조류는 매우 훨씬 복잡한 당으로 구성

되어 있고, 현재 기술로서는 발효가 불가능한 당도 포함되어 있으므로 목질계 바이오에탄올보다 기술 개발에 더 많은 시간이 필요할 것으로 예상된다.

바이오에탄올은 에너지 함량이 낮고 친수성이므로 상 분리시 문제점이 있으며 수송관을 부식시킬 수 있으므로 가솔린의 완벽한 대체 연료로서의 물성을 지닌 바이오부탄올에 대한 관심이 고조되고 있다. 부탄올은 엔진 부식성의 염려가 없고 고농도로 가솔린과 혼합이 가능하여 기존 정유시설의 송유관이나 자동차 엔진의 추가 설비/교체 없이 기존 연료를 대체할 수 있어서 차세대 연료로 각광 받고 있다.

이미 세계적 기업인 듀퐁(DuPont)과 BP가 공동 제휴하여 영국에서 바이오부탄올 시제품을 판매할 예정이며, 미국의 EPA와 USDA에서도 바이오부탄올 생산 기술 개발을 활발히 진행하고 있다. 그러나 현재 기술로서는 발효효율이 에탄올에 비하여 부탄올이 매우 낮아 경제성 확보에 어려움이 많아서 아직은 연료보다는 화학 원료로서의 가능성에 더 주목하고 있는 실정이다.

한편, 바이오디젤의 경우 미세조류를 이용해 원료를 확보하려는 연구가 활발하다. 바이오디젤의 원료가 되는 유지계 작물의 면적당 유지 성분 생산량은 대두가 에이커당 40~50 갤런, 유채가 110~145 갤런, 팜이 650 갤런인데 반하여 최근 미세조류는 10,000 갤런에 달하는 것으로 알려져 있다.

따라서 미세조류 품종의 개발과 다양한 형태의 광생물 반응기 개발 등 미세조류를 대량생산하기 위한 노력이 전 세계적으로 이루어지고 있다. 또한 기존 바이오디젤의 낮은 저온 유동성 및 안정성,

부식, 열화, 인젝터 막힘 현상 등의 많은 문제점을 해결하기 위하여 촉매 반응에 의하여 디젤의 성분과 유사한 합성디젤을 만들고자 하는 연구도 진행되고 있다. 목질계 바이오매스를 가스화하고 피셔트롭시(FT)반응시키는 BTL(Biomass-to-Liquid), 유지계 작물의 유지 성분을 수소와 반응시키는 수첨바이오디젤(HBD, Hydrotreated Biodiesel) 등을 포함한다.

현재 1세대 바이오연료는 기술적으로 거의 한계에 도달해 있고 근본적인 원료 수급의 문제를 지니고 있으므로 차세대 바이오연료에 대한 연구가 주로 진행 중이다.

목질계 바이오에탄올은 원료의 수급과 함께 어떻게 전처리 비용을 낮추느냐에 초점이 맞추어져 있고 구성성분 중 아직 활용되지 않고 있는 헤미셀룰로오스와 리그닌을 어떻게 효과적으로 활용할 수 있는가도 중요한 과제로 남아있다.

바이오디젤은 기존의 유지작물에서 벗어나 생산성이 높은 미세조류를 대량 생산하는 기술과 부산물로 항상 생성되는 글리세롤을 어떻게 활용할 것인가가 중요한 개발 과제로 대두되고 있다. 현재 개발된 바이오에탄올과 바이오디젤은 가솔린이나 경유를 완전히 대체할 수준의 연료 물성을 지니고 있지 못하므로 기존 수송용 연료와의 부분적인 혼합이나 기존 엔진 부품의 부분적인 개보수를 통해서만 사용이 가능하다.

따라서 기존 수송용 연료와 화학적인 구조뿐만 아니라 연료 물성 측면에서도 유사한 고탄소 함유 바이오연료를 비식용 바이오매스로부터 생물학적 및 화학적 전환을 통하여 생산하는 기술이 관심을 끌고 있다.

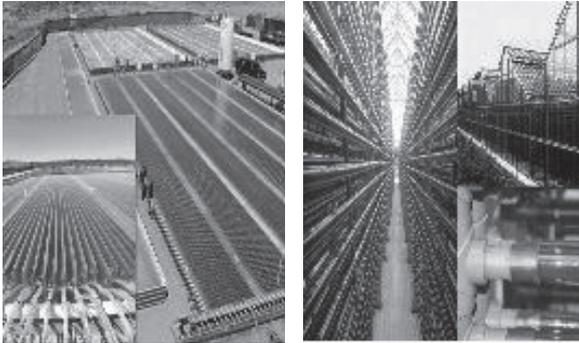
바이오가스는 이미 북유럽을 중심으로 상용화되어 정제된 메탄을 수송용 연료로 사용하고 있으나 경제성을 높이기 위해서는 보다 효과적인 액화 및 정제기술의 개발이 필요하다. 바이오매스의 열화학적 전환 공정에서는 고체 원료를 열화학적으로 처리함으로써 발생하는 타르의 생성과 같은 근본적인 문제점과 정제, 회수 공정의 개발이 필요하며 원하는 바이오연료의 생산을 위한 촉매 및 촉매 반응기의 개발도 중요하다.

미세조류양산이 바이오디젤 생산의 핵심

바이오디젤의 원료로 유망한 미세조류의 오일 생산을 높이기 위해 지질 함량과 성장 속도가 높은 미세조류종을 자연계로부터 분리하려는 연구와 생물학적 기술을 이용하여 미세조류의 형질 개량을 통해 오일 생산성을 획기적으로 높이려는 연구가 동시에 추진되고 있다.

미세조류를 고농도로 대량 배양할 수 있는 광생물 반응기의 개발에 대한 연구가 해외 기업과 연구기관들에서 수행 중이며 일부 기업은 파일럿 실증을 위한 배양 설비를 운전 중이다. 미국의 해조류 연료 생산 회사인 Solarzyme은 유기성 폐수를 활용하여 미세조류를 대량 생산 후 바이오디젤 생산 원료로 활용하는 기술의 상용화를 위한 파일럿 실증 연구를 진행 중이다. 미국의 Solix, 독일의 IGV-GmbH 등도 발전소 또는 산업체에서 배출되는 이산화탄소를 기질로 미세조류를 대량 생산하고 이를 바이오디젤 원료로 사용하는 파일럿 연구를 수행하고 있다.

| <그림 2-103> 파일럿 규모의 미세조류 생산 현장 |



미세조류의 대량 생산을 위해서는 외부에 노출된 상태의 큰 연못에서 배양하는 방법이 경제성은 있으나 기후에 민감하고 오염의 가능성이 있으며 수분이 계속 증발하는 문제점이 있다. 이에 반하여 밀폐된 광생물 반응기에서 배양하는 방법은 상기한 문제점은 없으나 높은 설치 및 에너지 비용이 들게 되며 반응기 내부까지 어떻게 태양광이 투과하여 들어가게 할 것인가가 문제이다.

현재 바이오디젤은 주로 액체 상태 염기촉매를 이용하여 유지와 메탄올을 반응시켜 생산되며 반응 후 바이오디젤이나 글리세롤에 포함된 염기촉매를 제거하기 위한 복잡한 정제 과정이 필요하다. 따라서 액상 촉매의 사용에 따른 문제를 해결하기 위하여 환경친화성이 높은 고체 촉매를 적용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 프랑스의 Axen Technology는 세계 최초로 고체 촉매를 이용한 바이오디젤 생산 공정을 상용화한 바가 있으나 그 공정에서는 저급 폐유지가 아닌 고순도로 정제된 식물성 기름만이 원료로 사용이 가능하다는 단점이 있다.

오스트리아의 BDI에서는 유리 지방산 함량이 높은 저급 폐유를 바이오디젤로 전환하는 공정에 황산을 촉매로 이용하여 상용화에 성공함으로써 원료의 적용 범위를 넓혔다. 그러나 이 경우에도 폐수 발생의 문제가 있으므로 고체 촉매 공정을 개발하고 있다. 근본적으로 바이오디젤이 가지는 물성의 한계점을 극복하기 위하여 유지 성분을 수소와 반응시켜 얻는 HBD는 품질이 경유와 유사하다. HBD 기술은 핀란드의 Neste Oil이 NExBTL이란 공정으로 세계에서 유일하게 상용화 기술을 보유하고 있으며, 미국의 UOP, 브라질의 Petrobras, 일본의 Nippon Oil Corporation(NOC)이 각각 Ecofining, H-Bio, BHD 공정이라는 이름으로 기술을 보유하고 있다.

바이오에탄올 생산을 위한 효율적인 공정에 대한 경쟁이 가속화

목질계 바이오에탄올 생산을 위한 기술은 전처리, 당화, 발효를 거쳐 생산하는 생물학적 공정과 열화학적 공정 모두 상용화를 위한 경쟁적인 개발이 이루어지고 있다. 미국 에너지성에서는 2007년부터 4년간 목질계 바이오에탄올 상용 규모 공정 개발을 위하여 6개사에 최대 3억 8,500만 달러를 투자한다고 발표하였는데 6개사의 바이오매스 원료가 각기 다르다. 특히 전환 방법중 생물학적 과정을 사용하는 곳이 Blue Fire Ethanol, Broin Companies, Iogen Biorefinery Partners의 3개사, 열화학적 과정이 Range Fuels 1개사, 두 과정 모두를 사용하는 곳이 Abengoa Bioenergy, Alico의 2개사인 것으로 알려졌다. 이와 같이 목질계 바이오에탄올

의 생산 방법은 아직 어떤 방법이 가장 경제적인지는 결정되지 않은 상태이다. 생물학적 공정에 있어서 미국과 유럽에서는 목질계 바이오매스로부터 에탄올의 생산 원료가 되는 당 성분인 셀룰로오스와 헤미셀룰로오스를 효과적으로 분리할 수 있는 다양한 전처리 기술이 개발되고 있다. 현재 물리화학적인 전처리 후 확보된 셀룰로오스를 효율적으로 당화하는데 필요한 효소 생산 비용을 절감하기 위한 연구가 노보자임(Novozyme)과 제넨코아(Genencore) 등을 중심으로 활발히 진행되고 있으며 연구를 통하여 당화 효소 생산 비용을 기존 공정 대비 1/10 이하로 줄인 것으로 발표한 바 있다.

바이오가스 정제 · 압축으로 수송료 연료로 활용

바이오가스는 열병합 발전의 연료로 주로 사용되었으나 최근 유럽과 미국에서는 바이오가스를 고순도로 정제하여 액화바이오메탄(LBM) 및 압축바이오메탄(CBM)의 수송용 연료로 활용하는 고질화 기술이 개발되어 상용화되었다. 바이오가스를 정제하여 메탄 농도가 95% 이상인 바이오메탄을 생산하고, 생산된 바이오메탄을 수송 연료화하는 바이오가스 고질화 플랜트의 설치 현황을 보면 전세계에 약 100개 이상에 이른다.

독일과 스웨덴에 가장 많은 고질화 플랜트가 설치 운영 중이며 특히 스웨덴은 바이오가스 고질화의 핵심기술인 이산화탄소/메탄의 분리기술을 보유하고 있는 업체가 다수이며 해외로 사업 규모를 키워가고 있다. 고질화된 바이오가스는 액화 또는 압축하여 수송용 연료로 공급 사용하거나 천연가스 배관망에 연결하여 사용하고 있

다. 바이오가스 고질화 기술은 이산화탄소/메탄의 분리기술로 분류를 할 수 있는데 흡수법과 흡착법이 많고 막 분리법은 2006년 이후 설치되기 시작하였다.

| <그림 2-104> 스웨덴의 바이오가스 생산 공장, 충전소, 세계 최초 바이오가스로 운행하는 기차 |



국내 바이오연료 기술, 해외 진출 활발

미세조류의 양산 기술은 교육과학기술부, 지식경제부, 국토해양부 등 정부 주도로 광생물 반응기를 이용한 미세조류의 대량 배양 위주로 연구가 진행 중이며 최근 미세조류종 자체에 대한 연구도 시작되었다. 바이오트론, 세종공업, 한국종합기술 등 국내 일부 업체도 미세조류 대량 배양에 대한 기술을 보유하고 있다.

목질계 바이오에탄올 생산 기술 역시 정부 주도로 연구가 진행되고 있으나 아직 고유의 기술을 확보하지 못하고 있고 해외 사례와 같은 실증 연구도 미흡한 실정이다. 최근 KIST와 창해에너지어링은 한국국제협력단(KOICA)의 개도국 공적개발원조(ODA : Official Development Assistance)사업의 일환으로 인도네시아 자카르타 인근에 현지 열대 목질계 바이오매스 부산물을 이용한 바이오에탄올 생산 파일럿 플랜트를 설치 중에 있다.

바이오디젤은 국내 여러 업체에서 폐식용유와 수입 식용유를 원료로 액상 촉매를 이용하여 생산하고 있다.

(주)SM-POT는 자체 개발한 고체 촉매를 적용한 바이오디젤 생산 실증 공정을 운전 중이며 베트남에 이 기술을 적용한 파일럿 플랜트를 설치한 바 있다. SK이노베이션에서는 저급의 다양한 유로부터 바이오디젤을 생산할 수 있는 실증 파일럿 공정을 운전하여 상용화 기술을 개발하고 있다.

바이오가스 분야에서는 몇 년 전부터 해외기술을 도입하거나 기술개발을 통하여 바이오가스 고질화 사업이 시범적으로 추진되고 있다. 한솔이엠이는 액화바이오메탄을 생산할 수 있는 기술을 개발하여 수도권 매립지에 설치하였고, 에코에너지홀딩스는 해외기술도입으로 서울시 서남물재생센터에 압축바이오메탄 플랜트를 설치 운영하고 있다.

기존 바이오디젤은 이미 국내에 생산 보급되고 있고 기술적으로도 어느 정도의 경쟁력은 가지고 있으나 고체 촉매를 이용한 바이오디젤 생산 기술과 차세대 바이오디젤 기술은 세계 수준과 다소 차이를 보이고 있다. 목질계 바이오에탄올 기술은 현재 세계 수준과 큰 차이를 보이고 있으나, 바이오 및 화학공정 핵심 기술을 확보하고 있으므로 향후 적극적인 지원만 된다면 단시간에 기술 차이의 극복이 가능할 것으로 예상된다.

바이오가스는 국내 발생 유기성 폐자원을 원료로 활용하는 바이오가스 생산 시범사업이 추진되고 있어 바이오가스 생산에 대한 기술은 축적되어 있으나 고질화에 대한 원천 기술의 확보는 다소 미흡한 실정이다.

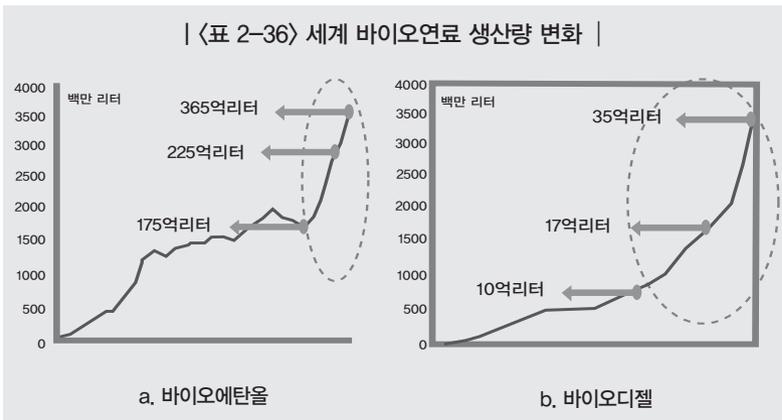
미국, 브라질, 유럽을 중심으로 바이오연료 시장 크게 확대 전망

전세계적으로 지구 온난화 대응이 주요 이슈로 등장함에 따라 2010년 국제에너지기구(IEA)에서는 2050년까지 온난화 문제를 해결한다는 블루맵(blue map) 시나리오를 발표한 바 있는데, 이에 따르면 수송 부문에서 감축해야 할 이산화탄소의 양이 전체 감축 요구량의 약 37%로 가장 큰 것으로 나타났다. 중장기적으로 수송 부문에서 이산화탄소 감축 수단으로서 바이오연료의 역할은 대단히 중요하며 2050년 기준 총 수송 에너지의 약 27%를 바이오연료가 차지할 것으로 분석되었다. 바이오연료는 현재 경제성은 충분하지 않으나 유가 상승에 대한 대비와 온실가스 감축을 목표로 정부의 지원을 통하여 지속적으로 성장하고 있다.

현재 미국과 브라질 및 유럽 국가들이 세계적으로 가장 큰 바이오연료 생산 국가들이며 동시에 소비 국가들이기도 하다. 바이오에탄올은 미국이 세계 생산량의 50% 이상을 차지하고 있으며 그 다음으로 브라질이 30% 이상을 차지하고 있다. 바이오디젤은 독일을 중심으로 한 유럽 국가들이 세계 생산량의 50% 이상을 차지하고 있다. 현재 대부분 상업적으로 생산되는 바이오연료 생산은 전통적인 방법을 사용하는 1세대 이지만, 2020년경에는 목질계 바이오에탄올을 비롯한 차세대 바이오연료들이 OECD 국가를 중심으로 시장에 진입할 것으로 예상되므로 이 분야에 대한 정부의 적극적인 투자가 필요하다.

바이오가스는 유럽을 중심으로 크게 보급되어 있는데 유럽에서 발생하는 바이오 가스량을 보면 2007년에는 2006년보다 40% 이상

증가하여 7,000 TOE 를 초과하였고 2008년에는 약 8,000 TOE가 생산되었다. 2006년 기준으로 3,677개의 바이오가스화 시설이 유럽에 설치되어 있고 계속 시설이 확대되고 있다. 바이오가스의 고질화 및 수송 연료화는 2000년 이후부터 사업화가 활발히 추진되고 있으며 2010년 기준으로 전 세계적으로 스웨덴의 39곳을 비롯하여 105곳의 플랜트가 운전 중에 있다.



국내에서는 연료용 바이오에탄올 시장은 형성되지 않고 있으며 2010년 15억 리터의 에탄올이 생산되어 전량 음료용으로 소비되고 있다. 수송용 연료로 활용할 바이오에탄올은 1세대를 거치지 않고 바로 국내외의 가용 가능한 목질계 원료를 이용한 바이오에탄올 생산 기술이 개발되어 시장이 형성될 전망이다. 바이오디젤은 2007년부터 전국 보급이 시작되어 2010년 기준 바이오디젤의 보급량은 4억 리터(6,000억 시장)이고 국내 15곳의 바이오디젤 생산업체가 있으며 생산 용량은 약 10억 리터이다. 현재 바이오디젤은 정유

사를 통해 BD2(2% 바이오디젤 혼합 경우)로 보급이 이루어지고 있다. 원료는 수입 대두유와 팜유를 사용하므로 해외 수입 의존도를 낮추기 위하여 국내 발생 저급 폐유지를 활용하기 위한 원료 수급 체계 구축 방안을 마련 중에 있다. 현재 정부에서는 수송용 바이오연료 보급 활성화를 위한 정책 시행을 검토 중에 있으며 이러한 제도적 지원이 마련되면 바이오연료의 시장이 급격히 증가할 것으로 기대된다.

혐기성 소화조나 매립지에서 발생하는 바이오가스의 대부분은 단순 소각이나 대기 확산으로 처리하고 있으며 일부 시설에서 발전이나 보일러의 연료로 사용하고 있다. 바이오가스의 고질화 사업은 시범적으로 시작하였으며 향후 본격적으로 추진될 것으로 예상된다. 2008년에 바이오가스를 통하여 165,000 TOE의 에너지가 공급되었으며 연도별로 다소 증감은 있으나 대체로 증가하는 추세이다. 국내에서 하루 발생하는 유기성 폐자원 총량 168,138톤을 전량 바이오가스화 할 경우에는 연간 756,807 TOE의 원유 대체 효과와 연간 8,500억 원의 경제적 효과를 보는 것으로 나타났으며, 플랜트 시공의 경우 정부 계획만을 고려했을 때 2020년까지 총 2조 600억 원의 시장이 열릴 것으로 기대된다.

KIST는 목질계 바이오매스를 이용하여 화학적 전처리, 당화, 발효, 분리정제를 통하여 1 L/h 규모로 순도 99.5% 이상의 바이오에탄올 반연속식 생산을 실증한 바 있다. 또한 한국국제협력단(KOICA)의 개도국 공적개발원조(ODA : Official Development Assistance)사업의 일환으로 인도네시아 자카르타 인근 세르퐁(SERPONG)에 있는 화학연구소에 10 L/d 규모의 목질계 바이오에

탄을 생산 파일럿 설비를 구축해 주고 있다<그림 2-105>. 또한 열 화학적인 분야에서도 바이오매스를 연속 급속 열분해하여 시간당 500 g의 바이오오일을 생산하는 공정을 실증한 바 있으며 현재에는 생산된 바이오오일을 촉매 공정을 통하여 고품질화하여 수송용 연료로 활용하는 연구를 시작하였다. 최근에는 바이오 및 화학적 기술을 융합하여 고탄소 함유 바이오연료나 고부가가치의 화학물질을 생산하는 연구를 진행하고 있다. KIST는 현재 확보하고 있는 원천 기술을 바탕으로 더욱 기술을 심화 발전시켜 국내 실정에 맞는 차세대 바이오연료 및 화학소재 공정이 상용화되는데 주도적인 역할을 할 것이다.

| <그림 2-105> 인도네시아에 설치중인 바이오에탄올 파일럿플랜트와 원료인 팜유의 부산물(EFB, Empty Fruit Bunch) |



● 현재 고유가 시대가 지속되고 온실가스 감축에 대한 관심이 높아지는 현실에서 보면 국내에서 뿐만 아니라 세계적으로 바이오연료의 시장 확대 전망은 매우 높다고 할 수 있다. 특히 아직 상용화가 이루어지지 않은 차세대 바이오연료는 세계 각국에서 국가 차원의 적극적인 연구개발이 진행되고 있어 차세대 성장산업으로 발전하여 바이오연료 시장의 확대에 크게 기여할 것으로 전망된다.

- 기술이 성숙한 1세대 바이오연료를 넘어 차세대 바이오연료가 상업적으로 생산 보급되기 위해서는 무엇보다 비식용 바이오매스의 안정적 확보가 중요하다. 또한 바이오디젤은 미세조류의 양산을 통한 원료의 확보가 필요하다. 또한 바이오연료는 현재 경제성이 없으므로 확대 보급을 위해서는 정책적인 지원이 필요하다.
- 바이오연료의 경제성 문제 해결을 위해 바이오연료와 함께 고부가가치의 화학물질을 병산하는 바이오리파이너리(bio refinery) 기술의 개발이 추진되어야 한다. 이를 위해서는 바이오/화학 융복합 기술을 적용하여 가장 효율적인 합성 공정의 개발이 필요하다.

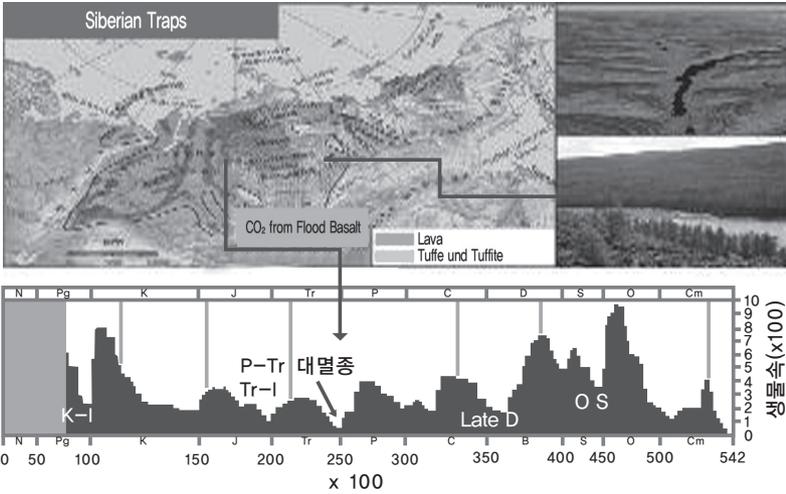
기후변화 예측과 대응기술



18세기 중반에 시작된 산업혁명 이후, 대기 중 CO₂의 농도가 약 280 ppm(추정)에서 현재 400 ppm에 가까운 수준으로 증가하였다. 또한 산업생산의 증가를 지탱하기 위해 다양한 화석연료의 사용이 폭증하였으며, 늘어난 생산력과 발맞춘 인구증가 및 식량증산이 실현되었다. 결과적으로 지권(geosphere)과 생물권(biosphere)에 대한 엄청난 스트레스가 가중되었다. 기후변화는 지권과 생물권의 지속가능성에 위협이 되는 두드러진 현상의 하나로서 21세기 전 인류가 공동으로 대처해야 하는 가장 중요한 문제로 대두되고 있다.

“산업 활동에 의한 지권 물질균형의 교란이 산업사회의 위협이 될 수준의 기후변화를 일으킬 수 있는가?” 기후변화와 관련된 가장 핵심적인 질문의 하나이다. 이에 대한 답은 “YES”이다.¹²⁴⁾

| <그림 2-106> Siberia Traps의 현무암분출에 의한 기후변화로 대멸종이 발생하였다는 페름기말 대멸종의 개념도 |



현재의 산업 활동이 지속된다면, CO₂농도는 2050년까지 500 ppm을 초과할 것이며, 2100년까지는 최대 800 ppm을 초과할 수도 있다. 지난 100년간의 대기 중 탄소의 축적으로 인한 급격한 인

124) 기후변화 가능성에 대한 가장 결정적 증거는 지금으로부터 약 2억 5,000만 년 전 발생한 지구온난화에 의한 페름기 대멸종사건을 들 수 있다. Siberia Trap에서 발생한 100만 년간의 현무암분출로 대기 중 1,000 ppm 이상의 CO₂, CH₄, H₂S의 분출 및 해양순환의 정지에 의한 산소결핍 등으로 해양생물종의 95% 및 육상생물종의 70%가 멸종한 지구역사상 최대의 멸종사건이 일어났다.

위적 탄소순환계의 교란현상이 어떤 식의 기후변화를 일으킬 것이며 어떤 문제가 야기될지에 대한 구체적인 예측이 불가능하다.

기후변화의 어려움은 예측 불확실성

산업 활동에 의한 기후변화의 발생은 불가피하다. 그러나 기후 변화에 따른 결과예측의 불확실성이 있고, 이에 따라 정책결정의 불확실성이 동반될 수밖에 없다.

이러한 불확실성을 제거 또는 완화시키기 위해서 지구시스템에 대한 과학적 현상을 규명하는 기후과학에 대한 연구가 필요하다. 현재 기후변화에 대한 가장 핵심적인 결론은 대기 중 CO₂의 농도가 100 ppm 이 증가할 때마다 지표면의 평균온도가 약 1℃ 정도씩 증가한다는 것이다. 그러나 이와 같은 선형적 온난화가 지속될 것인지, 지역적 분포는 어떠한 것인지, 물 순환에는 어떠한 영향을 미칠 것인지 등에 대한 구체적인 메커니즘에 대한 이해는 매우 부족하다.

따라서 기후과학은 앞으로 진행될 기후변화의 양상을 결정할 수 있는 지구 역학적 메커니즘을 규명하여, 예측의 불확실성을 해소하고 이로부터 효과적인 대응전략을 마련하는 것에 있다. 지구의 온난화가 진전됨에 따라 해수면 상승, 물 순환의 교란, 그리고 작물 경작 한계선의 변화 및 새로운 질병의 유행 등 다양한 위협에 직면하고 있으며, 특히 핵심적 요소는 물을 어떻게 확보하고 관리하는 가이다.

현재 국제연합(UN)은 지구온난화를 2℃로 제한하기 위한 다양한 완화전략을 제안하고 있는데 이는 온실가스의 종류(CO₂, CH₄, N₂O, F-Gas 등) 및 배출원에 따라서 다양한 기술이 채택될 수 있

다. 특히 온실가스 가운데 가장 많은 부분을 차지하고 있는 CO₂의 배출저감전략은 국제에너지기구 등에서 매우 심도 깊게 다루어진 바 있다.

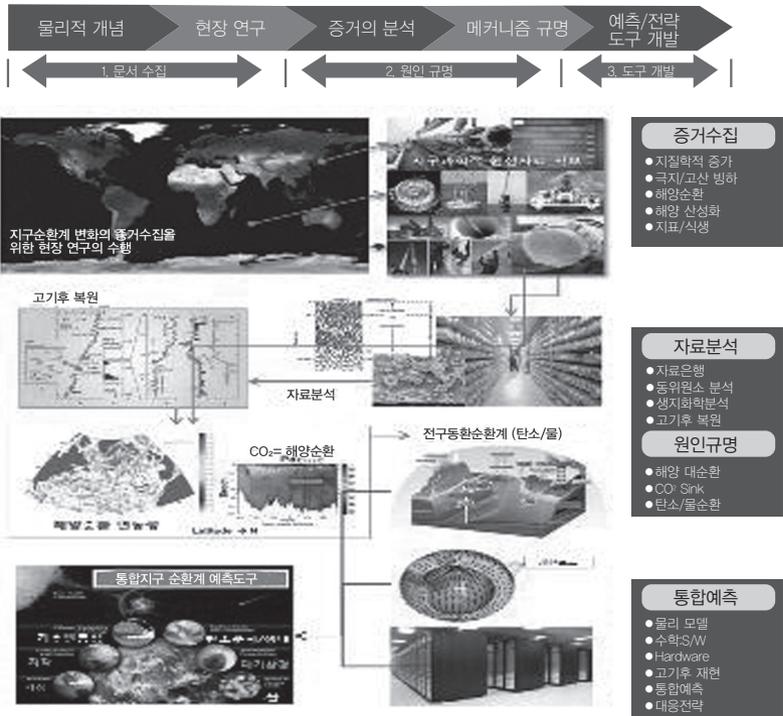
기후과학 메커니즘의 규명을 통해 기후변화양상을 예측

기후과학의 핵심은 지구에서 발생하는 물질/에너지의 순환을 정확히 이해하고 예측하는데 있다. 이를 위해 (1) 물리적 증거수집, (2) 원인규명, (3) 도구개발의 3계층으로 이루어진 연구개발사업이 제시되었다.

Ⅰ <표 2-37> 기후과학분야의 연구내용 및 역할 Ⅰ

대영역	중영역	역할
증거수집	물리적 개념제시	- 변동성증가 및 재난적 천이의 원인이 되는 비선형적 물리현상의 선정 및 개념 제시
	증거수집 현장연구	- 제안된 물리적 현상을 보여줄 수 있는 지구순환계의 증거를 수집하는 현장 활동 - 주로 지질학적 경계가 대상
원인규명	증거의 분석	- 수집된 증거를 물리-화학-수학적으로 분석하여 과학적 기초자료를 확보
	순환메커니즘 규명	- 확보된 기초자료를 이용하여 지구적 순환메커니즘을 규명
도구개발	예측도구 개발	- 규명된 메커니즘을 기반으로 전 지구적 변동성의 증가에 대한 예측도구 개발 - 고기후 복원을 통한 모형의 검증
	전략도구 개발	- 국제공동연구전략 개발 - 사회·생태적 적응전략의 도출

| <그림 2-107> 기후과학의 연구개발 체계의 요약도 |

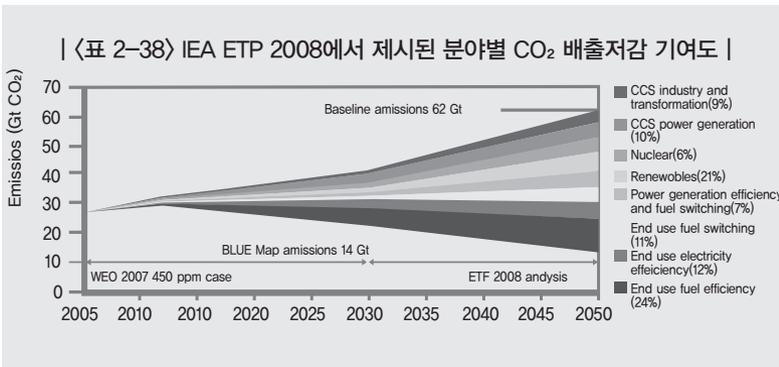


기후변화의 대응은 농업, 광업, 에너지, 산업, 교통, 의료 등 인류의 모든 활동과 연관된 분야의 새로운 기술개발 또는 개선을 요구하고 있다. 이중에서도 적응분야의 핵심인 양질의 수자원의 확보와 완화분야의 핵심인 에너지 분야에서 탄소배출의 저감이 매우 중요하다.

국제에너지기구에서는 2050년까지의 CO₂저감 시나리오 제안

국제에너지기구가 2008년에 발표한 에너지 기술 전망 2008(Energy Technology Perspectives 2008, ETP 2008)에서는 2050년까지 전 지구적 CO₂의 농도를 450ppm 으로 제한하기 위해서 개발된 국제 에너지기구 블루맵(International Energy Agency Blue Map, IEA BLUE Map) 시나리오를 제안하였다.

이를 위해서 전 세계적으로 에너지 분야의 CO₂ 배출량이 현재의 300억 톤/년 수준의 약 50% 에 해당하는 140억 톤/년으로 저감 되어야 한다. 이 목표를 충족시키기 위한 분야별 배출저감 목표, 기술의 종류, 기술예측 및 기술지도, 시장규모 등이 제시되었다. IEA ETP 2008에서는 (1) CCS 산업분야, (2) CCS 전력분야, (3) 핵에너지, (4) 신재생에너지, (5) 발전효율 향상 및 연료개선, (6) 최종소비자 연료개선, (7) 최종소비자 전력효율 개선, (8) 최종소비자 연료효율 개선의 8개 분야에 대해서 구체적으로 제시하였다<표 2-38>.



한편 <표 2-39>은 세부 기술분야별 CO₂ 배출저감량 및 RDD&D¹²⁵⁾ 비용을 제시한 자료이다.

| <표 2-39> 세부기술분야별 CO₂ 배출저감량 및 RDD&D비용 |

	CO ₂ savings(Gt)		RDD&D(USD bn)	
	ACT Map	BLUE Map	ACT Map	BLUE Map
Power generation	8.96	15.13	3200-3760	3860-4470
CCS fossil fuel power generation	2.89	4.85	700-800	1300-1500
Nuclear power plants	2.00	2.80	600-750	650-750
Onshore and offshore wind energy	1.30	2.14	600-700	600-700
BIGCC and co-combustion	0.22	1.45	100-120	110-130
PV	0.67	1.32	200-240	200-240
CSP	0.56	1.19	300-350	300-350
Cool IGCC systems	0.66	0.69	350-400	350-400
Cool USCSC	0.66	0.69	350-40	350-40
Buildings	6.78	8.24	320-400	340-420
Energy efficiency in buildings and appliances	6.50	7.00	n.a.	n.a.
Heat pumps	0.27	0.77	70-100	90-120
Solar space and water heating	0.21	0.47	250-300	250-300
Transport	8.20	12.52	260-310	7600-9220
Energy efficiency in transport	5.97	6.57	n.a.	n.a.
Second-generation biofuels	1.77	2.16	90-110	100-120
Electric and plug-in vehicles	0.46	2.00	170-200	4000-4600
Hydrogen fuel cell vehicles	0.00	1.79	n.a.	3500-4500
Industry	3.00	5.68	700-900	1400-1700
CCS industry, H ₂ and fuel transformation	2.00	4.28	700-900	1400-1700
Industrial motor systems	1.00	1.40	n.a.	n.a.
Total	27.14	41.57	4480-5370	13200-15810

Note, the table above shows the contribution of the 17 technologies have been created. It does not covrt the CO₂-emissions-production of all technologies covered in the ETP analysis. For a full the of technologies please see ANNEX, D.

125) RDD&D : 연구개발 증명 및 적용(Research, Development, Demonstration and Deployment)

국내 기후과학의 전반적인 경쟁력은 취약

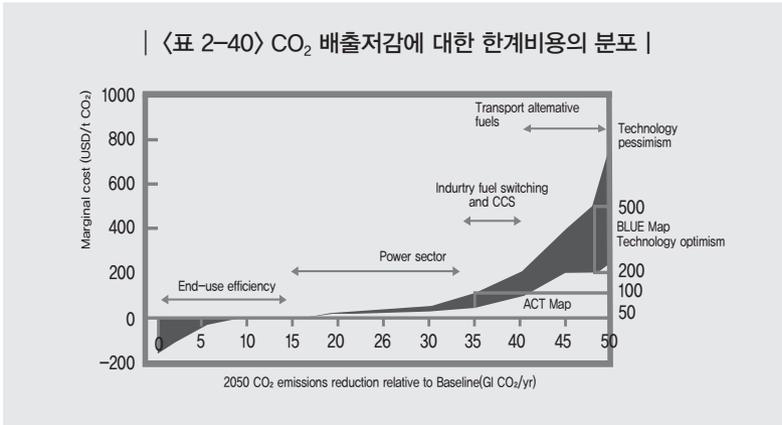
우리나라가 기후과학의 근간인 지구과학분야의 인적/물적 자원이 제대로 갖추어져 있지 않아 전반적인 연구역량이 선진국과 많은 차이를 보이고 있다. 이는 기후변화 정부 간 위원회(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 보고서에 국내의 독자적 연구결과를 반영한 경우가 거의 없다는 점에서 알 수 있다. 이 같은 낮은 경쟁력의 근본적인 이유는 해양/지질분야에서 시료를 확보·분석하고 지구 역학적 메커니즘을 규명할 수 있는 연구역량이 절대적으로 부족하기 때문이다. 이에 따라 국내 연구수준은 선진국에서 개발된 대기대순환모델(Global Circulation Model, GCM)을 개선하여 기후변화과정에 대한 수치모사를 하는 등 선진국에서 개발된 원천기술의 수요자적(end-user) 연구 수준의 경쟁력을 보유하고 있다고 보면 타당하다.

한편 에너지분야 중 CO₂ 배출저감 기술분야의 경쟁력은 매우 다른 양상을 보이고 있다. 중화학분야 제조업이 강점인 우리나라는 CO₂ 저장분야, 신재생에너지분야, 연료분야 등에서는 매우 한정적인 경쟁력을 확보하고 있는 수준이나, 핵에너지 및 CO₂ 포집/저장(Carbon Capture and Storage, CCS) 기술 분야에서 국제적인 경쟁력을 확보하고 있다.

2050년까지 연간 2조 2,000억달러 시장 형성 예상

기후변화분야의 핵심적인 시장은 물 시장 및 에너지 분야의 CO₂ 저감분야이다. IEA ETP 2008에 따르면 CO₂ 배출저감기술 시장은 크게 연구개발 증명 및 적용(RDD&D) 시장과 실제의 상용시

장으로 나누어 생각할 수 있다. 기술의 연구개발 및 보급단계에서 발생하는 시장은 전력, 건물, 운송 및 산업에서 총 13조 2,000억 ~15조 8,100억 달러의 비용을 투입해야만 국제에너지기구의 블루맵을 충족시킬 수 있는 것으로 예측되고 있다.



CO₂ 배출저감에서 효율개선기술은 비용절감을 통해 부가가치를 창출하지만, CO₂ 포집/저장 및 수송 대체연료분야는 많은 추가 비용이 지불되어야만 CO₂ 저감을 구현할 수 있다. 따라서 부가가치 창출 또는 비용의 지불전체를 CO₂ 배출저감과정에서 창출된 시장 규모로 추정할 수 있다.

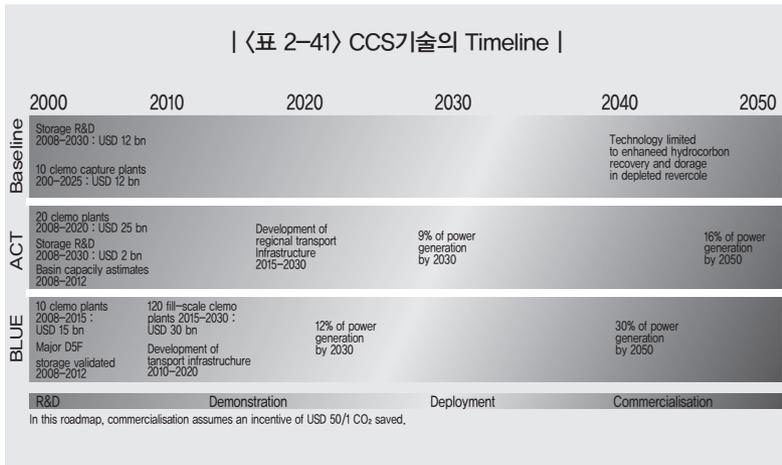
CO₂ 처리의 평균단가를 톤당 약 50달러로 가정하면, 국제에너지기구의 블루맵을 구현하기 위해서는 약 2조2,500억 달러의 시장이 형성될 것으로 예상된다.¹²⁶⁾

CO₂ 배출저감시장의 규모에 못지않게 시장의 형성시기도 매우

126) 즉 450억 톤의 저감에 50%를 연동시킬 경우에 대한 시장규모

중요하다. 2050년까지 지구온난화의 정도를 2℃ 이내로 한정하기 위해서는 2010년대부터 본격적인 CO₂ 배출저감을 위한 기술이 도입되어야 하나, 현재 온실가스 배출저감에 대한 새로운 국제협약이 아직 도출되지 못하고 있으며, 이는 온실가스 저감기술의 본격적인 보급시기를 2020년, 늦으면 2030년 이후로 지연시키는 결과를 초래할 것이다.

국제협약의 도출에 따른 상용화시기가 늦춰질 경우, CO₂ 배출저감기술의 개발수요가 매우 위축될 수 있는 가능성이 높다.



우리나라의 시장규모는 전 세계 에너지 사용량의 약 2% 정도를 차지하고 있다는 점에서 추론이 가능할 것이다. 즉 연구개발 증명 및 적용시장의 경우 약 3,000억 달러의 국내시장이 있을 것으로 예상할 수 있으며, CO₂ 감축은 연간 150~250억 달러의 시장이 형성될 것으로 예상된다.

국가 기후변화 대응 전략의 수립이 필요

향후 우리나라 산업의 방향은 기후변화에 대해 효과적으로 대응하여 각 분야 산업의 국제경쟁력을 유지하고 또한 기후변화와 관련된 신산업분야를 어떤 식으로 창출하느냐에 달려 있다고 해도 과언이 아니다. 따라서 KIST는 기후과학적 결과에 입각한 국가적 기후변화 대응전략을 도출하고 에너지 등 기간산업분야의 핵심 적응/완화기술을 도출하여, 기간산업의 경쟁력을 유지할 수 있는 전략적 기술개발을 주도해야 할 것이다.

- CO₂ 배출저감기술은 우리나라의 향후 신성장 동력으로 활용될 수 있으므로, 기후과학연구를 통한 적극적인 배출저감의 필요성을 강조하는 국가적 전략이 필요하다. 특히 전력, 제철, 석유화학 및 시멘트 등 기반산업분야의 기후변화 대응기술은 매우 효과적인 국가전략 산업으로 육성될 수 있다.

- 한국의 산업화의 모델을 벤치마크하고 있는 동남아국가 또는 신흥경제4국(브라질, 러시아, 인도, 중국(Brazil, Russia, India and china, BRICS))에서도 우리와 유사한 CO₂ 배출량구조를 갖게 될 것이므로, 우리가 기술적 강점을 갖고 있는 핵에너지기술 및 CO₂의 포집/저장과 설비기술의 발전전망은 국제 에너지 기구의 예측을 훨씬 상회할 것이며, 2050년 전후 국가전략산업으로 입지를 확보할 가능성이 높다.



물 재이용 기술

수처리 기술의 발달에도 단계가 있다. 먼저 저개발 국가에서는 당장 쓸 물이 필요하기 때문에 사용할 물을 만들 정수처리 기술이 필요하고, 도시화 및 산업화가 일어나면서 물 사용량이 증가함에 따라 하천 및 호수에 수질 오염 문제가 생기고 사람들은 하수처리 기술의 필요성을 느끼기 시작하게 되며, 그 후에 하수처리 기술이 향상되고 처리비용이 감소하면서 사용한 물을 다시 사용하는 물 재이용 기술에 대한 관심이 높아지기 시작한다.

수처리 기술 향상과 더불어 미래 물 부족 현상에 대한 우려로 물 재이용에 대한 관심이 더욱더 증가하고 있다. 전 세계의 관심사인 기후 변화와 물 사용량 증가로 사람들은 ‘물 안보’라는 용어를 사용하기 시작했다. 또한 UN 수자원 개발 보고서(2003)에 따르면 1950년에서 1990년 사이 물 사용량이 3배 증가하였고, 향후 35년 이내 현재 사용량의 2배까지 증가할 것이며, 앞으로 25년 이내 일인당 담수 공급량이 3분의 1로 감소할 것으로 예측하고 있다. 우리나라도 이와 같은 상황에서 자유롭지 못하여, 인간 생활에 일차적으로 필요한 물 부족에 대한 걱정이 물 재이용 기술에 대한 관심으로 이어지고 있다.

물 재이용이란 버려지는 물을 흘려버리지 않고 생활, 공업, 농업, 조정 및 하천유지 용수 등으로 사용용도에 맞게 재사용하는 것을 말한다. 우리나라 ‘물의 재이용 및 촉진에 관한 법률’에는 버려지는 물을 빗물, 중수도, 하·폐수 처리수라 명시하고 있지만 그냥 버려지는 모든 물을 포함할 수 있다. 이와 같이 버려지는 물을 용도에 맞게 재사용할 수 있도록 처리하는 기술을 물 재이용 기술이라고 한다.

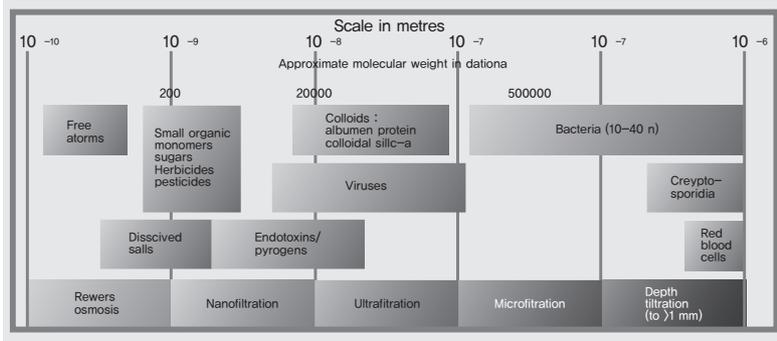
기본적으로 물 재이용 기술이란 일반적인 수처리 기술과 크게 다르지 않다. 하수를 재이용하기 위해서는 우선 기존의 하수처리 기술을 이용해야 하고 빗물의 경우는 기존 정수처리 기술보다 더 간단한 기술로 재이용할 수 있다. 하지만 물 재이용 정의에 나와 있듯이 여러 가지 사용용도에 맞도록 적절히 처리해야 하고 물 재이용 처리 원수가 다양하기 때문에 일반적인 하수나 정수 처리 기술과는 다른 새로운 기술을 개발하여 사용되어야 한다.

분리막, 막 증류법, 고도산화기술이 핵심

다양한 물 재이용 처리 원수와 여러 사용용도로 인해 최근에는 분리막을 이용한 수처리 기술이 많은 관심을 받고 있다. 분리막을 이용한 수처리 기술은 주로 고분자나 세라믹 막(membrane)을 이용해 물속에 있는 오염물을 제거하는 기술로 최근 수처리 분야에서 가장 빠르게 발전하고 있다. 막분리 수처리 기술은 다양한 원수에 적용하기 쉽고 사용 목적에 따라 다양한 분리막을 사용할 수 있기 때문에 특히 물 재이용 수처리 기술에 적합하다.

주로 사용되고 있는 분리막 기술은 거를 수 있는 오염물 크기에 따라 정밀여과(microfiltration), 한외여과(ultrafiltration), 나노여과(nanofiltration), 역삼투막(reverse osmosis) 등으로 나뉜다<그림 2-108>. 이외에도 인위적인 압력을 주어서 오염물을 거르는 방식이 아닌 자연적인 삼투압을 이용하는 정투압(forward osmosis)과 막 사이에 온도 차이를 이용하는 막증류법(membrane distillation) 등이 최근 주목되고 있다.

| <그림 2-108> 분리막 공극 크기별 막 종류 및 주요입자 크기 |



막분리 수처리 기술 이외에 물 재이용 기술로는 병원성 세균 및 환경 호르몬, 의약 약품과 같은 미량 오염물질 제거 기술도 포함된다. 병원성 세균 및 미량 오염물질 제거는 일반 정수처리에서도 많이 연구되고 적용되고 있는 부분으로서, 하수처리수를 재이용하는 경우에 더 중요하다고 할 수 있다. 특히 하수처리수가 사람과 접촉할 수 있는 용도로 사용될 경우 사람이 사용한 여러 가지 물질로 인해 유발되는 미량 오염물질의 최종 도착지가 하수처리장이고 다양한 하수는 병원성 세균을 포함하고 있기 때문에 살균 및 미량 오염물질 제거 기술이 물 재이용 기술에 매우 중요한 부분이 된다. 주요 기술로는 오존, 염소, 자외선 등을 사용하는 고도 산화 기술(Advanced Oxidation Process, AOP)이 있다.

일반적인 하수처리기법인 활성슬러지법과 분리막 수처리 기술을 결합한 분리막 생물 반응기 기술(membrane bioreactor, MBR)이 많이 연구되고 있다. 기존의 생물학적 하수처리 기법으로는 부유물질을 완벽하게 제거하지 못하는 것과 비교할 때, MBR 기술을 이용하면 부유물질이 완벽하게 제거되며, 기존 하수처리기법 보다 오염물 처리 성능이 뛰어나다. 또한 최종침전조가 필요 없기 때문에 처리장에 필요한 부지면적도 작다. 하지만, 분리막 생물 반응조는 기존 생물학적 하수처리기법에 비해 에너지 소비량이 3~4배 정도 많은데, 이는 생물반응조 내에 있는 미생물로 인해 발생하는 막오염 현상을 막기 위하여 폭기를 수행할 필요가 있기 때문이다.

따라서 현재 분리막 생물반응조 연구 분야에서는 막오염을 저감시키거나 운전 효율적으로 하기 위한 운전최적화 기법 연구가 이루어지고 있다. 또한, 막오염 현상 규명, 막오염 저감을 위한 새

로운 막 개발 및 막 표면처리, 모델링 및 운전 최적화 기법을 이용한 운전 효율 향상 등의 연구가 진행되고 있다.

| <그림 2-109> 분리막 생물반응조 운전(좌)과 막오염을 막기 위해 반응조 내에서 폭기하는 모습(우) |

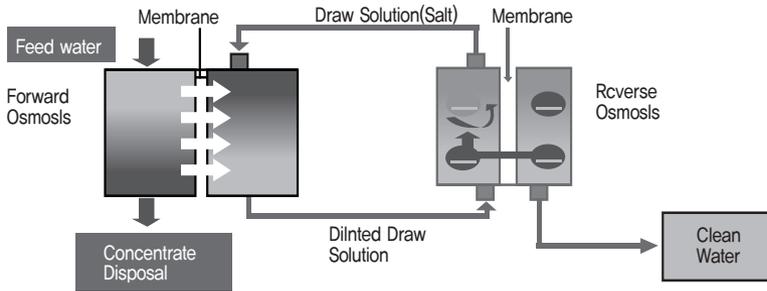


정삼투 막여과 기술은 삼투압을 원동력으로 사용하는 막여과 공정으로 삼투압을 최대로 유발할 수 있는 전용막 개발이 무엇보다 중요하다. 정삼투 분리막은 삼투 방향으로의 높은 물 투과성을 가져야 하고 역방향으로 유도용액의 용질이 확산되지 않게 설계하는 것이 중요하다. 이를 위해 정삼투 전용 분리막은 두께가 얇고, 친수성을 띠어야 하며, 막의 구조는 물의 이동 거리를 최소화 할 수 있어야 한다. 이러한 특성과 함께 막오염 제어가 가능하여야 하므로, 정삼투 막여과 기술은 고도의 전문성을 요하는 기술영역에 해당된다.

유도용액은 정삼투 공정에서 삼투압을 유발시키는 용액으로 효율적인 유도용액 기술은 정삼투 공정에서 핵심기술이다. 일반적으로 정삼투 공정에서는 유도용액의 특성에 따라 유발되는 삼투압이 조절될 수 있다. 삼투압을 최대화하기 위해서는 유도용액은 물에 잘 녹아야 하고 입자 크기는 작아야 하며 유해한 성분을 포함해서는 안 된다. 유도용액 회수 이후 최종 처리수가 생산되기 때문에 유도용액을 100% 회수하는 기술은 정삼투 공정에서 매우 중요한 기

술이다. 마지막으로 유기, 무기, 미생물에 의한 막오염 현상이 기존 공정과 다르기 때문에 정삼투 막여과를 적용한 시스템 디자인 기술 개발도 필요하다. 또한 다양한 원수에 적용 가능하며 기존 공정과의 결합이 용이하기 때문에 다양한 공정에 적용이 가능하다.

| <그림 2-110> 정삼투 막여과 시스템 모식도 |



일반적인 막분리 기술이 막 양쪽의 압력 차이를 이용하여 물과 오염물질을 분리하는 것과 달리, 막 증류법은 막 양쪽의 온도차에 의한 기체 분압 차이에 의해 기화된 물이 막을 통과하는 원리를 이용한다. 즉, 따뜻한 물에서는 차가운 물에 비해 상대적으로 많은 물이 기화되며, 기화된 물이 막의 공극을 통과한 후 차가운 물과 만나 응축되어 물이 이동하게 되는 것이다. 막 증류법에 사용 가능한 막은 물이 직접 통과할 수 없도록 소수성이어야 하며, 기화된 수증기가 쉽게 통과될 수 있도록 가능한 큰 공경과 공극률을 가져야 한다. 또한, 막의 두께를 최대한 얇게 하면서도 일정한 강도를 유지하는 기술이 요구된다. 따라서 이러한 특징을 갖는 막을 개발하기 위하여 나노 기술이 적용되는 사례도 있다. 막 증류법은 기화된 기체

의 이동을 이용하는 것으로, 물보다 기화가 잘 되지 않는 오염물질이 존재하는 경우 이론적으로 100%의 제거가 가능하다. 하지만 기화된 물이 막의 공극 내에서 응축되거나 막에 압력이 가해지는 경우 물이 막의 공극을 막는 현상이 발생되는데, 이 때 연결된 물이 통로로 작용하여 오염물질이 확산되거나 기화된 물의 이동이 약화되는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 막 증류법에서는 압력을 가하지 않은 상태에서 운영하는 것이 중요하다. 또한, 물보다 쉽게 기화되는 물질이 오염물질로 포함되어 있는 경우 물보다 빨리 기화되어 막을 통과할 수 있다. 이러한 현상을 오히려 장점으로 이용하는 경우도 있는데, 물속에 포함된 휘발성 오염물질의 처리를 위하여 막 증류법을 적용하는 사례도 있다.

막 증류법의 성능 향상을 위해서는 막의 개발이 가장 중요하며, 상용화를 위해서는 저렴한 열원을 확보하는 것이 필수적이다. 현재 몇 건의 상용화된 사례가 제안되고 있으며, 산업 폐열이나 화력 또는 원자력 발전소의 폐열을 활용하여 저렴한 열원을 확보하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 고도산화처리 방법은 물속에 있는 유기 또는 무기 오염물을 화학적 산화로 분해해서 제거하는 방법으로, 대표적으로 염소, 오존, 자외선을 이용하는 방법과 철염을 촉매로 과산화수소를 사용하는 펜톤 산화 기법이 있다. 최근에는 광촉매(TiO_2)를 이용한 고도산화처리 방법이 새롭게 개발되어 적용되고 있다. 이와 같은 고도산화처리 기법은 주로 물속에 산화력이 강한 OH 라디칼을 형성시켜서 오염물질을 분해시키는 방법으로 생물학적으로 분해가 어려운 난분해성 물질이나 병원성 세균을 살균하는데 많이 사용된다. 고도산화처리 기술 연구는 1970년 후반부터

화학반응 메커니즘 연구에 기초를 두고 활발히 진행되었으며, 1990년 초반부터는 고도산화처리 기술이 정립되고 상수 및 지하수 처리에 사용되었다. 하지만 일반 상수처리와는 달리 물 재이용 수처리는 원수 성상이 달라 하수처리수 재이용을 위해서는 미량 오염물질을 효율적으로 제거하기 위한 연구가 필요하다. 따라서 물 재이용 수처리 분야에서 미량 오염물질 제거를 위한 고도산화처리 기술에 대한 연구는 최근 활발히 이루어지고 있다. 특히 전 세계적으로 아주 적은 농도의 오염물질까지 분석할 수 있는 기술이 발달하고 건강에 대한 관심이 높아지면서 환경호르몬, 의약품 및 개인위생 용품에 들어 있는 미량의 화학물질을 제거하는 연구가 활발하다. 미량오염물질을 제거하는 기술은 다양하지만 그 중에서도 고도산화처리에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.

특히 물 재이용 수를 사용하기 위해서는 보통 소독을 해야 하기 때문에 고도산화처리로 소독과 미량오염물질 제거를 동시에 하는 연구들이 시도되고 있다. 또한 미량오염물질의 종류가 너무 많고, 그 특성이 다양하기 때문에 이의 해결을 위한 많은 연구가 수행 중에 있다. 국내에서도 오존 및 UV 기반의 고도산화처리 기술 기초 연구가 학계를 중심으로 활발히 진행하여 왔다. 하지만 고도산화처리 기술의 국내 적용은 도입 초기단계라 할 수 있으며, 관련 업체들도 중소 벤처기업이 대부분이고 아직 적용실적도 많지 않은 실정이다. 앞으로 하폐수 처리 기준도 강화되고 물 재이용 수처리에 관심이 높아지면 국내에서도 고도산화처리 기술 연구가 활발히 진행될 것으로 예상된다.

저비용, 고에너지 효율의 수처리 기술 개발에 역점

현재 물 재이용 기술은 높은 운영비와 에너지 사용량으로 저비용 고효율 기술이 필요한 실정이다. 분리막 수처리 기술은 일반적으로 높은 압력과 막오염 저감을 위해 폭기 및 화학약품을 사용하는 기술이고, 고도산화처리 기술도 많은 화학약품과 전기를 사용하는 물리화학적 처리 방법으로 고비용 고에너지 기술이다. 현재 물 재이용이 보편화되지 않은 이유가 우리나라의 낮은 물값 때문이기도 하지만 아직까지 높은 물 재이용 처리 단가 때문이다. 앞으로 물 재이용 기술이 현장에 적용되고 시장이 커지기 위해서는 저비용 저에너지 고효율 기술 개발이 필요하다.

물 재이용 기술에는 재이용 수의 용도에 따라 다음과 같은 다양한 공정이 포함될 수 있다. 국내의 경우, 일반적인 재이용수는 모래여과를 통하여 생산되며, 하천유지용수의 경우 생물학적 고도처리기술이 적용된다. 공업용수의 경우 분리막인 정밀여과(Microfiltration, MF)와 역삼투(Reverse Osmosis, RO) 공법이 주를 이루고 있다. 그리고 분리막 생물 반응기(Membrane Bio-Reactor, MBR) 공법의 적용 사례도 증가하고 있다.

미국의 경우 분리막 기술이 물 재이용 기술로 주로 적용되고 있으며, 활성탄 기술도 경제성 확보 및 휘발성 유기화합물질의 제거를 위하여 여전히 사용되고 있다. 유럽의 경우 대부분 질소와 인은 제거하지 않는 2차 처리 기술을 재이용 기술로 이용하여 농업용수와 공업용 냉각수 등에 제한적으로 사용하고 있다.

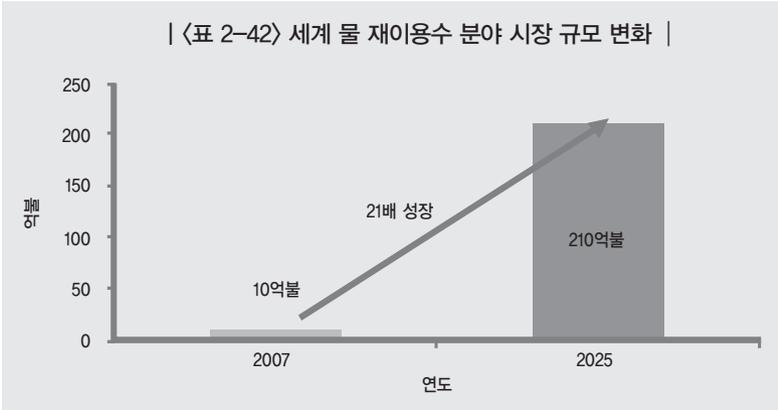
전 세계 물 재이용 시장은 2025년 24조원으로 추정

전 세계적으로 물 재이용 시장은 큰 성장을 할 것으로 예상된다. 물 재이용 산업 시장은 2007년을 기준으로 10억 달러이던 시장 규모가 2025년에는 21배 증가한 210억 달러가 될 것으로 예상된다 <그림 2-42>. 2007년 신규 물 재이용 플랜트 투자규모는 해수 담수 시설투자에 비해 45.4%에 불과하지만 2012년을 기점으로 급격히 증가하여 2016년에는 담수시설 신규 투자 규모와 거의 차이가 없을 것으로 예측된다. 이는 동일 기간 담수 투자의 연평균 성장률이 7.3%인 반면에 물 재이용 분야는 연평균 16.7%로 성장할 것으로 예측되기 때문이다. 따라서 물 재이용 산업 분야에 대한 관심이 증가하고 있다.

특히 도시를 중심으로 재이용수에 대한 수요가 크게 증가할 것으로 예상된다. 전 세계적으로 도시에 18억 명이 거주하고 있고 인구밀집형 도시의 경우 재이용수를 사용하는데 이점이 많다. 따라서 도시의 물재이용 투자는 연간 17%씩 증가할 것으로 전망되고 있다.

2009년부터 2016년 사이에 물 재이용 산업 투자비는 미국과 중국이 각각 약 100억 달러와 약 60억 달러로 물 재이용 분야에 투자할 계획이며, 다음으로 사우디아라비아와 호주 등이 물 재이용 분야에 많은 투자를 할 것으로 보인다. 중국을 비롯한 아시아 지역에서는 물 재이용 시장 성장률이 14~29%의 높은 성장률이 예측되고 있다. 전체 물 산업에서도 중국은 세계 물 산업 시장의 주요국가로 부상할 것으로 예상되는데 2005년의 약 5배로, 480억 달러 규모로 성장할 것으로 전망된다. 그리고 2030년 아시아와 오세아니아 지역이 전 세계 물 산업 시장의 40%를 차지할 것이라는 전망도 있다.

이와 같이 동아시아, 중동, 아프리카의 물 산업 시장은 연간 10% 이상 성장할 것으로 예측되고 있다.



우리나라는 하수와 해수를 동시에 처리하는 기술을 개발

KIST에서는 G-7 프로젝트 일환으로 하수처리수 재이용 시스템 기반 기술 개발을 통해 분리막 생물 반응기(MBR) 기술을 연구하였다. 10여 년간 분리막 생물 반응기 관련 현장 연구를 통하여 분리막 생물 반응기의 보급에 큰 역할을 하였다. 또한 분리막 생물 반응기 내 막 오염 유발 물질의 거동을 예측할 수 있는 모델을 개발하고 이를 바탕으로 막오염 제어를 지능형으로 할 수 있는 인공지능형 smart 제어 시스템을 개발한 경험을 가지고 있다.

그리고 현재 환경부 과제로 ‘정삼투 막여과 기술을 이용한 재이용하수처리’ 연구가 진행되고 있으며 이는 염 제거를 측면이 아닌 하수 재이용이나 정수처리에 적용될 때, 각종 미량 유해물질에 대한 제거에 있어 역삼투와 정삼투 기술을 비교하는 것이다. 이 연구가

어느 정도 성과를 보이면 물 통합형으로 하수와 해수를 함께 처리하여 에너지 소모를 줄이는 공법이 개발될 것으로 보인다. 또한 분리가 쉬운 철나노입자를 이용한 유도용액을 개발하고 있으며 분리막 증류법을 이용한 유도용액 회수 장치 연구도 활발히 진행하고 있다.

분리막 막오염 연구에 있어서도 분리막을 이용한 하수처리수 재이용 시 발생하는 막오염 특성 및 메커니즘에 대해서 연구하고 이로 인해 막오염을 최소화하는 원천기술 개발을 하고 있다. 또한, 미생물에 의한 생물 막오염과 무기물에 의한 무기 막오염 현상을 다양한 분리막에서 연구하고 있다. 마지막으로 미량오염물질을 제거하는 기술로 나노입자인 플러렌, 탄소나노튜브 및 그래핀 등을 광촉매로 이용해 분해하는 광산화 기술에 대해 연구하고 있다.

- 국내에서 수처리를 위한 나노기술/바이오기술의 융합기술에 대한 연구는 아직까지 실험실 수준의 연구가 대부분이고 상하수도 시스템으로 적용 가능한 실용화 기술 개발이 필요한 실정이다.
- 정삼투 막여과 공정 기술분야에서는 핵심 원천 기술 확보가 무엇보다도 중요하다. 정삼투 막여과 공정을 수처리에 적용한 사례가 없으며 효율적인 유도용액이 아직 개발되지 않았다. 정삼투 전용막 및 공정 개발 기술과 유도용액 개발 및 회수 기술 등은 고도의 전문성을 필요로 하며 소재(재료) 분야와의 융복합 연구 개발을 통한 시너지 효과가 필요하다.
- 물 재이용 수처리 시 미량오염물질 제어가 가능한 요소기술로써, 기존 산화제 중심의 고도산화처리 기술뿐 아니라 촉매나 광에너지를 기반으로 한 고도산화공정 또한 국내에서 그 기술적 관심이 높아지고 있다.



환경센서 기술

인류는 미래에도 다양한 환경오염에 노출되어 살아갈 것이 자명하다. 이에 환경오염의 심각성을 인식한 선진국들은 환경오염의 원인을 사전에 차단하고 통제하기 위한 노력을 하고 있으며, 이미 발생한 오염을 저감시키는 다양한 대응책을 마련하고 있다. 그러나 산업화 단계에 막 진입한 개발도상국들은 경제 성장을 위해서는 환경오염의 불가피성을 인정하고 있고, 따라서 개발도상국 지역에서의 오염 수준은 크게 악화되고 있는 실정이다.

환경오염을 파악하고 원인을 분석하기 위해서는 오염 원인에 대한 정확한 진단이 선행되어야 한다. 최근 문제가 되고 있는 구제역 확산, 일본의 방사능 오염, 청계천 대장균 오염 문제는 모두 정확한 진단이 있어야 발생 여부를 알 수 있는 것이고, 진단 결과를 근거로 해결책을 모색하고, 더 위험한 상황으로 치닫기 전에 대책을

강구할 수 있는 것이다. 이러한 제반 환경오염의 정확한 진단을 가능케 하는 것이 바로 환경센서¹²⁷⁾ 기술이다.

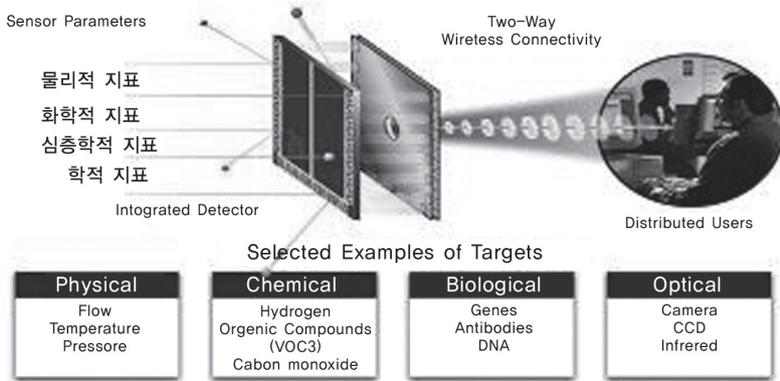
환경오염은 불가피한 것이라는 전제에 동의한다면, 과학기술의 발전에 따른 산업화가 야기한 환경오염 문제 해결을 위한 방안을 모색해야 하며, 이의 시발점은 환경센서 기술의 확보에 있다.

환경센서의 측정 대상은 대기, 수질, 토양 등의 환경 매체에 존재하는 화학물질, 미생물, 바이러스 등과 이를 포괄하는 바이오물질, 환경매체의 물리, 화학적 변화 등이다. 환경센서의 구성은 환경오염원의 농도를 정성, 정량적으로 측정하고, 측정하고자 하는 오염원의 물리화학적 특성을 파악하여 구성하게 된다. 일반적으로 센서의 개념은 거대 분석 장비가 필요한 측정기기 기반의 진단과는 다르다. 측정기기 기반의 분석은 시료를 채취하고 측정 기기에서 분석 가능하도록 시료의 전처리 과정이 필요하여 숙련된 운영자의 관리 하에 진행 되는 반면 환경센서 기술의 목표는 시료의 전처리 과정을 최대한 배제하고, 측정하고자 하는 대상을 신속하게 정성, 정량적 정보를 이용하여 판별해 내도록 하는 것이다.

환경센서 기술의 구성요소는 대상 오염원을 검지할 수 있는 검지부, 신호변환 장치 등으로 구성되며, 측정하고자 하는 대상 물질에 따라 검지 원리와 신호변환 방법 등의 적용이 달라지며, 여러 요소 기술의 조합이 필요하다<그림 2-111>.

127) 센서는 측정하고자 하는 대상을 감지하여, 측정 대상물의 물리량이나 화학량의 변화를 감지하고, 감지된 정도를 전기적 신호나, 광학적 신호로 변환시켜 실수요자가 측정 대상을 정량, 정성적으로 측정 가능케 하는 소자나 장치로 정의된다. 따라서 환경센서는 다양한 환경매체의 오염을 유발시키는 오염원을 측정 대상으로 하는 센서를 의미한다.

| <그림 2-111> 환경센서 요소 기술 개요 |



리셉터 설계 기술, 분자 분리막, 환경칩 기술, 센서 시스템 네트워크 기술 개발

환경센서는 특정 대상물질을 선별적으로 측정 가능케 하는 리셉터 개발기술, 측정된 대상 물질을 분석 가능케 하는 신호측정 및 증폭 기술, 리셉터와 신호 증폭부가 결합된 플랫폼 기술로 구분되어지며, 이들 기술간의 상호 작용으로 센서 기능이 작동한다.

리셉터는 원하는 특정 물질만을 선별적으로 인식하여 신호를 부여하는 역할을 하며, 리셉터의 정확한 설계에 따라 선택성의 범위를 결정지을 수 있다. 리셉터는 DNA/RNA 또는 항체 등으로 구성되는 바이오리셉터, 측정 대상의 물리, 화학적 특성을 선택적으로 인식할 수 있는 신소재 기반의 분자리셉터 등이 있으며, 센서의 선택성과 민감도를 높이기 위해 측정하고자 하는 물질만을 선택적으로 분리 할 수 있는 분자정밀 분리막 기술 등이 활용된다.

분석 물질과 결합된 리셉터로부터 측정 가능한 신호를 증폭하

는 방법은 주로 전기화학적 방식과 광학적 방식이 사용된다. 전기화학적 방식은 분석물질과 리셉터의 상호 작용으로 발생하는 전류, 전위 등과 같은 전기량 변화를 통해 측정 가능한 유용한 신호로 변환해주는 기술로 고감도, 저전력, 저가 센서를 구성하는데 유리하다. 광학적 방식은 측정 대상물로부터 리셉터와의 결합을 통해 나타나는 스펙트럼의 변화 즉, 색, 흡광 및 형광등의 광학적 현상을 이용하여 인식 가능한 신호로 변환해 주는 방식이다. 최근 나노기술의 발전으로 소형화된 센서로 구현할 수 있는 형태로까지 발전하고 있다.

환경센서 개발시 높은 선택성, 민감도와 정확도를 향상 시키는 것에 집중해야 한다. 특히, 리셉터설계기술, 분자분리기술 등의 발전으로 센서의 정밀도 향상과, 미량 유해물질, 미생물, 바이러스 등과 같은 다양한 오염원의 진단도 가능한 원천기술을 확보하기 위해 연구 중이다. 측정 원리의 구현은 이를 센서화 할 수 있는 바탕이 되며, 센서 원천 기술 연구는 나노기술, 바이오기술, 환경기술이 융합된 형태로 진행되며 다양한 분야에 적용이 가능한 연구들이 진행 중이다.

리셉터 설계기술은 원하는 특정물질만을 정확하게 인지하여 센서에 선택성을 부여하기 위해서는 반드시 필요하다. 리셉터 설계기술은 측정하고자 하는 오염원과 특이적 결합이 가능하고, 오염원과 리셉터의 결합력을 측정하여 선택성을 높일 수 있으며, 리셉터와 결합된 복합체로부터 원하는 센서 신호를 발생시킬 수 있는 방법에 관한 연구개발이 필요하다.

분자 분리막 기술은 환경매체에 극미량만 존재해도 인체에

치명적인 VOCs(휘발성유기화합물)¹²⁸⁾, 오존, 포름알데히드 및 NOx(질소산화물)¹²⁹⁾ 등의 유해물질 검출 및 제거를 수행하기 위해 개발된 기술이다. 기존에 개발된 센서들은 저농도에서도 우수한 검출능력을 보이지만 주 타겟 물질이 아닌 다른 물질에 대한 판별/제거능력이 낮은 단점이 있다.

이러한 단점을 극복하기 위해 나노 사이즈의 기공을 갖는 다공성 물질을 이용한 분자체(molecular sieve) 개념의 분자 분리막 기술 연구를 수행하여 오염물질을 분리/선택 측정 할 수 있게 되었다 <그림 2-112>. 분자 분리체 개념은 센서의 선택성을 높이는데 활용될 뿐만 아니라 다양한 유용물질의 분리 정제에도 활용 가능한 기술이다.

| <그림 2-112> Hollow fiber 형태(좌)와 Fleet sheet(우) 형태의 분자 분리막 |

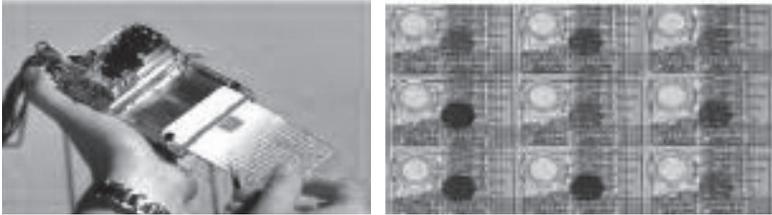


128) 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compound) : 증기압이 높아 대기 중으로 쉽게 증발되는 액체 또는 기체상의 유기 화합물의 총칭

129) 질소산화물(NOx) : 질소와 산소의 화합물로, 연소과정에서 공기 중의 질소가 고온에서 산화돼 발생하며, 현재 7종류가 알려져 있는데 공해문제로 중요한 것은 일산화질소(NO), 이산화질소(NO2)이며 산성비의 원인으로 잘 알려져 있는 화합물이다. 대표적인 질소산화물의 배출원은 자동차, 항공기, 선박, 산업용 보일러, 소각로, 전기로 등이 있다.

환경칩 기술은 기존의 랩온어칩(Lab on a chip) 개념에서 확대 발전된 개념으로 작은 칩 상에 환경센서 구성 기술을 구현하여 오염물질을 초고속으로 대량 모니터링 할 수 있는 플랫폼 디바이스 기술을 의미한다. 이를 위해 마이크로 유체 디자인, 마이크로 펌프 개발, 다양한 오염원에 대한 리셉터 확보와 고정화 기술이 필수적이다. 사용되는 리셉터의 종류에 따라 다양한 오염원 측정이 동시에 가능한데, 독일의 지멘스는 DNA 전기화학적 분석방법을 이용하여 환경칩 내에서 환경유해균, 바이러스를 측정하는 방법을 개발하고 있고, 미국 인텔과 Combimatrix 사는 환경유해균 측정용 환경칩을 개발하고 있다<그림 2-113>. 그러나 환경칩의 상용화를 위해서는 시료의 전처리 과정이 필요하여 전처리를 최소화하거나 전자동화 하는 기술개발이 선행되어야 한다.

| <그림 2-113> 모바일 형태의 환경칩 |



센서 신호처리 시스템은 센서를 통해 획득된 아날로그 신호를 증폭하는 증폭회로, 디지털 신호로 변환하는 변환기(converter) 기술, 처리된 디지털 신호를 사람이 인식할 수 있는 신호로 표시해주는 신호처리 기술로 구성이 된다.

특히 센서 종류에 부합하는 신호처리 기술 등이 필요하다. 최근에는 개개의 환경센서에서 얻어지는 신호들을 무선으로 중앙에서 전송받아 관리하는 네트워크 개념의 환경모니터링 시스템 개발 기술이 진행되고 있으며, 무선 데이터 전송기술의 발전에 따라 무선랜(wireless Local Area Network WLAN) 혹은 무선 개인통신망(Wireless Personal Area Network WPAN)을 기반으로 근거리 무선통신기술을 도입하여 센서 네트워크 기술을 연구를 진행하고 있다.

환경센서 연구는 새로운 대상에 대한 측정이 가능한 원천기술 개발과 실제 현장에서 제기되는 문제점을 해결하고, 실제 환경모니터링이 가능한 네트워크 시스템 개발에 초점을 맞추고 있다. 환경센서 기술 개발을 위해서는 다음과 같은 문제제기가 지속적으로 필요한 사항이다.

첫째, 어떻게 하면 원하는 대상물질 측정을 가능케 할 수 있을 것인가? 둘째, 어떻게 하면 복잡한 시료 매트릭스 내에서 원하는 물질만을 정확하게 찾아내도록 할 수 있을 것인가? 셋째, 어떻게 하면 전처리를 최소화하고 바로 측정을 하도록 할 것인가?

위와 같은 문제제기에서 연구를 시작하여 선택과 집중을 거쳐 환경센서 개발 연구를 효율적으로 진행할 필요가 있다.

환경센서 요소기술 연구에 있어 리셉터 연구부터 센서 신호처리 연구까지 포괄적으로 진행하는 연구 그룹은 많지 않다. 이는 환경센서 요소기술의 통합이 상대적으로 쉽지 않다는 것을 반증한다.

국내에서는 KIST와 고려대에서 미생물, 환경유해물질을 선택적으로 인지할 수 있는 핵산 기반의 리셉터 개발을 진행 중이며, 서

강대에서는 제올라이트 막을 이용한 분자체 개발 연구를 수행하고 있다. 환경칩 분야는 한국생명공학연구원, 서강대 등에서 표면플라즈몬 공명법을 기반으로 단백질, DNA와 같은 생체 재료를 활용한 환경칩 연구가 진행되고 있다.

그러나 센서 네트워크 기술은 네트워크 기술 인프라가 충분함에도 불구하고 하드웨어와 기본 운영체제 소프트웨어의 대부분을 해외에 의존하고 있다.

국내 환경센서 기술의 경쟁력은 핵심기술의 수준이 선진국에 비해 취약하기 때문에 낮다. 더불어 국내시장 규모도 미비하다. 따라서 기술 경쟁력 강화를 위한 정부 R&D 투자는 특정 오염원을 대상으로 한 측정원천기술 개발과 실제 환경에 적용하여 상용화 할 수 있는 원천 기술을 확보하여 신규 유해물질 센서시스템 분야에서 기술 선점을 통해 시장성과 기술력을 확대 성장시킬 수 있는 방향으로 진행되어야 한다.

세계 환경센서 시장 점유율 26%로 지속적인 성장 예상, 상대적으로 국내시장 규모 미비

미국 환경컨설팅 회사인 EBI사(Environmental Business International)와 환경산업 수출을 촉진하기 위해 설립된 영국 정부 기관 JEMU(Joint Environmental Markets Unit)는 환경산업을 크게 <표 2-43>과 같이 11가지 항목으로 분류하고 있어, 환경 측정 및 분석 장비 분야를 중요 분야로 인식하고 있다.

| <표 2-43> 영국 정부 기관 JEMU 환경 산업 분류표 |

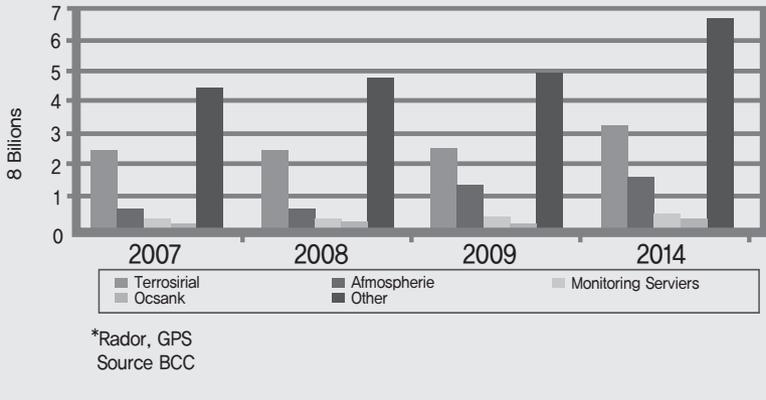
1. 대기오염제어	2. 수처리 및 폐수처리	3. 폐기물관리
4. 토양오염복원	5. 환경 컨설팅 서비스	6. 환경측정 및 분석 장비
7. 에너지 관리	8. 신재생 에너지	9. 소음/진동제어
10. 청정기술 및 공정	11. 해양오염제어	

2008년 세계 환경측정 및 분석 장비 시장은 91억 달러였으며, 2014년까지 130억 달러로 성장할 것으로 예측되고 있다<표2-44>. 이 중 테러 관련 센서 및 모니터링 관련 시장이 2014년까지 34억 달러로 성장할 것으로 예측되며 환경센서 관련 점유율은 약 26% 를 차지하여 향후 지속적으로 성장할 것으로 예상된다. 한편 Global Industry Analysis는 환경센서를 포함한 화학센서 시장이 2015년 까지 173억 달러까지 성장할 것으로 전망하고 있다.

화학센서 국내 시장은 2006년 5,000억 원에서 2012년 7,000억 원 정도로 예측이 되며 이중 환경모니터링과 관련된 환경센서의 비중은 약 10% 정도로 추산된다. 국내에서 환경센서의 수요는 규제 관리를 담당하고 있는 정부 및 지자체의 관련 부처 그리고 규제관리를 받고 있는 기업 등으로 수요가 많지 않다.

정부와 지자체의 경우 적극적 자세로 환경오염을 측정하고 감시하려 하지만 규제관리를 받는 기업은 소극적일 수밖에 없는 상황으로 환경센서 산업 저변 확대에 제약이 많고 결국 정부의 환경 관리 정책의 방향에 따라 그 수요가 결정되고 있다.

| <표 2-44> 세계 환경센서 및 모니터링 시장 성장 분석¹³⁰⁾ |
 SUMMART PRILHI
 GLOBAL ENVIRONMENTAL SENSOR AND MONITORING BUSINESS BY MARKET
 CATEGORY 2007-2014
 (\$ BILLIONS)



KIST는 환경센서 기술개발을 위해 다양한 센서 기술 분야에 적용 가능한 원천 기술, 센서 소재 기술, 센서 리셉터 기술, 센서 시스템 기술 등의 연구를 진행하고 있다. 2012년에 KIST는 조직 개편을 통해 환경복지연구단, 물자원순환연구단, 센서시스템연구센터 등 환경연구와 센서연구를 전문적으로 수행하는 조직을 신설하여 최상의 연구 환경을 조성하였다. 더불어 그간 KIST가 축적해온 센서시스템 기술을 기반으로 측정 대상에 특화된 콘텐츠 중심의 센서 원천기술과 융합 개발하여 다양한 환경오염원을 진단할 수 있는 핵심원천기술을 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

130) Environmental Sensing and Monitoring Technologies : Global Markets-
 Report code: IAS030A

● 향후 수질자원 보호를 위해 전국 주요 상수원과 하천 등의 수질 상태를 연속적으로 자동 측정하고, 오염원의 유입을 상시 감시함으로써 수질오염사고에 신속히 대처하기위한 수질자동측정망 기술의 중요성이 증대하고 있다. 또한 센서로부터 수집된 다양한 정보의 실시간 모니터링을 위해 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network, USN¹³¹) 등 관련 IT 기술과 융합도 필요하므로, 향후 정부의 녹색성장 기조에 맞춘 환경센서 관련 시장규모가 확대 될 것으로 전망된다.

● 환경센서 기술은 향후 예상되는 시장규모나 기술파급효과를 고려할 때, 국가적 차원에서 중점적으로 개발해야할 기술이다. 그러나 환경센서 기술을 개발하여 실제 현장에 적용하여 상용화하기까지는 여러 장애요인들이 있다.

● 산업적으로 센서 원천기술은 다양한 분야로 적용이 가능하기 때문에 전체 관점에서는 꼭 환경을 대상으로 하는 센서뿐만이 아니라 다양한 센서 관련 연구과제가 기획되고 세부 항목으로 환경센서 기술 분야가 중점적으로 확대 될 수 있는 환경을 조성하는 것이 바람직하다.

131) 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network, USN) : 각종 센서에서 감지한 정보를 무선으로 수집할 수 있도록 구성한 네트워크

하수 중 유가자원 회수기술



지구에서 인류가 생활 및 산업에 사용할 수 있는 담수는 전체 물 중에 0.007% 에 불과한데, 이 물들도 일부 지역에 집중되어 물 부족 현상을 심화시키고 있다. UN 조사에 의하면 20년 후에는 세계 인구의 3분의 2는 물 부족 현상에 따른 스트레스(Water Stress) 속에서 살게 될 것으로 전망되고 있다.

우리나라도 수자원 부족에 있어 예외가 아니며, 더불어 에너지 원 부족에 따른 어려움도 있다. 최근 중동 산유국들의 정치적 불안 요소로 시장의 불안정성이 증대되고, 러시아, 베네수엘라 등 자원 보유국들의 석유와 가스에 대한 국가 통제권 강화로 고유가가 지속되고 있다.

우리나라에서 하수도 사업은 시설확충과 함께 처리효율을 높이기 위한 신기술 도입에 집중하였으나, 에너지 효율성에 대한 고려가

미흡하였다. 따라서 정부는 하수처리시설¹³²⁾을 에너지 소비 시설에서 재생산 시설로 전환하려 노력하고 있다. 이러한 배경으로 하수처리 시스템의 에너지 자립도를 향상하기 위한 연구개발이 최근 진행되고 있는데, 특히 미래지향형 하수처리기술은 하수중의 유용자원을 회수하고, 처리과정에서 발생하는 부산물을 이용하여 에너지 사용의 효율화를 추구하는 기술이다. 이 분야는 환경공학(Environmental Technology, ET)과 나노기술(Nano-Technology, NT), 생명공학(Bio-Technology, BT), 정보기술(Information Technology, IT)등 다양한 기술들을 융합하여, 기술개발의 파급효과가 크다.

에너지 활용과 오염방지를 위한 바이오 가스, 미세조류, 인 회수 활용 기술 개발

하수처리장에서의 생물학적 하수처리를 통해 대량의 바이오매스가 발생된다. 일반적인 활성슬러지 공법¹³³⁾을 통한 하수처리과정에서는 하수가 처리될수록 미생물이 성장하고 그 양이 증가하는데, 성장한 미생물은 주기적으로 제거되어야 한다. 이러한 미생물 폐기물을 하수 슬러지라 하며, 이는 에너지를 회수 할 수 있는 바이오매스의 한 종류이다. 최근에는 미세조류를 이용하여 유용물질을 생산하고 이산화탄소 저감 및 바이오에너지 생산을 목적으로 하는 연구

132) 하수처리시설은 하수의 수집·처리과정에서 다량의 에너지를 소비한다. 이때 사용되는 전력은 연간 총전력 사용량의 0.5%를 차지하나, 공공하수처리시설에서 생산되는 신재생 에너지와 에너지 절감 비율은 총 전력생산 에너지 사용량의 0.8%에 불과하다.

133) 미생물을 하수와 함께 섞고 산소 공급을 통해 미생물의 성장과 활성을 촉진하는 방식의 공법이다.

들이 수행되고 있다. 특히 하수처리 과정에서 질소와 인을 제거하며 동시에 에너지원으로 활용하기 위한 기술에 미세조류를 활용하고 있다. 우리나라의 하수관련 미세조류 생산기술은 기초기술 연구에서 응용단계로 전환되고 있는 중이나 기존의 연구들이 이산화탄소 저감 및 유용 물질의 생산에 초점이 맞춰진 기초 단계에 머물고 있다. 그러나 미국은 바이오에너지의 원료가 가능한 3,000 종의 균주를 발굴하고 대량 배양방법을 연구하고 있으며, 독일, 이탈리아, 일본 등이 조류배양연구를 선도하고 있다.

미세조류¹³⁴⁾는 광합성을 통해 이산화탄소를 빛에너지와 함께 유기물로 합성하고, 에너지로 사용된 후에는 다시 이산화탄소로 환원되어 공기 중 이산화탄소 농도를 증가시키지 않는 친환경 에너지이다. 따라서 빛을 효율적이고 균등하게 공급하는 기술과 낮은 온도에서도 성장할 수 있는 기술 개발이 필요하다. 특히 미세조류를 이용해 식물성 오일, 동물성 유지, 폐식용유에서 추출한 바이오디젤(Green Gold)은 지방산 메틸에테르 순도가 95% 이상이다. 미세조류의 단위 면적당 바이오디젤 생산(oil 함량이 30%인 경우)은 약 58,700 L/ha 로 대두의 446 L/ha 에 비해 130배에 달한다.¹³⁵⁾

134) 미세조류는 특정 배양 조건에 따라 지질을 과다하게 함유하는데, 이를 에너지로 사용하는 것이다. 특히 하수는 미세조류가 성장하기 좋은 곳이지만 이산화탄소가 부족하여 인위적으로 발전소의 연소가스를 이용한 이산화탄소 공급기술 연구가 진행되고 있다.

135) 미세조류를 이용한 바이오연료 생산기술에 대한 연구개발과 벤처기업에 대한 투자가 크게 증가하고 있다. 대표적 기업으로 SOLIX, GreenFuel, Cyanotech 등이 있으며, 이밖에도 많은 벤처기업들이 창업되고 있다. 예로 미국에 Greenfuel Technologies사는 발전소의 배출가스를 회수 농축한 후 비닐로 제작된 관상 광생물 반응기에서 미세조류 배양에 사용하여 바이오디젤, 바이오에탄올, 바이오수소를 생산하고 있으며, 대단위 규모의 광생물 반응기를 개발 중에 있다.

하수처리시설에서 미세조류는 질소와 인 성분을 소모하며 자라기 때문에 하수처리 공정에 활용, 하수 처리와 에너지 생산을 동시에 할 수 있는 장점이 있다. 특히 인은 비료, 금속표면처리 등의 세정제를 비롯해 용도가 다양하고 중요성이 높는데 비해 세계적으로 공급량이 부족하다.¹³⁶⁾ 따라서 인을 하수처리 과정에서 단순 제거하기 보다는 회수하여 자원화하여 사용할 수 있는 기술¹³⁷⁾의 필요성이 부각되고 있다. 선진국은 인 부족문제 해결을 위해 하수에서 인을 회수하고 재활용하는 방법을 연구하고 있으며, 특히 일본은 마그네슘과 암모늄을 함유한 인산염을 이용해 일명 마그암모포스(Magnesium Ammonium Phosphate, MAP)라 불리는 형태로 인을 회수하여, 마그암모포스를 비료로 활용하는 방법을 연구하고 있다. 우리나라의 인 회수를 위한 연구는 시작단계에 있다. 우리나라에서 인 회수를 위한 가장 유력한 기술은 흡착법으로 스트루바이트라는 광물 생성을 통해 인을 회수하는 기술로 경제적이며 실용 가능한 기술이다. 그러나 흡착법은 하수에서 낮은 인의 농도에 따른 공정 효율성의 극복과 하수 내에서 인을 선택적으로 흡착할 수 있는 방안의 연구가 필요하며 현재 진행 중이다. 이러한 연구는 고효율, 고선택성 인 이온 교환 소재와 같은 환경 소재 연구를 통해 해결될 수 있다. 환경소재의 흡착기작을 통한 기술은 나노/소재 기술의 발전과 함께 원천기술

136) 미국은 자국 내의 매장량 감소와 수요에 대한 공급량 부족을 이유로 향후 5년 이내에 인광석 수출을 완전 금지시킬 움직임을 보이고 있다. 특히 우리나라는 비료산업의 주요 원료로 인광석을 매년 약 160만 톤을 전량 해외에서 수입에 의존하고 있다.

137) 현재 하수처리장에서는 인을 제거하는 물리화학적, 생물학적 처리기술이 개발되었으나, 활성슬러지 공정의 경우, 미생물의 낮은 인 섭취로 인해 처리효율에는 한계가 있다.

개발이 활발하게 진행되고 있다.

2012년 이후 하수슬러지의 해양투기 및 토지 살포가 금지됨에 따라 하수슬러지 처리 기술의 필요성이 부각되고 있다. 이에 정부는 폐자원 및 바이오매스 에너지화 대책(2008)을 통해 2020년까지의 장기계획을 수립하였다. 하수슬러지 바이오 가스화 기술은 효과적으로 유기물을 분해하여 바이오매스를 바이오가스로 전환하고, 메탄생성 관련 미생물들의 활성이 유지되도록 운영하는 기술이다. 안정적인 바이오가스 생산기술을 위해서는 혐기성 산발효 및 메탄 생성 세균의 실시간 탐지, 정량, 공정응용을 할 수 있는 기술개발이 필요하다. 처리대상 유기물 성상 및 투입량의 변화에 따라 미생물의 활성이 크게 달라지고, 이에 따라 공정운영 전략도 바뀌어야 하는데 미생물의 군집 및 개체 수 정보를 제공하는 시스템 개발이 필요하다. 또한, 유입 물질의 추가적인 에너지 전환 및 특화된 미생물 제제 제조 및 응용기술 확보가 요구된다. 그러나 우리나라는 1990년대 중반부터 혐기성 소화를 통한 슬러지 바이오매스 자원화에 대한 연구를 시작하였고, 2004년 이후 실제 하수처리과정에 적용하였으나, 선진국에 비해 큰 기술격차를 보이고 있다. 유럽의 혐기성 소화 기술은 1980년대부터 개발이 시작되어, 현재에는 고온 건식 단상 횡형 혐기성 소화공법(Kompogas-스위스), 건식 단상 혐기성 소화 공법(Dranco-벨기에), 습식 건식 유기성 폐기물 소화 공법(Linde-KCA-독일) 등 다수의 상용 공정이 운영되고 있다. 혐기성 소화 기술은 단위 부피 당 매탄 수율이 높고 부산물 발생을 최소화할 수 있어 국내의 수요가 크나, 국내 기술 수준이 크게 미흡하여 해외 기술 수입이 지속되고 있다.

2020년까지 20%로 신재생 에너지 사용의 확대와 이를 위한 정책적 지원과 시장 성장

석탄연료의 고갈과 원유 가격의 지속적인 상승으로 에너지 시장의 불안정성이 심화되면서 대체에너지인 바이오가스의 시장이 확대되어가고 있다. 이에 유럽연합, 일본, 미국 등 선진국들을 중심으로 2020년과 2050년까지의 온실가스 감축 목표를 설정하고, 저탄소 에너지 공급 시스템구축을 위한 신재생에너지 비중의 점진적 확대를 추진하고 있다.

미국은 2009년 6월 온실가스 배출을 규제하는 ‘미국 청정에너지와 보호에 관한 법률’¹³⁸⁾을 하원에서 통과시켰다. 유럽연합은 2008년 기준으로 총 에너지 공급량 1,728M TOE¹³⁹⁾의 6.5%를 신재생에너지에 의존하고 있으며, 이중 폐기물은 10.6%, 바이오에너지가 57.3%를 차지하고 있다.

또한 바이오에너지 생산 확대로 신재생에너지 보급률을 2010년까지 12%, 2020년까지 20% 달성을 목표로 하고 있다. 특히 신재생에너지 중 유기성 폐기물의 바이오에너지화는 실용화의 용이성, 원료(폐기물)의 풍부성, 환경문제의 해결이라는 많은 장점으로 인해 세계 각국에서 연구가 진행되고 있다.

국제 에너지 기구(International Energy Agency IEA)에 의하

138) 이 법률은 2020년까지 국가 총 전력 요구량의 12%를 신재생에너지로 공급하고 에너지효율을 8% 향상 시킨다는 것이다. 2008년 기준으로 미국의 신재생에너지 공급비중은 전체의 약 5.3%이며, 이 중 폐기물은 7.8%, 바이오에너지가 61%를 차지한다.

139) TOE(Ton of Oil Equivalent) : 지구상에 존재하는 모든 에너지원의 발열량에 기초해서 이를 석유의 발열량으로 환산한 것으로 석유환산톤을 말한다.

면 세계 바이오연료 수요는 2006년에서 2030년 사이 연평균 6.8%의 성장이 예상된다. 2015년에는 2006년 대비 수요 규모가 3배로 확대될 것이며, 2030년경에는 3세대 조류 바이오 연료의 기술적 잠재성과 경제적 성공가능성을 예측하고 있다.

특히 조류 바이오연료는 기업들의 상용화 움직임에 따라 빠른 속도로 성장하며 바이오연료 시장에서 영향력을 지속적으로 확대해갈 것으로 보인다. 수송용 연료에서 바이오연료가 차지하는 비중은, 2007년에 약 2%에 불과했지만, 2030년에는 9.3%를 차지할 것으로 예측하고 있다.

바이오연료 시장의 성장의 가장 큰 동력은 각국의 정부 정책 때문이다. 미국은 2022년까지 수송용 연료에 바이오 에탄올을 20%까지 혼합할 계획을 갖고 있으며, 유럽과 중국도 2020년까지 수송용 연료의 10%를 바이오 연료로 사용하겠다는 정책을 발표하였다. 이산화탄소 감축을 위한 각국의 노력이 본격화됨에 따라 바이오 연료의 중요성은 증가할 것이다.

우리나라는 '신재생에너지 R&D 전략 2030 보고서'에서 바이오디젤 보급량이 2007년 10만 kl에서 2012년 60만 kl로 증가할 것으로 예상하였다. 2007년 국내에 등록된 바이오디젤 생산업체는 15개사이고, 바이오디젤 총 생산량은 531,520 톤(Metric Ton, MT)이었다. 2010년 국내 바이오연료 시장은 바이오디젤만이 경유 혼합 비율 2%로 사용되었다. 우리나라에서 사용되는 바이오디젤 원료는 대부분 수입에 의존하고 있어 지속 가능성에 문제점이 있다.

원료 확보의 어려움은 1세대 뿐만 아니라 폐목재나 바이오 폐

기물을 이용하는 2세대 바이오연료도 동일하게 직면한 문제이다. 이런 상황에서 3세대 조류 바이오연료¹⁴⁰⁾의 등장은 장기적으로 위와 같은 문제들을 해결해 줄 것으로 기대된다.

세계적으로 인광석 관련 산업은 성장추세이다. 모로코는 세계 인광석 매장량의 75%를 보유하고 있고, 연간 채광규모는 약 2,300만 톤으로 국영기업인 OCP사가 개발을 전담하여 인광석 가공 산업을 확대하기 위한 해외투자유치를 추진하고 있다. 모로코는 2020년까지 인광석 채굴 및 가공 설비를 현재 대비 2배 증설한다는 계획을 수립하였다.¹⁴¹⁾ 2009년도에 정채되었던 세계 인광석 및 가공품 수요는 2010년에 회복되었고 향후 증가가 예상되고 있다.

우리나라는 하수처리장에서 회수된 인의 수요처가 국내 비료업체이며 국내에 약 10개 내외의 제조 기업이 시장을 형성하고 있다. 농업용과 수출용이 전체 비료의 74%를 차지하고 있으며, 연도별 출하 실적의 차이는 있으나 평균적으로 400만 톤 수준으로 파악되고 있다. 비료산업은 내수 판매에 집중되어 있고, 원재료의 수입 의존도가 높아 환율과 유가변동에 큰 영향을 받는다. 이에 하수처리장의 인 회수 시스템은 수입의존도를 완화하여 경제성을 높일 수 있을 것으로 전망된다.

140) 한국의 해조류 재배 기술은 세계적인 수준이다. 금호와 SK에너지 등도 조류 바이오 연료 연구에 참여하고 있으며, 바이올시스템즈(株)는 2012년까지 연간 120만 리터의 해조류 바이오 에탄올을 생산하기 위해 전남 고흥에 파일럿 플랜트를 구축 중이다. 또한 한국에너지기술연구원에서는 화력발전소의 이산화탄소와 공장의 폐수를 활용하여 2013년 미세조류 바이오연료의 첫 생산을 목표로 개발 중에 있다. 바이오 디젤 혼합 비율은 정부 정책에 의해 중장기적으로 5%까지 끌어올릴 계획이므로 조류 바이오 연료의 성장 가능성은 지속될 수 있을 것이다.

141) 연간 비료생산량 200만 톤(2010)에서 1,000만 톤(2020), 인산염생산량 2,000만 톤(2010)에서 5,000만 톤(2020)으로 각각 증대한다는 계획이다.

2012년 KIST의 중점 연구 분야는 막 시스템과 결합한 바이오 가스 생산형 혐기성 생물막 기술, 미세조류를 이용한 축산폐수 혐기소화액 처리기술, 나노 소재를 이용한 인 흡착 및 회수 기술이다. 바이오가스 생산은 혐기성 미생물의 활성을 극대화 할 수 있는 보완기술 개발을 진행 중이며, 미세조류 배양 연구는 질소와 인의 농도가 높은 축산폐수를 대상으로 환경부 차세대 에코이노베이션 기술개발사업의 일환으로 진행 중에 있다.¹⁴²⁾ 인 제거 기술도 환경부 과제의 일환으로 나노 소재를 이용한 고효율·고선택성 인 교환 소재 개발을 진행 중이다. 기존에 인 흡착제로 지르코늄 페라이트 원소를 기본으로 한 합성 소재들을 사용했으나, 소재의 파손과 철 이온의 유출 문제 해결을 위해, KIST에서는 알루미늄계, 하이르탈 사이트계 원소 등 보다 범위를 넓혀 이차 오염이 발생하지 않는 무기 원소 전체에 대하여 원천연구를 수행하고 있다. 전국 하수처리장과 축산폐수로부터 회수 가능한 인의 추정 양은 200톤/일 정도이고 이로 인한 수입대체 효과를 기대하고 있다.

142) 기존의 이산화탄소와 광을 이용한 자가영양 배양조류의 문제점으로 지적되어온 광전달 및 광이용 효율을 극복하고자 폐수내 유기물을 이용하는 종속영양배양을 동시에 적용하여 혼합배양 기술을 개발한다.

● 유기성 폐자원에서부터 에너지를 회수하는 기술은 유기물 분해를 돕는 전처리기술과 바이오가스의 안정적 운영과 고품질화를 중심으로 발전해 나갈 것이다. 특히 환경부의 하수처리시설 에너지 자립화 기본계획에 따라 하수처리 시스템 내의 에너지 회수에 대한 요구가 높아질 것이며, 이러한 수요를 충족하기 위해 국내 엔지니어링 및 건설회사, 환경회사 등의 참여가 높아져 국내기술 수준이 향상될 것이다.

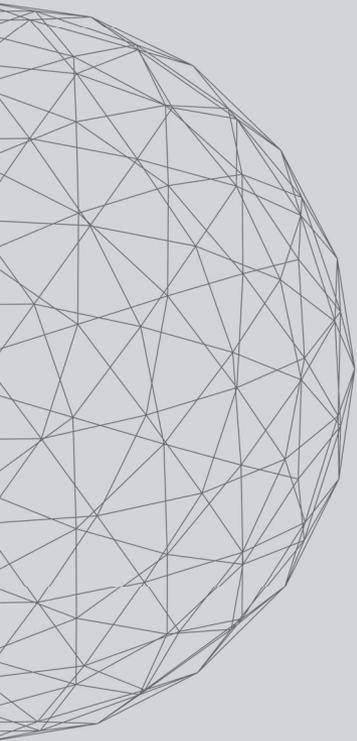
● 바이오가스 생산 기술은 상업화에 접어들었지만, 기술적으로 보완해야 할 점이 많다. 미세조류 배양은 바이오디젤 사업 확장과 국내 곡물 수급 한계로 인해 크게 발전할 것으로 예상된다. 하수처리장에서의 미세조류 배양은 비록 초보 연구단계이지만, 배양기를 통한 미세조류 생산 기술과 바이오디젤 추출 기술이 축적되어 있어, 상용화된다면 재생 에너지 수급증대를 기대할 수 있어 하수처리 시설 에너지 자립화에 기여할 것이다.

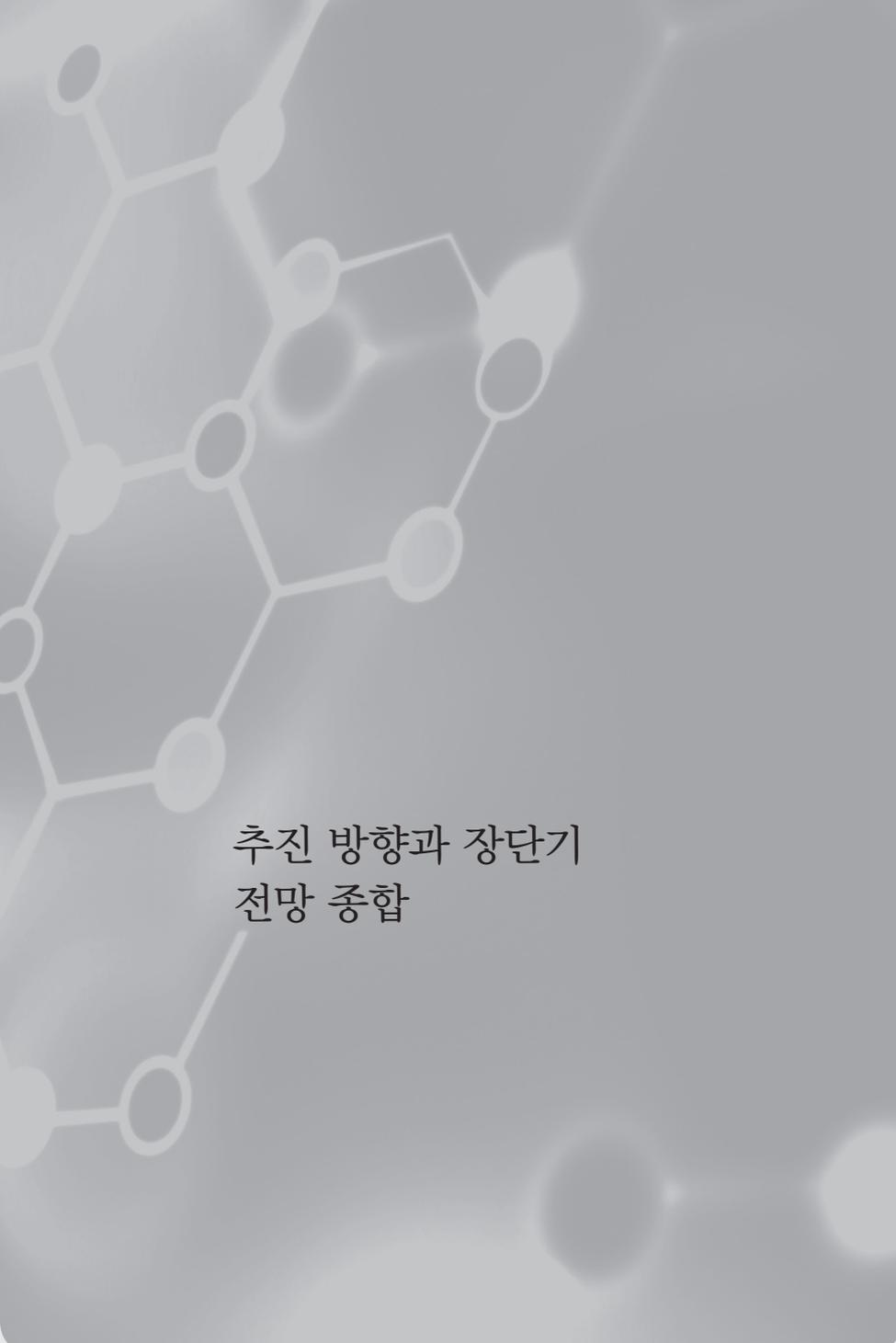
Science Technology

:: PART 3

6대 분야 발전 방향과 접근전략

- 추진방향과 장단기 전망 종합
- 2012년 연구개발의 핵심은 창의성 확보와 융합





추진 방향과 장단기
전망 종합



추진방향과 장단기 전망 종합

미국발 금융위기에서 비롯된 글로벌 경기침체로부터 비교적 빠르게 회복되어 오던 국내외 경제는 2011년 중반부터 뚜렷한 경기 둔화 추이를 나타내고 있다. 이 같은 회복세 둔화의 가장 큰 원인은 유로경제권을 위시한 선진국들의 재정불안과 경기부진으로, 이들 문제는 기본적으로 단기간내에 해소가 어려운 문제라는 점에서 2012년에도 연중 이어지면서 경기를 위축시키는 요인으로 작용할 가능성이 높다. 이에 따라 2012년에는 세계경제와 국내경제 모두 대체로 부진한 양상을 보일 것으로 예상된다.

세계경제의 경우 무엇보다 유로경제권 재정위기가 가장 큰 걸림돌로 작용하면서 선진국 전반이 부진한 성장에 머물 것으로 전망된다. 유로경제권의 재정위기는 아직도 해결전망이 불투명하고 불확실성이 매우 높은 문제로, 동 위기가 유로경제권의 분할과 같은 파국으로 치달을 경우에는 2008년, 2009년과 비슷한 전세계적인 경기급락을 가져올 가능성도 배제할 수 없다. 중국 등 신흥경제권은 선진국들에 비해 상대적으로 높은 성장세를 이어가겠지만 이들 역시 2011년에 비해서는 성장 둔화 추이를 보일 것으로 예상된다.¹⁴³⁾

한편 국내경제도 이 같은 세계경제의 성장둔화와 불확실성의 영향으로 2012년에 낮은 성장이 불가피할 것으로 보인다. 세계경제가 IMF의 최근 전망과 비슷한 정도의 성장을 보이고 국제유가가 안정적인 추이를 보이는 경우를 전제로 할 때, 한국경제는 2012년에 3% 대 중반 정도의 성장을 보일 것으로 예상된다. 이는 4% 대 초반으로 추정되는 한국경제의 장기 추세성장률을 상당 정도 하회하는 수준이다. 무엇보다 세계경제의 둔화를 반영하여 수출증가세가 전년 대비 크게 낮아질 것으로 보이고, 유로권 위기 등에서 비롯한 높은 불확실성으로 투자도 대체로 부진할 것으로 예상된다. 수출은 2011년에 20% 가까운 높은 증가(경상달러, 통관 기준)를 보였으나 2012년에는 한자리 수 증가율로 둔화될 것으로 보이고 수입도 비슷한 증가세 둔화추이를 보일 것으로 전망된다.

산업별로는 주력 제조업의 경우 전반적으로 생산 및 수출증가

143) 참고로 IMF는 2012년 1월에 발표한 세계경제 전망에서 2012년 세계경제 성장률을 전년 9월에 발표한 전망치보다 0.7% 하향조정된 3.3%로 전망하고 있다.

세가 전년에 비해 둔화되는 가운데, IT제조업이 좀 더 부진하고 비 IT 전통제조업이 상대적으로 호조를 보일 전망이다. 이는 전년부터 이어지고 있는 양상으로 글로벌 IT 경기순환의 영향에 주로 기인하는 것이라 볼 수 있다.

대외부문 악화 시 선제적 대응에 주력

2012년 국내경제의 가장 큰 변수는 대외부문의 불안, 그중에서도 특히 유로 위기의 전개추이가 될 것으로 보인다. 그 외에 최근 뚜렷한 성장둔화 추이를 보이고 있는 중국의 경착륙 여부, 한반도의 지정학적 요인에 따른 유가불안 등도 주의해야 할 대외불안요소이다. 국내적인 변수로는 이미 높은 수준에 달한 가계부채 문제를 경계할 필요가 있다.

2012년에는 국내외 경제가 전반적으로 부진하고 불확실성이 높을 것으로 보인다는 점에서, 경기회복세를 유지하는 것이 가장 주된 과제가 될 것으로 보인다. 특히 대외부문의 불확실성이 높다는 점에서 유로권역을 위시한 해외 경기 추이를 면밀히 모니터링하면서 상황 악화 시 선제적인 대응을 위한 대비가 필요하다. 아울러 가계부채 문제나 일자리 문제, 부문간 계층간 양극화 등 내부적인 문제를 해결하기 위한 지속적인 노력을 병행해 나가야 할 것이다.

향후 국내외의 환경은 에너지자원 확보 및 환경문제 해결, 지식기반 사회로의 진전, 글로벌화, 과학기술의 융합 가속화, 사이버 공간에서의 안전성 확보, 새로운 안보 이슈 등이 주요 사회적 이슈로 부각될 것이다. 이러한 사회적 이슈를 해결해 나가면서 우리 모두가 건강하고 편리하고 풍요롭고 지속가능한 삶을 살아가는데 필

요한 6대 분야 25개 중점 기술에 대한 수준과 전망 향후 해결해 나가야할 장애요인들을 살펴보았다.

이 6대분야는 대부분 짧은 연구개발 기간에도 불구하고 나름대로 활발히 연구되어 일부 분야는 이미 세계수준에 도달하였고, 일부분야는 선두권 다툼을 벌이고 있는 것으로 평가된다. 그리고 이들 분야는 미래에 우리 생활 곳곳에서 적용될 것이 분명해 보인다.

나노소자 분야는 기존의 실리콘 기반의 반도체를 넘어선 차세대 전자 소자 개발을 위해 2012년에는 기존 실리콘 기반 기술에 산화물 재료를 융합한 형태의 연구가 진행되고, 장기적으로는 스핀트론릭스 및 탄소소재 기반 소자 연구가 진행될 것으로 보인다.

컴퓨터 기반기술 분야는 정보통신서비스 등 관련 분야가 급격히 발달하고 있는 현 시점에서, 2012년에는 휴대형 정보기기와 무선 인터넷 기능의 접목으로 다양한 멀티미디어 기능이 융합된 기기의 소형화, 무선화, 저전력화를 위한 플랫폼 기술 연구가 진행될 것이며, 장기적으로는 인간의 오감정보처리와 사용자 편의성 향상을 위한 사용자 인터페이스 기술이 연구될 것으로 전망된다.

마이크로시스템 분야는 혈압, 혈당 등을 지속적으로 측정하는 진단시스템 개발을 위한 저전력화, 소형화, 고감도, 다중분석용 시스템 등에 대한 연구가 진행될 것이다.

바이오 분야는 생명공학과 의료기술이 함께 발전하고 융합되면서 현재 불특정 다수를 겨냥한 의약이 개개인의 유전적, 대사적 특성이 반영된 개인맞춤형 의약으로 대체되도록 치료효과의 향상과 약물의 부작용을 최소화하기 위한 연구가 수행될 것으로 전망된다.

에너지 분야는 주로 고성능화, 장수명화, 저비용 소재(연료/이

차/태양전지)에 대한 연구가, 환경분야에서는 물재이용을 위한 분리막 (나노/바이오)소재 기술, 유기성 폐자원에서 에너지 및 유가자원 회수기술 등 저탄소기술 관련 연구가 진행될 것으로 전망된다.

〈표 3-1〉

〈표 3-1〉 분야별 장단기 기술전망		
분야	장기전망	2012전망
나노소재 - 스피너 - 탄소소재 - 광소재 - 산화물소재	- 기존의 실리콘기반의 반도체를 넘어선 차세대 전자 소재 개발	
컴퓨터와 인간생활 (Human-Computer Interaction) - 가상현실(3차원의 실감미디어)의 실생활 활용 - 오감을 이용한 인간과 컴퓨터 간 교류 - 교육, 생활지원 인간형 로봇 - 컴퓨터를 활용한 의료기술 - IT 기반 재활 및 보조기기 기술	- 인간의 오감정보처리 및 사용자 인터페이스 기술 개발	
마이크로 시스템 - 착용형/이식형 MEMS 시스템 기술 - Microfluidics and Cell based Assay 시스템 기술 - MEMS 기반 바이오센서 및 진단시스템 기술 - 마이크로로봇 기술	- 건강상태 측정 진단시스템의 저전력화, 소형화, 고감도, 다중분석 기술 개발	
생리활성 물질 - 표적 항암제 개발 - 퇴행성 뇌질환 치료제 개발 - 테라그노시스 기술 개발 - 오믹스 기반에 의한 진단 기술 개발	- 개인의 유전적, 대사적 특성이 반영된 개인 맞춤형 의약기술 개발	
에너지 - 연료전지 - 이차전지 - 태양전지 - 바이오연료	- 핵심소재의 고성능화, 장수명화, 저비용화 기술개발	
환경 - 물 재이용 - 기후변화 대응 CO2 - 환경센서 기술 - 하수 중 유가자원 회수기술	- 분리막 소재기술, 유기성 폐자원에서 에너지 및 유가자원 회수기술 개발	

2012년 연구개발의 핵심은 창의성 확보와 융합



우리나라는 과거 선진기술을 모방하는 “추격형” 접근전략으로 과학기술 발전과 경제성장을 이루어 왔으나, 이제 원천기술 개발력 없이는 발전과 성장을 추구해 나갈 수 없어 “창조형” 전략으로 전환해 나가야 할 시점에 와 있다. 이를 위해서는 창조적인 기초연구 추진, 창의적인 인재양성, 융복합연구에 역량을 모아나아가야 한다.

KIST가 1960년~1970년대에 우리나라 과학기술연구의 새로운 모멘텀을 제공하고, 1980년대 이후 연구성과의 실용화 촉진 모멘텀을 제공했듯이 이제는 미래 과학기술연구의 모멘텀을 마련해나가야 한다. 세계적인 과학강국들이 세계 첨단 사업을 주도할 수 있

있던 것은 기초연구의 중요성을 인식한 것 뿐만 아니라 기초연구를 종합적으로 추진하는 세계적 수준의 연구소가 뒷받침 되었기 때문이다. 또 미국의 로렌스 버클리 국립연구소, 일본의 이화학연구소, 프랑스의 국립과학연구원, 독일의 막스 플랑크 연구소 등에서 보듯이 우수 인재들이 개방적이고 자율적인 창의적 연구 환경속에서 창의적 연구를 마음껏 수행해 왔기 때문이다.

우수 과학기술인재 양성하기 위해서는 개인의 창의성과 조직 창의성이 육성되도록 추진해 나갈 필요가 있다. 이를 위해서는 1) 신진 연구자의 연구 활성화, 2) 연구조직간 개방형 체제 및 글로벌 네트워킹 활성화, 3) 창의적 연구조직이 육성 되도록 해나가야 한다. 다시말해, R&D 사업을 추진할 때에는 인력양성을 염두에 두고 연구를 기획해 나가고, 글로벌 네트워크를 통해 해외 우수 연구자와 공동연구를 추진토록 하며, 연구를 선점해 나가도록 대형 연구장비를 확충해주고, 이를 토대로 공동 연구가 이루어지도록 해나갈 필요가 있다. 특히 성실한 실패를 인정하는 분위기가 조성되어야 창의성이 살아난다는 사실을 잊어서는 안된다.

연구조직은 유연하고, 서로 다른 배경을 지닌 연구자들이 창의성을 최대한 발휘하고 원활히 의사소통을 할 수 있도록 연구문화를 조성해주어야 한다. 의사결정구조가 기계적이고 관료적인 계층구조보다는 유기적이면서 수평적인 형태가 바람직한 것으로 보인다.

우리사회를 선도하고 혁신을 리드하는 속내용을 들여다 보면, 기술이 타기술과 융합하거나 과학기술이 국방, 경제, 문화, 예술, 외교 등과 융합되어 사회변혁을 견인해 가고 있는 만큼 융합연구를 활성화 시켜 나가야 한다.

융합연구가 강화될 때 기존 과학기술의 영역이 확장되고, 경쟁력을 더 갖추고, 국민의 삶의 질이 크게 향상될 것으로 전망된다. 이제 학연산 협력이 단순한 협력차원을 넘어 공생의 차원으로 인식되고 공학/자연과학/인문학계 간 공동연구가 본격화 되어 우리사회가 활기를 찾아 가도록 해나가야 하겠다.

향후 국내외 환경은 에너지 자원의 확보 및 환경문제의 해결, 지식기반 사회로의 이행, 글로벌화의 진전, 과학기술의 융합 가속화, 사이버공간에서의 안전성 확보 등이 변화의 화두로 부각될 것이다. 이러한 사회적 이슈를 해결해 나가면서 우리 모두가 건강하고 편리하고 풍요롭고 지속가능한 삶을 살아가는데 과학기술의 발전은 중요한 동력이 될 것이다. 이 책에서는 6대 과학기술 분야의 25개 기술을 선정하여 현재 우리의 수준과 향후 전망, 그리고 해결해 나가야 할 장애요인들을 살펴보았다. 이 책이 국가 과학기술의 나침반 역할을 할 수 있는 유용한 지침서가 되기를 기원한다.

ClimatescienceGraphenePhotonOxideVirtualreality
ClimatescienceGraphenePhotonOxideVirtualreality
AnticancerdrugGraphenePhotonOxideVirtualreality
AnticancerdrugGraphenePhotonOxideVirtualreality
SolarcellGraphenePhotonOxideVirtualreality
SolarcellGraphenePhotonOxideVirtualreality
AnticancerdrugGraphenePhotonOxideVirtualreality
AnticancerdrugGraphenePhotonOxideVirtualreality
SolarcellGraphenePhotonOxideVirtualreality
SolarcellGraphenePhotonOxideVirtualreality

