

**미국 과학기술 분야
동향 보고서 (下)**

2011. 8

목차

1. 미국의 연구개발 기술이전 현황	3
2. 미국 중소기업의 연구개발 현황	11
3. 세계 R&D 투자 상위 기업 현황	20
4. AC/DC Power Supply 개발 동향	32
5. 차세대 적층 패키지 기술의 전망	47
6. NSF의 ERC 지원 동향 조사	68
7. NSF의 소기업 혁신 연구프로그램 지원 현황	82
8. Stanford University Center on Nanostructuring for Efficient Energy Conversion (CNEEC)의 연구 목적 및 현황	106
9. 2010 NASA 스핀오프 사례 조사	115

미국 과학기술 분야 동향 보고서 (上)

1. 미국의 연구개발 기술이전 현황

가. 미국 대학기술관리자 협회(AUTM) 개요

AUTM에서는 2010년 12월 「AUTM U.S. Licensing Activity Survey FY 2009」를 발간하였다. 여기에는 미국내 대학, 병원, 연구기관에서의 기술이전 활동에 대한 현황 파악을 위해 1991년 이후로 매년 실시하고 있으며, 지원인력 및 전체 연구개발비, 특히 출원 수, 기술이전 건수 및 수입, 창업 기업 수 등의 정량적인 정보를 제공하고 있다.

※ 미국대학기술관리자협회(AUTM; Association of University Technology Managers)

- 개요 : 미국 대학 연구개발성과의 사업화 추진을 목적으로 1974년 설립된 비영리 단체
- 임무 : 교육과 훈련 및 커뮤니케이션을 통하여 세계적인 대학의 기술을 이전시키도록 지원하는 것
- 주요 활동 : 대학기술이전 관련 정보 제공(관계 법령, 기술이전 및 기술평가 자료 등), 교육 및 네트워킹 프로그램, 실태조사 및 보고서 발간, 전문 학술지 및 성과자료집 발간

본 자료에서는 「AUTM U.S. Licensing Activity Survey FY 2009」 조사결과를 바탕으로 기술이전 지원인력, 연구개발비, 특히 출원, 기술이전 건수 및 수입 현황 등에 대해 정리·분석하였다.

* 현황은 미국내 181개 기관(대학, 병원, 연구기관 등)을 대상으로 정리·분석됨

나. 주요 부문별 현황

1) 기술이전 지원인력(staffing) 현황

2009년 기준 미국 181개 기관의 기술이전 관련 전담인력은 총 1,049.76 FTE로 나타났다. 이는 2008년 1,039.34 FTE에서 다소 증가한 수치로 기관당 평균 5.8 FTEs의 전담인력을 보유하고 있으며, 2000년 이후로 꾸준히 증가하는 추세이다.

또한, 기술이전 조직의 전체 인력은 2009년 2,106.45 FTE로 2008년 대비 14.23 FTE만큼 증가(0.68%p)한 것으로 나타났으며, 대부분 대학, 병원 및 연구기관에서 10 FTEs 미만의 인력이 기술이전 활동을 수행 중으로 나타났다.

[표 1] 미국 기술이전 조직의 인력 추이('00년 ~ '09년)

구분	라이센싱 FTE ¹⁾	기타 FTE ²⁾	전체 FTE
2000	555.52	575.45	1,127.97
2001	627.71	630.76	1,258.47
2002	733.67	717.77	1,451.44
2003	793.75	759.54	1,553.28
2004	832.94	816.99	1,649.93
2005	847.00	848.00	1,695.00
2006	910.70	920.99	1,831.69
2007	967.50	958.40	1,925.90
2008	1,039.34	1,052.88	2,092.22
2009	1,049.76	1,056.69	2,106.45

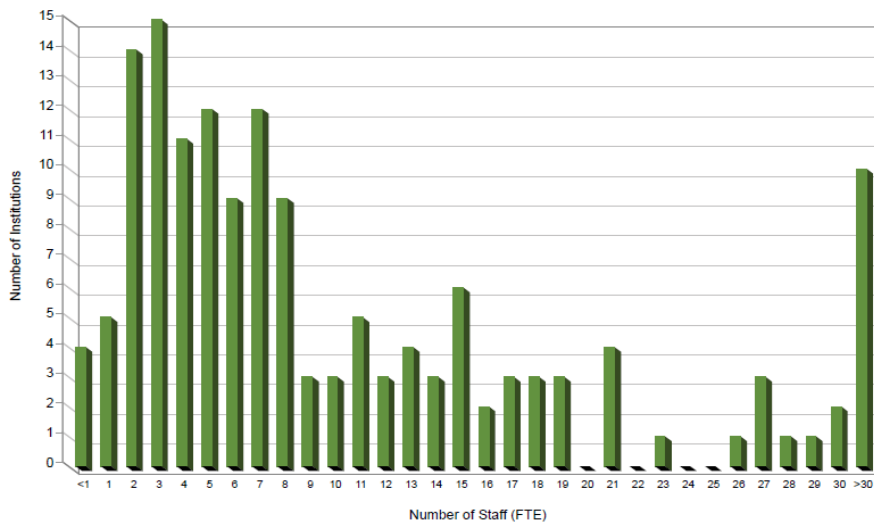
* 주1 : 기술이전조직(technology transfer office)에 고용된 기술이전 전담 인력을 의미함

* 주2 : 기술이전조직(technology transfer office)에 고용된 기타 인력을 의미함

* 주3 : 상근상당인력(FTE : Full-Time Equivalent)은 일정기간 동안 상근으로 근무하는 한 사람을 표시하는 측정단위로
서 겸직연구개발 인력수를 상근상당 연구개발 인력수로 환산하고, 여기에 상근상당 연구개발 인력수를 합한 연구개발
인력수를 의미함

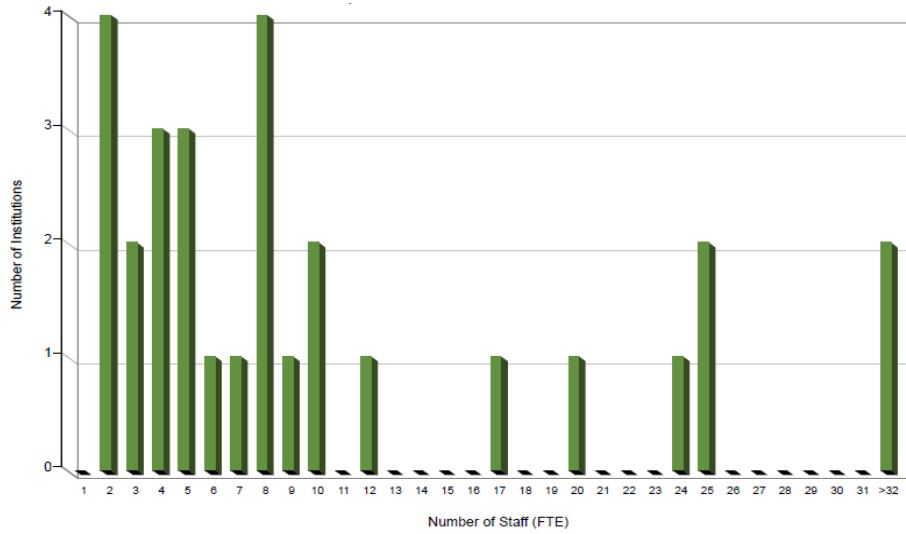
* 자료 : AUTM(2009), U.S. Licensing Activity Survey FY 2009

[그림 1] 미국 대학의 기술이전 전담 인력 현황('09년)



* 자료 : AUTM(2009), U.S. Licensing Activity Survey FY 2009

[그림 2] 미국 병원 및 연구기관의 기술이전 전담 인력 현황('09년)



* 자료 : AUTM(2009), U.S. Licensing Activity Survey FY 2009

※ 미국 기술이전 활동 조사(FY 2009)
 * 조사대상 수 : 322개 기관
 * 조사표 회수기관 수 : 181개 기관(56.2% 응답률; 대학 153개, 병원 및 연구기관 27개, 기술투자기업 1개)
 * 조사시기 : 2010년 5월 5일 ~7월 30일

2) 연구개발비 현황

2009년 기준 181개 기관에서 집행한 연구개발비는 539억 달러로서 이는 2008년 515억 달러와 비교할 때 24억 달러가 증가한 수치이다.

이 중 연방정부로부터의 연구개발비는 327억 달러로 전체 연구개발비의 63%를 차지하고 있으며, 전체 연구개발비의 약 60% 이상을 연방정부로부터 받고 있으나 2006년(68%) 이후로 차지하는 비중은 다소 감소하는 추세로 나타났다.

또한, 기업으로부터의 연구개발비 수준은 '00년 이후 7% 비중을 유지하고 있으며 2009년의 경우 40억 달러를 지원 받는 것으로 나타났다.

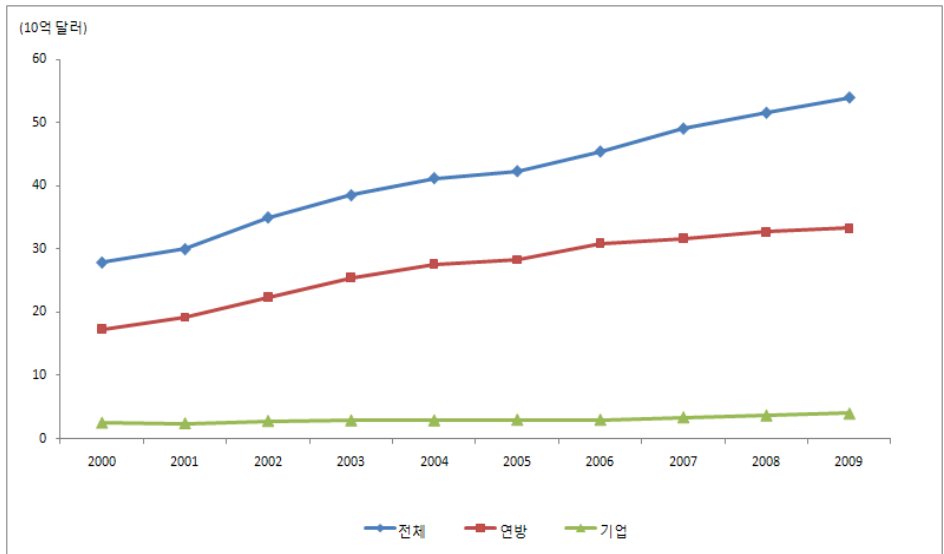
※ 연구개발비는 해당 기관의 전체 연구개발비(직접비 및 간접비 포함)를 의미함

[표 2] 미국 대학, 병원 및 연구기관의 전체 연구개발비 추이('00년 ~ '09년)

구분	전체 연구개발비 (10억 달러)	연방 정부로부터의 연구개발비 (10억 달러)		기업으로부터의 연구개발비 (10억 달러)	
		금액	비중	금액	비중
2000	27.9	17.3	62%	2.5	9%
2001	30	19.2	64%	2.4	8%
2002	35	22.4	64%	2.8	8%
2003	38.5	25.5	66%	2.9	7%
2004	41.2	27.6	67%	2.9	7%
2005	42.3	28.3	67%	3.0	7%
2006	45.4	30.9	68%	3.0	7%
2007	49	31.7	65%	3.4	7%
2008	51.5	32.7	63%	3.7	7%
2009	53.9	33.3	62%	4.0	7%

* 자료 : AUTM(2009), U.S. Licensing Activity Survey FY 2009

[그림 3] 미국 대학, 병원 및 연구기관의 전체 연구개발비 추이('00년 ~ '09년)



* 자료 : AUTM(2009), U.S. Licensing Activity Survey FY 2009

3) 특허 출원 현황

2009년 179개 기관에서 신규 출원된 특허 건수는 총 12,109건으로 2008년 12,194건에 비하여 85건이 감소한 것으로 나타났다.

이는 2009년 전체 미국 특허 출원 건수의 66.5%를 차지하는 규모이다.

또한, 12,109건 중 외국인 출원 비중은 10.9%로서 2008년 848건에서 2009년 1,322건으로 55.9%p 증가한 것으로 나타났다.

※ 전체 조사결과 분석 대상은 181개 기관이나, 특허 출원 관련 질문에 응답한 기관 수는 179개임

[표 3] 특허 출원 추이('00년 ~ '09년)

구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
응답 기관 수	167	170	189	198	192	191	189	179	187	179
신규 특허 출원 수	6,073	6,397	7,319	7,921	10,517	10,270	11,622	11,797	12,194	12,109
전체 미국 특허 출원 수	9,557	10,687	12,222	13,280	13,803	14,757	15,908	17,589	18,949	18,214
외국인 특허 출원 수	N/A	N/A	N/A	N/A	1,277	1,102	1,403	1,070	848	1,322

* 주 : N/A=not available

* 자료 : AUTM(2009), U.S. Licensing Activity Survey FY 2009

4) 기술이전 활동 현황

2009년 181개 기관의 라이선스 및 옵션 체결 수는 총 5,328건으로 2008년에 비해 196건이 증가한 것으로 나타났다

대부분의 라이선스 및 옵션 체결은 대학에서 이루어졌으며 이는 전체 건수의 87.1%인 4,642건을 차지 하는 것으로 나타났다.

또한 병원 및 연구기관, 기술투자기업에서의 라이선스 및 옵션 체결 수는 각각 697건과 7건으로 13.1%와 0.13%를 차지 하는 것으로 나타났다.

[표 4] 라이선스 및 옵션 체결 현황('09년)

구분	응답 기관 수	체결 건수
대학	153	4,624 (86.8%)
병원 및 연구기관	27	697 (13.1%)
기술투자기업	1	7 (0.13%)
전체 응답기관	181	5,328

* 자료 : AUTM(2009), U.S. Licensing Activity Survey FY 2009

179개 기관에서 보고한 바에 따르면, 라이선스로 인한 수입은 2009년 2,326백만 달러인 것으로 나타났다.

2000년 이후 라이선스 수입은 지속적으로 증가세를 보이다 2008년 3,444백만 달러로 최고치를 기록한 후 2009년엔 1,118백만 달러 감소하였다.

라이선스 수입의 대부분은 경상기술료에 의존하고 있으며 특히 2009년에는 전체 라이선스 수입의 70.0%를 차지하는 것으로 나타났다.

[표 6] 전체 라이선스 수입 현황 추이('00년 ~ '09년)

(단위 : 개, 백만달러)

구분	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
응답 기관 수 ¹⁾	167	170	186	194	196	188	187	188	188	179
전체 라이선스 수입	1,301	1,111	1,304	1,419	1,474	2,130	2,173	2,383	3,444	2,326
경상기술료 (running royalty)	733	825	983	1,126	1,122	1,139	1,173	1,938	2,303	1,618
주식 현금 ²⁾ (cash-in equity)	169	104	19	39	29	43	53	46	44.40	24.4
기타 ³⁾	399	182	302	254	323	948	947	399	1096.6	683.6

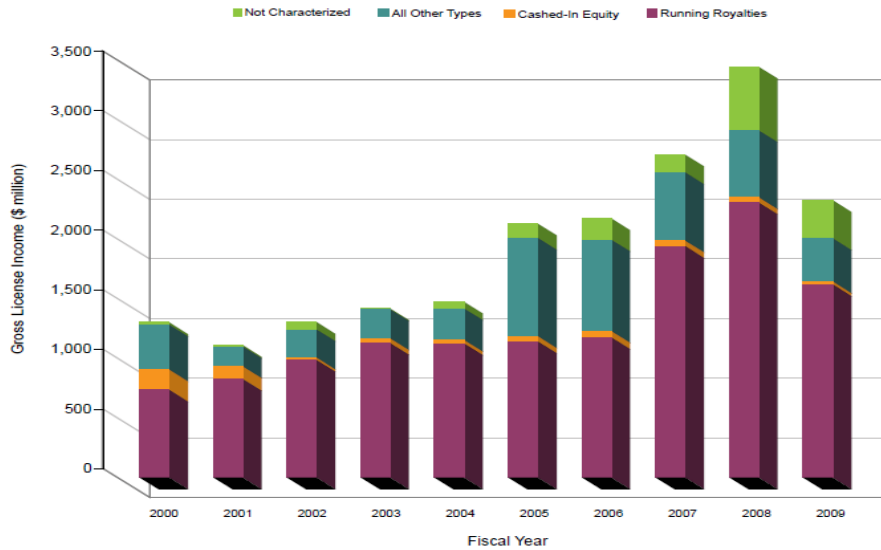
* 주1 : 응답 기관 수는 특허 출원 관련 질문에 응답한 기관 수를 의미함

* 주2 : 라이선스 소유권자가 받은 지분의 판매로부터 얻은 현금을 의미함

* 주3 : 기타에는 선행 수수료, 연간최소로열티, 소송 비용 등 기타의 형태와 달리 분류되지 않는 형태가 포함됨

* 자료 : AUTM(2009), U.S. Licensing Activity Survey FY 2009

[그림 4] 수입원에 따른 라이선스 수입 현황 추이 ('00년 ~ '09년)



* 자료 : AUTM(2009), U.S. Licensing Activity Survey FY 2009

2009년 기술이전 활동을 통해 596개의 기업이 신규 설립되었으나 2008년 595개와 비교할 때 증가세가 주춤한 것으로 나타났다.

창업 기업의 73%가 기술을 이전 받은 대학, 병원, 연구기관 등과 같은 주(state)에 위치하고 있다.

[표 7] 라이선스로 인한 창업 현황 추이('05년 ~ '09년)

구분	2005	2006	2007	2008	2009
전체 창업 기업 수	451	462	555	595	596
창업 기업의 주 거주지(home state)	357 (79.20%)	344 (74.50%)	402 (72.40%)	430 (72.30%)	435 (73.00%)

* 자료 : AUTM(2009), U.S. Licensing Activity Survey FY 2009

다. 결론

2000년 이후로 기술이전 전담 인력과 기술이전 조직의 인력은 지속적으로 증가하여 2009년에는 미국내 181개 기관에서 기술이전 관련 전담 업무를 수행하는 인력은 총 1,049.76 FTE 인 것으로 나타났다.

2009년 신규로 출원된 특허 건수는 12,109건으로 '08년 12,194건에서 85건이 감소하였으며, 이는 전체 미국 특허 출원 18,214건의 66.5%를 차지하는 규모이다.

2009년 조사기관에서의 기술이전 활동을 통해 총 5,328건의 라이선스 및 옵션이 체결되었으며, 596개의 기업이 신규로 설립되었다.

대부분의 라이선스 및 옵션 체결은 대학(4,642건)에서 이루어졌으며 전체 건수의 87.1%를 차지하였다.

※ 라이선스옵션 체결 건수('09년) : 대학 4,642건(87.1%), 병원 및 연구기관 697건(13.1%), 기술투자기업 7건(0.13%)

2009년에 창업된 기업 수는 596개로 2008년 595개와 비교할 때 증가세가 둔화되었다.

또한, 라이선스로 인한 수입은 총 2,326백만 달러를 기록하였고 이는 2008년에 비해 1,118백만 달러가 감소한 수치이다.

* 참고자료 : AUTM, 「AUTM U.S. Licensing Activity survey FY 2009」 (survey summary)
, 2010년 12월

2. 미국 중소기업의 연구개발 현황

가. 미국 과학재단 SRS Infobrief 개요

NSF의 Division of Science Resources Statistics(SRS)에서는 연방기관을 대상으로 조사한 과학기술 관련 통계를 정기적으로 제공하고 있다.

NSF(국립과학재단)는 다 아시다시피 독립연방기관으로 연구관리 기능을 수행하고 있다.

참고로 SRS의 임무는 과학의 발전 촉진, 국민 건강, 재산, 복지 증진, 국방의 안전을 도모하고, 활동 내용으로는 과학, 공학, 기술, 사회과학의 전통학문분야의 기초연구를 지원하며 고위험/고수익 아이디어, 새로운 협력, 많은 프로젝트를 지원, 프로그램 개발, 관리, 평가, 기획, 예산 및 일상적인 운영의 업무를 수행하는 곳이다.

본 자료에서는 NSF의 SRS에서 발간하는 조사자료 중 하나인 Infobrief에서 제공된 미국 내 최근 5년('03 ~ '07)간 중소기업의 R&D 투자현황에 대한 내용을 정리하였다.

나. 미국내 중소기업 R&D 투자 현황

1) 총괄 현황

최근 5년('03 ~ '07)간 중소기업의 R&D 투자는 5.6%의 증가율을 보이며 미국 기업 전체의 R&D 투자 증가율(4.5%)보다 높은 수준으로 증가하고 있는 것으로 나타났다.

중소기업의 R&D 투자액은 504억 달러로서 2007년 기준 미국 기업 전체 투자규모의 18.7%를 차지하는 것으로 나타났다.

가장 규모가 작은 중소기업(종업원 수 5-24명 규모)은 연평균 14.7%의 증가율을 보이며 2007년 미국 기업 전체 R&D 중 4.0%를 차지하였다.

또한, 종업원 수 10,000-24,999명 규모의 기업은 미국 기업 전체 R&D 중 17.1%의 비중을 차지하는 것으로 나타났다.

2) 미국 중소기업의 R&D 집중도

중소기업의 R&D 집중도는 2003년 3.1%, 2005년 7.4%, 2007년 8.6%를 보이며 지속적으로 증가하고 있다.

이는 종업원 수 500명 이상 규모의 기업과 미국 기업 전체의 R&D 집중도보다 높은 수준이다.

또한, 종업원 수 5-24명 규모 기업의 R&D 집중도는 2003년 2.6%에서 2005년 10.1%, 2007년 15.8%로 증가하여 두드러진 성과를 나타냈으며 이는 R&D 투자의 증가폭보다 기업의 매출액 감소폭이 더 큼을 의미하는 것으로 보인다.

* R&D 집중도 = 매출액 대비 R&D 투자액(current dollars) 비중

* 미국 기업 전체의 R&D 집중도 추이 : 3.5%('03년)→3.7%('04년)→3.7%('05년)→3.7%('06년)→3.8%('07년)

[표 1] 기업규모에 따른 미국기업의 R&D 투자 현황

(단위 : current \$millions)

기업규모(종업원수)	2003	2004	2005	2006	2007
중소기업(500명 미만)	35,952	38,083	40,481	45,219	50,418
5-24명	5578	6295	7373	7207	10854
25-49명	6449	5906	7488	D	7884
50-99명	4829	6456	7144	9064	10068
100-249명	9559	11045	10327	13306	13354
250-499명	9536	8380	8149	D	8258
중견·대기업(500명 이상)	164,772	170,218	185,678	202,450	218,849
500-999명	10383	10821	13992	13360	14279
1,000-4,999명	30484	31475	34969	37866	41103
5,000-9,999명	15434	18191	18170	20434	22673
10,000-24,999명	26817	31208	33564	37865	45946
25,000명 이상	81654	78523	84983	92925	94848
전체	200,724	208,301	226,159	247,669	269,267

* 주 : D는 보안상의 이유로 공개되지 않은 것을 의미함

* 자료 : NSF DRS(Division of Science Resources Statistics)(2003-07), Survey of Industrial Research and Development

[표 2] 기업규모에 따른 미국기업의 R&D 집중도 현황

(단위 : %)

기업규모(종업원수)	2003	2004	2005	2006	2007
중소기업(500명 미만)	3.1	6.4	7.4	8.5	8.6
5-24명	2.6	5.6	10.1	14.0	15.8
25-49명	3.4	12.8	9.6	D	16.2
50-99명	4.5	6.4	8.5	10.0	9.5
100-249명	1.9	6.1	6.6	7.7	7.6
250-499명	7.1	5.5	5.2	D	4.5
중견·대기업(500명 이상)	3.6	3.4	3.3	3.3	3.4
500-999명	6.3	5.0	4.7	4.4	4.6
1,000-4,999명	4.3	3.8	3.6	3.6	4.2
5,000-9,999명	2.8	3.2	2.6	3.4	3.1
10,000-24,999명	3.0	3.1	3.3	2.8	3.4
25,000명 이상	3.6	3.3	3.3	3.3	3.1
전체	3.5	3.7	3.7	3.7	3.8

* 주 : D는 보안상의 이유로 공개되지 않은 것을 의미함

* 자료 : NSF DRS(Division of Science Resources Statistics)(2003-07), Survey of Industrial Research and Development

다. 미국내 중소기업의 과학기술인력 고용 현황

1) 총괄 현황

미국 기업은 최근 5년('03년 ~ '07년)간 평균적으로 약 1.1 백만명의 과학기술인력을 보유하고 있으며, 이 중 약 1/4 정도가 중소기업에서 근무하고 있다.

중소기업에 고용된 과학기술인력은 2003년 300.9천명에서 2007년 271.1천명으로 5년간 29.8천명이 감소하고 있는 것으로 나타났다.

반면, 종업원수 500명 이상 기업의 경우 과학기술인력의 고용 현황에 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

* 종업원수 500명 이상 기업의 과학기술인력 고용 현황(천명) : 852.5('03년)→832.2('04년)→837.0('05년)→834.9('06년)→859.4('07년)

종업원 수 5-24명 기업에는 미국 과학기술인력의 6.1%에 해당하는 69.3천명의 인력이

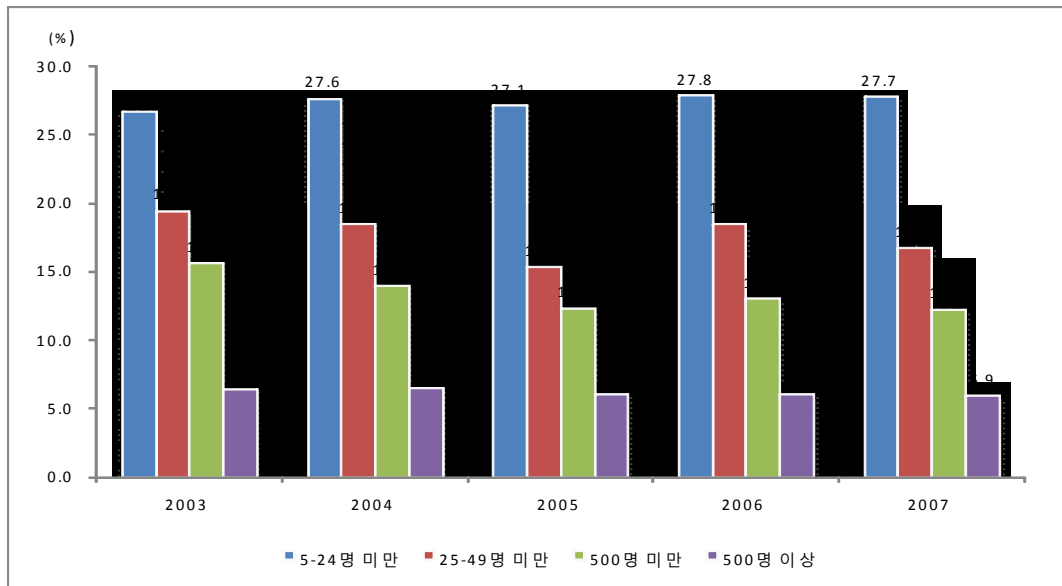
근무하고 있는 것으로 나타났다.

전체 고용 중 과학기술인력이 차지하는 비중을 살펴보면, 다음과 같다.

5-24명 규모 기업의 경우, 5년('03년~'07년)간 평균은 전체 고용의 27.4%로서 가장 높은 수치를 기록하고 있으며.(그림 1 참조), 25-49명 규모의 기업의 경우는 전체 고용의 17.6%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

500명 미만의 중소기업에 고용된 과학기술인력은 전체 고용의 13.3%를 차지하였으며 이는 500명 이상의 중견-대기업의 6.1%와 비교할 때 2배 높은 수치로 나타났으며, 가장 큰 규모의 10,000-24,000명 기업은 전체 고용의 7.6%를 차지하는 것으로 나타났다.

[그림 1] 미국기업의 전체 고용대비 과학기술인력 비중



* 자료 : NSF DRS(Division of Science Resources Statistics)(2003-07), Survey of Industrial R&D

[표 3] 미국의 기업체 규모별 과학기술인력 고용 현황

기업규모(단위 : 천명)	2003	2004	2005	2006	2007
중소기업 소계	300.9	279.1	260.7	300.6	271.1
5-24명	51.4	66.2	66.4	67.6	69.3
25-49명	57.2	43.4	45.9	44.4	40.5
50-99명	38.0	44.1	44.7	61.8	48.6
100-249명	80.2	73.1	58.0	78.8	66.2
250-499명	74.1	52.3	45.8	47.9	46.5
중견·대기업 소계	852.5	832.2	837.0	834.9	859.4
500-999명	64.1	59.3	69.3	64.3	64.2
1,000-4,999명	167.5	173.8	180.1	178.1	181.7
5,000-9,999명	102.2	96.6	91.1	101.6	105.7
10,000-24,999명	168.5	178.9	180.9	177.1	187.5
25,000명 이상	350.2	323.6	315.6	313.8	320.3
전체 과학기술인력	1,153.4	1,111.3	1,097.7	1,135.5	1,130.5
중소기업 소계	1,928	2,011	2,112	2,320	2,214
5-24명	193	240	245	243	250
25-49명	295	236	300	241	243
50-99명	296	356	335	482	415
100-249명	603	635	655	689	674
250-499명	541	545	576	665	633
중견·대기업 소계	13,401	12,809	13,920	13,978	14,523
500-999명	649	610	830	1,087	888
1,000-4,999명	2,255	2,325	2,863	2,393	2,322
5,000-9,999명	1,472	1,373	1,554	1,393	1,515
10,000-24,999명	2,591	2,243	2,260	2,270	2,459
25,000명 이상	6,434	6,258	6,413	6,835	7,339
전체 고용(국내)	15,329	14,820	16,032	16,298	16,737

* 자료 : NSF DRS(Division of Science Resources Statistics)(2003-07), Survey of Industrial R&D

[표 4] 미국의 기업체 규모별 전체 고용대비 과학기술인력 비중

기업규모(단위 : %)	2003	2004	2005	2006	2007
중소기업 소계	15.6	13.9	12.3	13.0	12.2
5-24명	26.6	27.6	27.1	27.8	27.7
25-49명	19.4	18.4	15.3	18.4	16.7
50-99명	12.8	12.4	13.3	12.8	11.7
100-249명	13.3	11.5	8.9	11.4	9.8
250-499명	13.7	9.6	8.0	7.2	7.3
중견·대기업 소계	6.4	6.5	6.0	6.0	5.9
500-999명	9.9	9.7	8.3	5.9	7.2
1,000-4,999명	7.4	7.5	6.3	7.4	7.8
5,000-9,999명	6.9	7.0	5.9	7.3	7.0
10,000-24,999명	6.5	8.0	8.0	7.8	7.6
25,000명 이상	5.4	5.2	4.9	4.6	4.4
전체	7.5	7.5	6.8	7.0	6.8

* 자료 : NSF DRS(Division of Science Resources Statistics)(2003-07), Survey of Industrial R&D

라. 우리나라의 기업 R&D 투자 및 인력 현황

1) 우리나라 기업규모별 연구개발비 현황

우리나라 기업체의 연구개발비는 지속적으로 증가하여 2008년 기준으로 26조 1억 원으로 2007년에 비해 8.9% 증가한 것으로 나타나고 있다.

종업원수가 1,000명 이상 기업의 연구개발비 규모는 2005년 72.5%에서 2008년에는 63.6%로 다소 감소하였으나 여전히 전체 연구개발비의 60% 이상을 차지하는 것으로 나타났다.

또한, 2005년 이후로 종업원수 99명 이하 기업의 연구개발비 규모는 100-299명 및 300-999명 규모의 기업이 차지하는 비중보다 높은 수준인 것으로 나타났다.

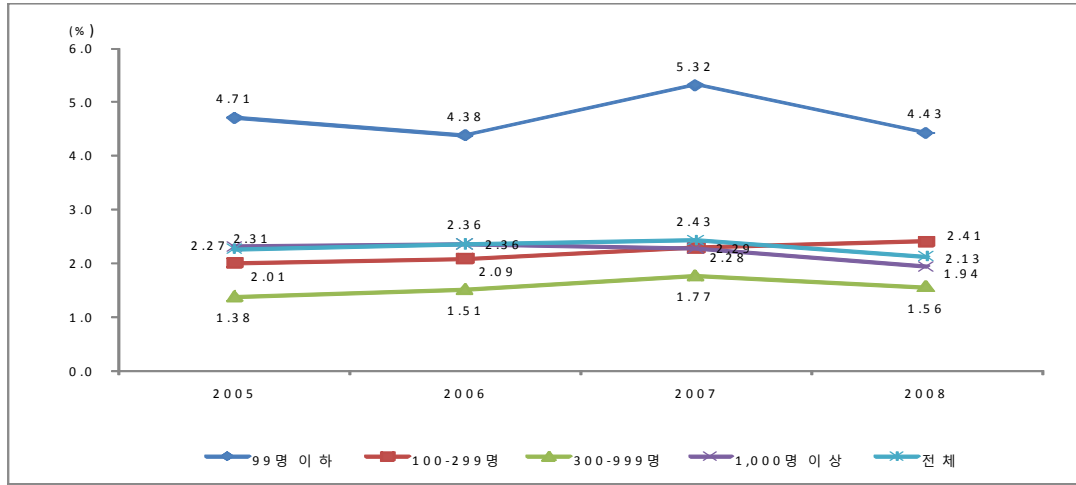
[표 5] 우리나라의 기업규모별 연구개발비 현황

(단위 : 백만원, %)

기업규모 (종업원수)		2005	2006	2007	2008
중소 사업체	99명 이하	1,997,326 (10.8)	2,834,467 (13.4)	3,771,169 (15.8)	4,355,638 (16.8)
	100-299명	1,417,076 (7.6)	1,701,132 (8.1)	2,052,791 (8.6)	2,582,675 (9.9)
대규모 사업체	300-999명	1,689,796 (9.1)	1,978,926 (9.4)	2,372,612 (9.9)	2,526,923 (9.7)
	1,000명 이상	13,460,045 (72.5)	14,612,255 (69.2)	15,668,322 (65.7)	16,534,833 (63.6)
전체		18,564,243 (100.0)	21,126,780 (100.0)	23,864,893 (100.0)	26,000,069 (100.0)

* 자료 : 교육과학기술부(각 년도), 연구개발활동조사

[그림 2] 우리나라의 기업규모별 매출액 대비 연구개발비 추이



* 자료 : 교육과학기술부(각 년도), 연구개발활동조사

2) 우리나라 기업의 매출액 대비 연구개발비 현황

매출액 대비 연구개발비 비중은 종업원 수 99명 이하 기업의 경우가 4.43%로 가장 높으며 기업 전체의 2.13%와 비교하여 약 2배 높은 수준인 것으로 나타났다.

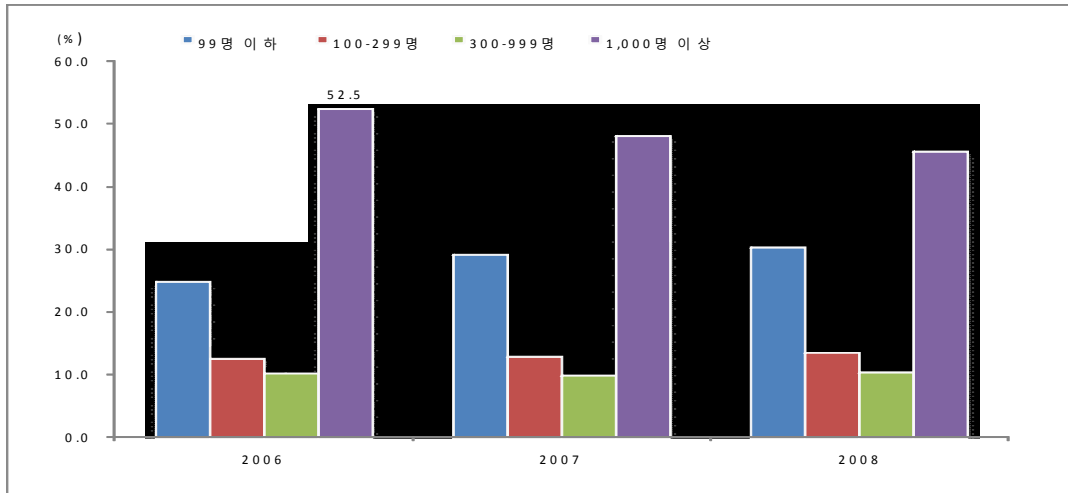
이는 종업원 수 300-999명 및 1,000명 이상 기업의 매출액 대비 연구개발비 비중은 각각 1.56%, 1.94%인 것 보다 매우 높은 것이다.

3) 우리나라의 기업규모별 연구개발인력 연구원 현황

우리나라 기업에서 보유하고 있는 연구개발인력의 절반 이상은 1,000명 이상의 대규모 기업에서 근무하고 있으나, 종업원 수 99명 이하의 소규모 기업에서 근무하는 연구개발인력도 매년 증가하는 추세이며 2008년 기준으로 볼때 전체 연구개발인력의 30.4%를 차지하는 것으로 나타났다.

또한, 종업원 수 100-299명 및 300-999명 규모의 기업에서 근무하는 연구개발인력의 비중은 최근 3년('06년~'08년)간 비슷한 수준을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

[그림 3] 우리나라의 기업규모별 연구개발인력 연구원 현황



* 주 : 「연구개발활동조사」에서 연구개발관계종사자를 연구원, 연구보조 및 기능, 행정지원 등으로 분류하였으나 연구원만 포함함

* 자료 : 교육과학기술부(각 년도), 연구개발활동조사

마. 결론

R&D 투자 현황 및 R&D 집중도, 고용된 과학기술인력 규모 면에서 미국내 중소기업이 차지하는 비중이 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다.

특히 종업원 수 규모가 가장 작은 기업(5-24명)의 경우, 중소기업으로 분류된 다른 기업보다 두드러진 성장을 보이고 있다.

※ 5-24명 규모 기업의 R&D 집중도 추이 : 3.1%('03년)→7.4%('05년)→8.6%('07년)

※ 500명 이상 규모 기업의 R&D 집중도 추이 : 3.6%('03년)→3.3%('05년)→3.4%('07년)

※ 미국 기업 전체의 R&D 집중도 추이 : 3.5%('03년)→3.7%('05년)→3.8%('07년)

중소기업에 고용된 과학기술인력은 미국 과학기술인력의 약 1/4 수준인 271.1천명으로 이는 전체 고용의 27.7%를 차지하고 있다.

우리나라 기업의 경우 99명 이하 규모의 기업 연구개발비 규모가 지속적으로 증가하고 있으나 1,000명 이상 대기업 연구개발비 규모가 전체의 63.6%로 많은 부분을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

매출액 대비 연구개발비 비중은 99명 이하 기업의 경우 4.43%이며 1,000명 이상 기업은 1.94% 수준으로 규모가 큰 기업에서 연구개발비중이 줄어드는 것을 볼 수 있다.

※ 우리나라 기업 연구개발비(백만원) : 21,126,780('06년)→23,864,893('07년)→26,000,069('08년)

이에 따라, 과학기술혁신 및 경제성장의 측면에서 중소기업의 역할을 인식하고, 기술역량을 갖춘 중소·중견기업 육성을 위해 지속적인 투자 확대와 더불어 신사업의 발굴에 지원을 강화할 필요가 있다.

* 참고자료 : NSF Science and Resources Statistics Infobrief. 2010년 3월

3. 세계 R&D 투자 상위 기업 현황

가. 2010 EU industrial R&D investment Scoreboard

EU Industrial R&D Investment Scoreboard는 2004년부터 기업 단위의 R&D에 관한 이해를 위해 European Commission에서 매년 조사하여 발표하고 있다.

각 기업이 발표한 회계보고서를 토대로 연구개발투자를 조사하며 2010년에는 전세계 2,000개 기업의 R&D 투자 현황을 조사하여 기업 정보를 발표하였다.

본 보고서에서 기업 R&D 전체 동향, 상위 R&D 투자 기업, 지역별 R&D 분포, 산업 분야별 R&D 분포, EU 1,000개 및 EU이외 지역 1,000개 기업 등에 관한 정보를 제공하고 있다.

- * 조사내용 : 기업정보, R&D 투자액, 순 매출액, 자본지출, 영업이익·손실, 시가총액, 총 종업원 수 등
- * 조사대상 : EU내의 R&D 투자 상위 1,000개 기업과 EU이외 지역의 R&D 투자 상위 1,000개 기업 등 총 2,000개 기업

나. 총괄 현황

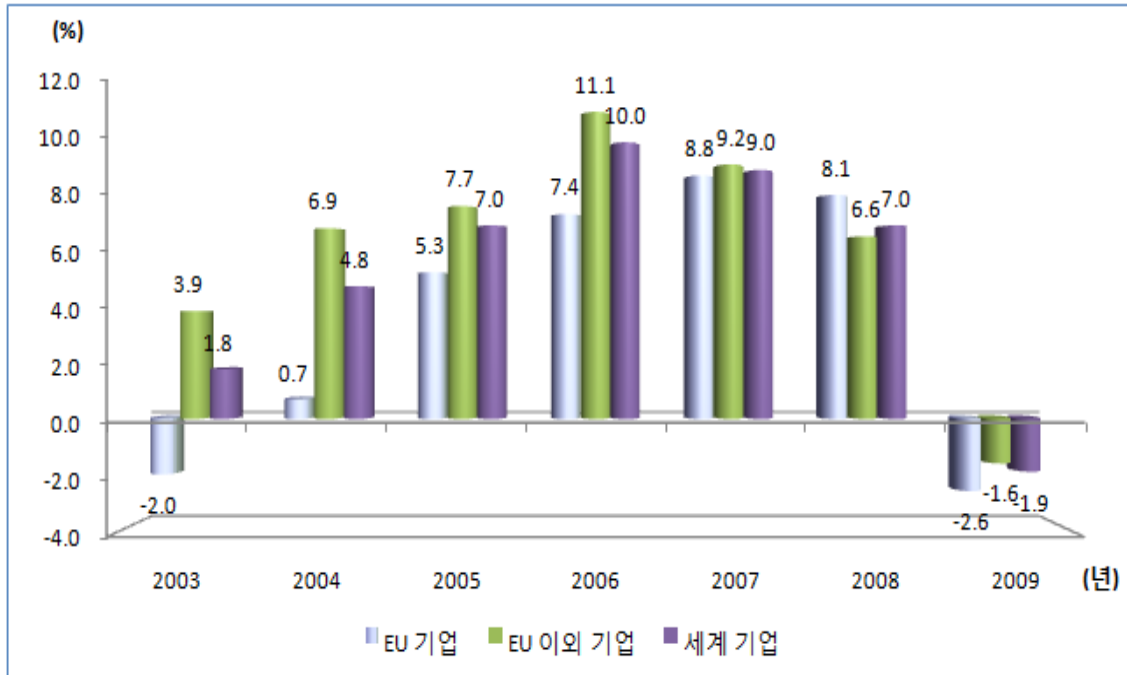
1) 세계 상위 기업의 성과 증가율

2009년 EU 기업들의 R&D 투자는 2.6% 감소한 반면, 세계 기업들(1.9%)과 비 EU 기업들(1.6%)은 상대적으로 감소폭이 작은 것으로 나타났다.

세계 1400대 기업의 R&D 투자는 1.9% 감소한 반면, 순매출액은 10.1% 감소하였고, EU 기업들과 비 EU 기업들의 순매출액도 각각 10.2%, 10.0% 감소하여 R&D 투자 감소폭보다 크게 나타났다.

이는 세계 금융 위기는 기업들의 R&D 투자 보다 순매출액에 더 많은 영향을 끼친 것으로 보인다.

[그림 1] 세계 R&D 투자 상위 기업의 전년대비 투자 증가율



[표 1] 세계 상위 기업의 성과 현황

(단위 : %)

	세계 1,400대 기업	EU 400대 기업	EU 이외 1,000대 기업
R&D투자액(€ mill)	402,220	122,897	279,323
전년대비 증가율	-1.9	-2.6	-1.6
3개년 연평균 증가율	4.8	4.3	5.0
순매출액(€ bn)	11,564,876	4,399,634	7,165,242
전년대비 증가율	-10.1	-10.2	-10.0
3개년 연평균 증가율	2.0	1.4	2.4
R&D 집약도	3.5	2.8	3.9

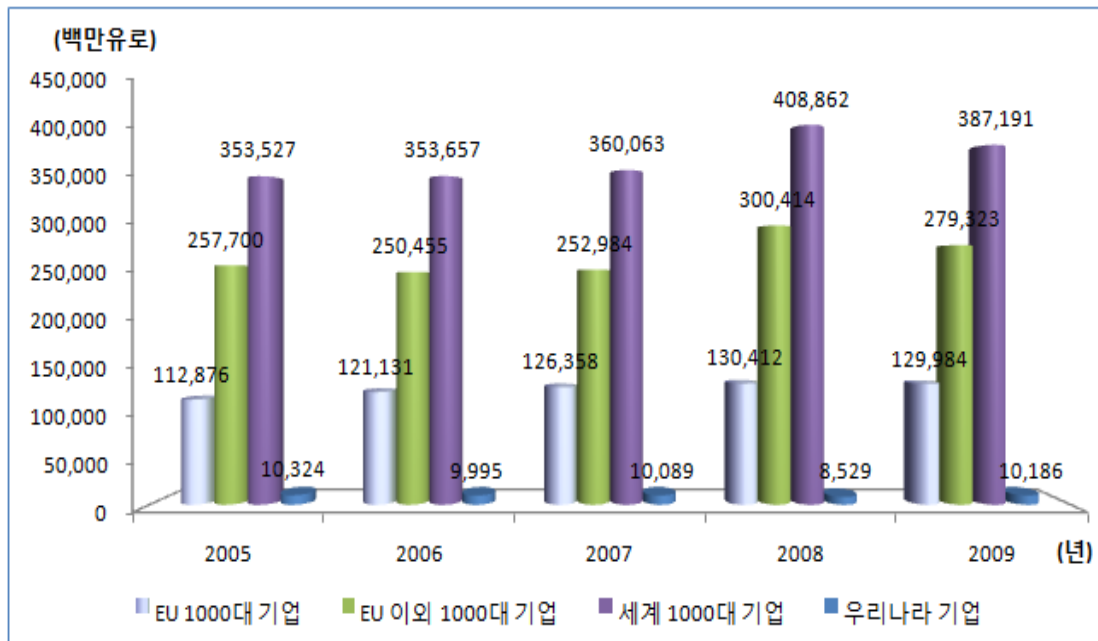
* 주 : 증가율은 결측값이 없는 완전한 데이터를 가진 기업들을 대상으로 계산함

2) 우리나라 세계 상위 기업 현황

2009년 세계 R&D 1,000대 기업의 투자액은 387,191백만유로로 나타났으며, EU 1,000대 기업의 투자액은 129,984백만유로 나타났다.

또한, 세계 R&D 투자 1000대 기업 중 우리나라 기업의 투자액은 10,186백만유로인 것으로 나타났다.

[그림 2] 세계 R&D 투자 상위 기업의 R&D 투자액 추이

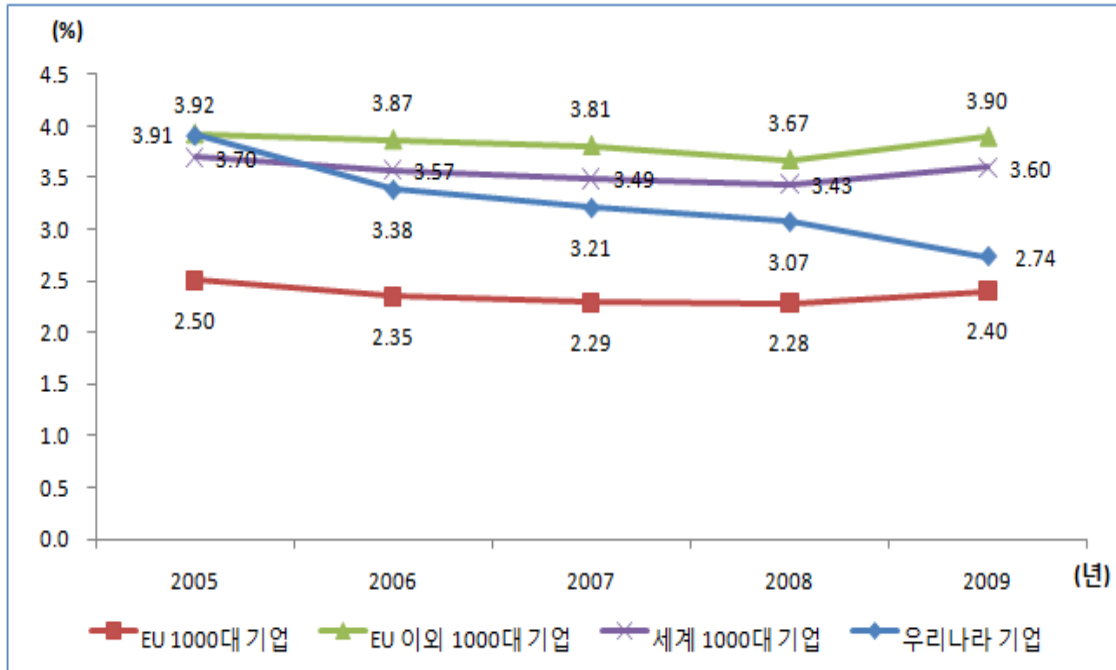


- * 주1 : R&D 투자 세계 상위 1000대 기업은 EU 1000대 기업과 EU 이외의 1000대 기업을 합하여 R&D 투자 순으로 정렬하여 산출함
- * 주2 : 우리나라 기업은 세계 1000대 기업 중 우리나라 기업을 의미함
- * 자료 : EU(각 년도), industrial R&D investment Scoreboard

비 EU 1,000대 기업의 R&D 집약도는 3.90%(2009년)로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 세계 1,000대 기업 R&D 집약도가 3.60%로 높았으며, EU 1,000대 기업은 2.40%로 낮은 수준으로 나타났다.

우리나라의 R&D 집약도는 2.74%(2009년)로 EU 1,000대 기업 평균 보다는 높았으나, 2005년(3.91%) 이후 지속적으로 감소하는 추세이다.

[그림 3] 세계 R&D 투자 상위 기업의 R&D 집약도 추이



- * 주1 : R&D 투자 세계 상위 1000대 기업은 EU 1000대 기업과 EU 이외의 1000대 기업을 합하여 R&D 투자 순으로 정렬하여 산출함
- * 주2 : R&D 집약도는 순매출액 대비 R&D 투자액이며, 저자가 R&D 금액과 순매출액의 합계를 사용해 재계산한 결과임
- * 주3 : 우리나라 기업은 세계 1000대 기업 중 우리나라 기업을 의미함
- * 자료 : EU(각 년도), industrial R&D investment Scoreboard

다. 국가별 현황

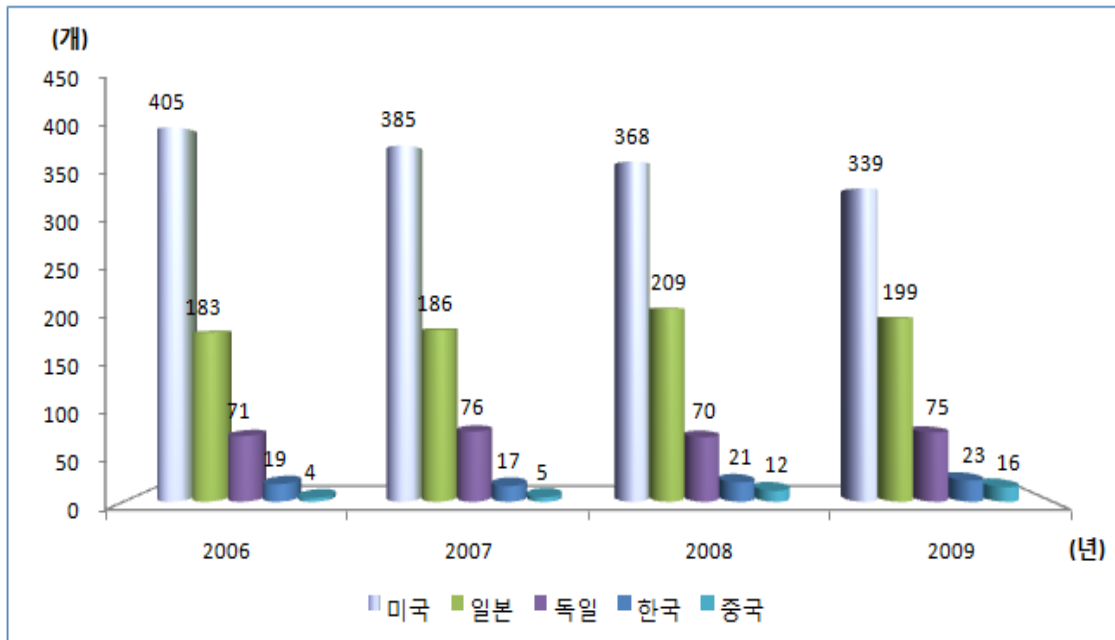
1) 국가별 세계 상위 기업 수

2009년 R&D 투자 세계 1,000대 기업 중 우리나라 기업 수는 23개로 지난해에 비해 2개 기업이 증가한 것으로 나타났다.

2006년은 19개, 2007년에는 17개, 2008년에는 21개 지속적으로 증가하고 있다.

반면, 미국은 2006년 405개 기업에서 2009년 339개 기업으로 지속적으로 감소하고 있으며, 중국은 4개(2006년) 기업에 불과하던 것이 2009년에는 16개 기업으로 큰 폭으로 증가하고 있는 것으로 나타났다.

[그림 4] 국가별 세계 R&D 투자 상위 1,000대 기업 수



* 주 : R&D 투자 세계 상위 1000대 기업은 EU 1000대 기업과 EU 이외의 1000대 기업을 합하여 R&D 투자 순으로 정렬하여 산출함

* 자료 : EU(각 년도), industrial R&D investment Scoreboard

[표 2] 주요국 R&D 투자 세계 상위 1000대 기업 수

(단위 : 개, 백만유로, %)

	기업수			R&D 투자액			R&D 투자액 점유율		
	2007	2008	2009	2007	2008	2009	2007	2008	2009
미국	385	368	339	138,466	152,758	131,743	38.5	37.4	34.0
일본	186	209	199	67,041	91,962	86,352	18.6	22.5	22.3
독일	76	70	75	39,895	42,721	41,740	11.1	10.4	10.8
프랑스	52	47	50	24,586	24,465	23,528	6.8	6.0	6.1
영국	56	45	50	18,483	16,955	17,118	5.1	4.1	4.4
대만	31	32	35	3,646	4,777	5,077	1.0	1.2	1.3
스위스	29	31	30	14,258	17,184	17,583	4.0	4.2	4.5
한국	17	21	23	10,089	8,529	10,186	2.8	2.1	2.6
스웨덴	22	17	18	6,830	6,179	5,692	1.9	1.5	1.5
네덜란드	16	17	17	8,587	9,154	9,005	2.4	2.2	2.3
중국	5	12	16	1,234	2,495	5,173	0.3	0.6	1.3
이탈리아	15	15	15	4,976	5,867	5,792	1.4	1.4	1.5
덴마크	16	14	14	2,458	2,744	2,999	0.7	0.7	0.8
스페인	8	8	12	1,157	1,274	2,713	0.3	0.3	0.7
벨기에	9	9	10	2,181	2,088	1,976	0.6	0.5	0.5
캐나다	9	8	10	2,057	2,235	2,220	0.6	0.5	0.6
호주	3	6	8	1,019	1,177	2,019	0.3	0.3	0.5
핀란드	13	9	8	6,129	5,983	5,584	1.7	1.5	1.4
아일랜드	3	3	7	368	431	1,268	0.1	0.1	0.3
노르웨이	5	5	7	551	510	687	0.2	0.1	0.2
오스트리아	4	4	4	239	298	312	0.1	0.1	0.1
룩셈부르크	4	4	3	558	618	523	0.2	0.2	0.1
포르투갈	0	2	3	0	118	331	0.0	0.0	0.1
싱가포르	1	3	3	44	393	359	0.0	0.1	0.1
터키	0	1	2	0	147	230	0.0	0.0	0.1
기타	35	40	42	5,209	7,802	6,982	1.4	1.9	1.8
총합계	1,000	1,000	1,000	360,063	408,862	387,191	100.0	100.0	100.0

* 주 : R&D 투자 세계 상위 1000대 기업은 EU 1000대 기업과 EU 이외의 1000대 기업을 합하여 R&D 투자 순으로 정렬하여 산출함

* 자료 : EU(각 년도), industrial R&D investment Scoreboard

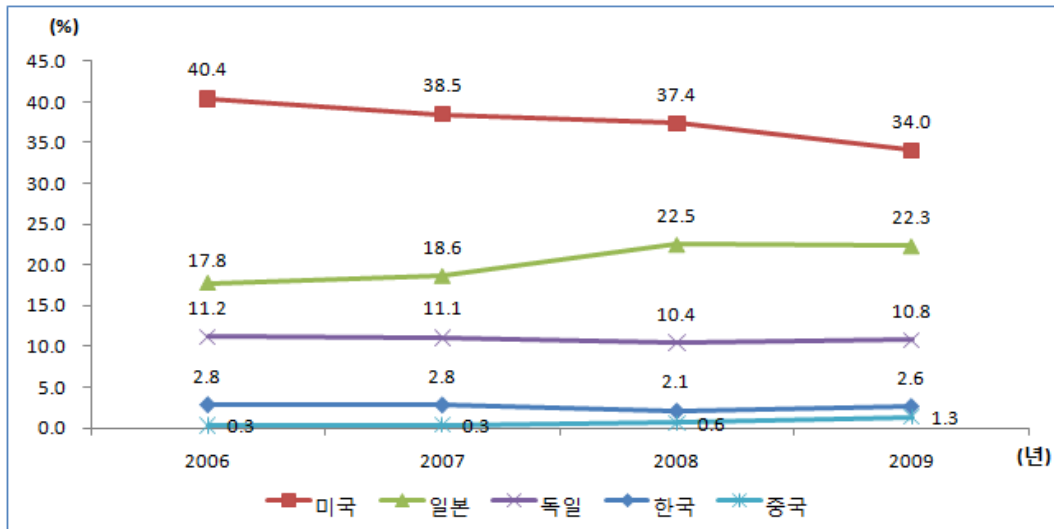
2) 국가별 세계 상위 기업 R&D 투자 점유율

2009년 R&D 투자 세계 1,000대 기업 중 우리나라 기업의 R&D 투자 점유율은 2.6%로 2006년 이후 2%대를 유지하고 있는 것으로 나타났다.

R&D 투자액 점유율은 미국이 34.0%로 가장 높았으며, 다음으로 일본(22.3%), 독일(10.8%) 순으로 나타났다. 그러나, 미국의 점유율은 감소추세에 있으며, 일본과 중국은 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다.

특히, 중국의 투자 점유율은 0.3%(2006년)에서 1.3%(2009년)로 급속히 증가하고 있는 것으로 나타나 지속적으로 눈여겨 봐야 할 것이다.

[그림 5] 국가별 세계 R&D 투자 상위 1,000대 기업 투자액 점유율



* 주 : R&D 투자 세계 상위 1000대 기업은 EU 1000대 기업과 EU 이외의 1000대 기업을 합하여 R&D 투자 순으로 정렬하여 산출함

* 자료 : EU(각 년도), industrial R&D investment Scoreboard

3) 세계 상위 10대 기업 현황

2009년 세계 R&D 투자 상위 10대 기업 중 1위는 전년에 이어 6,768백만유로를 투자한 일본의 Toyota Motor가 차지하였으며, 다음으로 Roche(6,402백만유로, 스위스), Microsoft(6,073백만유로, 미국), Volkswagen(5,790백만유로, 독일) 순으로 나타났다.

우리나라의 삼성전자는 4,510백만유로를 투자하여 10위에 랭크했으며, 상위 10대 기업 중 제약회사가 절반을 차지하는 등 바이오 분야의 성장세가 두드러지는 것으로 나타났다.

다.

특히, 2006년 이후 Roche와 Novartis 등 제약 회사의 순위 상승이 두드러지며, 나머지는 자동차, 부품회사가 2개, 소프트웨어와 전자부품, 통신장비 회사가 각각 1개로 나타났다.

[표 3] 세계 R&D 투자 상위 10대 기업

(단위 : 백만유로, 순위)

기업명	산업 분야	국가	R&D 투자액	R&D 집중도	2009년 순위	2008년 순위	2007년 순위	2006년 순위
Toyota Motor	자동차,부품	일본	6,768.46	4.4	1	1	4	6
Roche	제약	스위스	6,401.86	19.4	2	4	8	15
Microsoft	소프트웨어	미국	6,073.20	13.9	3	2	1	4
Volkswagen	자동차,부품	독일	5,790.00	15.5	4	3	9	14
Pfizer	제약	미국	5,404.13	16.7	5	6	3	1
Novartis	제약	스위스	5,156.02	11.3	6	10	14	16
Nokia	통신장비	핀란드	4,997.00	5.4	7	8	5	17
Johnson & Johnson	제약	미국	4,868.87	5.3	8	7	6	3
Sanofi-Aventis	제약	프랑스	4,569.00	5.6	9	12	11	12
Samsung Electronics	전자부품	한국	4,510.01	21.3	10	24	12	10

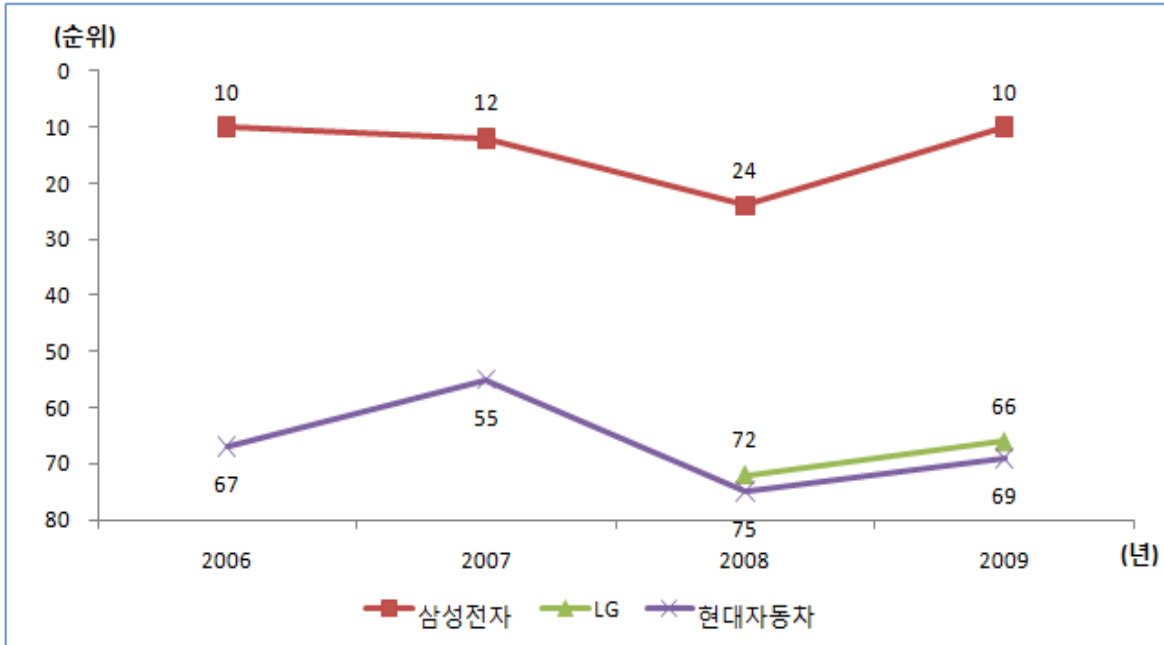
* 주 : R&D 투자 세계 상위 1000대 기업은 EU 1000대 기업과 EU 이외의 1000대 기업을 합하여 R&D 투자 순으로 정렬하여 산출함

* 자료 : EU(각 년도), industrial R&D investment Scoreboard

4) 세계 상위 100대 기업 중 우리나라 기업 현황

삼성전자는 2009년 10위로 전년대비 14단계 상승하였으며, LG는 전년대비 6단계 상승한 66위를 차지하였으며, 현대자동차도 6단계 상승한 69위에 올라 우리나라 기업도 눈에 띄게 성장하고 있는 것으로 나타났다.

[그림 6] 세계 R&D 투자 상위 100대 기업 중 우리나라 기업 순위



* 주 : LG의 경우 2008년 이전 순위는 분리되어 있어 산출하지 않음
 * 자료 : EU(각 년도), industrial R&D investment Scoreboard

[표 4] 세계 R&D 투자 상위 100대 기업 중 우리나라 기업 현황

(단위 : 백만유로, 순위)

기업명	R&D 투자액	2009년 순위	2008년 순위	2007년 순위	2006년 순위
삼성전자	4,510.01	7	24	12	10
LG	1,366.47	66	72		
현대자동차	1,337.60	69	75	55	67

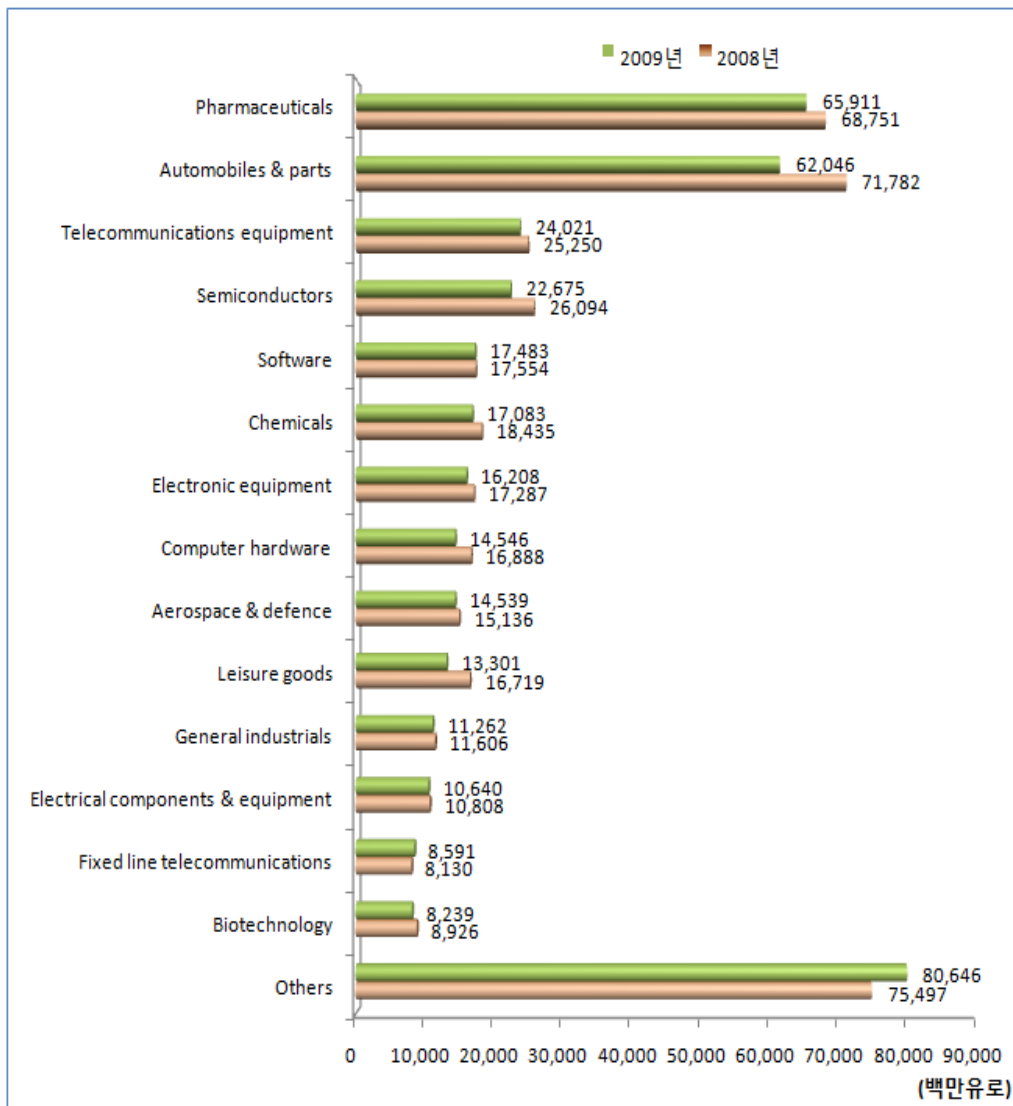
* 주 : LG의 경우 2008년 이전 순위는 분리되어 있어 산출하지 않음
 * 자료 : EU(각 년도), industrial R&D investment Scoreboard

라. 산업 분야별 현황

1) 세계 상위 기업의 산업 분야별 R&D 투자액

2009년 제약 산업의 R&D 투자액은 65,911백만유로로 R&D 가장 활발하게 투자가 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 다음으로 자동차 및 부품 산업 분야 62,046백만유로, 통신장비 산업 분야 24,021백만유로 순으로 나타났다.

[그림 7] 세계 상위 기업 산업 분야별 R&D 투자액



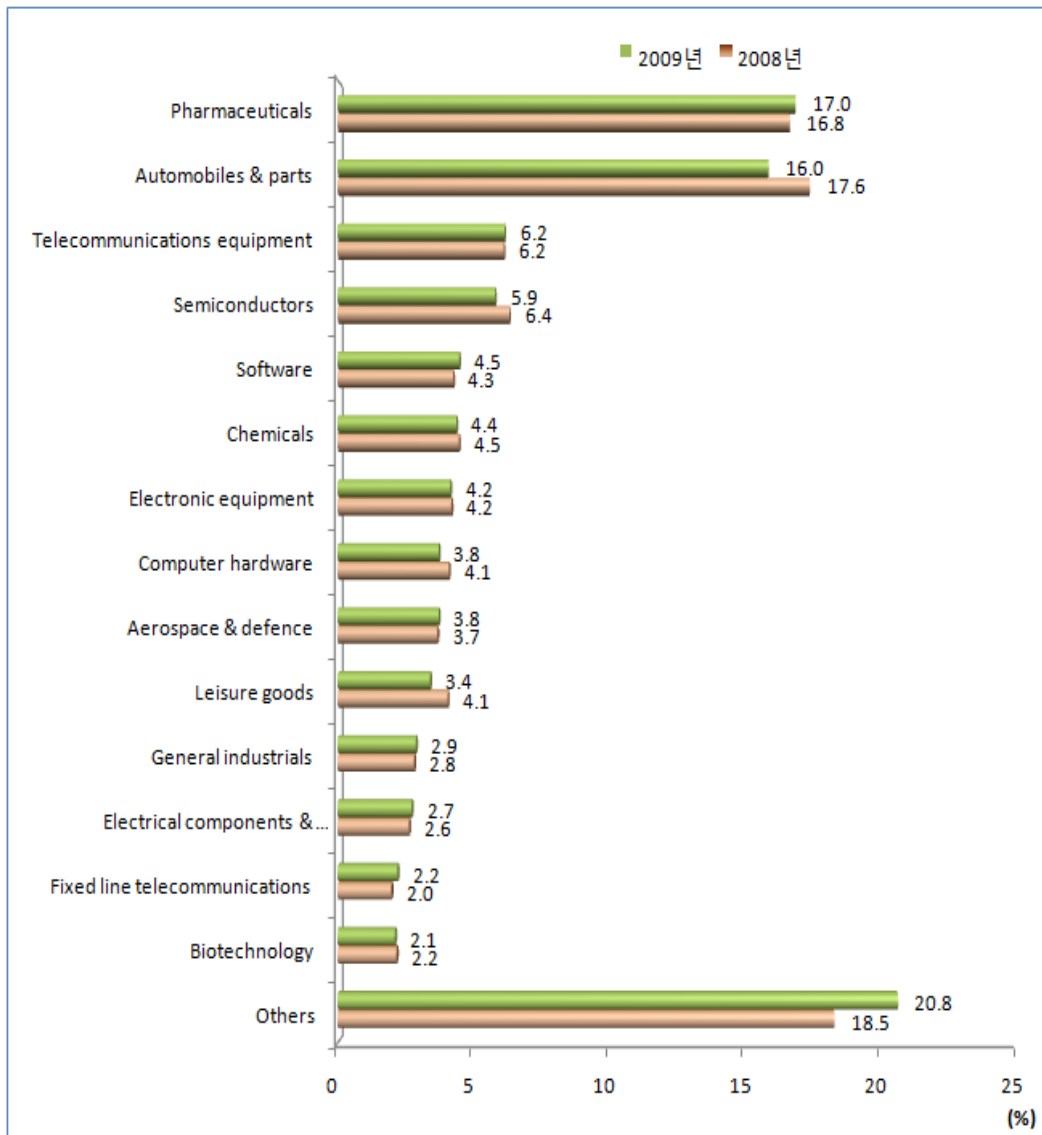
* 주 : R&D 투자 세계 상위 1000대 기업은 EU 1000대 기업과 EU 이외의 1000대 기업을 합하여 R&D 투자 순으로 정렬하여 산출하였으며, 정확한 산업 분야 표시를 위해 영문을 인용함

* 자료 : EU(각 년도), industrial R&D investment Scoreboard

2) 세계 상위 기업의 산업 분야별 R&D 투자 비중

제약 산업 분야의 R&D 투자 비중은 전체의 17.0%를 차지하며 2008년에 비해 0.2% 포인트 증가한 것으로 나타난 반면, 자동차 및 부품 산업 분야의 비중은 16.0%로 전년에 비해 오히려 1.6% 감소한 것으로 나타났다.

[그림 7] 세계 상위 기업 산업 분야별 R&D 투자액



* 주 : R&D 투자 세계 상위 1000대 기업은 EU 1000대 기업과 EU 이외의 1000대 기업을 합하여 R&D 투자 순으로 정렬하여 산출하였으며, 정확한 산업 분야 표시를 위해 영문을 인용함

* 자료 : EU(각 년도), industrial R&D investment Scoreboard

[표 5] 세계 상위 1000대 기업 산업분야별 R&D 투자 현황

(단위 : 백만유로, %)

산업	2009년		2008년	
	R&D 투자액	비중	R&D 투자액	비중
Pharmaceuticals	65,911	17.0	68,751	16.8
Automobiles & parts	62,046	16.0	71,782	17.6
Telecommunications equipment	24,021	6.2	25,250	6.2
Semiconductors	22,675	5.9	26,094	6.4
Software	17,483	4.5	17,554	4.3
Chemicals	17,083	4.4	18,435	4.5
Electronic equipment	16,208	4.2	17,287	4.2
Computer hardware	14,546	3.8	16,888	4.1
Aerospace & defence	14,539	3.8	15,136	3.7
Leisure goods	13,301	3.4	16,719	4.1
General industrials	11,262	2.9	11,606	2.8
Electrical components & equipment	10,640	2.7	10,808	2.6
Fixed line telecommunications	8,591	2.2	8,130	2.0
Biotechnology	8,239	2.1	8,926	2.2
Health care equipment & services	7,677	2.0	7,075	1.7
Oil & gas producers	6,961	1.8	6,820	1.7
Computer services	6,864	1.8	7,705	1.9
Commercial vehicles & trucks	6,195	1.6	6,602	1.6
Electronic office equipment	5,288	1.4	3,251	0.8
Industrial machinery	5,206	1.3	5,045	1.2
Food producers	5,190	1.3	4,483	1.1
Banks	4,960	1.3	3,222	0.8
Household goods & home construction	3,530	0.9	3,615	0.9
Construction & materials	3,274	0.8	2,680	0.7
Internet	3,197	0.8	3,224	0.8
Industrial metals & mining	2,646	0.7	2,779	0.7
Electricity	2,379	0.6	2,473	0.6
Personal goods	2,348	0.6	2,428	0.6
Media	2,162	0.6	1,777	0.4
General retailers	2,029	0.5	1,889	0.5
Oil equipment, services & distribution	1,712	0.4	1,743	0.4
Travel & leisure	1,258	0.3	1,251	0.3
Support services	1,255	0.3	1,086	0.3
Mining	1,057	0.3	1,351	0.3
Beverages	927	0.2	827	0.2
Tobacco	882	0.2	908	0.2
Gas, water & multiutilities	862	0.2	700	0.2
Mobile telecommunications	783	0.2	740	0.2
Food & drug retailers	556	0.1	624	0.2
Other financials	460	0.1	311	0.1
Alternative energy	347	0.1	223	0.1
Forestry & paper	229	0.1	282	0.1
총 합계	387,191	100.0	408,862	100.0

* 주 : R&D 투자 세계 상위 1000대 기업은 EU 1000대 기업과 EU 이외의 1000대 기업을 합하여 R&D 투자 순으로 정렬하여 산출하였으며, 정확한 산업 분야 표시해 영문을 인용함

* 자료 : EU(각 년도), industrial R&D investment Scoreboard

* 참고자료 : 2010 EU industrial R&D investment Scoreboard

4. AC/DC Power Supply 개발 동향

가. Power Supply의 과거, 현재, 미래 기술 분석

1) 개요

현대의 모든 전자기기의 전력 시스템 기술은 지속적으로 효율 (efficiency = 출력전력/입력전력)과 집적도 (power density = 출력전력/면적)의 개선 요구에 직면해 있다. 이들 요구사항을 만족하기 위해서는 획기적인 기술 발전이 필요하다. 그 기술의 범위는 시스템 구조 (architectur)의 개선, 소자, 부품 그리고 topology의 최적화와 패키징 및 열역학적 해결책 등이 포함된다.

지난 1960년대에 개발된 high voltage bipolar transistor는 linear power supply를 높은 주파수를 갖는 SMPS (switching mode power supply)로 대체했다. SMPS는 전력변환 방법에서 크기와 무게를 줄이게 했으며, 또한 효율을 증가시키는 중요한 역할을 해오고 있다.

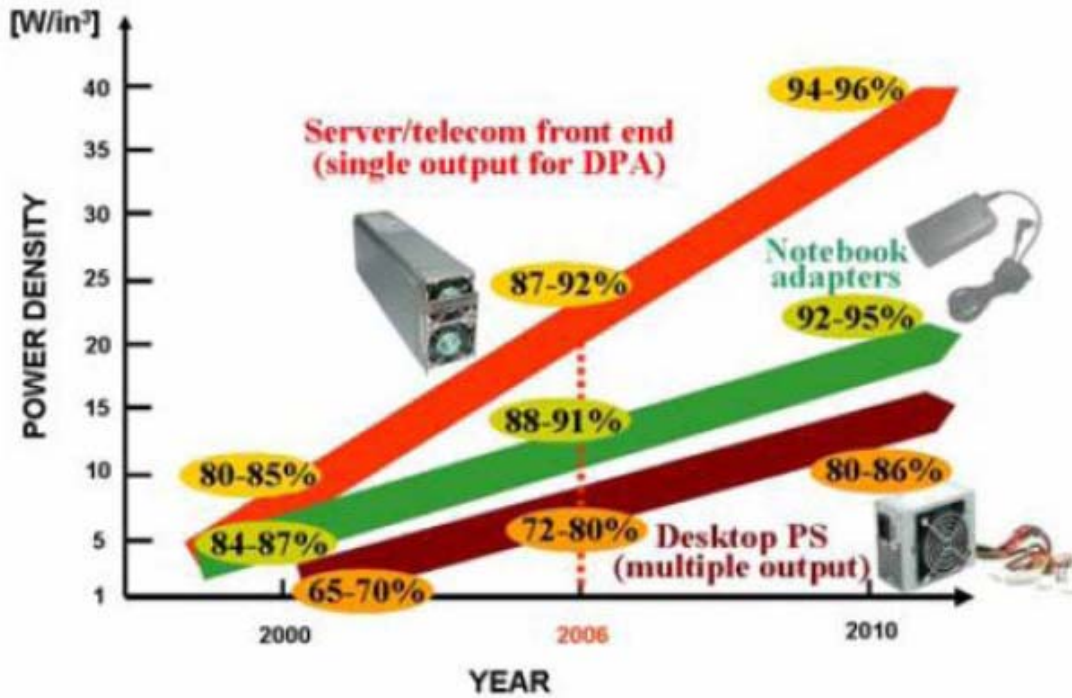
일반적으로 linear power supply는 line frequency transformer와 heatsink 때문에 크기나 무게를 줄일 수 없고, 입출력전압의 비율만을 이용하기 때문에 효율을 높을 기회를 얻을 수 없다. 반면에, SMPS는 line frequency transformer를 없애거나 heatsink 크기를 줄이거나 할 수 있어, 크기와 무게를 줄일 수 있고 효율면에서 많은 장점이 있다. 더욱이, conduction loss와 switching loss 사이의 tradeoff를 잘 고려한 switching frequency를 찾는다면 power density를 더 높일 수 있는 기회도 존재한다.

1970년 초반, 전력전자용 MOSFET의 개발과 power magnetic 기술의 발전은 switching frequency를 더욱 높일 수 있는 기회를 제공했고, 이로써 magnetic component의 크기를 더욱 줄일 수 있었다. 초기의 switching frequency는 수 kHz였으나, 지금은 수백kHz에서 수 MHz 대까지 높아지고 있는 상태이다.

일반적으로 최대 switching frequency는 출력전력 수준, 입력전압 범위 그리고 galvanic isolation 유무에 따라 결정되는데, DC/DC converter 의 switching frequency 범위가 AC/DC converter보다 높은 것이 일반적인 현상이다. DC/DC converter의 switching frequency는 1MHz 정도까지 높일 수 있고, AC/DC converter인 경우는 80-200kHz 범위가 일반적이다.

AC/DC converter의 power density는 큰 변화가 없이 진행되다가, 1990년 후반 들어 인터넷 수요와 맞물린 서버, 네트워킹, 스토리지 장비 등의 요구사항에 따라 중요한 변화가 생기기 시작한다. <그림 1>은 지난 10여년 사이의 AC/DC converter의 효율과 집적도를

나타낸 것이다. 2000년에는 5 Watt/in³이던 것이 현재에는 30 Watt/in³이상으로 크게 개선되었다. 이러한 효과는 좋아진 부품과 설계 최적화에 대한 이해 그리고 패키징 기술의 발전 등에 의해서 이루어진 것으로 볼 수 있다.



<그림 1> AC/DC Converter의 효율 (Efficiency)와 집적도 (Power Density) 변화

최근까지는 full load 상태에서의 전력 효율을 중요시해 왔으나, 가전과 network 장비의 성장으로 인해 light load에서의 전력 소모도 중요 이슈로 대두되고 있다. U.S. Energy Star, German Blue Angel, Japan Top Runner 그리고 유럽의 ECoC와 같은 단체에서의 전력 공급 장치의 규격화가 진행되고 있으며, 이에 따라 power supply 제작회사나 control IC 개발회사의 R&D 자원이 이들 규격을 맞추기 위한 구조로 재배치되었다. 특히 미국의 경우, 2007년 U.S. Environmental Protection Agency's (EPA) Energy Star Specifications를 발표하여 관련된 규격을 제정하였다.

2) 기술의 발전

전력의 변환과 전달 시스템의 성능을 개선하기 위해서 필요한 기술은 크게 4가지 정도 (Topology, Devices & Material, Architecture & Power Management, Packaging & Thermal)로 구별된다.

현재까지는 전력 변환 topology 목적에 따른 조정과 반도체나 magnetic material 기술의 발전이 주요 성능 개선점이었으나, 향후에는 효율과 집적도를 향상하기 위해서는 시스템 구조와 전력관련 최적화를 병행하여야 하며 패키징과 열역학적 기술 개발이 뒤따라야 한다.

Load-activity-based power management의 예로서 PMbus를 들 수 있는데, PMbus는 digital power management bus를 규격으로 채용하였다. 전력 계통 시스템의 power management를 위해서 공개된 통신 규격을 채택함으로써 여러 업체의 IC를 시스템 수준에서 통합하고 관리하는 것이 가능해졌다.

일반적으로 digital power management는 시스템 수준(동적 버스 전력 최적화, 부하 의존적 제어, 적응적 dead-time 제어 등)에서의 성능 최적화를 가능하게 하고 있다. 게다가 디지털 기술과의 융합을 통해, 전력 시스템의 제어, 감시, 보호 등의 기능을 소프트웨어 등을 통해 가능하도록 만들고 있다.

3) 측면에서의 Power Supply 요구 사항

조사기관에 따르면, 현재 쓰이고 있는 외장형 전원공급 장치 (cellular phone, cordless phone, cable modem 등)의 효율은 20 ~ 75% 정도이고, 내장형 전원공급 장치 (가전, 컴퓨터, 사용용기기 등)의 효율은 50 ~ 90%인 것으로 알려져 있다. 실제로 이들 효율은 적절한 가격대에서 80 ~ 90% 정도로 올릴 수 있다고 평가된다. 미국내에만 약 30억개 정도의 전자제품이 있고, 해마다 수천만개의 새로운 power supply가 공급되고 있는 실정을 보면, power supply의 효율 개선은 굉장히 중요한 문제가 된다. Power supply의 동작 모드에 따른 전력 소모는 active시 73%, standby시 24%, sleep시 3%가 된다는 통계치를 응용해서 볼 때, standby와 sleep시의 소모전력 감소 방안이 power supply에 반드시 포함되어야 한다. 미국은 Energy Star product specifications를 통해 용량별 전력 효율을 규정하고 있다.

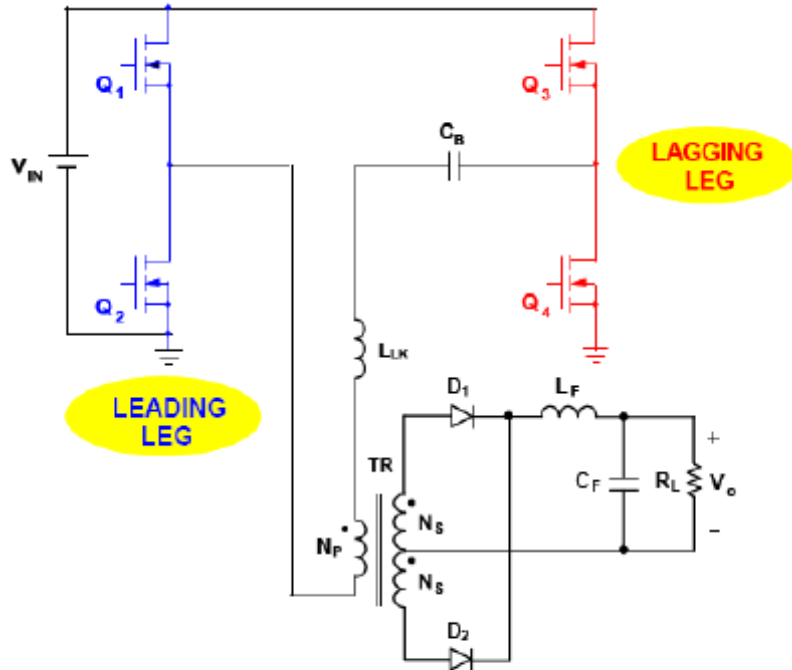
나. Topologies 발전 방향

SMPS가 도입된 후, 효율과 집적도를 개선하기 위한 주요 R&D 과제는 새로운 power topology를 찾는 것이었다. MOSFET의 개발 이후부터 보다 높은 switching frequency를 기반으로 하는 새로운 topology 개발과 설계 최적화를 위한 노력들이 SMPS 분야의 핵심 기술이 되었다. MOSFET 기술은 스위칭 손실을 최소화하는 방향으로 전개되었다. 스위칭 손실은 hard-switched PWM (Pulse Width Modulated) converter의 switching frequency를 높이기 위한 주요 장벽에 해당한다.

Topology 개선을 위한 연구는 초기부터 resonant power conversion에 집중되었다. ZCS (zero current switching) converter와 ZVS (zero voltage switching) QR (quasi-resonant) / MR (multi-resonant) converter, class-E converter 등이 소개되었다. 1980년말에 MHz대의 switching frequency로 동작하는 20 Watt/in³ 집적도를 갖는 구조들이 발표되었으나, 가격적인 문제로 상업화에는 실패하였다. 그러던 중 ZVS QR flyback converter (variable frequency CCM/DCM boundary)를 이용한 high frequency DC/DC converter 상용화에 성공을 거두게 된다.

하지만, QR이나 MR은 ZVS/ZCS를 이용해 높은 동작 주파수로 동작할 수 있어 magnetics의 크기를 줄이는 데 성공할 수 있었으나, 추가적인 conduction loss의 증가로 인해 효율에서 좋은 결과를 내는 데 문제점을 드러냈다. 게다가 variable frequency switching이라는 어려운 제어 기술의 구현 문제로 인한 손실도 효율적인 topology 진전에 방해가 되었다. 그럼에도 불구하고, QR과 MR converter 개발과정을 통해서 얻어진 스위칭 손실에서의 parasitic effect에 대한 이해를 바탕으로 high frequency SMPS의 발전의 새로운 계기가 되기도 했다.

결과적으로 성능 손실이 없는 topology 개발은 switching loss와 conduction loss 사이의 tradeoff를 받아들일 수 있는 형태로 진행되었다. 그 대표적인 것이 soft switched topology의 한 형태가 <그림 2>의 full-bridge (FB) ZVS PWM converter with constant-frequency phase-shift control이다. 이 topology는 크기와 효율면에서 좋기 때문에 high-power server, telecom, networking power supply 등에서 광범위하게 쓰이고 있고, soft-switched boost PFC (power factor corrected) converter와 결합하여 AC/DC power supply로 사용이 가능하다.



<그림 2> FB ZVS PWM Converter

반도체와 magnetic material의 제조 기술의 발전으로 인해 resonant converter에 대한 도전적인 결과가 속속 등장하고 있다. 최근에 PFC front-end LLC converter가 새로운 AC/DC power supply 시장의 주요 제품으로 등장했다. LLC converter는 2차측rectifier에 ZCS 조건을 만족하기에 이들 body diode의 복원특성을 개선해주는 효과가 있다. LLC topology는 laptop adapter, server power supply, LCD TV를 포함한 가전 power supply 등에 널리 쓰이고 있다. 집적도와 효율 향상을 위한 또 다른 접근으로는 interleaving technique이 있다. 낮은 주파수로 동작하는 복수개의 converter module를 병렬로 연결하여, phase shifting (or interleaving) 방식으로 각 converter module을 시분할 운영하는 것이다. 이 방법을 통해서 magnetic component, input filter, output capacitor 등의 크기나 용량을 줄일 수 있는 장점을 갖는다. 또한, load에 따른 용량 조절도 가능해진다. 일반적으로, topology에 관한 미래의 R&D 작업이 새롭고 획기적인 것을 발견할 것이라는 기대는 힘들 것이다. 대신에 지금까지 잘 알려지고 잘 다듬어진 buck, boost, flyback, forward, bridge topologies와 그 변종들이 주요 power supply 시장을 점유할 것이다. 그러나, synchronous rectifier driver, bulk capacitor size, EMI filter size 등은 high efficiency와 high power density를 위해서 해결해 나가야 할 주요 문제는 남겨져 있다.

다. AC/DC Power Supply를 위한 Digital Power Control

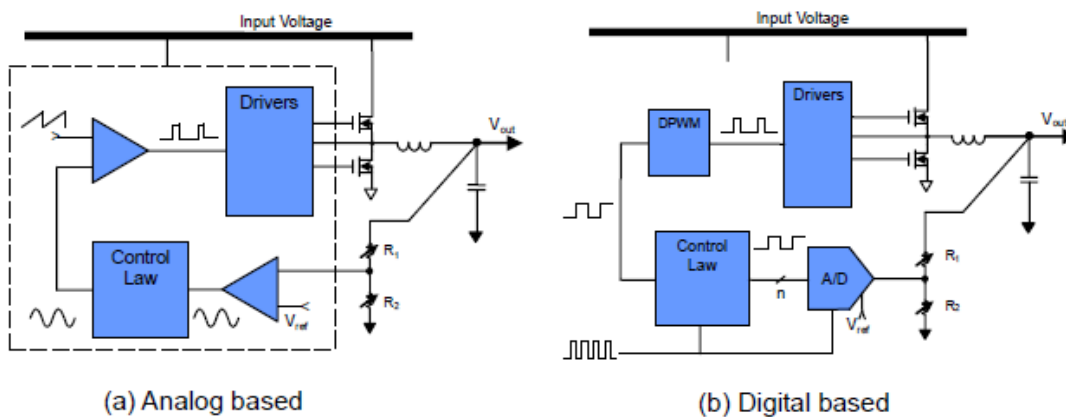
1) Digital Power Control

최근 십여년 동안 “새롭게 등장하는 디지털 파워가 아날로그 파워를 대체할 수 있을까?” 라는 주제로 논쟁이 진행 중이다. 어느 분야에서든 아날로그와 디지털은 상호 보완적인 관계이지 서로가 상대를 대체하기에는 여전히 문제를 남긴다.

전통적인 아날로그 구현 방식에서는 integration, 다양한 제어, monitoring 등의 문제가 쉽지 않다. 반면에 순수한 디지털 구현 방식에서는 아날로그에서만 제공되는 편리성, 실시간 처리 등의 효과를 기대하기 어렵다.

CMOS 기술의 놀라운 발전으로 FPGA, ASIC, Processor, Memory 등 디지털 IC의 집적도는 급속히 증가되고 있다. 집적도가 높아짐에 따라 디지털 IC의 전원 전압은 점점 낮아지고 있어서, 순수 디지털로 파워 IC를 구현한다면, 수십 Amps가 필요하니 이는 현실적으로 가능성이 없다. 반면에, energy saving 등을 고려하면 여러 종류의 동작모드에서 동작해야 하는 power supply 구현에는 디지털 회로의 도움이 절대적으로 필요하다. 디지털은 유연성, 적응성 등 고유의 장점을 지니기 때문이다.

Power supply의 기본적인 목적은 동작상태가 바뀌더라도 안정된 reference voltage을 유지하여 높은 전력을 공급하는 것이다. 이런 목적은 analog-based이든 digital-based이든 관계가 없는 것이다. Analog power conversion과 digital power conversion을 비교하기 위해서, <그림 3>의 synchronous buck controller를 보자.



<그림 3> Synchronous Buck Controllers

Analog-based converter는 수십년동안 매우 높은 효율과 고성능의 전력 공급 장치의 일부로 널리 쓰여 왔다. 그 주요 소자는 error amplifier (원하는 출력 전압 V_{ref} 과 실제 출력 전압의 차이를 비교함), Controller (analog error signal을 받아 filtering, amplifying, summing 등의 동작을 함), ramp generator (switching clock에 동기가 맞춰져 있음), 그

리고 driver (MOSFET를 on/off 시킴)으로 구성된다.

Controller는 MOSFET를 on/off 시키고, 그에 따라 inductor와 capacitor를 통해 filtering을 진행하여 출력단에 원하는 DC 전압을 만들어 낸다. 이 출력전압은 다시 controller의 입력으로 전달되어 전체적으로 closed-loop control이 되도록 동작한다.

이 analog buck converter는 간단하고, 이해하기 편하며, 실시간 동작 반응을 보인다. 그러나, 이 구조는 최소한 30개의 discrete 소자를 포함하여 시스템수준에서의 integration은 그리 쉬운 편은 아니다. 제어기의 상태를 monitoring 하거나 관리하기가 용이하지 않고, 넓은 동작 범위를 요구하는 응용에는 적용하기 힘든 특징을 지닌다.

Digital-based converter는 대응되는 analog-based converter와 유사하게 구현할 수 있다. 단, 신호가 digitized되어 숫자로 변환된 후 처리된다는 점이 다르다. 일단 아날로그 신호를 A/D converter를 통해 digitized number로 변환되면 조작하고, 관리하고 모니터링하는 데 제한이 거의 없어지게 된다. 그러나, A/D converter의 변환속도의 한계로 인해 실시간 처리의 한계가 있어, 빠른 스위칭을 요구하는 응용에는 제한이 따른다.

또한, 정확도를 높이기 위해서는 A/D converter의 bit resolution을 높여야 하는 단점도 있다. 이 2가지 문제는 digital buck controller가 analog buck controller에 비해 10배 이상의 전력소모를 갖게되고, IC화 할 때 큰 문제점으로 남는다.

Analog-based controller와 digital-based controller는 각각 장단점을 지니고 있다. 이들의 장점을 살리고 단점을 보완하는 방법이 mixed-signal power conversion이다. 일반적으로 넓은 의미의 digital power conversion은 mixed-signal power conversion을 의미한다.

Mixed-signal IC 설계는 CMOS analog design, 신호처리 기술, gate-level digital 구현 등의 조합이라고 볼 수 있다. 단순히 analog와 digital의 조합을 넘어, 효율성과 전문성, 복잡성을 모두 고려한 설계방법이라 볼 수 있다.

지난 수십년간에 걸쳐 mixed-signal product는 많은 분야에서 그 가능성이 검증되고 있는 상황이다. 향후 power conversion 분야에서도 mixed-signal power solution이 아날로그/디지털의 두 영역의 장점을 살리기 위한 중요한 기준이 될 것으로 본다.

2) 업체별 Digital Power Solution 소개

가) Battery Management (Maxim)

현재 사용하고 있는 2차 전지는 망간 (Mn), 니켈카드뮴 (Ni-Cd), 니켈수소 (Ni-MH), 리튬이온 (Li+), 리튬폴리머 등 다양한 셀을 기반으로 제작된다. 이들의 전기화학적 특성이 차이가 있기 때문에 충전방식에 모두 다를 수 밖에 없다. 충전은 전력변환의 topology를

이용하여 CC-CV (Constant Current, Constant Voltage)의 적절한 시간적 조합으로 진행되는 데, 충전방식의 최적화 여부에 따라 전지의 수명이 결정된다.

Maxim은 여러 종류의 battery management용 IC를 개발해왔고, 이 분야에서는 주요 사업자이다. Maxim은 전통적으로 analog design을 통한 DC/DC conversion IC를 공급해왔고, 2차전지용 IC에는 다중 셀에 대한 솔루션, 충전 state의 관리 등을 digital design을 통해 제공한다.

나) AC/DC Charger (iWatt)

iWatt는 digital power control을 목표로 창업했으며, AC/DC charger for cellular phone을 digital solution을 상용화에 성공한 회사이기도 하다. AC/DC charger의 기능이 복잡한 것은 아니었지만, 아날로그 제어를 통해서 해결하기 어려웠던 CC-CV 제어에서 민감하게 동작하는 부분을 digital control을 통해 해결함으로써, digital power control의 새로운 장을 열었다.

다) PFC Controller (TI)

TI는 PFC를 위한 controller를 소프트웨어 솔루션으로 제공한다. Digital control의 큰 장점이 hardwired IC 이외에도 소프트웨어가 가능할 수 있다는 것을 제품 상태로 보였다. 물론 전력전자를 위한 제어 형태에서의 시장이 저가를 중심으로 하고 있기 때문에, 아직까지는 소프트웨어 솔루션이 가격 경쟁에서 어려움이 있는 것은 현실이다. 그러나, 고부가가치가 있는 제품 응용과 flexibility가 반드시 필요한 곳에는 하나의 대안으로 성립될 수 있다.

라) 기타

Power controller IC를 공급하는 미국내 회사를 포함한 대부분의 회사들은 digital power control에 관심을 갖고 있고, 여러 종류의 제품을 개발하고 있다고 볼 수 있다. 그러나, 그 접근 방법이 analog를 digital로 대체하는 수준에 머물러 있다고 보인다. 이는 전력전자라는 부분이 워낙 아날로그 기반의 기술이었기에, digital 기술과의 접목이 쉽지 않기 때문이다.

3) 업체별 AC/DC LED Driver 소개

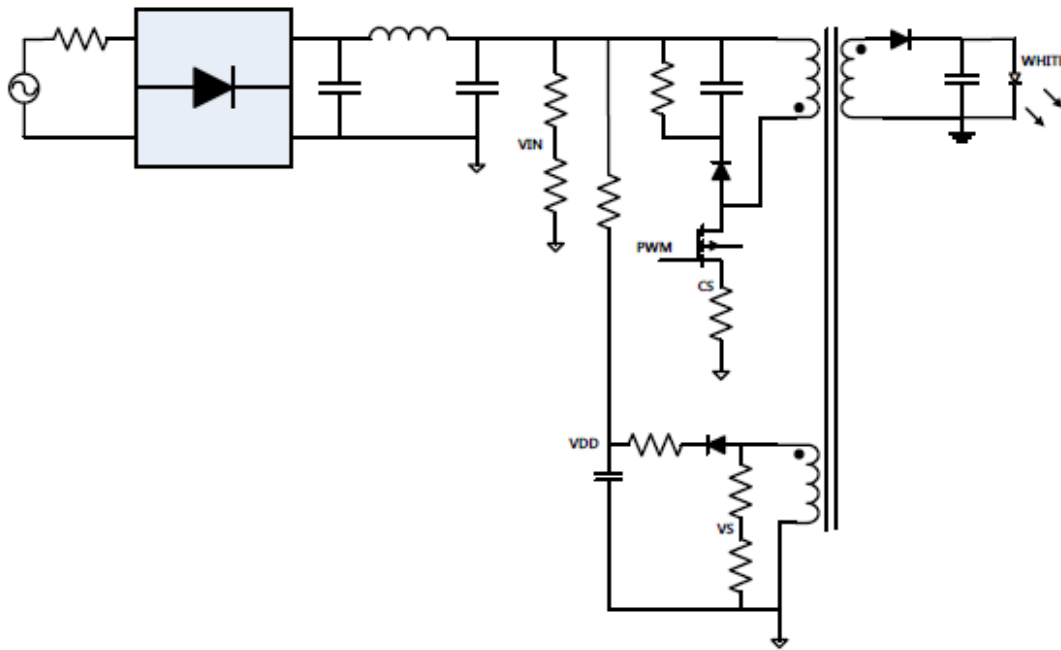
가) Single-Stage PFC Flyback LED Driver

최근 energy saving, 탄산가스 배출, 수명 등의 이유로 LED 조명이 각광을 받고 있다. 많은 제조업체가 LED 조명용 제품을 출시하고 있는 상태이다. 그러나, LED 조명에 대한 요구사항 정리와 이에 따른 규격화가 진행 중인 상태이다. 따라서, 현재 생산되고 있는

다수의 LED 조명 제품은 규격사항을 만족할 수 있는 지에 대한 검토가 필요한 실정이다. 현재 수십 Watt급에서 쓰이고 있는 AC/DC LED driver는 2-stage conversion이 주종을 이룬다. 첫 stage는 AC/DC conversion with/without PFC이고, 두번째 stage는 DC/DC conversion이다. LED 조명에서 쓰이는 topology도 기존의 power conversion topology와 같을 수 밖에 없으므로, 기존에 출시된 driver IC를 중심으로 LED 조명을 설계하다보면, 2-stage solution으로 갈 수 밖에 없는 상황이다.

그러나, 기존 출시된 driver IC는 power supply이었고, 그 주목적이 정전압 (constant output voltage) 변환이기에, 정전류 (constant output current) 변환을 목적으로 하는 LED 조명과는 성능에서 차이를 갖게될 수 밖에 없었다.

이에 미국내의 power controller IC 제조 업체에서는 LED 조명이 갖추어야 할 요구사항을 반영한 driver IC 개발에 많은 자원을 투자하고 있다. 그들의 수십년 간의 노하우를 통해 결정된 대표적인 topology는 <그림 4>에 나타낸 single-stage PFC flyback converter이다. 이 구조는 flyback converter를 기본으로 하여, primary side sensing을 통해 LED 전류를 추정하는 방법을 채택하였고, 이를 통해 출력전류를 제어하게 된다.



<그림 4> AC/DC Single-Stage PFC Flyback Converter for LED General Lighting

각 업체가 공통적으로 개발하고 있는 특징은 다음과 같다.

- Universal AC mains
- High efficiency
- Single stage PFC for universal AC mains

- LED current accuracy
- TRIAC dimming control (trailing- and leading-edge dimmers)
- EMI improvement
- Protections (Over-current/voltage/temperature, Open-lamp)
- Flyback converter (Isolated solution)
- Quasi-resonant switching with maximum switching frequency
- Primary side sensing control (No optocoupler)

Flyback converter는 기본적으로 transformer의 의해 galvanic isolation이 되므로 safety 문제를 근본적으로 해결할 수 있고, 향후 규격화가 추진되고 있는 PFC (power factor correction)도 해결할 수 있다.

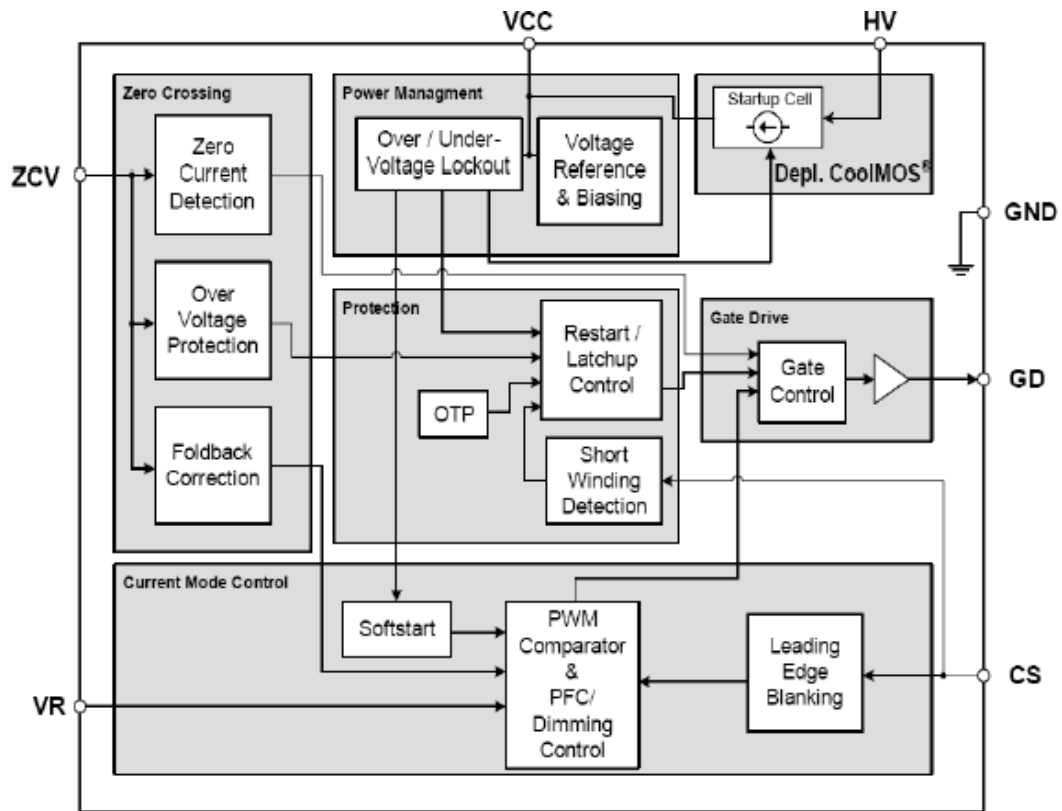
특히, 북미, 유럽, 일본 등에 지역에서 기설치된 triac dimmer와 LED lighting의 연동이 가능하도록 기능을 추가함으로써 응용범위를 넓힐 수 있게 된다. 또한, primary side sensing을 통해 optocoupler을 없앴고, single-stage PFC로 구현함으로써 제품 cost를 크게 줄일 수 있다.

<그림 4>와 같은 topology를 이용한 LED driver IC를 여러 업체가 개발하고 있는데, 업체의 특성에 따라 analog based IC 또는 mixed-based IC로 개발에 나서고 있다. 현재 시점에서 보면, mixed-based IC로 개발한 업체만이 시제품을 내놓고 있다.

이는 LED lighting이 가져야 할 여러 요구사항을 만족하기 위해서는 driver IC 자체가 복잡한 여러 모드로 동작이 가능해야 하고, 이를 구현함에 있어서 digital control의 가능성이 높다는 것을 간접적으로 보여주고 있다.

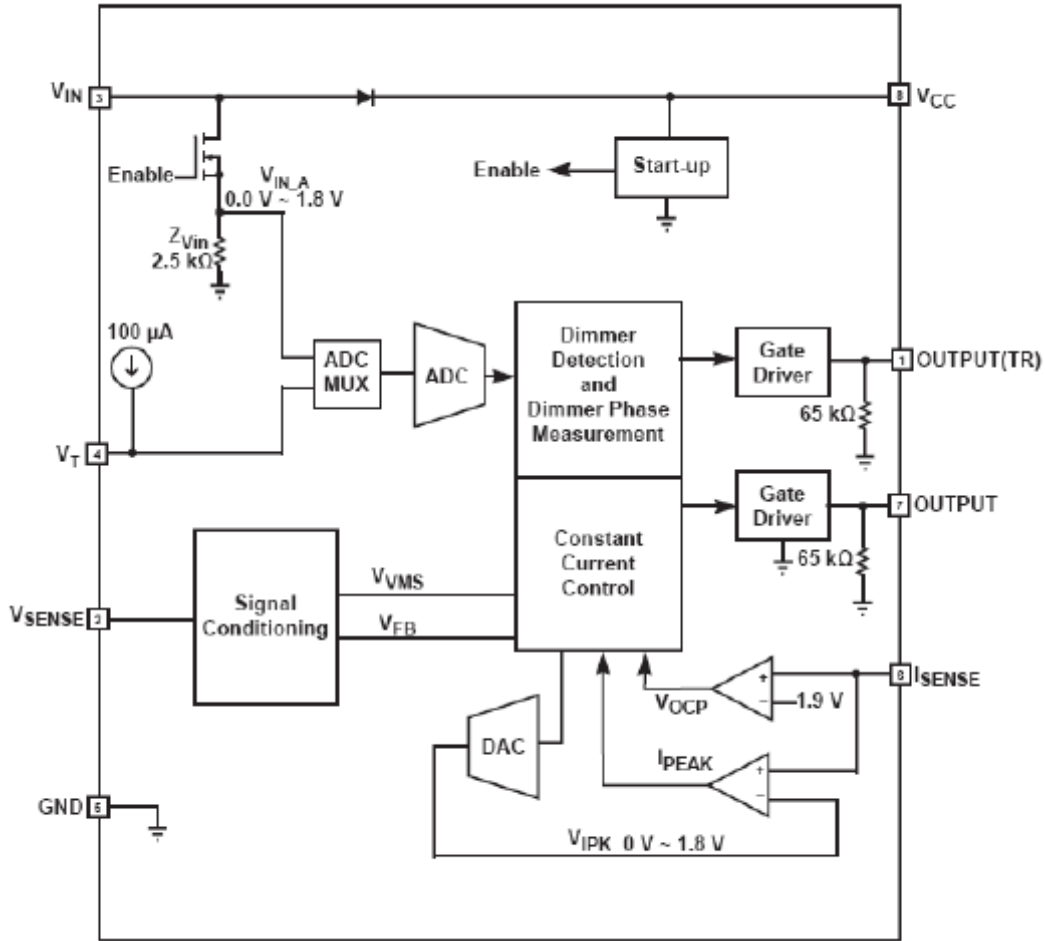
나) Infineon's ICL8001G

Infineon의 ICL8001G는 <그림 4>와 같은 flyback converter 구조를 사용한 AC/DC LED driver IC이다. AC 입력 전압의 zero crossing을 추정하는 부분과 current mode control를 담당하는 부분을 digital control로 구현했다. Bias나 voltage reference, gate driver 등은 아날로그 회로로 구현되었다. 아날로그와 디지털의 특성을 비교적 잘 고려하여 partitioning이 이루어졌다고 평가된다. 그러나, 디지털로 구성된 제어기의 성능에는 문제가 있어 보인다. 한 예로, 입력전압 크기에 따른 foldback point correction 등이 universal input에 대한 해결책을 제공하지는 못하고 있음을 반증한다. 또한, triac dimmer에 대한 완전한 해결책을 제시하지 못하고 있기도 하다.



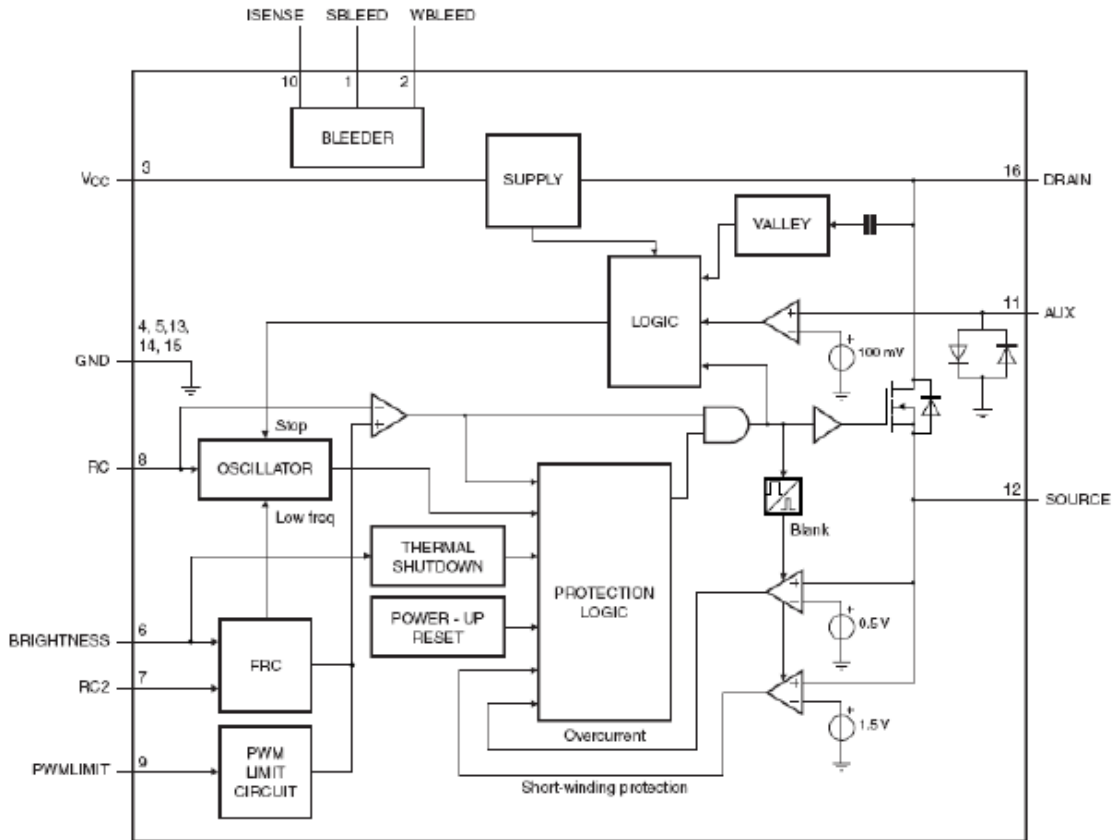
다) iWatt's iW3610 and Cypress's CY8CLEDAC02

iWatt는 디지털 제어를 통한 power IC 선두 개발업체로서, AC/DC charger의 디지털 솔루션을 제공한 바 있다. 이 또한 flyback converter를 기반으로 했기 때문에 그 기능을 current regulation으로 바꾸어 iW3610으로 발표했다. 디지털 제어를 위해서 ADC와 DAC를 사용하였고, 그 크기가 상당할 것으로 예상되어 전체 IC 크기와 가격이 경쟁에서 밀릴 듯 하다. 또한, triac dimmer의 해결책으로 추가적인 chopper를 사용하는데, 비용증가가 또한 예상된다. Cypress의 driver IC는 iW3610과 쌍둥이 제품쯤 되는 것으로 판단된다.



라) NXP's SSL2101

NXP사는 triac dimmer에 대한 가장 확실한 솔루션을 제공한다. Triac의 bias를 지키기 위한 bleeder 회로를 도입해서 leading-edge와 trailing-edge에 대한 방법을 제공한다. QRC valley switching과 protection 등을 위해서 digital logic으로 구성했다. 그러나, PFC에 대한 해결책은 없고, 복잡한 외부 회로 등으로 인해 비용 증가가 예상된다.



마) Marvell's 88EM8080

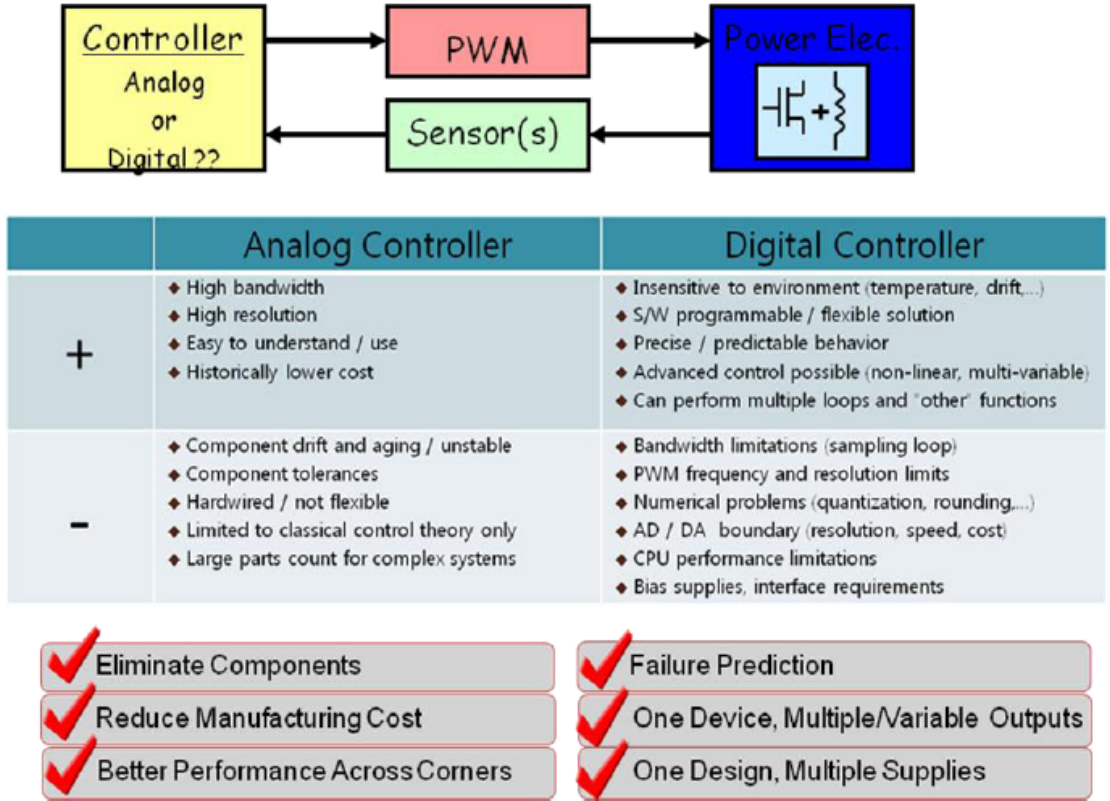
Marvell은 몇 년 전부터 primary side sensing 방식은 아니지만, single-stage PFC flyback driver IC를 제공해 왔다. 구조적으로 디지털 제어 방식에 의해 CV를 이루는 방식이며, Marvell은 많은 부분을 디지털로 대체했다고 판단된다. 현재 primary side sensing 방식이 대세이므로 그에 맞는 IC를 제공할 것으로 예상된다.

4) Digital Power Control의 발전 방향

전통적으로 전력전자 분야는 아날로그 기술을 기반으로 하여 발전하여 왔다. 가장 기본이 되는 정전압 (constant voltage)를 유지하는 방법은 선형 시스템을 기반으로 하는 PID 제어 방식의 사용이 일반적이었다. PID 제어 방식은 OP Amp로 구현이 가능하기 때문에 아날로그방식에서 사용할 수 있는 거의 유일한 것이기도 하다. 그러나, PID 방식은 선형시

시스템에 대한 최적화를 목적으로 하기 때문에, SMPS와 같은 비선형성을 충분히 제어하기에는 부족함이 많다. 따라서, 아날로그 기반의 제품 설계시 응용이 정전압 유지가 아닌 경우에는 많은 미해결점이 남게된다.

<그림 5>는 digital design과 analog design의 장단점 비교이다.



<그림 5> Digital Power Control to Add New Features

두 방식 모두 장단점을 지니고 있기 때문에, 어느 것이 더 유리하다고 직접적으로 말하기 어렵다. 다만 응용에 따라 유불리가 결정될 수 있다. 성능면에서만 따져보면, DC/DC power supply는 제어자체가 PID로 충분하므로 아날로그가 유리한 반면, AC/DC power supply의 제어는 비선형제어를 쓸 수 있는 디지털 방식이 유리하다. 따라서, 제품의 응용 분야와 성능에 대한 요구사항과 비용에 대한 tradeoff를 따져서 전체 구조를 결정해야 한다.

Power supply의 주요 발전 방향이 high efficiency와 high power density이다. High efficiency는 topology 개발과 그에 따른 제어의 정확도에 의해서 결정된다고 볼 수 있다. 얼마나 정확한 시점에 정확한 양으로 SMPS를 제어하는 가를 중요하다. 그런 면에서 보면, 디지털제어 방식이 중요한 해결책이 될 수 있다. 반면에, high power density는 전력전자 소자의 발전과 함께 얼마나 빠른 속도로 switching을 실행할 수 있는 가에 달려 있다. 이를 위해서는 제어의 정확도, 추정 신호의 해석 등 고속의 신호처리 기법이 필요

하며, 아날로그로는 해결하지 못하는 당연한 디지털제어 기술이 요구된다.

Power supply가 디지털 기술과 접목됨에 따라, 새로운 다양한 응용이 생기게 될 것으로 예상된다. 예를 들면, power supply끼리 network으로 연결되는 것이다. 서로의 정보를 주고 받으므로써 architecture 최적화 및 smart grid로의 발전 등으로 전개될 것으로 본다. 이를 위해서는 전력전자와 디지털 신호처리 및 디지털 통신 기술의 통합이 미래 digital power control의 발전방향의 큰 축이 될 것으로 예상된다.

4. 결론

Power supply 기술과 제품은 high efficiency와 high power density를 만족시키는 방향을 진행되고 있다. 고효율과 고집적화를 이루기 위해 많은 노력들이 진행되었고, 그 노력의 한 분야가 디지털 기술을 이용하여 아날로그 제어 방식이 갖는 한계에 도전하는 것이다. 아날로그와 디지털 기술 모두 장단점을 동시에 갖고 있기 때문에, 서로의 장점을 살릴 수 있는 구조로 연구개발이 진행된다면 SMPS 성능 개선에 해결책을 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

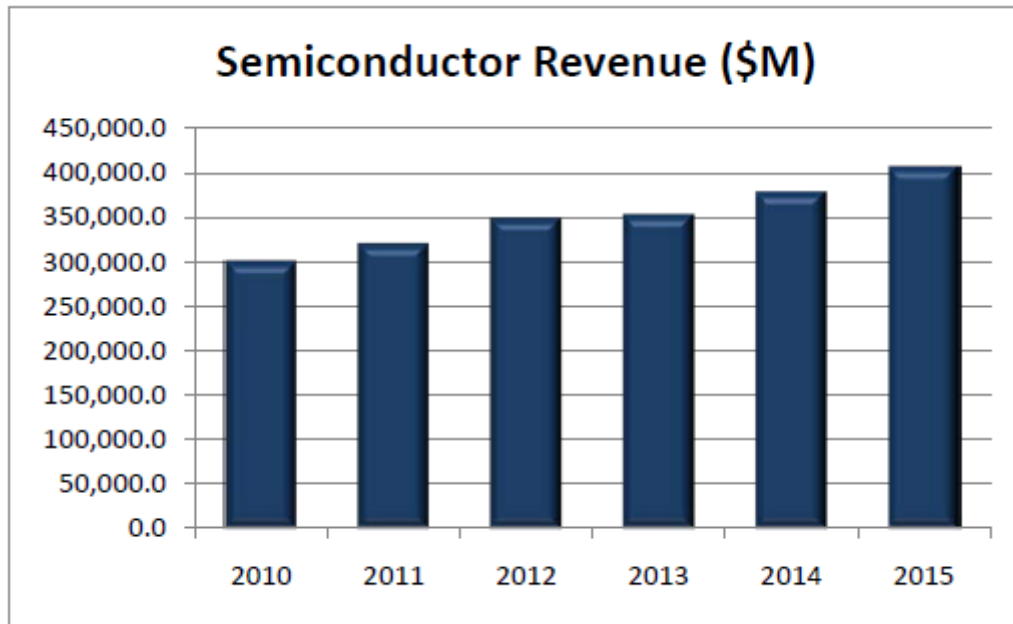
전력 변환 기술에서 전통적으로 강한 면을 보이고 있는 많은 미국내 회사들은 향후 생겨날 새로운 응용의 시장을 주도적으로 만들어가고 있으며, 그에 맞는 솔루션을 준비해 나가고 있다. 한국의 디지털 가전이 급성장을 이루면서, 한국이 고급 파워 시장의 중요한 자리를 차지하고 있는 실정이다. 그러나, 주요 솔루션의 공급처는 여전히 미국의 전통적인 파워 회사이다. 이를 극복하기 위해서 한국의 파워관련 회사들이 기술적 중심 무대를 SMPS 기반의 mixed-signal power solution 개발로 전환하여 새로운 시장에 대비해 나갈 수 있어야 한다. 전력전자 부분이 아날로그 기술을 기반으로 해서 성장해 왔기 때문에, 디지털 기술을 접목하는 것이 결코 간단한 것은 아닐 것이다. 그러나, 고부가치를 갖춘 제품과 새로운 응용이 필요한 제품은 mixed-signal power solution이 될 가능성이 점차 증가하고 있는 상황을 반드시 고려해 봐야 한다.

5. 차세대 적층 패키지 기술의 전망

가. 전자 패키지 기술의 개요

1) 전자 산업과 전자 패키지 산업의 동향

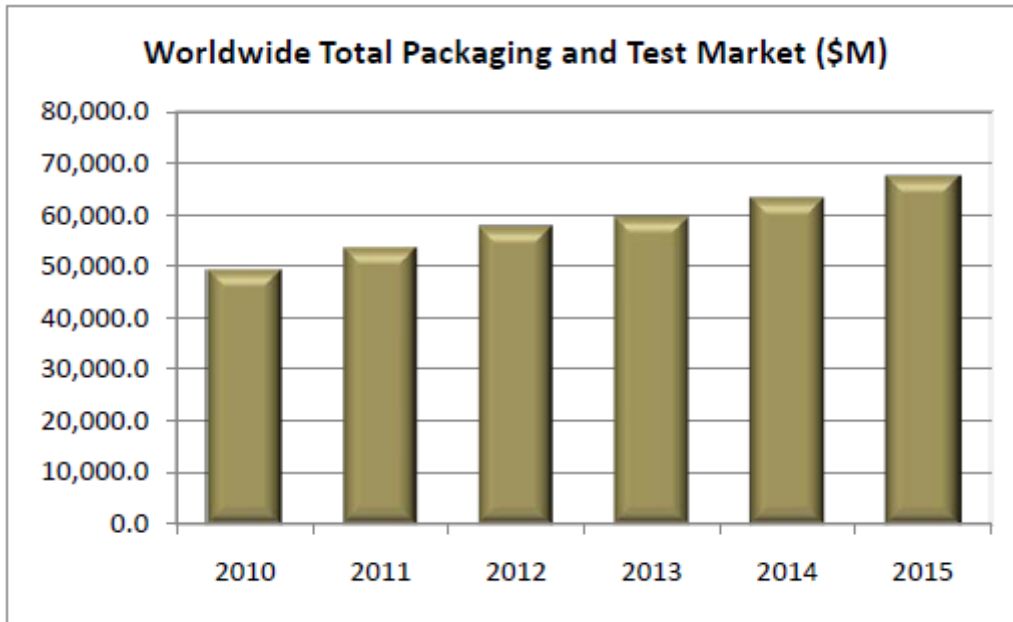
2011년 미국 경제는 고유가에도 불구하고 3%의 성장을 웃돌 것으로 전망된다. 세계 경제 역시 4.4%의 높은 성장을 달성할 것으로 예상되고 있다. 미국 안팎의 경제 성장으로 전자 산업은 완제품과 이를 생산하기 위한 부품과 장비 산업 모두 괄목한 성장이 기대된다. 2011년 반도체 장비 산업은 390억 달러로 성장할 것으로 예측되며, 반도체 산업 전망 역시 그림1과 같이 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.



(그림 1) Semiconductor revenue prospect (Gartner)

전자 패키지 기술은 전자 제품 안에 들어가는 반도체 칩의 기능이 완제품의 성능으로 나타날 수 있도록 가해지는 일련의 모든 기술활동을 포함하는 전자 산업의 핵심기술이다. 갈수록 작아지고 고기능화 되어 가고 있는 스마트폰, 태블릿 PC, 디지털 카메라, 등 첨단 제품의 소형화/고집적화/고기능화 구현을 위해 필수적인 요소 기술이다.

반도체 소자를 여러개 적층하여 용량 및 기능을 향상시키고 새로운 소재나 공정을 개발하여 부품 외형 및 연결을 소형화하는 고부가가치 기술활동을 모두 포함한다. 특성상, 반도체 산업과 이를 핵심 소자로 사용하는 고부가가치 전자 산업을 연계시키는 중요한 역할을 하고 있으며 미래 전자 산업을 이끌어 갈 중추 산업이다.



(그림 2) 반도체 패키징 시장 전망 (Gartner)

(표 1) 전자 패키지 재료 시장 전망 (SEMI and TechSearch International Inc.)

Segment	2010 Global Market (Millions)	2011 Global Market (Millions)
Leadframes	\$3,197	\$3,271
Organic Substrates	\$8,377	\$9,083
Ceramic Packages	\$1,377	\$1,423
Encapsulation Resins	\$1,510	\$1,604
Bonding Wire	\$5,260	\$4,985
Die Attach Materials	\$698	\$753
Others	\$207	\$233

전자 패키지 산업 또한 반도체 산업과 전자 산업의 지속적인 증가세와 맞물려 그림 2와 같이 2014년 까지 꾸준히 증가할 것으로 전망된다. 전자 패키지에 사용되는 재료의 시장 전망 역시 2011년 표 1과 같은 소폭의 증가가 예상된다. 삼성전자와 인텔로 대변되는 IDM (Integrated device manufacturer) 업계의 패키지 관련 매출은 세계경제 위기를 겪은 2009년의(207억 달러) 단기 감소 이후 2014년까지(320억 달러) 연평균 9%의 꾸준한 상승을 유지할 것으로 예측된다. Amkor와 ASE로 대변되는 전자 패키지 전문 업체, SATS (Semiconductor Assembly and Test Service) 업체들의 연간 매출도 2009년 171억 달러에서 2014년 340억달러로 15% 이상의 고 성장이 기대된다.

2) 차세대 전자 패키지 기술

최근의 전자 패키지 업계는 high end 전자 제품의 고기능/소형화를 가능케할 차세대 전자 패키지 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 고집적화와 고기능화를 위해 PoP (Package on Package), PiP (Package in Package), MCP (multi-chip package), 등 적층 패키지의 적용이 활발히 진행되고 있으며 wirebonding 없이 칩간 연결을 TSV(Through silicon via)로 구현하는 3D 패키지에 대한 준비가 진행 중이다. 제한된 크기의 부품안에 다양한 기능을 넣기 위한 SiP(System in Package)와 더불어 WLP(Wafer Level Package)에 대한 수요가 무선 소자를 중심으로 서서히 증가하고 있다. WLP는 크기가 작고 I/O수가 적은 칩에 대해 공정 원가가 절감되고 성능이 개선되는 효과를 가져오고 있다.

본 보고서에서는 상기의 차세대 전자 패키지 동향에 발맞춰 하기의 차세대 적층 패키지 기술에 대해 자세히 정리해 보았다. 본 내용은 미국의 주요 전자부품 및 반도체 기업들이 준비하고 있는 차세대 적층 패키지 기술의 동향을 파악하고 그 전망을 예측해 보는데 도움이 될 것이다. 또한, 국내 연구기관들이 전자 패키지 관련 연구 방향을 설정하거나 국내 기업들이 사업 전략을 수립하는데 기여할 수 있을 것이다.

- Die 적층 패키지 (Die Stacked Package)
- PoP (Package on Package)
- PiP (Package in Package)
- 3D TSV (Through silicon via) 패키지

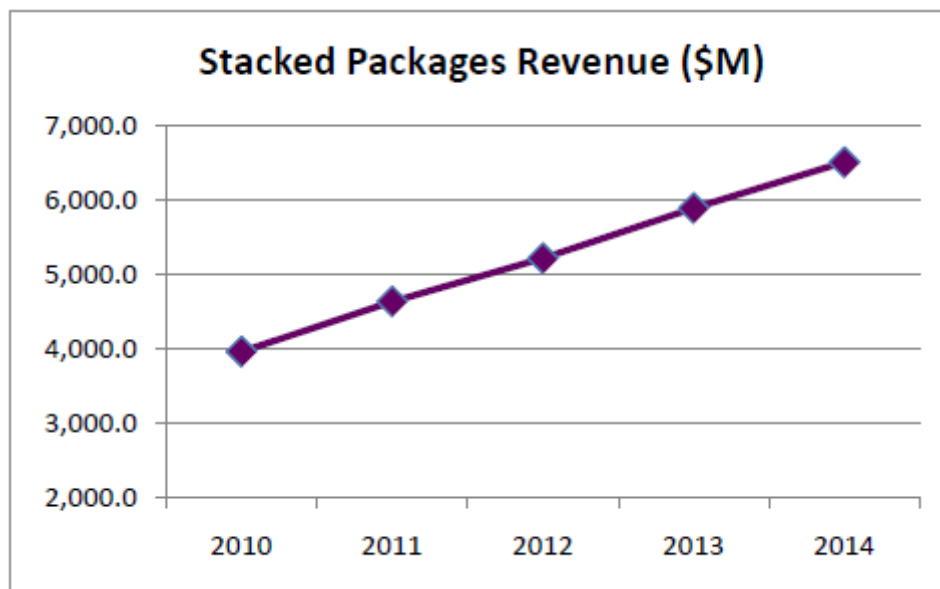
나. 적층 패키지

적층 패키지는 두개 이상의 die 또는 패키지를 수직으로 적층하여 용량을 증가시키거나 기능을 다양화 시키는 패키지이다. 크게, 같은 종류의 메모리를 (DRAM 또는 NAND) 두 개 이상 적층하는 Die 적층 패키지, logic 패키지 위에 메모리 패키지를 얹는 PoP, 그리고 logic 패키지와 메모리 패키지를 하나의 패키지 안에 집적하는 PiP로 구분 될 수 있다. 고용량 메모리 모듈, 스마트 폰, 테블릿 PC, 등에서 폭넓게 적용되고 있다.

반도체 공정은 25nm node에서 오랜 기간 정체될 것으로 예상된다. 그 기간동안 용량, 전력소모, 성능 향상에 대한 소비자 요구는 적층 패키지로 대응될 것이다. 특히 high-end 모바일 제품에서 제한된 공간 내 프로세서와 메모리간 연결 성능을 극대화할 수 있는 PoP 의 수용이 급가속화 되고 있다.

또한, 모바일 제품의 데이터 저장을 담당하는 NAND 패키지 또는 메모리 카드의 용량 증가를 위해 ODP (Octa-die Package: 8개 die 적층) 적용이 활발히 진행 중이다. 이러한 적층 패키지의 시장 성장은 그림 3과 같이 2014년 까지 꾸준한 증가를 보일 것으로 전망 된다.

고성능/저가 재배선 개발, I/O의 증가에 의한 미소 피치 극복, 8개 이상의 die 적층을 위한 공정 개발, KGP(Known good package) 테스트 process 개발에 의한 수율 향상, 등이 향후 주어진 도전과제로 남아 있고 이를 해결하기 위한 업계간 경쟁이 치열하게 진행 되고 있다.



(그림 3) 적층 패키지 시장 전망 (New Venture Research)

1) Die 적층 패키지

Die 적층 패키지는 하나의 기판 (substrate)에 두개 이상의 die를 수직으로 적층하여 용량 증가를 구현하는 패키지이다. 같은 종류의 메모리(DRAM 또는 NAND)를 적층하는 제품군과 다른 종류의 메모리와 logic을 혼용한 군으로 구분된다.

같은 종류의 메모리 die를 적층한 제품군의 경우, 적층 숫자에 따라 DDP (Dual Die Package; 2개 적층), QDP (Quad; 4개)), ODP (Octa; 8개), 등으로 나뉜다. DRAM 패키지의 경우 DDR3 32GB 이상의 서버에 들어갈 고용량 RDIMM과 VLP DIMM에 대해 DDP 제품이 출시되어 있다. NAND die 적층은 I/O수가 DRAM 대비 상대적으로 적고 고성능보다는 고용량에 치중되어 있어 다중 적층이 용이하다. 모바일 제품의 내/외장 하드 디스크 역할을 하는 eMMC, SD카드, M2, 등에서 8개의 die를 적층한 16/32GB 제품들이 출시되어 있다.

이중 메모리나 logic die를 한 패키지에 적층하는 제품군은 MCP (Multi-chip package)로 지칭한다. 모바일 SDRAM, 플래시 (NOR/NAND), 그리고 아날로그 die를 한 패키지 안에 적층하며 모바일 프로세서 근처에 장착되어 성능 향상을 돕는다. 스마트 폰과 같은 소형 모바일 제품에는 공간 절약과 성능 향상을 위해 프로세서 위에 PoP (Package on Package) 형태로 실장된다. SiP와는 다르게 패키지 자체가 stand alone 부품이 아닌 프로세서 유닛에 종속되어 성능 향상을 보조하는 부품이다. 또한 SiP와는 다르게 수동 소자를 포함하지 않는다.

하나의 패키지안에 다수의 die를 적층하면 패키지 내 가장 비싼 재료인 기판 (substrate)을 하나만 사용할 수 있어 원가 절감 효과가 탁월하다. 패키지 적층 패키지에 비해 패키지 높이를 낮출 수 있는 장점도 있다. 와이어본딩으로만 적층된 die들을 기판으로 연결하는 기존의 방식에서 flip-chip된 bottom die에 top die를 와이어본딩으로 연결하는 혼합형 패키지가 갈수록 증가하고 있다. 4개이상의 die가 적층된 패키지의 연결은 low loop height를 구현하기 위해 reverse 와이어본딩이 활발히 적용되고 있다.

또한, 많은 수의 die를 적층하기 위해서 100um 이하의 wafer 두께가 필요하며 DBG (dicing before grinding) thinning 방법이 적용되고 있다. DBG 방법을 이용할 경우 15um까지 thinning이 가능하다. 이와 같이 얇은 wafer를 개별 die로 자르기 위해 레이저 scribing 후 wafer를 쪼개는 방법과 stealth 레이저 조사 후 wafer를 잡아 당겨 분리 시키는 방법이 연구되고 있다.

얇아진 wafer를 다루기 위한 다양한 기술들이 소개 되고 있다.

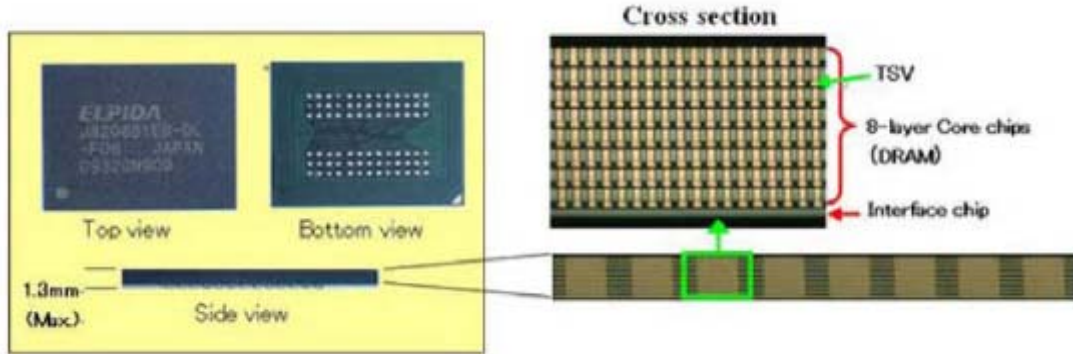
Tru-Si는 유체를 이용하여 손상을 최소화 시킨 베루누이 wafer handling 방식을 개발하였으며, CoreFlow는 공기의 가압과 감압을 조절하여 warpage가 큰 wafer를 die 균열 없이 다룰 수 있는 Smart-Nozzle 법을 특허화하여 업계에 소개하고 있다.

얇은 die를 기판에 접착하기 위해 기존의 paste 타입 접착은 한계에 도달할 것으로 예상된다. 50um 이하의 die 접착을 위해서는 필름 타입 접착이 용이하며 이에 따라 적은 잔류 응력과 저온 접착이 가능한 필름 타입 접착 소재를 개발하기 위한 연구가 지속되고 있다. 필름 타입 접착 소재는 wafer를 얇게 연삭(grinding)하고 DAG (dicing after grinding)와 DBG(dicing before grinding)법과 연계하여 wafer를 자르기 쉬워 높은 가격에도 불구하고 paste 타입 접착제를 대체할 것으로 예상된다.

Wafer를 얇게 연삭하는 공정은 상대적으로 쉬우나 향 후 die 균열이나 이온 이동(ion migration)과 같은 신뢰성 문제와 직결되어 있어 wafer의 표면거칠기를 최적화 하고 연삭면의 손상을 최소화해야 하는 도전적인 과제들이 남아있다. 이러한 신뢰성 문제들은 die가 얇아지면 얇아질수록 극대화 되기 때문에 이를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 mechanical 연삭 및 연마 대비 플라즈마를 이용한 방법이 높은 양산성과 적은 손상이 가능하여 주요 IDM 및 장비 업체들을 중심으로 진행되고 있다. 그러나, 높은 장비 단가와 열차단 테이프의 개발 등 아직 해결해야 할 문제가 많다. 그 밖의 화학적으로 습식/건식 식각을 하는 방법이 Applied materials와 Tru-Si를 중심으로 진행되어 50um까지 시연된 바 있다. 실리콘만 식각하는 높은 selectivity를 구현하는 조건과 양산성을 높이는 개발 작업이 지속 중이다.

Die 적층 패키지의 활용은 모바일 핸드폰, 엠피3, 베이스 스테이션, 캠코더, 디지털 카메라, 노트북, 고용량 서버 등 소형에서 대형 기기 까지 폭넓게 이뤄지고 있다. Elpida는 2009년에 8개의 1Gb DDR3 SDRAM을 적층한 TSV (Through silicon via) DRAM ODP를 engineering 샘플로 배포한 바 있다. 작동 데이터 bandwidth는 1,600Mbps 였으며 TSV를 구리 도금으로 채웠고 그림 4와 같이 맨 밑에 interposer spacer를 두었다. 이와 같이 Die 적층 패키지의 경우, 8개 die 이상부터는 TSV interconnection이 주를 이룰 것으로 예상된다. 2011년 TSV의 target pitch는 30um이며 단가는 wafer당 \$100로 낮춰질 수 있을 것으로 전망된다. TSV에 대한 내용은 제2장에서 상세히 다루도록 하겠다.

삼성전자도 2009년에 32Gbit NAND 플래시 die를 8개 적층한 32GB ODP 제품을 선보인 바 있다. 30nm node die를 15um 두께로 thinning한 후 적층 하였으며 패키지 전체의 두께가 0.6mm 밖에 안 되는 초박형 모바일 저장 매체로 개발되었다.



(그림 4) 8 Gb TSV DRAM ODP (Elpida 2009)

2) PoP (Package on Package)

그림 5와 같이 로직이나 베이스밴드 프로세서 위에 메모리 패키지를 얹는 PoP의 가장 큰 장점은 위와 밑의 패키지를 따로 테스트한 후 실장하여 KGP(known good package)로 높은 수율을 달성할 수 있다는 점이다. 로직과 메모리 소자의 테스트는 현저하게 달라 각 소자의 full 테스트를 수행할 수 있다는 것 또한 빼 놓을 수 없는 장점이다.



(그림 5) PoP 개략도 (Amkor)

PoP는 die 적층 패키지와는 달리 OSAT(Over sea assembly and test) 업체에게 유리한 제품으로 그 시장은 지속적으로 성장할 것이다 (표 2). 주어진 로직 bottom 패키지 위에 구미에 맞는 메모리 패키지를 찾아 얹으면 되기 때문이다. 최근 밑과 위 패키지 간 I/O 수의 증가로 0.4mm 이하의 피치(볼간 간격)로 적층해야하는 기술적 도전을 받고 있다. 피치가 미세해지면 볼의 높이가 낮아져 밑의 패키지를 최대한 얇게 만들어야 하는 어려움이 뒤 따른다. 이는 pin gate 몰딩, die thinning, low wire loop height, 등 기반 기술들의 개발을 요한다. 뿐만 아니라, 밑과 위 패키지 간 warpage 거동을 보다 가깝게 일치시켜야 하며, 이를 위한 구조역학 설계 기술과 재료 거동에 대한 심도있는 연구가 뒷받침되어야 한다.

Pop에서 위 메모리 패키지의 성능 향상이 지속적으로 이루어질 것으로 예상되며, 모바일 DDR2 이상의 메모리에서 200pin 이상의 I/O가 요구될 경우 0.4mm Pitch로의 전환이 불가피하다. 표 2는 향 후 PoP에 필요한 bottom 과 top간 연결 I/O수의 전망을 타나낸다.

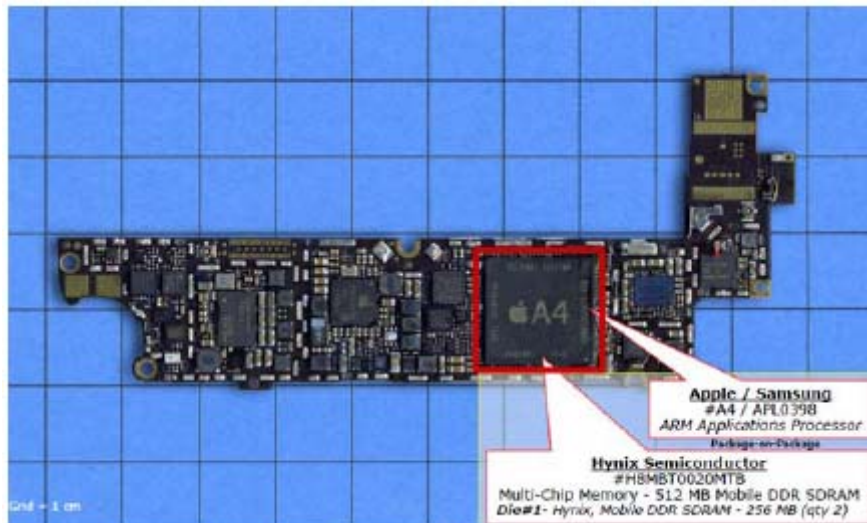
(표 2) PoP 패키지 시장과 I/O수 전망 (Amkor)

	2010	2011	2012	2013	2014	CAGR
Revenue (\$M)	1,467	1,665	1,816	2,047	2,247	11%
Average No. of I/O	252	256	257	261	265	-

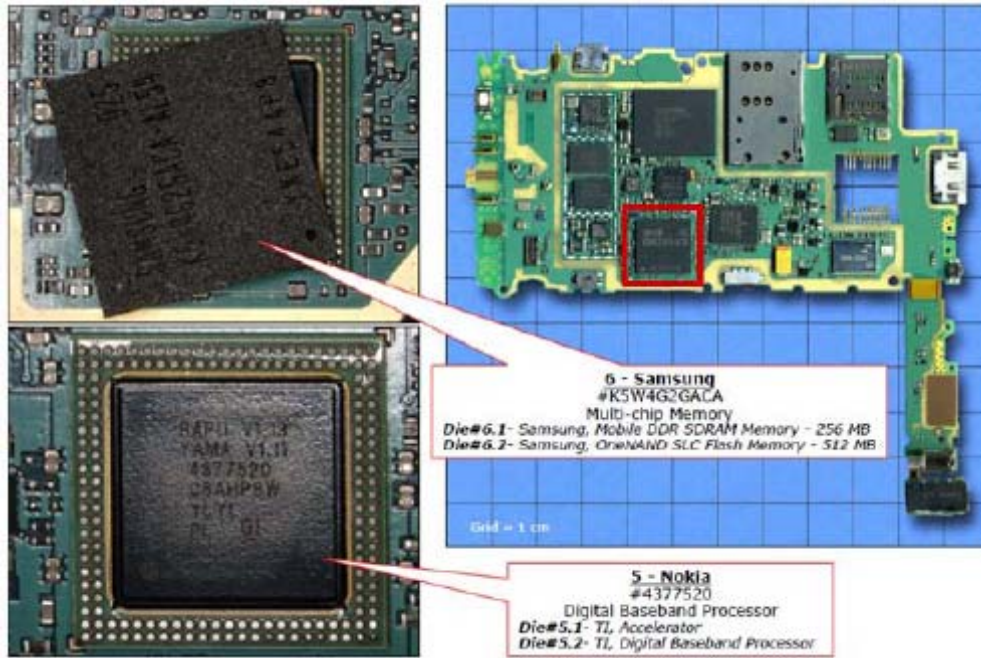
PoP에서 프로세서에 해당하는 밑 패키지는 그 용도에 따라 어플리케이션 프로세서, 베이스밴드 프로세서, 그래픽 프로세서, 이미지 프로세서, 등으로 나뉜다. 어플리케이션 프로세서는 모바일 핸드셋 기기내에서 멀티미디어, 그래픽, 통신, 이미지에 관련된 다양한 연산 처리를 수행하고 초기 스마트폰 및 high-end 핸드폰에서 채택되었으며 ASIC의 형태로 TI, Intel, 삼성전자 등에서 공급한다.

그림 6은 Apple Iphone4에 장착된 어플리케이션 프로세서 PoP이다. 베이스밴드 프로세서는 high-end 무선 모바일 기기에서 통신관련 연산과 기타 어플리케이션 연산을 전문으로 담당하고 3G이상의 고속 통신과 GSM, 블루투스, Wi-Fi, Wi-Max, 등 광대역망 통신을 아우르기 위해 필요하며 Broadcom, Qualcomm, 등이 주요 공급자이다.

그림 7은 Nokia N8에 장착된 디지털 광대역 프로세서 PoP를 나타낸다. 그래픽 프로세서는 PSP와 Nintendo로 대변되는 모바일 게임기기의 그래픽 처리 유닛이며 nVIDIA, 등이 시장을 주도하고 있다. 이미지 프로세서는 high-end 디지털 카메라 및 캠코더에서 고용량 이미지 센서로 부터 들어오는 신호의 고속 처리를 위해 최근들어 늘어나고 있는 추세이며, 아직 그래픽 메모리가 필요할 정도의 연산 요구는 없어 PoP 형태는 찾아볼 수 없으나 멀지 않아 나타날 것으로 예상된다. 최근에는 nVIDIA에서 개발한 SOC(tegra2: application + graphic)을 bottom 패키지로 한 PoP가 Motorola Atrix 스마트 폰, 등에 적용되고 있다.



(그림 6) Apple Iphone4에 적용된 어플리케이션 프로세서 PoP

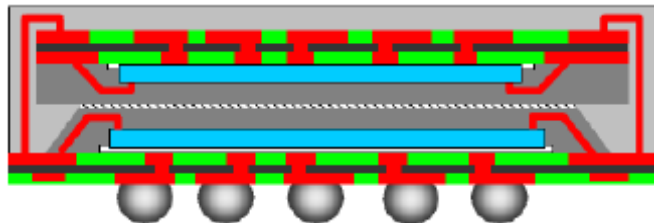


(그림 7) Nokia N8에 적용된 베이스밴드 프로세서 PoP (Portelligent)

PoP에서 메모리에 해당하는 top 패키지의 주요 공급자는 삼성전자로 시장의 50% 이상을 차지하고 있는 것으로 파악된다. 그 밖에 하이닉스, Micron, Elipida, 등도 top 패키지를 공급하고 있다.

DDR2 이상의 Top 메모리의 bandwidth에 상응하기 위해 지속적인 I/O 증가가 진행될 것이다. 또한, 데이터 전송 속도 향상을 위해 data bus width를 X32~64로 넓히는 과정에서 I/O의 증가가 예상된다. Logic die와 memory die의 패키지 co-design은 짧은 interconnection 길이를 가능하게 하고 라우팅 density를 향상시켜 성능 향상 및 기판 원가 절감을 가능하게 할 것이다.

미세 pitch PoP의 실장성과 신뢰성 향상을 위해 기판의 구조와 재료, die의 크기와 두께, die 접착제와 EMC의 물성에 대한 characterization과 이를 이용한 최적화가 매우 중요하다.



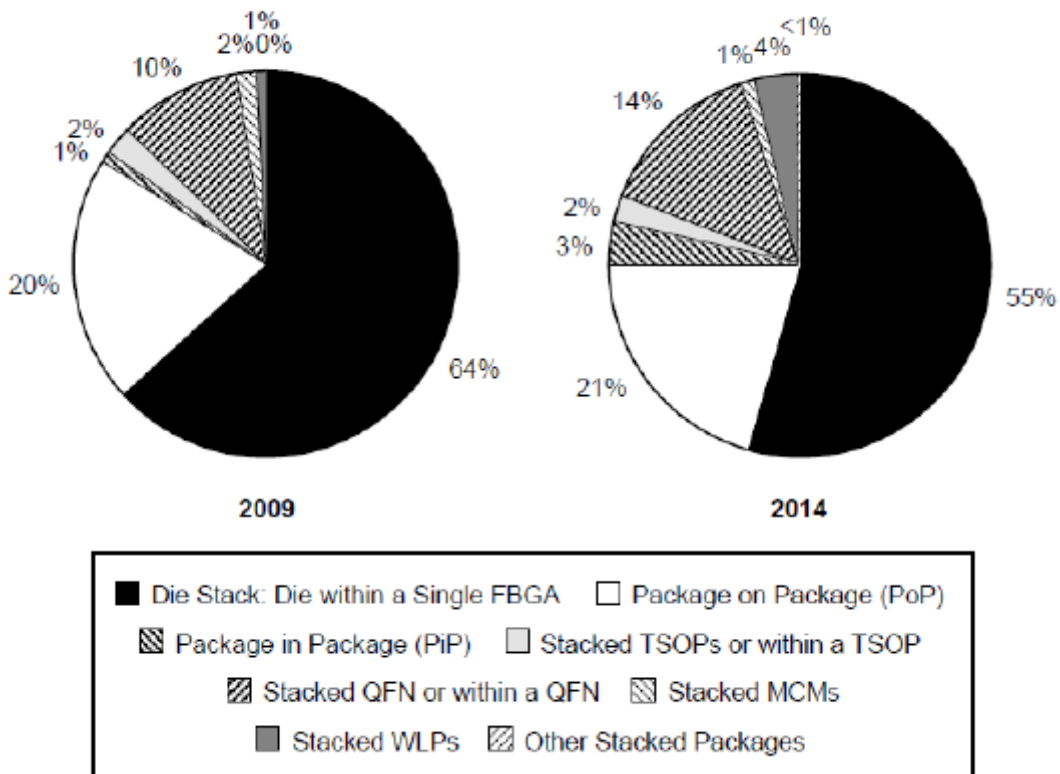
(그림 8) PiP의 개략도 (Qualcomm)

3) PiP (Package in Package)

PiP는 PoP와 유사하나 서로 다른 기능을 수행하는 chip들이 서로 다른 기판을 쓰는 형태로 하나의 mold 안에 들어가 있다는 점이 다르다. 최초의 PiP는 Stats ChipPAC에서 개발되었으나 현재 Qualcomm(그림 8)에서 모바일에 들어가는 부품으로 개발되고 있다. PiP의 장점은 기존의 Die 적층 패키지를 제조하는 인프라를 그대로 사용할 수 있다는 점이다. 추가로, die 대신 얇은 LGA(Land Grid Array) Type의 패키지를 대체하여 die 적층 시 발생하는 수율 저하를 획기적으로 개선할 수 있다. PiP에서 예상되는 문제점은 늘어난 계면으로 인해 신뢰성이 저하될 수 있다는 점이나, 기존의 패키지 재료와 공정을 그대로 사용한다는 점에서 높은 신뢰성을 보이고 있다. 전체 패키지의 두께를 최소화 하기 위해 안에 들어가는 LGA 패키지의 두께를 지속적으로 낮춰야 하는 과제를 안고 있다. 또한, PiP 안의 LGA를 공급할 메모리 업체와 Logic 패키지 간의 디자인 표준화가 필요하다.

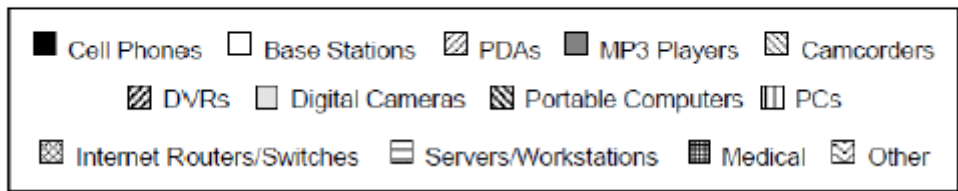
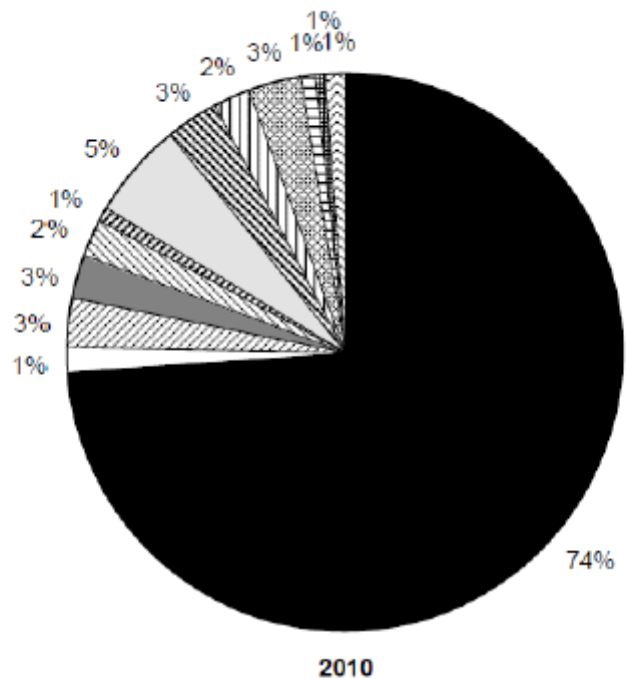
4) 적층 패키지의 전망

그림 9는 적층 패키지의 전망을 나타낸다. Die 적층 패키지가 시장의 절반 이상을 지속적으로 차지할 것으로 예상된다. 테블릿 PC와 스마트 폰, 등의 모바일 제품을 위한 PoP와 PiP의 수요도 꾸준히 증가할 것으로 보인다. 빠른 속도로 무선 소자의 패키지에 적용되고 있는 QFN(Quad flat no-lead)은 그 적층 패키지 역시 빠른 속도로 증가할 것으로 보인다. WLP(Wafer level Package)의 적층 패키지 역시 향후 5년 내 시장에 본격적으로 진입할 것으로 전망된다. 매출 측면에서는 PoP가 high-end 제품에 쓰이기 때문에 단가가 높아 die 적층 패키지와 함께 적층 패키지 시장의 80%이상을 지속적으로 양분할 것으로 예상된다. 적층 패키지 시장은 2011년에 \$4,500M에서 2014년에 \$6,500M으로 15%대의 꾸준한 성장을 보일 것이다.



(그림9) 적층 패키지 종류별 시장 점유율 전망 (NVR Corp.)

그림 10은 적층 패키지가 부품이 들어가는 application에 대한 개요이다. 스마트 폰을 포함한 휴대폰 시장에 적층 패키지가 절대적으로 적용되고 있으며 지속적으로 증가 추세를 보이고 있다. 아직까지는 경박 단순한 부품이 요구되는 휴대폰, PDA, 디지털카메라, 앰피 3, 등의 모바일 제품에 적층 패키지에 대한 요구가 편중되어 있다. 머지 않아 무선 베이스 스테이션에 PoP 적용이 급격히 증가할 것으로 예상된다.



(그림 10) 적층 패키지가 적용된 제품군 조사 (2010년 기준; NVR Corp.)

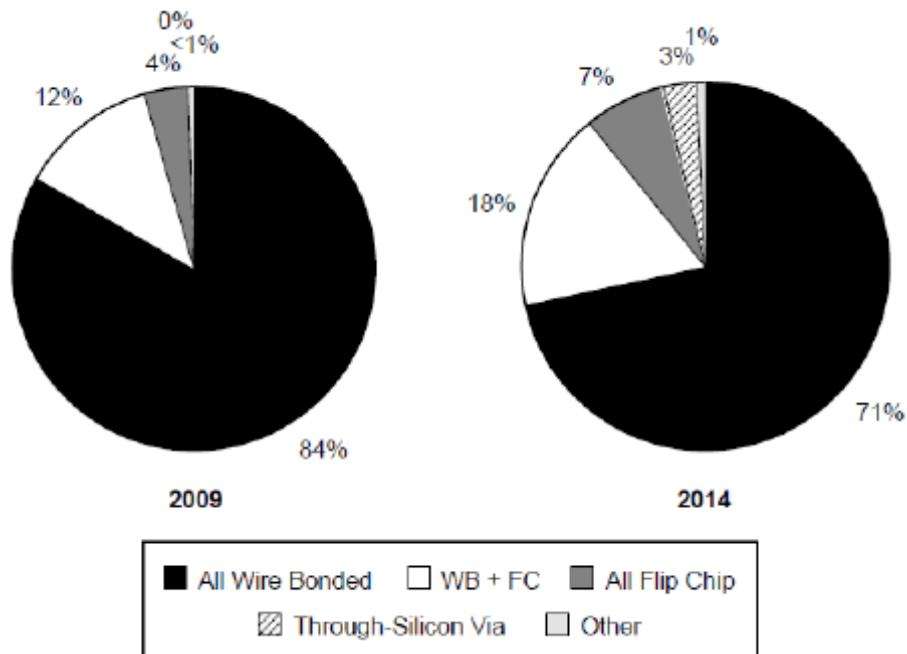
적층 패키지에 대한 수요는 고용량과 고성능에 대한 수요가 꾸준할 것으로 예상돼 지속적으로 증가할 것이다. 이미 Hitachi, IBM, 삼성전자, NEC, Oki, Elpida, 등의 DRAM 업체들은 적층 패키지 개발이 완료되어 제품으로 출시하고 있다. 다음 장에서 다룰 TSV의 연결로 die 적층 패키지의 개발은 가속화 될 것이다.

반도체 소자별 적층 패키지 적용 분포를 보면 표 3과 같다. NAND, SRAM, NOR등의 메모리만 die적층한 패키지가 시장의 40% 가까이를 차지하고 있으며 이 추세를 이어갈 것이다. 메모리와 로직, 메모리와 베이스밴드를 적층한 패키지도 꾸준히 시장을 형성할 것으로 전망된다.

(표 3) 반도체 소자 별 적층 패키지 전망 (NVR Corp.)

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	CAGR (%)
Stacked Packages (M)							
Memory	1,209	1,462	1,606	1,761	1,893	2,048	11.1
Memory + Logic	653	865	1,037	1,206	1,383	1,559	19.0
Memory + Baseband	489	624	724	823	932	1,032	16.1
Logic + Logic	243	329	387	445	506	565	18.4
Other	50	74	116	167	243	285	41.5
Total	2,645	3,353	3,869	4,403	4,957	5,490	15.7%

적층 패키지의 연결은 와이어본딩이 2014년까지 꾸준히 70% 이상을 책임질 것이다. 와이어본딩과 flip-chip을 혼용한 하이브리드 형태가 메모리와 로직을 적층하는 제품을 필두로 괄목할만한 성장을 보일 것이며 2011년부터 소개될 TSV 연결도 2014년에 적층 패키지 연결의 3%를 차지할 것으로 예상된다. (그림 11)



(그림 11) 적층 패키지의 연결 방식별 구분 (NVR Corp.)

다. TSV (Through Silicon Via) 3D 패키지

TSV는 갈수록 작고, 빠르고, 가볍고, 전력소모가 적은 전자 부품을 구현하기 위해 가장 적합한 반도체 소자간 연결 방법으로 각광받고 있다. 반도체 die에 구멍을 뚫어 via를 형성하고 이를 도전체로 채워 넣은 후 적층된 die 간 연결을 이 via를 통해 수행한다. TSV에는 신호연결, 전력공급, 그리고 열방출을 위한 via들이 존재한다. 본 보고서에서는 전기적 신호 연결을 위한 TSV에 초점을 맞춰 정리하였다.

TSV의 가장 큰 장점은 die 적층 패키지에서 die간 또는 die와 기판간 연결을 와이어본딩으로 수행했을 때와 비교하여 필요한 z-높이를 최소화 할 수 있다는 것이다. 뿐만 아니라, 전기적 연결 거리가 가장 짧아 고속 소자의 성능을 극대화할 수 있다.

1) TSV 기술의 개요

TSV를 이용한 3D die 적층 패키지는 연결 거리가 짧아 전기적으로 낮은 inductance를 구현할 수 있다. 또한 얇은 die에 작은 지름을 유지하므로써 capacitance를 낮춰 RC 지연과 전력 소모를 낮출 수 있다. 신뢰성 관점에서는 도전 via와 실리콘간 열적-기계적 응력을 최소화해야 한다. 이를 위해 크고 긴 via들은 도전체와 실리콘 사이에 polymer를 넣어 열팽창계수 차이(CTE mismatch)를 감소시킨다. Via 형성 후 화학적 wafer thinning 작업을 통해 via를 노출하고 소더 범프, 재배선 (RDL; Redistribution layer), 또는 실리콘 인터포저 등을 써서 연결의 재배선이 가능하다.

TSV에 들어가는 도전체로는 구리, 텅스텐, 폴리실리콘, 소더 등이 가능하다. 재료와 공정 관점에서 텅스텐이 가장 안정하나, 가격이 비싸고 실리콘과의 열팽창계수 차이가 가장 큰 단점이 있다. 폴리실리콘은 응력이나 warpage가 최소화 되는 장점이 있으나 전기 전도도가 상대적으로 취약한 단점이 있다. 구리가 여러 단점에도 불구하고 공정 편이성, 양산성, 전기적 특성, 등이 우수하여 많이 채택되고 있다.

Via를 back end (via last) 에서 만드는 것은 front end (via first)에서보다 크기와 피치 (via간 간격)가 클 수 밖에 없다. Via의 크기와 피치를 줄이면 더 많은 I/O 연결이 가능해 유리하나 현재 via last 공정으로는 미세 피치에 한계가 있다. Via가 작고 얇을수록 같은 I/O 수에 대해 die 크기를 최소화할 수 있어 좋으나 via 내 응력이 커져 신뢰성 문제가 발생할 수 있다.

Via first 기술의 경우 via가 트랜지스터 공정 시 만들어 지며 wafer 앞면에서 drilling을 수행한다. Via와 IC 회로가 동시에 설계되므로 많은 via를 작은 die안에 배열하는데 효과적이다. 로직 IC 제조 업체에서 개발을 시도 중이며 지름 5~10um 크기에 AR(aspect ratio)이 10인 via 개발이 공유된 바 있다. Thinning 전에 via를 형성하기 때문에 AR이 높

아 drilling 속도가 느리고 절연층을 생성하고 도전체를 채우는 과정에 기공(void) 형성이 쉬운 단점이 있다. 또한, 저항이 상대적으로 높은 폴리실리콘이나 텅스텐을 도전체로 써야하는 단점이 있다.

Via middle의 경우 front end of line(FEOL)후에 wafer 앞면에서 via를 형성한다. AR 4~10의 via들이 주를 이루고 있으며 전기저항이 낮은 구리로 채운 후 back end of line(BEOL)을 진행한다. 현재, 대부분의 TSV 개발이 via middle로 수렴되고 있는 것으로 파악된다.

Via last는 back end of line 후 wafer 앞면이나 뒷면에서 via를 형성한다. 현재 TSV를 이용해 상용화된 제품들은 대부분 via last 공정을 이용하였다. Toshiba와 삼성전자에서 사용되고 있는 TSV CIS (CMOS image sensor)의 경우 AR이 2정도이며 그 크기도 40um 이상이다. Avago, Skyworks, 등에서 출시하고 있는 RF 소자에 형성된 TSV는 신호 연결이 아닌 파워나 그라운드 연결로 사용되고 있다. Via last 공정은 BEOL 공정 후 다양한 절연박막을 실리콘과 함께 뚫어야 하는 단점을 가지고 있다. 또한, via가 BEOL 층의 라우팅을 방해할 여지가 있어 이를 방지하기 위해 금속층이 증가하거나 die 크기가 커지는 문제점이 있다.

Via의 형성은 Bosch Deep Reactive Ion Etching (DRIE) 공정으로 이루어진다. Bosch 공정은 식각과 절연막 증착 과정을 번갈아 가며 진행된다. 플라즈마 소스를 강화시키거나 식각 기체 스위칭 속도를 더 빠르게할 경우 식각 속도를 현저히 증가시킬 수 있을 것으로 예상된다. 멀지 않은 미래에 100um/min에 도달할 수 있을 것으로 내다보고 있다. 실리콘 wafer에 구멍을 뚫는 작업은 공정 양산성과 비용을 최소화 해야하는 것이 도전 과제이다. Via의 길이 대비 지름의 비인 AR이 클 수록 공정속도와 비용이 증가하고 신뢰성이 저하된다. 또한, via의 옆면을 품질을 좋게 만드는 것이 도전체를 효과적으로 채우기 위해 필수적이다.

Via를 채워 넣을 도전체를 선택 시 via 전체의 디자인이 고려되어야 한다. Via의 크기, 길이, 그리고 배치가 도전체와 실리콘간 열팽창 계수 차이에 의해 ILD (interlayer dielectric)에 균열이 발생하지 않도록 선행 연구되어야 한다. TSV 균열 파손을 최소화하기 위해 말랑말랑한 고분자 소재를 넣거나 복합재료를 이용하는 연구도 활발히 진행 중이다. 도전체를 채워넣은 방식으로 전해도금과 무전해도금법이 존재한다. 두 방법 모두 절연층과 seed 층의 품질에 큰 영향을 받는다. 무전해도금법은 void를 없애거나 overfilling을 방지하기 위한 첨가물의 조절이 매우 중요하다. Via를 채우는 속도는 AR에 따라 큰 차이를 보이지만 일반적으로 1~3시간 정도의 시간이 소요된다.

메모리에 적용되는 TSV의 전망은 표 4와 같다.

(표 4) TSV 시장 전망 (Gartner)

	2010	2011	2012	2013	2014	CAGR
Units (M)	3	16	53	100	164	172%

Wafer drilling, via filling, wafer thinning 등의 TSV 기본 공정을 가장 먼저 정립한 업체는 Tru-Si Technologies로 이에 대한 원천 특허를 많이 확보하고 있다. TSV를 개발하기 위해서는 디자인에서부터, 구멍을 뚫고, 채우고, 그리고 테스트까지 모든 부분에 있어 인프라 구축 및 선행되어야 할 연구가 많다.

얇은 wafer를 다루고 연삭하는 공정을 위해 많은 업체들이 활발히 연구를 진행중이다. 얇아진 wafer는 warpage가 심해 via 내부의 응력을 증가시킨다. Wafer를 캐리어 wafer에 부착하여 공정을 진행하는 방법이 대세를 이루고 있으나 wafer를 부치고 떼는 과정에서 die의 수율 저하를 막는 것이 핵심이다. 얇아진 die를 적층하는 방법 또한 다양한 접근법이 시도되고 있다.

Wafer-to-wafer 본딩은 Tru-Si와 자회사인 ALLVIA Inc. 에서 개발한 방법으로 같은 크기의 die를 적층할 경우에 유용하다. 공정 양산성이 극대화된 방법이나 KGD 적층을 할 수 없어 수율이 저하되는 단점과 wafer 간 정밀 alignment를 해야하는 과제를 지니고 있다. Die-to-die bonding은 KGD만 고를 수 있어 수율 향상의 장점이 있으나, 개별 die를 다룸으로써 양산성이 떨어지는 단점이 있다. Die-to-wafer 본딩의 경우 잘라진 KGD를 자르지 않은 wafer상의 KGD에 적층할 수 있는 장점이 있다.

또한, 다른 종류의 die를 재배선을 통해 align한 후 적층이 가능하고 본딩시 alignment의 오차한계 폭이 넓으며 메모리-로직, 메모리-RF 등의 적층이 가능해 응용성이 넓다. TSV로 연결된 die 적층 소자를 테스트하는 방법에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 기존의 프로빙보다 더 작은 범프와 피치를 대응해야 하는 점과 적층된 3D 메모리 die의 KGP (Known good package) 테스트를 수행하기 위한 인프라 구축이 IDM 업체들을 중심으로 준비되고 있다.

2) TSV 기술의 현황

전세계적으로 TSV를 개발하고 있는 곳은 Elpida, Fraunhofer IZM, Georgia Tech, HKUST, IBM, IMEC, IME, Infineon, Intel, KAIST, Micron, NEC, Oki, Qualcom, RPI, 삼성전자, Tessera, TSMC, Xilinx, Ziptronix, 등을 포함한 산업, 학교, 그리고 연구소 40여 곳에 이른다. 이미 해상도가 낮은 저가형 CMOS image sensor(CIS)에는 TSV가 적용되고 있다.

Handling glass wafer를 thinning과 via last 공정 후 그대로 센서의 glass cover로 사용할 수 있어 공정 및 재료 원가 절감과 수율 증가 효과가 탁월하다. CIS의 경우 메모리와 비교하여 유닛당 가격이 상대적으로 높아 비싼 TSV 공정을 감수할 수 있다. 메모리나 로직에 TSV를 적용한 제품의 양산을 위해 여러 업체들이 원가 절감 및 신뢰성 확보에 전력을 다하고 있다.

삼성전자의 경우 2007년 4월에 TSV로 DRAM을 적층하여 functional 구동을 하는 메모리 모듈을 업계 최초로 구현한 바 있다. Micron은 TSV를 이용한 WLP stack을 선보인 바 있으며, NEC, Elpida, Oki, 등도 TSV로 DRAM ODP stack을 개발하였고, Elpida는 실제 양산 준비를 추진하고 있다.

Elpida는 2009년에 1Gb DRAM 8개를 쌓은 8Gb TSV 제품을 선보였다. 2010년엔 2Gb die 8개를 TSV로 연결한 16Gb 제품을 내놓았다. 2011년말을 목표로 GPU위에 적층될 ultra-wide I/O GDDR5를 TSV로 준비하고 있다. 무엇보다 TSV 공정을 wafer당 \$100 밑으로 내리는 것에 중점을 두고 개발 중에 있다.

IBM은 2008년부터 무선통신에 사용되는 파워 앰프 소자와 마이크로 프로세서의 그라운드용 TSV 기술 개발을 완료했다. 그리고 Cisco와 함께 CPU 위에 TSV로 캐쉬 메모리를 연결하는 기술 개발을 진행하여 완료단계에 도달한 것으로 보인다.

Intel역시 CPU위에 TSV wide I/O로 메모리를 연결하는 application의 양산화를 2012년 목표로 준비 중이다. 캐쉬 메모리로 고속 메모리를 올리는 경우와 전원 차단시 데이터 저장이 가능한 비휘발성 메모리를 올리는 경우 모두를 준비하고 있다.

Qualcomm은 휴대폰에 들어가는 베이스밴드 프로세서 위에 TSV로 메모리를 올리는 기술 개발을 준비 중이다. 또한, RF를 포함한 무선 칩에 TSV를 적용하여 파워와 그라운드를 연결함으로써 고주파 성능을 향상시키는 준비도 아울러 병행 중이다. 더 나아가, 어플리케이션과 베이스밴드 프로세서를 TSV 인터포저를 이용해 모듈화하는 부품 개발도 아울러 진행 중인 것으로 파악되었다.

Alchimer는 새로운 저가 습식 도금 공정인 Electrografting 공정을 개발하여 절연층, 확산 방지층, 구리 seed 층을 높은 접착력으로 형성할 수 있는 방법을 소개하고 있다. Via의 내면이 Bosch 공정으로 굴곡이 있어도 균일하고 연속된 층을 형성할 수 있는 방법으로 각광받고 있다.

최초의 TSV foundary인 Allvia는 실리콘 인터포저의 개발 및 신뢰성 실험까지 가장 먼저

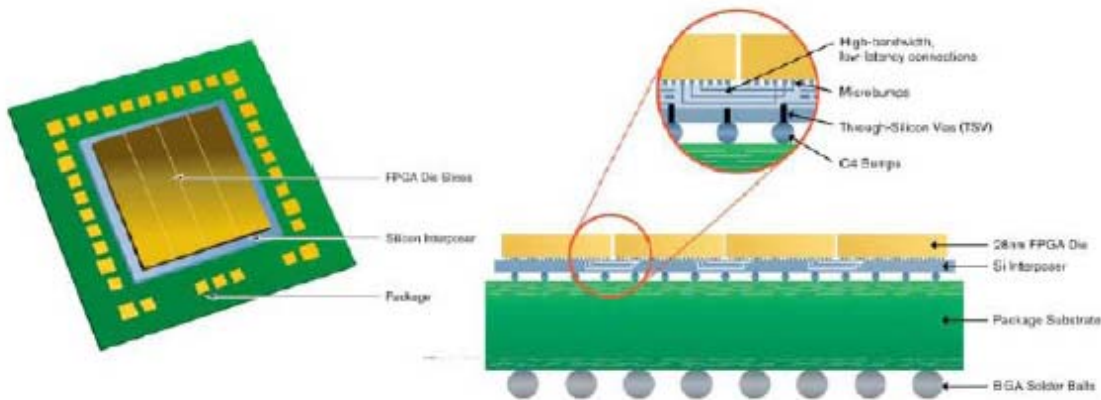
마친 상태이다. 실리콘 인터포저 내에 TSV를 이용하여 내장된(embedded) capacitor를 집적하는 공정개발과 테스트도 완료된 것으로 파악된다.

대표적인 반도체 장비 업체인 Applied Materials의 경우 via first와 middle 공정에 적합한 저온 dielectric 증착 CVD 장비를 개발하였다. AR이 아주 큰 (AR=11) TSV에도 산화막층을 균일하게 증착할 수 있다는 것이 장점이다.

NEXX Systems, Inc.는 collimator를 사용하여 저가 PVD로 도금 seed를 증착하는 장비를 개발하였다. Throughput이 CVD에 비해 빠르며 AR이 높은 TSV에도 적용이 가능하다.

3) 실리콘 인터포저 기술

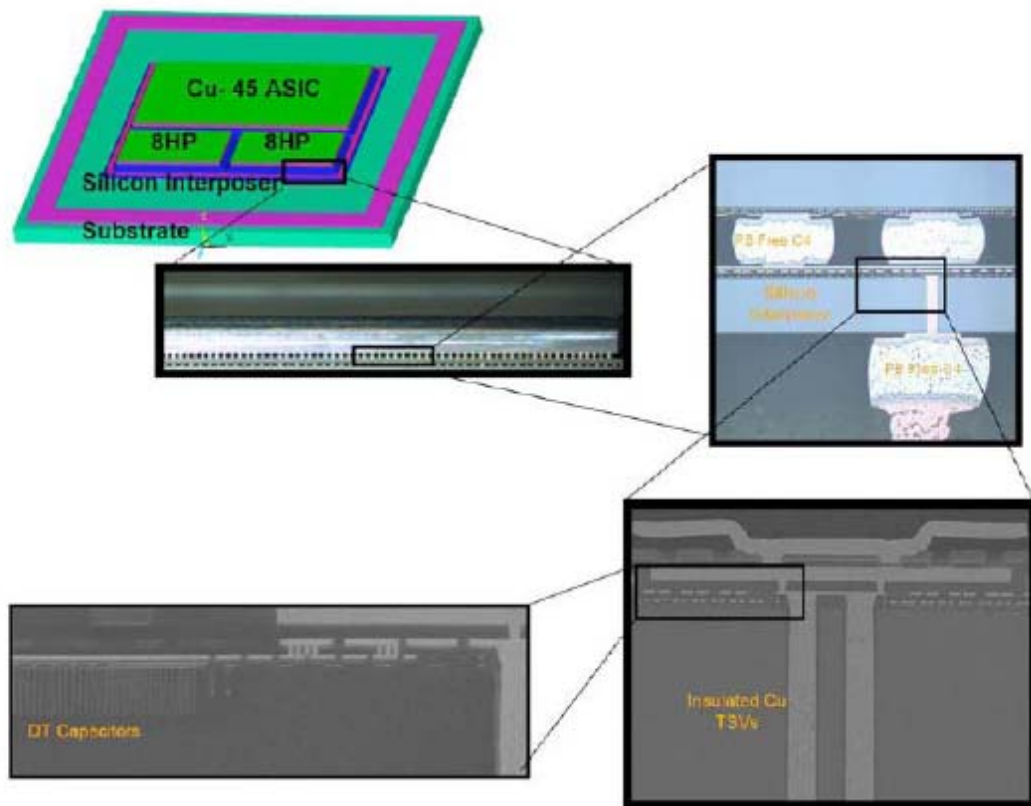
2010년 초반 재배선된 large die WLP가 단가를 유지하면서 신뢰성을 확보하는데 한계가 있다고 결론됨에 따라, 그 대안으로 재배선 대신 실리콘 인터포저를 쓰자는 분위기가 생성되었다. Die와 기판 사이의 열팽창계수 차이를 보상해줄 뿐 아니라 die의 마이크로 범프를 인터포저 위에 생성된 BEOL RDL로 fan out 하여 TSV를 통한 후 소더 범프로 기판으로 연결해 준다. 수율이 떨어지는 SOC 대신 두 종류의 KGD 로직 die를 인터포저로 연결하여 하나의 모듈로 만들 수 있다. 또한, 프로세서와 캐쉬 메모리를 함께 넣을 었을 수 있다. OSAT 업체가 패키징 솔루션을 제공하기에 용이한 모델로서 2011년을 기점으로 시장이 급속히 성장할 가능성이 높은 것으로 판단되고 있다. 다양한 die들이 인터 포저 안에 놓여지게 돼, 별개의 패키지로 PCB를 통해 데이터 전송할 때 보다 훨씬 빠른 성능을 구현할 수 있다. 인터포저 내의 TSV가 파워를 균일하게 배분하고 인터포저에 내장된 다층 capacitor를 통해 TSV를 통하는 신호의 성능을 향상 시킬 수 있다. 다수의 회사들이 TSV 인터포저를 이용한 제품을 출시할 것이라고 선언했고 TSMC를 비롯한 foundary 회사들이 새로운 supplier의 강자로 부각되고 있다.



(그림 12) Xilinx 실리콘 인터포저 (Xilinx)

Xilinx가 현재 TSMC와 4개의 FPGA(Field-programmable gate arrays) die를 하나의 인터포저에 나란히 놓는 제품을 준비하고 있다 (그림12). Die와 인터포저는 구리 pillar 범프로 연결하고 180um 피치에 지름이 10um인 TSV 인터포저를 통해 flip-chip 소더 범프로 기판과 연결된다. 인터포저는 4층 금속으로 재배선 연결을 수행하고 있다. 범프 형성을 포함한 패키지 assembly는 Amkor에서 진행한다.

IBM은 Semtech과 함께 두 종류의 logic을 하나의 인터포저로 연결하는 제품을 개발 중이다. (그림 13) 인터포저 윗면에 1층 금속으로 재배선되어 있으며 광통신 부품과 RF SiP에 적용될 기술로 소개하고 있다.



(그림 13) IBM 실리콘 인터포저 (IBM)

4) TSV 패키지의 시장 전망

TSV는 보다 가볍고 작은 소자를 만들고자 하는 end-product에 일치하는 패키지 연결 방법으로 향후 지속적으로 그 시장이 확대될 것으로 전망된다. 2009년 세계 경제 위기 전 IBM, Intel, 삼성, 마이크론 등의 메이저 IDM 업체들은 2011~2012년을 TSV 적용 제품의 양산 시기로 계획했었다.

경제 위기로 인한 시장 위축 등, 여러가지 이유로 그 속도가 느려졌으나 1-2년 안에 TSV 주력 제품이 시장에 나오기 시작할 것이라는 예측만큼은 사실에 가깝다. 2011년

Broadcom, Qualcomm, nVIDIA, 등의 fabless 업체들도 TSV를 이용한 제품을 출시할 것이라는 계획을 발표하였다. TSV는 작고 가볍게 몸속에 내장 해야하는 바이오 application에서도 신중히 고려되고 있다.

TSV가 시장을 주도할 시기는 빨라야 5년 뒤의 일이겠지만 DRAM, MPU (Multi-processor unit), FPGA, 등의 초기 적용 제품들의 시장 확대 속도는 주목할만할 것이다. 2011년 TSV 인터포저를 이용한 SiP의 등장과 더불어 DRAM 적층 TSV가 high-end 서버향 제품으로 등장하기 시작해서 경박단소가 중요한 high-end 모바일 기기에 서서히 나타날 것이다. 2012년 하반기, MPU와 메모리를 wide I/O로 연결하는 application에 TSV가 등장할 것이며 무선 통신 관련 베이스밴드 프로세서도 TSV로 메모리를 적층하는 모듈이 선 보일것이다.

기존의 와이어본딩으로 힘든 경박단소를 요하는 고용량 Flash 메모리 적층에도 TSV가 적용될 것이다. PLD (Programmable logic device)와 FPGA도 DRAM과 비슷하게 동종 die를 적층하거나 인터포저를 적용하는데 TSV 연결이 사용될 예정이다.

향 후 5년 동안 TSV가 적용될 application은 TSV 공정 단가를 무마시킬 수 있는 high-end 시장에 편중 될 것이다. 유닛 die (\$5 이상)와 모듈의 가격이 고가인 제품을 중심으로 TSV로 전환하는 노력이 시도될 것이다.

6. NSF의 ERC 지원 동향 조사

가. 기관 개요 및 현황

1) NSF 개요 및 현황

○ NSF 설립 및 목적

- 설립년도: 1950년(연방 독립기관)
- 목적: 과학증진, 국가적 건강·번영·복지 증진, 국가안보 등

○ 운영주체(인원 및 조직)

- 사무처
 - 프로그램 개발 및 운영, 기획, 예산, 조직운영에 책임을 지는 사무처장 (임기: 6년) 및 임직원
 - 약 2,100명(△알링턴지부, 버지니아지부, 본부 등 1400명의 경력직원, △200명의 연구기관 임시과학자, △450명의 계약직원 및 미국과학심의회 직원)
- 국가과학심의회(NSB)
 - 저명인사 24위원(임기: 6년)으로 구성
 - 연 6회의 회의를 통해 재단의 전반적 정책 수립
- 사무처장, 부사무처장, 24위원 임명 절차: 대통령 지명, 상원 재가

○ 주요 내용

- 수학, 컴퓨터과학, 사회과학 등 전 과학분야에서 과학증진, 국가적 건강·번영·복지 증진, 국가안보 등을 위한 연구비 지원
- 연구비 지원 : 미국의 대학에서 수행되는 기초연구의 약 20% 담당
- 50개주 2,000여개 대학과 기관에 재정지원
- 매년 평균 45,000건 이상의 제안서 접수, 11,500건 이상의 지원

○ 예산요구액

- 2011년 : 총 74억 달러(2010년 대비 8% 증가)
- 2012년 : 총 78억 달러

2) ERC 지원 프로그램 개요 및 현황

○ ERC 지원 프로그램 시작 및 목적

- 프로그램 시작 : 1985년
- 목적
 - 미국 전역 대학에 위치한 기술시스템에 초점을 둔 다중학문적 ERC를 지원해 학교와 산업이 협업하여 복잡한 기술시스템과 체계적 기술의 전략적 발전을 할 수 있도록 환경제공

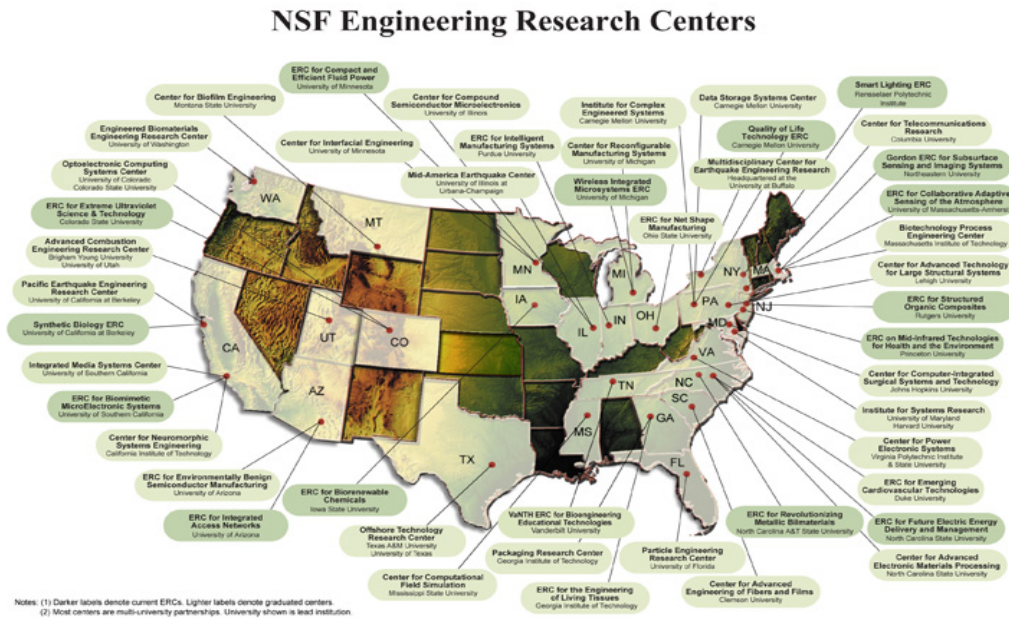
- 기대효과
 - 이는 새로운 산업의 발굴과, 생산라인과 기술의 과정, 현 산업의 서비스전달체계의 급속한 발전을 가져오며,
 - 대학의 기술연구와 교육의 문화에 중대한 변화를 가져옴
- 운영주체(인원 및 조직)
 - 미국 전역 대학이 대학 소속으로 연구소 운영
 - 현재 총 15개 ERC 운영중
 - ※ 연구는 대학의 공동연구 형태로 참여 대학의 수는 더 많음
- 주요 내용
 - ERC는 과학의 발명장려문화와 기술의 혁신장려문화의 조화를 꾀함
 - 지적 기반을 산업에 제공
 - 일반적이고, 오랫동안 풀지 못한, 지식기반의 생산요구 처리로 시장에 빠른 전환과 꾸준한 기술의 발전을 가져다줌
 - ERC의 교원, 학생들과 산업파트너들은 실제 세계 기술의 복잡성과 현실을 반영하는 다중학문적 환경에서 배우고 발명을 통합
 - ERC는 역량 있는 대학원생과 학부생을 산업적 관점에 노출시켜 실제 기술의 능력을 배양
 - 기술전공 대학원생을 양산해 기술 혁신의 성공에 필요한 깊고 넓은 교육을 시행하고, 경력을 통한 다학문적 팀의 효과적 리더쉽을 키움
- 특징
 - ERC는 기술 노동인력과 과학적 다양성을 중요시하여
 - 연구인력에 모든 사회계층을 포함하고, 인종, 성별 등의 차별을 지양함
 - 또한 NSF는 2008년부터 5년간 제3세대 ERCs※에 9,250만 달러 지원
 - ※ 제3세대 ERC 센터의 주제 : 생명화학, 그린에너지 시스템, 커뮤니케이션 네트워크, 임플란트 의학, 스마트 그리드 부문의 혁신

나. 2011년 이전 선정 ERC 운영 현황

1) ERC 운영 현황(2011년 4월 현재)

○ 총 46센터 운영

- NSF 지원 ERC : 15센터 (※ 제3세대 ERC 5개 포함)
- 자립 ERC : 31센터



※ 1. 짙은 색이 현재 재정지원중인 ERC 2. 많은 센터들은 복수대학의 참여로 이루어지며, 표시대학이 주도함

○ ERC의 주요 기술개발 부문

- Biotechnology and Health Care
- Energy, Sustainability, and Infrastructure
- Microelectronics, Sensing, and Information Technology

2) NSF 지원 ERC : 15센터(밑줄은 해외 대학)

가) BIOTECHNOLOGY AND HEALTH CARE 부문

○ Synthetic Biology Engineering Research Center

- California Berkeley 대학 주도
- 파트너쉽 : Harvard 대학, MIT, Prairie View A&M 대학, California San Francisco 대학

○ Quality of Life Technology ERC

- Pittsburgh Carnegie Mellon 대학 주도

- 파트너쉽 : Pittsburgh 대학
- ERC for Revolutionizing Metallic Biomaterials(제3세대 ERC)
 - North Carolina 농업&기술 주립대학 주도
 - 파트너쉽 : Cincinnati 대학, Pittsburgh 대학
- ERC for Structured Organic Particulate Systems
 - Rutgers 대학 주도
 - 파트너쉽: Purdue 대학, New Jersey Institute of Technology, MayaguezPuertoRico대학
- Biomimetic MicroElectronic Systems ERC
 - Southern California 대학(Keck School of Medicine and Viterbi School of Engineering) 주도
 - 파트너쉽 : California Institute of Technology, Santa Cruz California대학

나) ENERGY, SUSTAINABILITY, AND INFRASTRUCTURE 부문

- ERC for Biorenewable Chemicals(제3세대 ERC)
 - Iowa 주립대학 주도
 - 파트너쉽 : Rice 대학, Irvine California 대학, New Mexico 대학, Virginia 대학, Wisconsin-Madison 대학
- ERC for Compact and Efficient Fluid Power
 - Minnesota 대학 주도
 - 파트너쉽 : Georgia 공대, Purdue 대학, Urbana-Champaign Illinois 대학, Vanderbilt 대학
- ERC for Future Renewable Electric Energy Delivery and Management(제3세대 ERC)
 - North Carolina 주립대학 주도
 - 파트너쉽 : Arizona 주립대학, Florida 주립대학, Florida 농업&기술 대학, Missouri 과학 기술 대학
- Smart Lighting ERC(제3세대 ERC)
 - Rensselaer Polytechnic Institute 주도
 - 파트너쉽 : Boston 대학, New Mexico 대학

다) MICROELECTRONICS, SENSING, AND INFORMATION TECHNOLOGY 부문

- ERC for Integrated Access Networks(제3세대 ERC)
 - Arizona 대학 주도
 - 파트너쉽 : California 공대, Norfolk 주립대학, Stanford 대학, Tuskegee 대학, Berkeley 대학, Southern California 대학
- ERC for Extreme Ultraviolet Science & Technology
 - Colorado 주립대학 주도
 - 파트너쉽 : Colorado 대학, Berkeley 대학
- ERC for Collaborative Adaptive Sensing of the Atmosphere
 - Amherst Massachusetts 대학 주도
 - 파트너쉽 : Colorado 주립대학, Oklahoma 대학, MayaguezPuertoRico대학
- Wireless Integrated MicroSystems ERC
 - Michigan 대학 주도
 - 파트너쉽 : Michigan 주립대학, Michigan 기술대학
- Gordon Engineering Research Center for Subsurface Sensing and Imaging Systems
 - Boston Northeastern 대학 주도
 - 파트너쉽 : Boston 대학, Rensselaer 공대, MayaguezPuertoRico대학, Brigham and Women's Hospital, Lawrence Livermore 국립연구소, Massachusetts General Hospital, Woods Hole Oceanographic Institution
- ERC on Mid-Infrared Technologies for Health and the Environment
 - Princeton 대학 주도
 - 파트너쉽 : New York 시립대학, Johns Hopkins 대학, Texas A&M 대학, Baltimore Maryland 대학, Rice 대학

3) 자립(SELF-SUSTAINING) ERC : 31센터

가) BIOTECHNOLOGY AND HEALTH CARE 부문

- ERC for Emerging Cardiovascular Technologies
 - Duke 대학 주도
 - 1987년 설립, 1998년 자립
- ERC for the Engineering of Living Tissues
 - Georgia 공대 주도
- Center for Computer-Integrated Surgical Systems and Technology

- Johns Hopkins 대학 주도
- 1998년 설립, 2008년 자립
- Biotechnology Process Engineering Center
 - MIT 주도
 - 1985년 설립, 2005년 자립
- Center for Biofilm Engineering
 - Montana 주립대학 주도
 - 1990년 설립, 2001년 자립
- VaNTH ERC for Bioengineering Educational Technologies
 - Vanderbilt 대학 주도
 - 1999년 설립, 2007년 자립
- Engineered Biomaterials Engineering Research Center
 - Seattle Washington 대학 주도
 - 1996년 설립, 2007년 자립

나) ENERGY, SUSTAINABILITY, AND INFRASTRUCTURE 부문

- Pacific Earthquake Engineering Research Center
 - Berkeley 대학 주도
 - 1997년 설립, 2007년 자립
- Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research
 - Buffalo 대학 주도
 - 1997년 설립, 2007년 자립
- Advanced Combustion Engineering Research Center
 - Brigham Young 대학, Utah 대학 주도
 - 1986년 설립, 1997년 자립
- Mid-America Earthquake Center
 - Illinois 대학 주도
 - 1997년 설립, 2008년 자립
- Center for Advanced Technology for Large Structural Systems
 - Bethlehem Lehigh 대학 주도
 - 1986년 설립, 1997년 자립
- Offshore Technology Research Center
 - Texas A&M 대학, Texas 대학, College Station 공동연구
 - 1988년 설립, 1999년 자립

다) MICROELECTRONICS, SENSING, AND INFORMATION TECHNOLOGY 부문

- Center for Neuromorphic Systems Engineering
 - California 공대 연구
 - 1996년 설립, 2005년 자립
- Data Storage Systems Center
 - Pittsburgh Carnegie Mellon 대학 연구
 - 1990년 설립, 2001년 자립
- Optoelectronic Computing Systems Center
 - Colorado 대학, Colorado 주립대학 연구
 - 1987년 설립, 1998년 자립
- Center for Telecommunications Research
 - Columbia 대학 연구
 - 1985년 설립, 1996년 자립
- Packaging Research Center
 - Georgia 공대 연구
 - 1996년 설립, 2005년 자립
- Center for Compound Semiconductor Microelectronics
 - Illinois 대학 연구
 - 1986년 설립, 1997년 자립
- Center for Computational Field Simulation
 - Mississippi 주립대학 연구
 - 1990년 설립, 2001년 자립
- Center for Advanced Electronic Materials Processing
 - North Carolina 주립대학 주도
 - 1988년 설립, 1999년 자립
- Integrated Media Systems Center
 - Southern California 대학 연구
 - 1996년 설립, 2007년 자립
- Center for Power Electronic Systems
 - Virginia 공대 & 주립대학 주도
 - 1998년 설립, 2008년 자립

라) MANUFACTURING AND PROCESSING 부문

- ERC for Environmentally Benign Semiconductor Manufacturing
 - Arizona 대학 주도
 - 1996년 설립, 2006년 자립
- ERC for Engineering Design, current title: Institute for Complex Engineered Systems
 - Carnegie Mellon 대학 연구
 - 1986년 설립, 1997년 자립
- Center for Advanced Engineering of Fibers and Films
 - Clemson 대학 주도
 - 1998년 설립, 2008년 자립
- ERC for Particle Science and Technology
 - Florida 대학 연구
 - 1996년 설립, 2007년 자립
- Institute for Systems Research
 - Maryland 대학, Harvard 대학 연구
 - 1985년 설립, 1996년 자립
- ERC for Reconfigurable Manufacturing Systems
 - Michigan 대학 연구
 - 1996년 설립, 2007년 자립
- ERC for Net Shape Manufacturing
 - Ohio 주립대학 연구
 - 1986년 설립, 1997년 자립
- ERC for Intelligent Manufacturing Systems, reestablished as the ERC for Collaborative Manufacturing
 - Purdue 대학 연구
 - 1985년 설립, 1994년 재설립, 1999년 자립

4) 2011년 신규 ERC CFP(Call for Proposal) 현황

○ 제안제목

- 나노시스템 ERCs (NERCs) 제안
(변환연구, 교육, 기술 - A 파트너십 부문)

○ 제안서 제출기한

- 인터넷 메일 제출기한 : 2011년 6월 15일 17시
- 전체 제안서 제출기한 : 2011년 9월 16일 17시

○ 연구 배경 및 필요성

- 기존 과학기술 연구는 연구와 상용화, 교육등에 있어 분리되었음
- 국립 나노과학연구원(연방 준정부연구기관이며 발전벤처)는 2001년 발족하여지난 10년간 나노기반 재료부터 제조공정 프로세스와 기구들까지 기초연구에 꾸준한 투자를 해 왔고, 이는 새로운 개념의 발견과 중요한 발전들을 이끌어옴
- 개인 및 소규모 팀(NIRTs), 국립나노기반네트워크(NNIN)와 같은 이용자 네트워크, 컴퓨팅 나노기술 네트워크(NCN)는 별도의 전문연구를 해옴
- 기존 NSF 프로그램 중에 나노기술의 연구와 교육활동을 지원하는 경우도 있음
- 연구개발 자원과 기술 재능의 집약화로 미국 경쟁력 제고

○ 주요 연구내용

- 나노시스템의 상업적 응용까지 단계 통합 추구
- 제3세대 센터의 설립으로 정련된 프로세스 개발
- 체계적인 나노시스템 기술개발
- 새로운 기술연구와 교육의 문화를 창조
- 혁신자적 기술 대학원생 양산
- 선진 기술 창조를 위한 기초개념 변형 및 정련된 시스템 연구
- 혁신 생태계 구축 등 혁신문화 개발
- ERC의 연구원, 중소기업, 거대 산업, 창업자, 기관 직원이 관계되며, 기업가정신과 혁신을 자극하는 네트워크를 통해 달성
- 일반적 연구내용은 제3세대 ERC와 유사(17페이지 참조)

○ 예산지원 관련사항

- 예산 지원액

- 1년차 : \$3,250,000 이하
- 2년차 : \$3,500,000 이하
- 3년차 : \$3,750,000 이하
- 4년차 및 5년차 : 매년 \$4,000,000 이하
- 매년의 지원금은 연구기관의 규모와 전망, 지원의 효용성, 제안서의 수준에 따라 조정됨
- 대학의 매칭펀드, 현금·현물 지원 등에 의해 NSF 지원이 증액될 수 있음
- 주정부 또는 다른 기관의 지원도 선호하지만, 이는 필수요건은 아니며, 매칭펀드로 계상되지 않음

※ 5개 신규 ERC의 주제

- △생명화학, △그린에너지 시스템, △커뮤니케이션 네트워크,
△임플란트 의학, △스마트 전구

다. 제 3세대 ERC 운영현황

1) 제3세대 ERC 프로그램 개요

○ 프로그램 목적

- 혁신 생태계를 통한 미국 기술의 국제경쟁력 강화를 위한 혁신문화 개발
- 국제적 경쟁에서 미국의 창의적인 혁신자인 기술 대학원생 양산
- 앞선 기술을 위해 기초개념의 변형과 정련된 시스템 연구
- 기술적 혁신의 발견과 연계되는 기술 연구와 교육 문화 창조

○ 비전 및 특징

- 연구개발을 위한 기초 교육에서부터 실제 생산까지를 아우르는 일련의 시스템인 혁신 생태계 구축

○ 운영예산 : 9,250만 달러

- 5센터를 2008년부터 5년간 지원

※ 제1세대, 제2세대와의 구분점

- 상업적 구현에 초점을 두고, 기술적 측면 뿐만 아니라 인문사회까지 포괄하는 다중학문적 연구 시행
- 통합을 위해 기존 세대의 기술기반을 바탕으로 연구

○ 주요 연구내용

- ① 변형적 시스템을 실현을 목적으로 하는 기술 혁신을 위하여 과학을 기반으로 하는 진보된 발견을 하고,
- ② ERCs의 비전을 가능하게 하는 혁신적 생태계를 창조하고 유지할 수 있는 합동 연구, 교육 및 혁신적인 학문 및 문화를 발전시키며,
- ③ 공학기술 졸업생들이 세계경제의 혁신적인 리더쉽 배양을 위해 연구 및 교육 협력의 국제적인 기회를 제공하고,
- ④ 국내 및 국제 졸업생들이 연구, 계획, 생산을 함께 있어 국경을 넘어 글로벌한 세계에서 효과적으로 작용할 수 있도록 다양하고 재능 있는 교수팀을 구성하며
- ⑤ 대학 학부기술관련 졸업생을 배출하고, 기술을 배우는 학생들에게 접근하여 대학 이전의 기관과 연계하는 전환적 기술교육프로그램으로서의 기능을 하고,
- ⑥ 발견이 발명으로 이어지는 문화와 ERC와 능률적인 기술의 전달을 강화하기 위한 회사 및 실무자들과 공동경영을 포함하는 ERC 혁신 에코시스템 창조해서 키워나가고, 위험부담이 높은 ERC 발전의 상업화를 촉진시키기 위해 소규모 기업들과 유연

한 관계를 형성하며, 기업가정신, 일자리 창출, 기술혁신을 고무시키기 위해 비슷한 수준의 기업들 간의 혁신관계를 활성화 시킴

2) 2008년 설립된 ERC 5센터 개요(밑줄은 해외대학)

가) The NSF ERC for Biorenewable Chemicals (CBiRC)

- 주도 기관 : Iowa 주립대학
- 파트너쉽 : Rice 대학, Irvine California 대학, New Mexico 대학, Virginia 대학, Wisconsin 대학, 독일 Fritz Haber Institute, 덴마크 기술대학
- 예산 : 약 1,850만 달러(5년)
- 연구주제 : 재생 물질에 기반한 석유화학 기초의 화학산업 개발(More)

나) The NSF ERC for Future Renewable Electric Energy Delivery and Management (FREEDM) Systems

- 주도 기관 : North Carolina 주립대학
- 파트너쉽 : Arizona 주립대학, Florida A&M 대학, Florida 주립대학, Missouri 과학 기술 대학, 독일 Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule(RWTH)Aachen대학, Swiss 연방공대
- 예산 : 약 1,850만 달러(5년)
- 연구주제 : 전원 공급의 새로운 저장 방법과 대안적 발전기 통합의 효율적인 네트워크로의 파워 그리드의 전환 연구(More)

다) The NSF ERC for Integrated Access Networks (CIAN),

- 주도 기관 : Arizona 대학
- 파트너쉽 예정(2008. 9. 22. 현재)
: California 공대, Columbia 대학, Norfolk 주립대학, Stanford 대학, Tuskegee 대학, Berkeley California 대학, Los Angeles California 대학, San Diego California 대학, Southern California 대학, 독일 Friedrich-Alexander 대학, 이스라엘 Hebrew 대학, 핀란드 Helsinki 공대
- 예산 : 약 1,850만 달러(5년)
- 연구주제 : 극적으로 효과를 증진하고 능력을 신장시키는 광학적 접근 네트워크를 위한 변환기술을 창조하는 연구 (More)

라) The NSF ERC for Revolutionizing Metallic Biomaterials

- 주도 기관 : North Carolina 농업·기술 주립대학

- 파트너쉽 예정(2008.9.8.현재)
 - : Cincinnati 대학, Pittsburgh 대학, 인도 마드라스의 인도공대, 독일 Hannover 대학
- 예산 : 약 1,850만 달러(5년)
- 연구주제 : 두개골, 치아, 정형외과적, 심장에의 스마트 임플란트를 창조하기 위한 의학적, 외과적 치료의 전환 (More)

마) The NSF Smart Lighting ERC

- 주도 기관 : Rensselaer Polytechnic Institute
- 파트너쉽 예정(2011년 1월 6일 현재)
 - : Boston 대학, New Mexico 대학, 한국 국립 충북대학, 대만 국립 Chiao Tung 대학, 대만 국립대학, 리투아니아 Vilnius 대학
- 예산 : 약 1,850만 달러(5년)
- 연구주제 : 빠른 생물학적 화상진찰, 놀라운 형태의 통신, 효과적인 전시, 안전한 교통을 가능케 하는 고체형태의 새로운 조명기술의 개발 (More)

※ 파트너 기관(대학)의 조건

- 교원 3명 이상의 팀이 조직되어야 함
- 센터 내에 대학원생과 학부생이 있어야 함(인원 수는 무관)

3) 한국 연구소 · 대학의 프로젝트 참가 방법 고려

- ERC의 외국 연구소 및 대학 참가에 대한 기본입장
 - 외국 기관의 참여는 더 많은 경험과 국제적 안목을 키울 수 있음
- ERC 프로젝트 참여방법 모색 : 파트너 기관 참여<별첨자료사례 준용>
 - 미국 대학만이 주도기관으로참가할수있고, 주도기관은 1~4개의 국내 파트너 기관을 둘 수 있음
 - 별도로 1~3개의 해외 대학이 연구 파트너에 반드시 들어가야 하며, 이 파트너 기관을 통해
 - 미국 파트너 기관이 없는 경험의 차이를 극복하기 위해 교육하고, 문화교류적 연구와 교육의 기회를 미국 학생들에게 제공해야 함

4) 제3세대 ERC 프로그램 해외 파트너 사례

- The NSF ERC for Biorenewable Chemicals (CBiRC)
 - 독일 Fritz Haber Institute, 덴마크 기술대학
- The NSF ERC for Future Renewable Electric Energy Delivery and Management (FREEDM) Systems
 - 독일 Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule(RWTH) Aachen 대학, Swiss 연방공대
- The NSF ERC for Integrated Access Networks (CIAN),
 - 독일 Friedrich-Alexander 대학, 이스라엘 Hebrew 대학, 핀란드 Helsinki 공대
- The NSF ERC for Revolutionizing Metallic Biomaterials
 - 인도 마드라스의 인도공대, 독일 Hannover 대학
- The NSF Smart Lighting ERC
 - 한국 국립 충북대학, 대만 국립Chiao Tung 대학, 대만 국립대학, 리투아니아 Vilnius 대학

※ 참고자료

- 관련 웹사이트
 - NSF 소개 홈페이지 : <http://www.nsf.gov/index.jsp>
 - REC 협회 홈페이지 : <http://www.erc-assoc.org/>
 - NSF의 ERC 소개 페이지 : <http://www.nsf.gov/dir/index.jsp?org=ENG>
- 별첨자료
 - 신규 ERC 과제 자료 :
http://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=5502&org=EEC

7. NSF의 소기업 혁신 연구프로그램 지원 현황

가. SBIR (Small Business Innovation Research) 프로그램 개요

1) SBIR (Small Business Innovation Program) 프로그램 현황

SBIR은 미국 연방정부가 과학 기술을 기반으로한 소규모 기업의 연구활동을 지원하기 위해 시행하는 프로그램이다. 2010년의 경우 약 2조 5000억원*이 투입되었다.

자금 운영은 연방정부로부터 1000억이상의 R&D 예산을 지원받는 기관으로 하여금 확보된 예산중2.5%에 해당하는 액수를 소규모 기업으로 하여금 집행하게 하는 방식이다. 이러한 기준에서 현재 SBIR 프로그램을 운용하는 기관은 다음과 같다.

- o Dept. of Agriculture
- o Dept. of Commerce
- o Dept. of Defense
- o Dept. of Education
- o Dept. of Energy
- o Dept. of Health and Human Services (NIH, CDC, FDA)
- o Dept. of Homeland Security
- o Dept. of Transportation
- o Environmental Protection Agency
- o NASA
- o National Science Foundation

위 각기관들은 의무적으로 2.5%의 R&D 예산을 소규모 기업에게 프로젝트를 하청하여 본래 의도한 성과를 이루어야한다. 일례로 국방성 (Department of Defence)의 경우 대부분의 R&D 예산은 무기 개발을 위한것이며 그중 2.5%에 상당하는 프로젝트를 민간 소기업을 대상으로 공모하여 선발, 집행한다.

*본 보고서에서 US\$1달러를 1,000원으로 환산합니다.

프로젝트 선발은 보통 1년에 두차례에 걸쳐 공모하며 그 형식은 다음과 같다.

Phase-1 : Concept and feasibility

아이디어의 혁신성과 참신성을 주안으로 프로젝트를 공모한다 (신규과제). 기간은 6개월이고 1년까지 연장 가능하다. 지원액수는 1억~1억 5000만원이다.

Phase-2 Commercialization

Phase-1과제를 마친 프로젝트에 한하여 계속되는 상용화 과제로서 지원할수 있으며 기간은 2년이다. Phase-1에서 검증된 아이디어의 상용화 가능성에 무게를 두고 선발하며 지원액수는 5억~7억 5000만원이다.

추가 펀드

Phase-1 혹은 Phase-2 과제 진행중 제3자로부터 해당과제에 대한 추가 펀드를 받으면 NSF에서 매칭 펀드로서 Phase-1은 5000만원 한도로, 또 Phase-2는 5억원 한도에서 추가로 유입된 .펀드의 50%를 지원한다. North Carolina등의 주에서는 연방정부의 자금을 자기 주로의 유입을 유도하기위해서 자기 주내에 세워진 회사가 SBIR 펀드를 획득하면 주에서 추가 펀드를 제공한다.

SBIR 프로그램에서 특기할만한점은 지원받은 자금에 대한 상환의무가 없다는 점이다. 즉 정부 입장에서는 일정 R&D 예산을 (2.5%) 소기업들에게 뿌리는 형상이며 사업화가 성공시 회사로부터 법인세나 일자리가 창출되었을때 고용된 이들로부터 소득세등의 형태로 애당초 세금으로 조성된 자금이 환수된다는 모델이다.

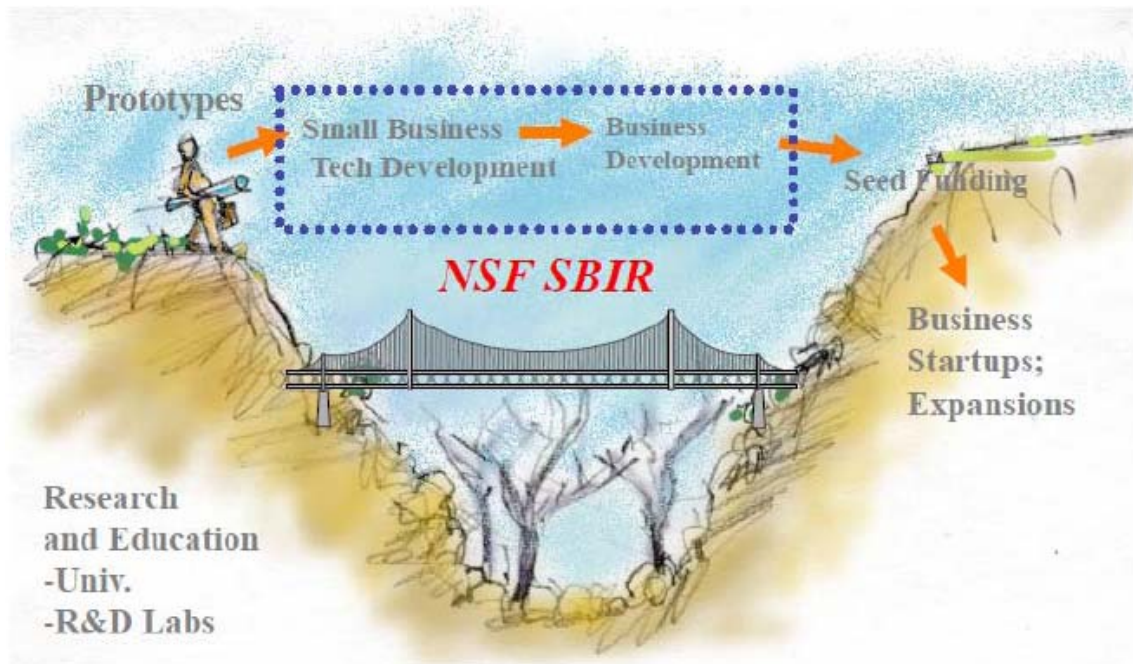
또 한가지는 개방성인데, 1차 Phase-1응모시 회사의 자격 요건에 제한이 없으며 심지어 개인이 아이디어가 과제로 채택되면 그때 회사를 설립하겠노라 해도 허용되기도 한다. 국내 정부과제 선발에있어 설립된지 1년이상, 그리고 부설 연구소가 있어야하느등의 조건과 비교해서 1인 기업 창업을 권장 하는 최근 분위기를 고려할때 타산지석으로 삼을만 하겠다.

여기서에서는 상대적으로 광범위한 영역에서 과제를 공모하는 국가 과학 재단 (National Science Foundation)의 SBIR 프로그램 운영 현황에 대하여 알아보았다.

2) 국가 과학 재단 (NSF)의 SBIR 프로그램 소개

2010년도 NSF의 SBIR 지원 액수는 약 1300억이었다. NSF는 SBIR 프로그램에 대한 모토를 “연구는 자금을 지식으로 변환하고, 혁신은 지식을 돈으로 변환한다” (Research is the transformation of money into knowledge - Innovation is the transformation of knowledge into money)

이러한 모토를 기본으로 NSF는 혁신성 있는 소기업의 아이디어를 상용화에 이룰수 있도록 지원하고자 한다.



NSF에서 지원하고자 하는 영역은 크게 4가지 이며 다음과 같다.

Biological and Chemical Technologies (BC)

Biological Technologies, Biomedical Technologies, Environmental Technologies, Chemical Technologies 등의 분야를 망라한다.

Education Applications (EA)

소위 STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics)이라 칭하는 영역에서 중등에서 고등 교육과정에 이르기까지 교육 자료를 목표로 한다.

Electronics, Information and Communication Technologies (EI)

전자기기와 정보 통신분야를 망라하며 세부 분야는 다음과 같다.

- 서비스 분야 (시큐리티, 데이터 서치 및 메니지먼트, 디지털 아트, 재무관리, 등)
- 어플리케이션 (모바일, 정보관리, Peer to Peer, 브로드 밴드 어플리케이션, 디자인/테스트 어플리케이션)
- 시스템 (휴먼-컴퓨터 인터랙션, 가상공간, 무선 시스템 전반, 로봇릭스, 에너지 및 파워 메니지먼트, IC 디자인용 테스트 기술, 과학실험용 기기, 광학 시스템)
- 콤포넌트 (MEMS, 광소자, 센서, 패키징 및 발열 관리, RF 소자)
- 디바이스 (광소자, IC 디자인관련 등)

Nanotechnology, Advanced Materials, and Manufacturing (NM)

이분야에서는 나노기술에 기반한 소재, 소자, 나노 재료 생산 기기등을 포함하며, 특히 아이디어의 혁신성을 필요로 한다. 세부적인 관심 분야는 나노 소재, 나노 소자 생산 기술, 나노 전자, 나노 기술의 의료 적용, 나노 공정기기등이다.

3) 프로그램 지원 요건

SBIR 프로그램은 영리를 목적으로하는 소규모 회사가 보유한 혁신적 아이디어의 상용화 지원을 목적으로 하므로 대학교 연구 그룹이나 리서치를 근간으로하는 연구기관등은 대상에서 제외된다. 구체적으로 지원요건을 서술하면 다음과 같다.

가) 미국내에 기반을 둔 회사일것

회사가 미국내 등록된 법인이어야 한다. 형식상으로 주식회사 (Incorporation) 혹은 유한회사 (Limited Liability Corporation) 등이 있다. 한국회사가 미국에 진출하여 현지에 법인을 설립할경우 문제될 소지는 없다고 보여진다.

나) 회사의 소유권

회사의 지배 구조상 최소한 51%가 미국 시민권자, 혹은 영주권자에 귀속되어 있어야 한다. 한국의 중소기업중 미국내 영업활동 강화를 위하여 미국내 지사 형태로 법인 설립을 추진할경우 고려해야할 부분이다.

다) 소규모 회사의 분류 요건 (Small Business Concern)

소규모 회사의 양적인 정의는 종업원 (employee) 숫자를 500명 이하로 규정한다. 대개의 경우 크게 신경쓸 필요는 없으나 소규모 회사로서 SBIR Phase-1으로 시작하여 Phase-2 과정에서 타회사에 흡수, 합병될경우, 결과적으로 총 종업원수 500인을 초과하게 되면 문제가 되므로 유의해야할 부분이다.

라) 기타

만일 회사가 소유권의 51% 이상이 여성이면 (Women /Women Owned Small Business)로 분류되면 호의적인 결과를기대할수 있다. 매년 SBIR 프로그램 운영은 미 하원에 보고되고 승인, 인증 절차를 거치는데 여성 소유의 회사에 대한 지원이 적극 장려되고있다.

나. SBIR 2010년 지원 분야

현재 진행중인 SBIR Phase-2 프로그램을 아래 도표로 정리하였다. 약 280개의 과제가 진행중이며 각 프로젝트의 아래와 같다.

Title	Organization	Expiration Date	Awarded Amount to Date
OptDiverse: Innovative Technology to Enhance Workforce Diversity, Capabilities, and Performance	OptTek Systems, Inc.	31-Mar-11	\$515,146
A Standards-Based High School Symbolic Geometry System	Saltire Software Inc	31-Mar-11	\$748,517
Algorithms and Visualization Techniques for the Detection of Geographic Aberrations in Crime (GIS)	Azavea Inc	31-Mar-11	\$699,471
An On-Ramp to Computational Fluency	Tertl Studos LLC	31-Mar-11	\$552,000
Automated culture and differentiation of human Embryonic Stem Cells	Stem Cell Products Inc.	31-Mar-11	\$616,000
Infrared Confocal Measurement System	Tamar Technology	31-Mar-11	\$765,387
Molecular Interaction Measurement System: A Label-free Detection Platform.	Ridge Diagnostics Inc.	31-Mar-11	\$464,304
Software to Aggregate, Correlate, Analyze and Trend data for Knowledge Management in Decision Making	Chatterspike, Inc.	31-Mar-11	\$600,000
Ultra-Low k Interlayer Dielectrics for 22 nm Technology Node and Beyond	DENDRITECH, INC	31-Mar-11	\$500,000
Wearable Tactile Display System for Blind Individuals	Yantric, Inc.	31-Mar-11	\$454,274
Catalyst for Biomass Gasification Processes	NEXTECH MATERIALS LTD	30-Apr-11	\$508,000
A Fundamentally New X-ray Driven Manufacturing System for Recycling Materials	wTe Corporation	30-Apr-11	\$624,994
Bright and Tunable UV Light Emitter from ZnMgO Nanocrystalline System	BLUE WAVE SEMICONDUCTORS, INC	30-Apr-11	\$477,624

The Media Fusion Project: A Distributed Architecture for Mega-Pixel Displays	Mersive Technologies, LLC	30-Apr-11	\$999,995
ElectroNanospray Process for Nanoformulating Drugs	Nanocopoeia Inc.	31-May-11	\$570,098
Novel sensor for non-invasive blood glucose monitoring	Newton Photonics, Inc.	31-May-11	\$477,497
R-CEL for DUV Lithography	Pixelligent Technologies LLC	31-May-11	\$650,000
Development of Resonant Waveguide-Grating Elements for High Throughput Screening of Proteins	Resonant Sensors Incorporated	30-Jun-11	\$900,000
Improved Manufacturing Methodology for Aluminum Ash Metal Matrix Composite Materials	NuForm Materials, LLC	30-Jun-11	\$507,376
Lens-forming nanocomposites for high strength, clear ophthalmic lenses	Vision Dynamics, LLC	30-Jun-11	\$532,000
Integrated Lens-Laser Packaging Approach	Mytek, LLC	30-Jun-11	\$508,000
New Ceramic Sub-Microchannel Plates	Synkera Technologies Inc.	30-Jun-11	\$572,500
OpenBio Workbench for Sharing of Mathematical Models in Drug Discovery	RES Group, Inc.	30-Jun-11	\$740,757
Shape Memory Polymer Based Orthopedic Fixation Devices	MedShape Solutions, Inc.	30-Jun-11	\$1,172,335
Solar Thermal Stirling Engine Combined Heat and Power System	Cool Energy, Inc.	30-Jun-11	\$615,834
A New Class of Fast Fourier Transforms	Centar	31-Jul-11	\$599,184
An Emergency Notification System for Delivering Geo-Targeted Information-Rich Web Alerts	MobiLaps	31-Jul-11	\$538,000
Bulk AlN Growth For III-Nitride Devices	Nitek Incorporated	31-Jul-11	\$493,733
Closed-Field Magnetron Sputtering with RF Plasma Enhancement for Deposition of Thin Films on Large-Area Flexible Substrates for Photovoltaics Applications	Kurt J. Lesker Company	31-Jul-11	\$525,000
Domain-Unified Modeling for	SFM	31-Jul-11	\$516,000

Electro-Mechanical Component Libraries	Technology, Inc.		
Dual-Wavelength Diffractive Optics for Absorbance-Modulation Optical Lithography	LUMARRAY LLC	31-Jul-11	\$484,979
Global Correlation Service for Network Security Applications	MetaFlows Inc	31-Jul-11	\$500,000
Improved in Vivo Delivery of SiRNA	Bioo Scientific	31-Jul-11	\$600,000
Intelligent Tool Wear Monitoring	VeritasCNC, Inc.	31-Jul-11	\$241,000
Line Scan X-Ray Tomography for In Cylinder Diagnosis	EN'URGA INC	31-Jul-11	\$516,000
Novel Titanium Tantalum Materials for Improved Biomedical Implants and Medical Devices	DYNAMET TECHNOLOGY INC	31-Jul-11	\$700,000
Predicting Behavior in Electronic Commerce Environments	VueLogic LLC	31-Jul-11	\$508,000
Relief-Free Infrared Diffractive Optics Based on Semiconductor Materials	ANTEOS, Inc.	31-Jul-11	\$361,416
Social Marketplace for E-learning	Inquus Corporation	31-Jul-11	\$724,215
A Multi-Grip Prosthetic Hand	MOTION CONTROL, INC.	31-Jul-11	\$500,000
A New Method for Quantitative Calibration-Free Chemical Analysis	Energy Research Company	31-Jul-11	\$549,998
Adaptive Methods for Sensorless Estimation of Induction Motor Efficiency	Veros Systems, Inc.	31-Jul-11	\$515,984
Algebra Immersion Robotics	Tertl Studos LLC	31-Jul-11	\$536,000
An Accurate, Low Cost In-Situ Multi-Spectral Absorption Meter	Turner Designs	31-Jul-11	\$500,000
Biosensor Device for Recordation of Handwriting	Norconnect Inc	31-Jul-11	\$630,320
Chiral Polymers for Pharmaceutical Purification	Material Methods	31-Jul-11	\$1,118,937
Combining Mobility and Manipulation in a Tri-Sphere Robot	Square One Systems Design, Inc.	31-Jul-11	\$506,695
Development of a Probe for Inspection of Transmission Valve Ports	Industrial Optical	31-Jul-11	\$525,375

	Measurement Systems		
Development of Cadmium-Free, Water-Soluble and Multicolor Quantum Dots by Chemical Doping	Ocean NanoTech, LLC	31-Jul-11	\$701,960
Development of Low-Cost, Biodegradable Substitutes for Disposable Plastics	R&D Green Materials, LLC	31-Jul-11	\$500,000
Fiber-optic System for Fast Non-contact Measurements of Optical Structure of Human eye	Lumetrics, Inc	31-Jul-11	\$497,179
GABA-Mediated Nitrogen Efficiency	Plant Sensory Systems, LLC.	31-Jul-11	\$615,999
High Efficiency Low Cost Nitrogen Fertilizer Production from Fly Ash	United Environment & Energy, LLC	31-Jul-11	\$674,881
Hybridization and SNP Detection Using Unlabeled Target DNA	Parallel Synthesis Technologies, Inc	31-Jul-11	\$488,326
Innovative control of ectoparasites: key to expansion of open ocean fish farming	Kona Blue Water Farms, LLC	31-Jul-11	\$505,398
Low Cost-Reduced Risk Manufacturing Process For Nanocoatings	Topasol LLC	31-Jul-11	\$474,043
Manufacturing of Package Test Socket Contactors through Innovations in Electrochemical Printing	Ionographics, Incorporated	31-Jul-11	\$508,000
Open Platform for Semantic Search	SwitchBook, Inc.	31-Jul-11	\$600,000
Pneumatic Energy Storage with Staged Hydraulic Conversion for Low Specific Cost Renewables Support	SustainX, Inc.	31-Jul-11	\$1,013,618
Reducing Diesel Fuel Consumption in Recovering Woody Biomass	Fleenor Manufacturing Inc.	31-Jul-11	\$500,000
Self Assembled Nanocrystal Thin Film Transistor	Nanosonic Incorporated	31-Jul-11	\$500,000
SWARS IR Camera	Innovative Micro Technology	31-Jul-11	\$483,327
Tapping Finger Identification for Efficient	Zienon, LLC	31-Jul-11	\$500,000

Mobile Input			
Ultrafast spintronic devices based on magnetic tunnel junctions using magnesium oxide (MgO) tunnel barriers	MICRO MAGNETICS INC	31-Jul-11	\$522,000
Ultra-Low Power Microcontroller Design	Cyclos Semiconductor	31-Jul-11	\$952,000
Ultraviolet Germicidal Optical Flow Cell	Dot Metrics Technologies, Inc.	31-Jul-11	\$623,552
Ultraviolet Laser for Ultra-high-resolution Photoemission Spectroscopy	Lumeras	31-Jul-11	\$600,000
Vapor Generator for the Calibration of Explosive Trace Detectors	MicroFab Technologies Inc	31-Jul-11	\$665,241
Disruptive Performance From Engineered Piezoelectric Organic Polymer Nanocomposites: Inventive Approach To New Electrical and Mechanical EnergyConversion Materials	TETRAMER TECHNOLOGIES, L.L.C.	31-Jul-11	\$527,996
Ultra-Fast Software Image Reconstruction for Micro-CT	InstaRecon, Inc.	31-Aug-11	\$521,394
A Novel Imaging Device for Infrared and Terahertz Radiation Beams Utilizing Thermochromic Liquid Crystal Materials	RadiaBeam Technologies, LLC	31-Aug-11	\$650,000
An Omni-Directional Antireflective Coating from Solutions	ZT Solar, Inc	31-Aug-11	\$516,000
Development of a Tunable Filter for Mini Hyperspectral Imager	SpectralSight Inc.	31-Aug-11	\$649,421
Dual Magnetic Tunnel Junction (DMTJ) Materials and Structures for STT-RAM	Grandis, Inc	31-Aug-11	\$499,904
Epitaxial Metal Oxide Thin Films Using a Novel Polymer Assisted Deposition (PAD) Technique	Lake Shore Cryotronics, Inc	31-Aug-11	\$499,521
Fault Isolation of Open Circuits in Semiconductor Products using Magnetic Current Imaging	NEOCERA INC	31-Aug-11	\$456,379
High Performance Cement Additive from an Agricultural Byproduct	ChK Group, Inc.	31-Aug-11	\$502,132
Integration of Nanostructured Electrodes with Organosilicon Electrolytes for High Energy-Density Supercapacitors	Silatronix, Inc	31-Aug-11	\$1,036,646

Megathura Crenulata Post Larval Culture - Bottleneck for a Valuable Medical Resource	Stellar Biotechnologies, Inc.	31-Aug-11	\$560,664
Nanocomposite Carbon and Graphitic Foams Produced via a Catalytic Approach	WRIGHT MATERIALS RESEARCH CO.	31-Aug-11	\$632,663
Next Generation Polymer Optical Fiber	PARADIGM OPTICS INCORPORATED	31-Aug-11	\$499,970
Novel Projection Display System	Sun Innovations Inc	31-Aug-11	\$500,000
Sensory System for Autonomous Area-Wide Disease and Agriterror Detection and Reporting	ISCA TECHNOLOGIES, INC.	31-Aug-11	\$889,336
Wireless Healthcare Disposables	HMicrow, Inc.	31-Aug-11	\$600,000
3-D Surface Profilometry using Standing Wave Technology	INSITUTEC, INC.	31-Aug-11	\$616,000
A Higher Throughput SPR Biosensor	Wasatch Microfluidics, LLC	31-Aug-11	\$495,089
A Novel 360-Degree Video Surveillance Camera	Xigen LLC	31-Aug-11	\$435,129
Advanced Nano-Phosphors for Novel Electronic Displays	Sun Innovations Inc	31-Aug-11	\$589,801
An Advanced Aeroelastic Thermoplastic Composite Blade for Residential-Scale Wind Turbines	Z4 Energy Systems	31-Aug-11	\$491,291
Biocidal Textiles for Active Infection Control	CCL BIOMEDICAL, INC	31-Aug-11	\$463,713
Fabrication of Conformal Antennas for Airborne SatCom Using Kinetic Metallization	INNOVATIVE TECHNOLOGY, INC.	31-Aug-11	\$546,255
High Power Deep UV LED-Based Lamps	Sensor Electronic Technology, Inc.	31-Aug-11	\$1,129,028
Intelligent Personalized Monitoring of	Venture Gain,	31-Aug-11	\$499,426

Ambulatory Human Biosignals	LLC		
Method of Integrated Web-Based Tools to Enable a Collaborative Community of Professional Creatives	Artbox LLC	31-Aug-11	\$530,000
Parts Forecasting for Configurable Products	Emcien, Inc.	31-Aug-11	\$908,896
Process Control Sensor for Fine Particles	Scattering Solutions	31-Aug-11	\$624,000
Real-Time Roboting Grasping System	Energid Technologies	31-Aug-11	\$633,950
Scalable Game Design: Broadening Computer Science Participation with Low-Threshold, High-Ceiling Design Environments	AGENTSHEETS INC	31-Aug-11	\$574,640
Shape Variations in the Development of Miniature Micropumps	SFC FLUIDICS, LLC	31-Aug-11	\$600,000
Innovative Two-Phase High-Heat-Flux Heat Exchanger	Mainstream Engineering Corporation	30-Sep-11	\$477,109
Dry Thermal Adhesive Based on Carbon Nanotubes	Atlas Nanotechnologies, LLC	30-Sep-11	\$499,993
Fabrication of Low-bandgap Nano-crystalline SiGeC Thin Films Using the Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) Technique	M V SYSTEMS, INC	30-Sep-11	\$411,414
Microglassification: Dehydration Process for Protein Preservation	Southeast TechInventures	30-Sep-11	\$615,678
Picotesla Magnetic Sensor Using MgO-Based Magnetic Tunnel Junction Technology	MICRO MAGNETICS INC	30-Sep-11	\$687,449
Sub-100nm Infrared Spectroscopy Based on Atomic Force Microscopy	Anasys Instruments Corp.	30-Sep-11	\$887,824
A Value-based Approach for Quantifying Problem Solving Strategies	The Learning Chameleon, Inc.	31-Oct-11	\$664,136
Spatially-Resolved Swept-Laser Spectroscopic System for Gold Nanoparticle Sensing	MICRON OPTICS INC	31-Oct-11	\$642,342
Chemical Aerosol-flow Synthesis of	UT Dots, Inc.	31-Oct-11	\$568,820

Nanometals			
Developing a Commercial Video Game for Tweens to Support Complex Systems Thinking	WisdomTools Enterprises Inc	31-Oct-11	\$675,885
Spray Deposited Transparent Conducting Zinc Oxide Films	InterPhases Solar, Inc.	30-Nov-11	\$682,021
Deep UV LED with High Quality p-AlInGaN Layers by Digital Doping Control	Sensor Electronic Technology, Inc.	31-Dec-11	\$534,765
Development of a Human Liver Platform for High-Throughput Screening of Drug-Induced Liver Injury and Drug-Drug Interactions	HEPREGEN	31-Dec-11	\$500,000
Development of Design and Operational Criteria of Continuous Culture Hatchery Techniques for the Production of Brachionus rotundiformis (s-type) rotifers	Aquaculture Systems Technologies, LLC	31-Dec-11	\$347,875
Engine Combustion Simulator	RES Group, Inc.	31-Dec-11	\$1,004,721
Evaluation of recombinant HED2 proteins as synergists for cellulosic biofuel production	Expansyn Technologies, Inc.	31-Dec-11	\$491,521
Innovative Isotropic Ultra-High Thermal Conductivity Diamond Composite Materials	Performance Polymer Solutions Inc.	31-Dec-11	\$901,678
Advanced Polymer Matrix Composites Based on Nanofiber Fused Microfiber Architecture	Performance Polymer Solutions Inc.	31-Dec-11	\$641,949
Shape memory polymer AAA Endograft	EndoShape Inc	31-Dec-11	\$574,582
Automated Mining of Worker and HR Preferences for On-Demand Job Matching	Urban Interactions Inc / GigBin.com	31-Dec-11	\$500,000
Active Device for Reliable Cleaning of Feeding Tubes	Piezo Resonance Innovations, Inc.	31-Jan-12	\$638,000
An Innovative and More Effective Means to Manage the Communication Process Between Colleges and Prospective Students	422 Group	31-Jan-12	\$500,000
Compliant Jack Spring Actuators for Lower	SpringActive,	31-Jan-12	\$500,000

Limb Mobility	Inc.		
Gentle Atomic Level Chemical Mechanical Smoothing (CMS) of Gallium Nitride Substrates	SINMAT, INC.	31-Jan-12	\$1,277,900
iGlasses: An Appliance for Improving Speech Understanding in Face-to-Face Communication and Classroom Situations	Animated Speech Corporation	31-Jan-12	\$561,843
Making the Internet Safer One Website at a Time	JAAL LLC	31-Jan-12	\$488,242
Model-Based Control for Chemical-Mechanical Planarization of Copper/low-k Films	SC SOLUTIONS INC	31-Jan-12	\$580,033
Photon Enhanced SEM (Scanning Electron Microscopes) Platform for Nano-Manufacturing	Omniprobe	31-Jan-12	\$448,001
An Improved Multi-Sensor Manufacturing System for Scrap Metal Sorting	wTe Corporation	31-Jan-12	\$999,988
BP 1 - Microwaveable Bioplastic Packaging	PolyNew Incorporated	31-Jan-12	\$756,000
Catalytic Nanochannel Reactor Arrays for Fuel Reforming	Synkera Technologies Inc.	31-Jan-12	\$637,677
EO: Security Microchip for Mobile Devices	BlueRISC Labs	31-Jan-12	\$752,682
Implementation, Testing and Refinement of a Hybrid Distributed / Traditional System for Broadcasting Live and Pre-Recorded Content to Large Online Audiences	Network Foundation Technologies	31-Jan-12	\$1,028,000
Real-time Economic Sampling System	Sensor Analytics Inc.	31-Jan-12	\$500,000
Security Solutions for UHF passive Radio Frequency Identification (RFID) tags	SecureRF Corporation	31-Jan-12	\$600,000
TRX Sentinel First Responder Tracking System	TRX SYSTEMS INC	31-Jan-12	\$1,044,000
Ultra-Compact, Low-Cost, and Robust Volume Holographic Spectrometers	ProSpect Photonics, Inc.	31-Jan-12	\$637,850
Development of Hydrogen/Halogen Fuel Cell Technology for Renewables Based Energy Storage	Sustainable Innovations, LLC	31-Jan-12	\$659,606
Fast-Response, High Sensitivity MEMS based NOx Emission Sensor	BOSTON MICROSYSTEMS	29-Feb-12	\$526,000

	INC		
Knowledge Discovery based on Personal Web Content Annotation	skribel, Inc.	29-Feb-12	\$500,000
Novel PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) Single Layer Thin Film Encapsulation for Organic Devices	Universal Display Corporation	29-Feb-12	\$499,999
Real-time, Accurate OCR from Documents using Intra- and Inter-Frame Machine Learning	CVISION Technologies, Inc.	29-Feb-12	\$621,960
A Novel, High-Dimensional Touchpad	New Renaissance Institute	29-Feb-12	\$618,000
Educational Particle Image Velocimetry Suites	INTERACTIVE FLOW STUDIES LLC	29-Feb-12	\$651,163
Virtual Learning Environment for University Physics	ADVANCED SCIENCE AND AUTOMATION CORP	29-Feb-12	\$636,000
Water and Food Analysis by Non-Uniform Electroosmotic Flow	OndaVia, Inc.	29-Feb-12	\$600,000
Three-Dimensional Microscopy of Surfaces by Grazing Incidence Diffraction	3DeWitt LLC	29-Feb-12	\$606,917
Novel Deposition of Silicon Carbide Boules	SiC Systems, Inc.	31-Mar-12	\$1,004,000
A Label-Free Surface-enhanced Raman Spectroscopy-Capture Assay in Microchips for Biological Warfare Agents	REAL-TIME ANALYZERS, INCORPORATED	31-Mar-12	\$501,904
Affordable Optically Pumped Semiconductor Lasers for Polychromatic Guide Star Systems	Arete Associates	31-Mar-12	\$499,988
Automated Community and Sentiment Mining for Global Media Preference Understanding	The Echo Nest Corporation	31-Mar-12	\$1,000,000
Batteryless Wireless Smart Labels with Embedded Non Volatile Memory	Evigia Systems Inc.	31-Mar-12	\$463,803
Bioluminescence Resonance Energy Transfer Probes for Molecular Imaging	Zymera Corporation	31-Mar-12	\$600,296
Continuous Flow Fixed-bed Biodiesel Production from Algae Oil	United Environment & Energy, LLC	31-Mar-12	\$413,505

Dynamic Device for the Treatment of Stress Urinary Incontinence	Curant, Inc.	31-Mar-12	\$508,000
High Permeability Thin-Film Nanocomposite Membranes for Reverse Osmosis Desalination	NanOasis Technologies, Inc.	31-Mar-12	\$507,530
Highly Ordered Membranes for Molecular Separation	Zeomatrix, LLC	31-Mar-12	\$503,645
Internet-based Software for the Treatment of Depression among Veterans	Prevail Health Solutions LLC	31-Mar-12	\$516,000
Novel Low-Cost Electric Motors for Variable Speed Applications	QM Power, Inc	31-Mar-12	\$458,194
Self-Aligned Miniature External Cavity Tunable Laser from Blue-Violet to Infrared	ONDAX INC	31-Mar-12	\$499,943
Shear Stress Sensor Based on Optical Micro-Spring Technology	Lenterra Inc	31-Mar-12	\$494,861
Split Amine Absorbent for CO2 Capture from Post Combustion Flue Gas of Coal Fired Power Plants	3 H Company	31-Mar-12	\$499,998
A MHz High Energy Femtosecond Fiber Laser System for High Throughput Photonic Device Fabrication	PolarOnyx Inc.	31-Mar-12	\$499,705
Development of a Eukaryotic Membrane Protein Overexpression System	TransMembrane Biosciences	31-Mar-12	\$528,000
Development of Novel Repellents for the Honeybee, Apis Mellifera	Inscent, Inc	31-Mar-12	\$505,014
Do-It-Yourself database-driven web applications from high level specifications	app2you	31-Mar-12	\$471,495
Dual Substrate MEMS switch	Innovative Micro Technology	31-Mar-12	\$977,942
Electrochemical Ozone Generator	Reactive Innovations, LLC	31-Mar-12	\$411,588
Learning About Complexity through Programming Modular Robots	Modular Robotics LLC	31-Mar-12	\$502,906
Directly Patternable Inorganic Hardmask for Nanolithography	Inpria Corporation	31-May-12	\$500,000
Nanocomposite Coating on Coronary Stents	Nanocopoeia Inc.	31-May-12	\$1,174,484
Recycling Advanced Batteries	OnTo	30-Jun-12	\$1,034,000

	Technologies		
Low-Cost Hot Press Die Casting of Graphite-Metal Materials	ADVANCED THERMAL TECHNOLOGIES	30-Jun-12	\$767,226
Automotive Nanocomposites	Claytec Inc.	30-Jun-12	\$830,000
Extended Performance Red VCSELs	Mytek, LLC	31-Jul-12	\$627,930
Adapting ATRP to Industrial Scale Production	ATRP Solutions, Inc.	31-Jul-12	\$520,000
Bendable Ceramic Paper Membranes	Novarials Corporation	31-Jul-12	\$499,995
Coconut (Coir) Fiber Automotive Composites	Whole Tree, Inc.	31-Jul-12	\$500,000
Enabling Non-disruptive Updates in Order to Improve OS Security	Ksplice, Inc.	31-Jul-12	\$500,000
High Dynamic, Alignment Free Metrological Method for 3D Shape Measurement of Optical Surfaces Based on Polarization	BOSSA NOVA TECHNOLOGIES LLC	31-Jul-12	\$498,184
Interactive video based Contextual & Dynamic Application Access	2Cimple Inc	31-Jul-12	\$499,980
Lantibiotic Synthesis Using Differentially Protected Orthogonal Lanthionines	Oragenics Corporation	31-Jul-12	\$1,000,000
Large-Scale Analysis System for Mobile Crowdsourcing	txteagle Inc	31-Jul-12	\$500,000
Lead-Free Sintering Adhesives for Electronics Thermal Management	Creative Electron, Inc.	31-Jul-12	\$499,913
New Labeling Reagents for Genetic Analysis	MARKER GENE TECHNOLOGIES, INC	31-Jul-12	\$699,889
Permanent Attachment of Antimicrobial Peptides to Central Venous Catheters.	Semprus Bioscience Corporation	31-Jul-12	\$999,923
SaaS-Based Procurement and CRM Systems for Local Food Markets	Hevva LLC	31-Jul-12	\$1,000,000
Semi-Automated Sports Video Search	Bluefin Lab, Inc.	31-Jul-12	\$997,550
Single Step Chemical Mechanical Planarization of Copper/Ultra Low k Interconnects	SINMAT, INC.	31-Jul-12	\$961,173

Sound-object Recognition for Real-time or Offline Systems	Imagine Research, Inc	31-Jul-12	\$500,000
Supply Chain Optimization and Product Explorer	IMAGINESTICS LLC	31-Jul-12	\$1,093,987
Units-based numeric data extraction with knowledge of scientific context	Quantifind Inc.	31-Jul-12	\$400,112
Mobile Visual Search Engine	IQ Engines, Inc.	31-Jul-12	\$1,212,000
FireScape:A Platform for On-Demand, Browser-Based Incident Command	HyPerspectives, Inc.	31-Aug-12	\$651,180
A Novel Approach for Production of Freestanding GaN Wafers for III-Nitride Light Emitters and Detectors	Fairfield Crystal Technology, LLC	31-Aug-12	\$500,000
A Search Engine for Antenna Design	X5 Systems, Inc.	31-Aug-12	\$500,000
An RF Radiation Empowered Sensing Method for Low Cost Structural State Monitoring	Resensys, LLC	31-Aug-12	\$499,033
Conversion of Biodiesel Glycerol to Xylitol Co-Product	zuChem, Inc.	31-Aug-12	\$499,996
Cost- and Energy-Efficient Conversion of Cellulosic Biomass to Bio-Fuel Feedstock of Consistent and Preferred Geometry	Endres Machining Innovations	31-Aug-12	\$484,965
Customizable Meniscus Implant Prepared by Dielectrophoretic Biofabrication	BC Genesis	31-Aug-12	\$500,000
Detection and Prevention of Tissue Trauma During Surgical Retraction	Physcient, Inc.	31-Aug-12	\$499,986
Developing a Real-time High-data-rate Multicarrier Underwater Acoustic Modem	Aquatic Sensor Network Technology LLC	31-Aug-12	\$499,720
Durable Super-Hydrophobic Nano-Composites	Integrated Surface Technologies	31-Aug-12	\$500,000
Food Antioxidants (AOs) With or Without Estrogenic Activity (EA)	CertiChem, Inc	31-Aug-12	\$500,000
Functionalized multi-walled carbon nanotubes for making highly efficient water separation membranes for	Seldon Technologies, Inc.	31-Aug-12	\$490,172

ultralow sulfur diesel fuels			
High Performance Directional MEMS Microphones for Communication Devices	Silicon Audio, LLC	31-Aug-12	\$490,012
High quality, low cost bulk gallium nitride substrates	Soraa, Inc., aka SJS Technologies	31-Aug-12	\$499,999
High Resolution Tunable Receiver For Remote THz Sensing	Eensors Inc.	31-Aug-12	\$680,643
Injection-molded Thermoset Shape-memory Polymers with Enhanced Acoustic Properties	Syzygy Memory Plastics	31-Aug-12	\$499,994
Intelligent Software Power Management for Windows-based Systems	MiserWare, Inc.	31-Aug-12	\$354,377
Label Free Nucleic Acid Assays for POC Diagnostics	Phoenix Biosystems	31-Aug-12	\$450,495
Launching Vellela: Testing the Commercial Potential of Mobile Offshore Fish Farming In Ocean Gyres	Kona Blue Water Farms, LLC	31-Aug-12	\$500,000
Low Cost High Quality Nonlinear Optical Crystals for Laser Light Sources for Miniature Projectors	Shasta Crystals, Inc.	31-Aug-12	\$493,883
Low Cost, High Performance Electrolytes for Lithium-ion Batteries	TechDrive, Inc.	31-Aug-12	\$481,978
Low-Cost Low-Impact Magnesium Production by Solid Oxide Membrane Electrolysis	Metal Oxygen Separation Technologies, Inc.	31-Aug-12	\$455,968
Metamaterials for Giant Dielectrics and Energy Storage Solutions	Integrated Micro Sensors	31-Aug-12	\$480,395
Nano-scale Engineering via Grid-scale Computing: Designing, Optimizing and Manufacturing Cancer Therapeutics	Parabon NanoLabs, Inc.	31-Aug-12	\$500,000
Next Generation Virtual Desktops	Kaviza Incorporated	31-Aug-12	\$499,707
Novel Amplification Technology as a Path to Practical Application of USP Technology	Raydiance Incorporated	31-Aug-12	\$499,457
Novel Fire-Resistant Toughened Benzoxazines	Composite Technology	31-Aug-12	\$464,124

	Development, Inc.		
Oxidation Resistant Carbon Supports For Fuel Cells	Oxazogen, Inc.	31-Aug-12	\$472,135
Particle Filtering Technology for Wearable Medical Sensors	Streamline Automation, LLC	31-Aug-12	\$499,853
Photon-Assisted Hydrogenation Process Technology for Manufacturability and Improved Operability of HgCdTe Infrared Detectors	Amethyst Research Incorporated	31-Aug-12	\$830,594
Plasma Thermograms for Disease Detection and Monitoring	Louisville Bioscience, Inc.	31-Aug-12	\$499,826
Quantitative Analysis for Trace Levels of Toxic Elements in Consumer Products Using High Definition X-ray Fluorescence	X-RAY OPTICAL SYSTEMS, INC.	31-Aug-12	\$499,998
Sensitive, Rapid Heterogeneous Immunoassays Based on Surface Enhanced Raman Scattering and Gold Nanoparticle Labels	Concurrent Analytical, Inc.	31-Aug-12	\$381,132
Siftables - Distributed, Gestural Human Computer Interaction	Sifteo Inc.	31-Aug-12	\$425,886
Slitless, compact, low-cost, and multichannel volume holographic spectrometers	ProSpect Photonics, Inc.	31-Aug-12	\$500,000
Synthesis of Hard Magnetic Nanoparticles and Fabrication of Micromagnets for Microelectromechanical System (MEMS) Applications	Electron Energy Corporation	31-Aug-12	\$500,000
Themally-Actuated Microfluidic Systems	Phasiks Inc.	31-Aug-12	\$691,000
Thick Piezoelectric Films with Dielectric Constant above 3000	CHEMAT TECHNOLOGY INC	31-Aug-12	\$499,997
UV LED Lamp Based Water Disinfection for POU Compact Purification Systems	Sensor Electronic Technology, Inc.	31-Aug-12	\$475,227
A Portable Dissolved Oxygen Delivery System for Rapid Treatment of Organic Spills	BLUEINGREEN	30-Sep-12	\$802,747

Real Time Optical Control System for Thin Film Solar Cell Manufacturing	AccuStrata Incorporated	30-Sep-12	\$432,016
Fabrication of Luminescent Phosphor Plasma-sphere Arrays for Display Applications	IMAGING SYSTEMS TECHNOLOGY INC	30-Sep-12	\$1,012,000
Methodology for Applying Haptic Robotics to Agile Manufacturing	Barrett Technology Inc	30-Sep-12	\$1,253,361
Multi-Marker Prognostic Test for Breast Cancer Outcome	PREDICTION SCIENCES, LLC	30-Nov-12	\$847,480
Clock-on-Demand: High Performance, Ultra Low Power	TagArray Incorporated	31-Dec-12	\$1,000,000
An Innovative Full-Thickness Human Skin Model for Increased Throughput Screening in Drug Discovery	Stratatech Corporation	31-Dec-12	\$499,877
Electroconcentration, Separation, and Rupture of Bioalgae for Fuel Production	FARADAY TECHNOLOGY, INC	31-Dec-12	\$500,000
Enhanced Plasma deposition Process for MgO-Based Magnetic Tunnel Junctions with 500% Magnetoresistance	MICRO MAGNETICS INC	31-Dec-12	\$931,351
Faradayic ElectroCell	FARADAY TECHNOLOGY, INC	31-Dec-12	\$500,000
IPPM:In-Line Piercing Process Monitoring For Seamless Tube Manufacturing	OG TECHNOLOGIES, INC	31-Dec-12	\$522,000
Microbial Production of Selected Anthocyanins	ChromaDex Inc.	31-Dec-12	\$500,000
Micro-mark Data Matrix	Triune Systems	31-Dec-12	\$500,000
Minimum Quantity Lubrication Delivered by Supercritical Carbon Dioxide for Forming Applications	Fusion Coolant Systems, Inc.	31-Dec-12	\$404,463
A Fully Integrated Molecular Biosensor for Rapid Monitoring of Recreational Water	Rheonix, Inc	31-Jan-13	\$500,000
A Multithreaded Storage Engine Using Highly-Concurrent Fractal Trees	Tokutek, Inc.	31-Jan-13	\$500,000
An Internet-based Emotional	emota.net	31-Jan-13	\$499,992

Connectedness and Monitoring Device and Service for the Elderly			
Batch Fabrication of High Aspect Ratio Metallic AFM Probes	NaugaNeedles LLC	31-Jan-13	\$500,000
Development of Subminiature Abrasive-Waterjet Nozzles toward Micromachining	OMAX Corporation	31-Jan-13	\$425,679
Electrical Property Detection of Residual Cancer in the Surgery Suite	NovaScan LLC	31-Jan-13	\$498,074
Energy Storage, Electrical Distribution, and Packaging for Wireless Sensor Networks	Potomac Photonics Inc	31-Jan-13	\$499,801
Enterprise Decision Making Using Activity Interaction Technology	Bioproduction Group, Inc.	31-Jan-13	\$500,000
Hydrothermal Growth of Potassium Beryllium Fluoroborate (KBBF) for Deep UV Nonlinear Optical Applications.	ADVANCED PHOTONIC CRYSTALS, LLC	31-Jan-13	\$499,873
IDT Sensors for Monitoring Wind Energy Infrastructure	Mound Laser & Photonics Center, Inc.	31-Jan-13	\$499,734
Innovations in Nanoscale Manufacturing: Nanomaterial Composites for Dental Restorations	TRANSPARENT MATERIALS, LLC	31-Jan-13	\$467,551
Innovative Recycled Microballoon Thermoplastic Sandwich Composites	SIOUX MANUFACTURING CORPORATION	31-Jan-13	\$425,627
Investigation of the Use of Chlorine Based Oxidants for Removal of Natural Organic Matter Using Advanced Oxidation Processes	MIOX Corporation	31-Jan-13	\$491,746
Metabolomics of Human Embryonic Stem Cells to Predict Teratogenicity:An Alternative Developmental Toxicity Model	Stemina Biomarker Discovery, inc.	31-Jan-13	\$500,000
Molecular Diagnostics and Biological Control of Disease in Farmed Channel Catfish	LUCIGEN CORPORATION	31-Jan-13	\$500,000
Molecular Transfer Lithography with	Transfer	31-Jan-13	\$850,000

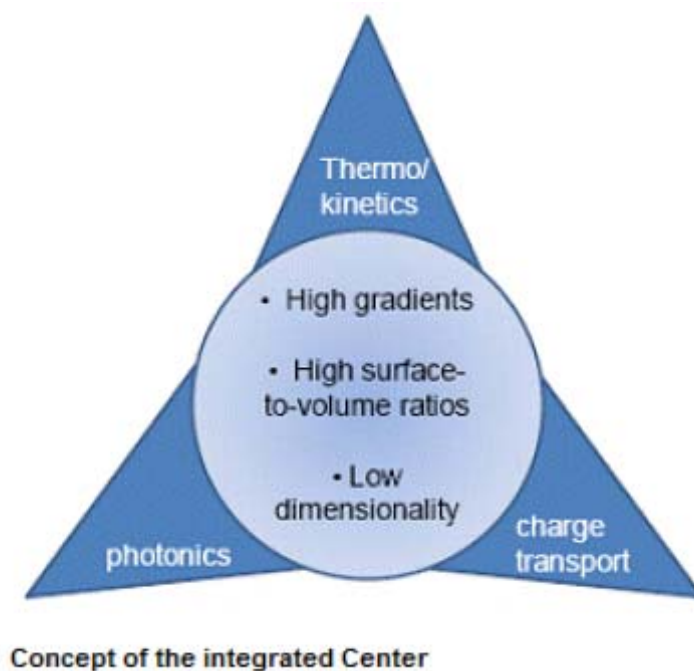
Real-Time Alignment	Devices, Inc.		
Nanometer-Level Fidelity in Maskless Lithography	LUMARRAY LLC	31-Jan-13	\$499,868
Power Tagging Grid Intelligence for 21st Century Energy Applications	Power Tagging Technologies, Inc.	31-Jan-13	\$500,000
Rapid Detection of Fecal Contamination in Drinking Water	Inscent, Inc	31-Jan-13	\$494,234
Scalable Bulk GaN Crystal Growth	Inlustra Technologies LLC	31-Jan-13	\$423,988
Web Enabled System to Assess, Mentor and Accelerate Startup Businesses	Guidewire Group	31-Jan-13	\$500,000
An Integrated Solution for Global Visibility and Security of Internet Services	Thousand Eyes	28-Feb-13	\$500,000
Bioinformatic FPGA Appliance	Stone Ridge Technology	28-Feb-13	\$500,000
Commutational Ramp Load Disk Drive Actuator	Bluewater Technology	28-Feb-13	\$444,880
Mammography Analysis and Reporting System	MEDKEN LLC	28-Feb-13	\$500,000
Method of Disinfecting Precursor Materials using Plant Essential Oils for a New Material Technology	Ecovative Design LLC	28-Feb-13	\$387,637
Multivariate Analysis of Heterologous Protein Expression	DNA Twopointo Inc	28-Feb-13	\$805,160
Optical Detectors Based on Transparent Microwires and Nanowires	Telescent Inc.	28-Feb-13	\$407,660
Ubiquitous Landline-Based Long-Reach Broadband Access	XW, LLC	28-Feb-13	\$500,000
Wavefront Microscopy: A low-Cost Implementation of High-Quality Microscopic Phase Imaging for Bioscience Teaching and Training	Visualyze Technologies, Inc.	28-Feb-13	\$492,118
Low-Cost Ultra-Efficient 50-gm, 300-W Servoelectronics Module with Integral Sensors	Barrett Technology Inc	30-Apr-13	\$1,024,000
Thermo-Electric Conversion by Optimally Scaled Nanocomposite Materials	Romny Scientific, Inc.	31-May-13	\$1,014,926

Improving the safety and efficacy of epidural anesthesia	Insite Medical Technologies	30-Jun-13	\$1,000,000
Life-like, Expressive Avatars for the Instruction of Young Learners who are Deaf	VCOM3D, INC.	30-Nov-13	\$1,128,088

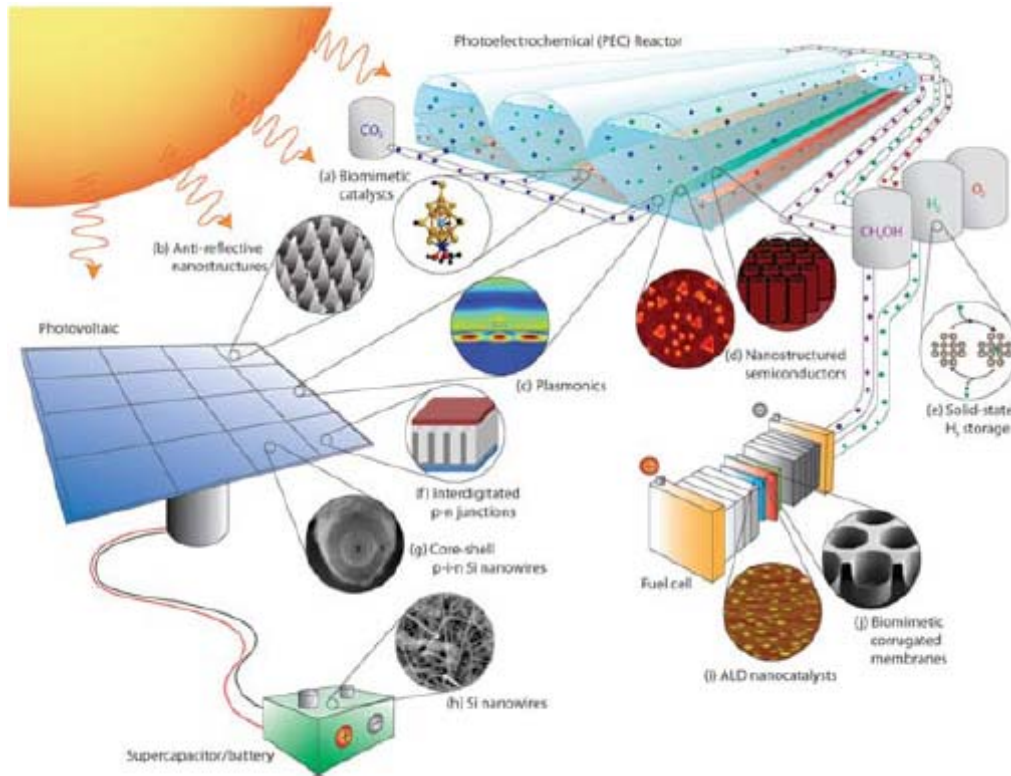
8. Stanford University Center on Nanostructuring for Efficient Energy Conversion (CNEEC)의 연구 목적 및 현황

가. CNEEC 연구 개요 및 목적

Stanford University 내에 Center on Nanostructuring for Efficient Energy Conversion (CNEEC) 은 에너지 변환 시스템을 훨씬 더 효율적으로 만들기 위한 근본적인 문제들을 해결하기 위한 목적으로 US Department of Energy의 후원을 받아 설립이 되었다. 이 목표를 달성하기 위해 이론, 물질 합성, 특성연구, 수리계산, 디바이스 제작 및 실험 등 각 분야의 전문가들로 구성된 세 개의 Technical Research Group (TGR)을 조직하였고 각 그룹의 유기적인 연구가 수행되고 있다.



Mission Statement



Understanding and help solve fundamental cross-cutting problems related to energy conversion efficiency

세계적인 에너지 수요의 증가는 하나가 아닌 생산, 저장, 그리고 인간이 곧 필요로 하게 될 많은 양의 에너지들을 하나로 묶는 굉장히 효율적인 에너지 기술을 필요로 한다. 높은 효율의 개발, 비용 효율이 높은 에너지 기술의 개발의 과학적인 기초를 제공하고자 CNEEC의 연구들은 다음과 같은 목표를 가지고 있다.

- 나노 구조물 제작의 도입을 통해 큰 변화, 높은 표면적 대 부피의 비율, 그리고 저차원성을 생성시켜 에너지 변환 효율의 증가에 이르게 한다.
- 에너지 변환 장치의 효율을 증가시키기 위해 필요한 물질들을 나노미터 스케일에서 조작이 가능하게 만든다.
- 에너지 변환 장치의 성능을 향상 시키고 효율을 증가시키기 위해 전하 수송, 광학적 흡수, 그리고 평형 제어 등에 관한 근본적인 발달에 대해 탐구한다.

나.(TRG 1) Tuning Thermodynamica/Kinetics by Nanoscaling

TRG 1 Leaders: Bruce Clemens and Thomas Jaramillo (Stanford University)

Problems

- System conditions fix the operating temperature and thereby force devices to function farther away from equilibrium under inefficient conditions (at equilibrium these devices will operate the most efficiently).

Goals

- To improve energy efficiency by nanostructuring materials to alter the thermodynamics/kinetics of the system
- To manipulate the surface-to-volume ratio of characteristic device features thereby influencing the free energy of surface-bound chemical reactions.
- To understand what effects nanostructuring has on thermodynamics and kinetics of surface reactions.

1) Volume Effects

참여 교수진: Bruce Clemens (Stanford Univ.), Ping Liu, John Vajo (HRL Laboratories, LLC), Jens Norskov (Technical University of Denmark)

부피 효과 연구에 있어서, TRG 1의 연구 목표는 열역학 및 동역학적 상 변형과 안정성의 제어를 위한 나노 구조물 제작을 통해 에너지 저장 효율을 증가 시키는 것이다. 나노 스케일의 재료에 있어서, 질량 수송 거리는 줄어들고, 계면에 존재하는 에너지는 열역학적 상 안정성과 상 변형 프로세스를 변형시킬 수 있다. TRG 1에서는 배터리 및 super capacitor의 적용을 위한 전극 물질 및 수소 저장 물질에서 물질의 크기가 열역학, 동역학적 반응에 어떤 영향을 미치는가에 대한 연구를 수행하고 있다.

TRG 1에서는 연구 중인 물질들에는 기체 상태에서의 응축, 에어로겔 (aerogels) 그리고 nanoporous nanowires의 방법으로 만들어진 합금 나노 미립자(nanoparticles)들이 있다.

2) Surface Properties – Biomimetic Catalysis

참여 교수진: Yi Cui, Thomas Jaramillo, Arthur Grossman, Stacey Bent, Xiaolin Zheng, Robert Sinclair, Friedrich Prinz (Stanford Univ.), Jens Norskov (Technical University of Denmark)

표면 특성 연구에 있어서, TRG 1의 연구 목표는 원자 스케일에서 촉매 반응이 왕성한 표면을 적절히 변형함으로써 에너지 변환 반응의 효율을 증가시키는 것이다. 이 연

구를 수행하기 위해서는 나노 스케일화 된 표면에서의 화학적 변형에 대한 기본적인 이해가 반드시 수반 되어야 한다. 나노 스케일에서의 물질은 그들의 원자 및 전자 구조적 측면에서 벌크 (bulk) 스케일의 것과 다르다; 나노 스케일 물질 크기의 매우 작은 변화만으로도 매우 큰 표면 특성의 변화를 만들 수 있다. 표면 특성 연구팀에서는 이러한 특성을 이용해 화학 반응을 일으키도록 만드는 표면들을 개발하는데 힘쓰고 있다.

이 팀에서는 연구원들이 값싸고, 안정되며, 활발한 촉매들을 개발할 수 있도록 하는 두 가지 반응 - the oxygen evolution reaction (OER) 과 이산화탄소의 연료로의 환원 - 에 대해 연구하고자 한다. 이 두가지 반응은 재생 에너지원과 연결 되었을때 연료의 생산 및 소비에서 CO₂-neutral emission 사이클을 형성한다.

첫번째 단계에서는, 체내에서의 생물학적 촉매에 대한 연구가 진행된다. 좀 더 구체적으로, 자연에서 특정한 기능을 갖기 위해 백만년 이상 진화된 광합성 유기체 내의 효소에 대한 연구가 진행된다. 좀더 실용적이고 튼튼한 촉매 시스템에서의 효소적 촉매 반응을 모방하기 위해서, 본 팀에서는 효소 내에서의 활발한 반응 조직을 모방할 수 있는 금속, 합금, 산화물 및 황화물 등에서 나노스케일 표면 구조물의 표면 화학 반응을 연구하고 있다. 본 연구팀의 연구 범위는 체내의 광합성 반응을 연구하는데서부터 나노 촉매 구조물의 합성 및 특성 연구, OER 및 이산화 탄소 환원 반응을 모델링하는데 까지 다양하다.

다.(TRG 2) Photon Management

TRG 2 Leader: Mark Brongersma (Stanford Univeristy)

Problems

- The absorption depth in materials for photoelectrochemistry and PV is longer than the electronic diffusion lengths so it's hard for high operational efficiencies to be reached

Goals

- To boost the efficiency of light sensing (photovoltaic and photoelectrochemical) devices by producing new materials that will absorb and allow high levels of light into active regions of the device.

1) Photon Management for Photoelectrochemical Fuel Synthesis

참여 교수진: Yi Cui, Thomas Jaramillo, Stacey Bent, Bruce Clemens (Stanford Univ.), Jens Norskov (Technical University of Denmark)

광전기 화학적 (Photoelectrochemical) 접근은 태양 광양자로 부터의 직접적인 연료 합성을 가능하게 한다. 본 팀에서는 광전기 화학적 연료 합성을 촉진 시키기 위한 개선된 밴드 구조 (bandstructures)를 보이는 새로운 나노 구조물 형태를 가진 반도체를 디자인 하고 실현시키는 것을 목표로 연구하고 있다.

본 팀의 주된 전략 중 하나는 이전에 개발된 bulk form으로서는 그다지 효율적이지 않았던 반도체 시스템들을 평가하고, 나노 구조물 제작을 통해 그것들의 문제점들을 극복하여 새로운 디바이스로의 도약 가능성을 열어주는 것이다.

본 연구팀에서는 다양한 합성 방법들을 사용하고 있고, 전산 방법을 동원하여 이상적인 전기적, 광학적 특성을 갖는 물질을 찾는데 이용하고 있다.

2) Managing the Flow of Light

참여 교수진: Mark Brongersma, Bruce Clemens, Yi Cui, Thomas Jaramillo (Stanford University)

빛의 유동 연구에 있어서, 본 연구팀의 목표는 반도체 및 금속 나노 구조물의 제작을 통해 Photovoltaic (PV) 및 Photoelectrochemical (PEC) 디바이스 에서의 박막 광학 흡수를 조절하고, 이를 이용하여 그 디바이스들의 에너지 변환 효율을 급진적으로 향상시키는데 있다. 고효율의 태양 전지와 광전기 화학 디바이스의 개발을 실현시키는 하나의 중

요한 방법은 빛을 효과적으로 그것을 흡수하는 물질에 전달하는 것이다. 통상적으로 이러한 흡수를 잘하는 구조를 가지는 산화물이나 반도체들은 높은 굴절률과 빛의 흡수율을 가지고 있다. 이러한 이유로, 그것들은 또한 강한 반사물이다. 본 연구팀에서는 나노 구조물을 이용한 비반사적 코팅 및 빛의 흐름을 효율적으로 흡수막으로 유도하는 구조물의 디자인 및 제작에 관한 연구를 수행하고 있다.

하나의 연구 테마는 적절히 형성된 반도체 나노 구조물을 사용하는데 집중되고 있다. 예를 들어, 본 팀에서는 나노 콘 (nanocoones) 구조물에 바탕을 둔 새로운 타입의 비 반사 물질 코팅의 체계적 연구를 위한 정교한 패터닝 기술을 개발하고 있다. 빛의 흡수를 증가시키기 위한 두번째 주된 전략으로 plasmonics 개념을 도입하였다. Plasmonics는 빠르게 개발되고 있는 과학 기술 분야로서 금속 나노 구조물이 나노 스케일에서의 빛의 유동을 조절하는 역할을 한다. 이러한 새로운 기술은 광학 및 광전자학의 모든 분야에 큰 영향을 미치고 있으며 수많은 새로운 기술 개발을 가능하게 한다. CNEEC내의 연구원들은 금속 나노 구조물 증착 및 plasmonics를 이용하여 광전기 화학 디바이스의 빛 흡수막으로 빛의 유동을 조절하고 집중시키는데 그들의 경험들을 적용시키고 있다.

라.(TRG 3) Optimizing Charge Transport at Reduced Sizes and Dimensions

TRG 3 Leader: David Goldhaber-Gordon (Stanford Univ.)

Research focuses

- Experimenting with simple low-dimensional structures to understand the physics of transport in these systems, with an eye to specific energy conversion applications.
- Fabricating and studying nanoscale heterojunctions with interdigitated semiconductor layers.
- Improving power and efficiency in solid oxide fuel cells

Goals

- To understand the physics of transport in simple low-dimensional structures, with an eye to specific energy conversion applications.
- To fabricate and study nanoscale heterojunctions that provide large light absorption path length and short carrier diffusion distance.
- To improve power and efficiency in solid oxide fuel cells by identifying mechanisms and rate-determining steps for ion transport across the oxide electrolyte membrane.

1) Physics of Charge Transport in Model Low Dimensional Structures

참여 교수진: David Goldhaber-Gordon (Stanford Univ.)

본 연구팀에서는 저차원적인 (low-dimensional) 장치 (device) 시스템 내에서의 물질 수송을 지배하는 물리학적 개념을 이해하기 위해 직접 디바이스를 제작하고 측정하는 연구를 수행한다. 실제 디바이스에서 마주치게 되는 비 이상적인 것들은 성능의 큰 변화를 야기할 수 있다. 그러한 현상들은 일반적으로 오로지 두개의 제한에 한해서만 연구 되어 왔다 - 그 전환은 실험적 연구를 필요로 한다. 본 연구팀에서는 물질 수송 측정과 electrical scanning probe 기술을 혼합하여 카본 나노 튜브와 나노튜브 네트워크의 물질 수송에서 보이는 무질서 (disorder)성의 영향에 대해서 연구한다.

2) Charge Separation and Transport in Photovoltaics

참여 교수진: Stacey Bent, Xiaolin Zheng, Bruce Clemens, David Goldhaber-Gordon, Robert Sinclair (Stanford Univ.)

본 연구팀에서는 효율적인 전하 수송 (charge transport)을 실현시키기 위해 국소적으로 구조화 된 반도체 장치의 근본적인 연구를 수행한다. 본 팀은 재결합 (recombination)을 억제하고 관입하는 나노 구조물 제작을 위한 저가의 방법을 개발하는 동시에 여기자 (exciton)의 형성과 수송체 분리 (carrier separation) 능력을 향상 시키는데 연구 목표를 두고 있다. 또한 본 팀의 연구를 통해 태양 전지 활용의 문제 중 하나인 에너지 변환 효율을 향상시키는 결과를 기대하고 있다.

이를 위한 하나의 접근 방법은 나노 와이어를 기반으로 하는 태양 전지의 개발이다. 나노 와이어는 독특하고 전기, 광학적 특성을 조절할 수 있는 특징들로 인해 촉망되는 태양 전지의 구성 요소이다. 나노 와이어로부터 제작된 수직 형태를 지닌 core/shell p-n junction 구조물은 carrier collection으로부터 빛의 흡수를 분리할 수 있도록 해주었고, carrier collection 거리를 minority carrier의 확산 거리까지 줄이는 것을 가능케 하였다. 본 연구팀에서는 나노 와이어의 물리적, 화학적 특성이 bulk에서의 전달체 생성, 계면에서의 수송, 표면에서의 recombination에 어떠한 영향을 미치는지 연구한다.

다른 접근 방법은 자연적인 자유풀 형성을 이용해 나노 구조물을 지닌 태양 전지를 만드는 것이다. 이러한 자유풀 형성된 나노 스케일의 헤테로 구조물은 효율적인 광전기적 디바이스를 만듦에 있어서 비용 절감의 효과를 가져다 준다. 이러한 태양 전지들은 관례적인 태양 전지들에 비해서 적은 양의 물질과 품질이 낮은 재료들을 사용한다. 본 팀에서 수행되는 이러한 디바이스의 3차원 나노 구조물의 연구는 계면을 통과 하는 수송시에 recombination을 최소화 하는 것을 목표로 하면서, 계면 특성이 p-n junction region에서의 전하 수송에 미치는 영향의 탐구를 가능하게 한다.

3) Charge Transfer and Transport in Solid Oxide Fuel Cells

참여 교수진: Fritz Prinz, Turgut Gur, Stacey Bent, David Goldhaber-Gordon, Robert Sinclair (Stanford Univ.)

에너지 변환 효율의 이론적 한계에 접근하는 디바이스를 제작하기 위해서는 율속 단계 (rate-determining step)에 대한 근본적인 연구를 필요로 한다. 본 연구팀에서는 나노 스케일 에너지 변환 과정에까지 적용할 수 있는 질량 및 전하의 수송의 에너지학, 동역학적인 이해를 목표로 연구하고 있다.

본 팀의 연구 주제들은 연료와 산화물의 느린 반응으로 인해 오는 활성화 손실, 이온의 전달로 부터 오는 저항 손실, 연료 및 산화물의 전달로 부터 오는 concentration 손실을 최소화 하는 것을 목표로 하는 전기 화학적 에너지 변환 과정 및 장치 연구 또한 포함한다. 본 팀에서는 설계, 전해질 원형 제작, 전해질/전극 계면의 원형 제작 등을 통하여 위에서 언급된 손실들을 줄이기 위한 연구를 수행하고 있다.

9. 2010 NASA 스피노프 사례 조사

가. 스피노프 사례 조사 개요

1) 조사 목적

연구개발 국가기관으로써 NASA는 미래 경제와 안보 분야에서 미국의 혁신에 중요한 역할을 하고 있다. NASA는 2011년도 예산에서 신 상품 및 서비스, 신 사업 및 산업, 지속 가능한 고용을 창출 할 수 있도록 과학, 기술, 혁신 등 미국 R&D의 큰 부분을 차지하고 있다.

1958년 NASA가 설립 된 이후부터 항공우주분야의 연구개발 활동이 항공우주분야 너머의 일반 사회에서 공유되고 응용될 수 있음을 증명해 왔다. 이를 가능하게 한 것 중 하나가 스피노프 이다.

NASA의 기술은 스피노프를 통해 의료기기, 환경, 가정, 공공복지 등에 많은 영향을 끼치고 있다. 우주 기술로부터 파생되어 나온 결과 중 대표적인 것으로 공기청정기나 진공청소기 등이 있다. NASA의 스피노프는 그들이 개발한 기술 중 상업적으로 이용 가능한 상품, 서비스, 공정 등을 대중에게 제공하는 것이다. 본 보고서는 2010년까지 NASA에서 이루어진 스피노프의 사례를 분석한다.

이러한 사례연구를 통해 국내 주요 연구기관 및 정책 담당자들이 스피노프에 대해 이해하고 벤치마킹 함으로써, 국내에서 여러 연구기관에서 스피노프 가능한 기술들을 발굴하는데 기여하고자 한다.

2) 조사 범위 및 내용

2010년까지 NASA는 약 1,700건의 스피노프 기록을 세웠다. 본 보고서는 다음과 같은 대표적인 사례를 조사한다.

- 교통 - 비행기 연료절감을 위한 윙릿, 중요 항공역학 데이터 수집용 센서
- 안전 - 무인 비행체의 방빙장치, 항공기 몸체 전체를 구조할 수 있는 낙하산, 긴급 통신을 할 수 있는 팽창 가능한 안테나, 폭발성 화학약품 휴대용 검출기
- 컨슈머 제품 - 작물 재배용 LED, 극저온 방열용 에어로젤
- 환경 - 날씨 예측을 위한 소형 방사계, 원유유출, 오염된 물을 정화하기 위한 박테리아
- 의료 및 제약분야 - 시력 보호 및 개선을 위한 UV 차단 렌즈, 초분광 이미지 센서

나. 스피ن 오프 사례

1) 교통

가) 비행기 연료절감을 위한 윙릿

종이비행기를 만들어 본 사람이라면 누구나 비행기 날개 끝을 위로 접어 올리면 보기에도 좋을 뿐만 아니라 더 멀리 날아간다는 것을 알 수 있을 것이다. 혹시 다음에 비행기를 탈 기회가 생기면 날개의 끝 부분을 관찰해 보라. 어떤 비행기의 날개의 끝은 위로 꺾여져 있을 것이다. 이처럼 날개의 끝 모양을 바꾸는 것은 종이 비행기의 경우와 마찬가지로 유익한 항공역학적 기능을 갖는다. 양력(lift force)과 항력(drag force)는 항공역학의 핵심이다. 비행기를 뜨게 하는 힘인 양력은 날개의 아랫부분과 윗부분의 압력이 비대칭것에 의해 만들어 진다. 항력은 기류를 뚫고 진행할 때 생기는 저항력이다. 항력은 날개 밑 부분의 높은 압력에 기인하고, 공기가 소용돌이쳐 날개 끝에서 회오리쳐 돌아오게 한다. 이러한 항력은 비행기의 성능을 떨어뜨리고, 연료 효율을 낮추고, 운항 거리와 속력을 낮춘다. 1897년 영국의 Frederic W. Kanchester는 날개의 끝 소용돌이(wingtip vortex)를 낮추는 날개 끝 모양을 개념화 했다. 하지만 현대 상업적 기술은 1970년대 NASA 연구에 기인한다. NASA의 Aircraft Energy Efficiency (ACEE) 프로그램은 1973년 석유파동 시기에 비행기 에너지 절감 방법을 찾았다. 랭글리 연구센터의 Richard Whitcomb는 컴퓨터 프로그램과 풍동실험을 통해 정교하게 고안된 수직 방향의 날개 끝 모양이 소용돌이를 약하게 하고 항력을 없앤다는 것을 밝혔다. 이 디자인은 이후 윙릿 (winglet)이라 불리게 된다. 항력이 낮아지는 것은 연료 소모가 줄고 운항 효율이 좋아진다는 것을 의미한다.

1977년 NASA, 미 공군, 보잉사는 윙릿 테스트 프로그램을 출범했다. Whitcomb 팀이 설계하고, 보잉사가 9 피트의 윙릿을 제작했고, 공군은 KC-135 테스트 비행기를 제공했다. 실험에서 윙릿이 20%의 항력 감소와 함께 7%의 양력-항력비율의 증가를 보였다. 뿐만 아니라 윙릿은 비행체의 조정에 아무 영향을 미치지 않았다. 1970년대부터 소형 제트항공기에 윙릿이 적용되기 시작했고, 이후 대형 여객기에도 적용되기 시작했다. 1989년에는 보잉 747-400에 윙릿이 설치됐다. 1999년에 Avation Partner사와 보잉의 파트너십에 의해 Aviation Partners Boeing (APB)가 설립됐다. 다른 윙릿 디자인과 마찬가지로 APB의 윙릿도 기본적으로 항력을 줄이는게 목적이다. 하지만 기존의 윙릿이 접혀 있는 모양을 하고 있는것과 달리 APB의 디자인은 위로 휘어진 부드러운 곡선모양(Blended Winglet)을 하고 있다. 이러한 개선된 윙릿은 각이 진 윙릿이 가진 중요한 문제를 해결할 수 있다. Blended Winglet은 간섭항력(interference drag)문제를 해결할 수 있다. APB의 Blended Winglet은 보잉의 수많은 국내선과 국제선 여객기에 탑재되어 있다. 이것을 도입해서 사우스웨스트 보잉 737-700 기종이 연간 100,000갤런의 연료가 절감되었고, 대략 4~6%의 연료절감효과를 가져왔다. 뿐만 아니라 6% 이상의 이산화탄소와 8% 이상의 이산화질소

배출가스의 절감을 가져왔다. 항력 감소는 비행거리를 증가시켜 주고, 더 많은 무게를 실을 수 있게 한다. 또한 이륙시 낮은 항력으로 뜰 수 있게 하여 덴버공항이나 멕시코시티 공항처럼 높은 고도와 온도의 공항에서 효과적이다. 또한 윙릿은 6.5%의 소음절감 효과를 유발한다. 2010년 Blended Winglet은 세계적으로 약 20억 갤런의 연료를 절약했고, 이것의 40억달러의 가치와 2억 15백만톤의 이산화탄소 절감효과를 가져왔다.



그림. 1 (좌) 1970년대 드라이덴 비행 연구센터의 연구핵심은 항공기의 성능 중심에서 효율 중심으로 이동했다. 그 중 하나의 결과가 윙릿이다. (우) 보잉사는 부드러운 모양의 윙릿을 상업용 여객기에 적용했다. 이로써 약 4~6%의 연료절감효과를 얻을 수 있다.

나) 중요 항공역학 데이터 수집용 센서

촛불을 끌 기회가 있으면 연기가 어떻게 움직이는지 관찰해 보라. 처음에 연기가 일정한 줄기 형태로 흐르다가, 어느 순간 연기 줄기가 깨지면서 소용돌이와 회오리로 변하다가 연기가 사라진다. 비행기 날개를 통과하는 기류도 이와 비슷하다. 층류(laminar flow)라 불리는 날개 위에서 부드럽고 일정한 공기의 움직임은 비행기가 효과적으로 날 수 있게 한다. 기류가 날개 표면에서 분리될 때 생기는 일정하지 못한 소용돌이는 난류(turbulence)라 불리고, 이것은 비행기를 흔들리게 만들 뿐만 아니라 항력을 증가시키고 비행 성능과 효율을 떨어뜨린다. 날개에서 발생하는 공기역학의 영향을 이해하고 제어하는 것은 비행기가 안전하면서 연료를 절약할 수 있게 한다.

1981년 Siva Mangalam은 랭글리 연구소에 합류하면서 층류 제어분야의 저명한 전문가인 Werner Pfenninger와 무인항공기(UAV: unmanned aerial vehicle)의 에어포일(비행기 날개의 단면 모양) 설계에 협력했다. 설계 과정에서 Mangalam은 공기역학의 부족한 분야에 관심을 갖게 됐다. 풍동 실험을 위해서는 수많은 시스템이 있는 반면, 실제 비행체의 공기역학적 힘과 모멘텀을 측정할 수 있는 센서는 없었다. 비행기가 운항중엔 추진력과 상관없는 3종류로 구분될 수 있는 힘들이 존재한다. 항공역학, 비행몸체의 진동, 플랩이나 꼬리등에서 생성되는 힘이 그것이다. 현재 항공역학적 힘들은 어떤 사건이 일어난 이후에 이해될 수 있다. 예를 들면 난류는 항공기가 난류에 반응하고 난 후에서야 측정될 수 있다. “오늘날 항공역학적 힘들은 가속센서, 자이로스코프, 스트레인게이지 등을 통해 측정된다. 우리는 구조와 구동이 독립적으로 측정할 수 있는 센싱 시스템이 필요하다.”라고

Mangalam은 밝히고 있다. 예를들면 기체는 난류와 같은 항공역학적 교란에 충분히 빨리 응답하지 않아 기존의 측정장치로는 실시간으로 무슨 힘이 영향을 주는지 측정할 수 없다. 난류는 매우 빨리 변하는 반면, 기체는 매우 천천히 응답한다. 이것은 기체에 영향을 주는 항공역학을 연구원들뿐만 아니라 파일럿 역시 알 수 없다는 것을 의미한다. 불안정한 힘에 대한 정확한 이해 없다면, 파일럿은 난류 대응에 필요한 반대 방법으로 대응할 지도 모른다. 항공역학의 변화를 기체가 반응하기 이전에 측정하는 것은 더욱 안전하고, 효율적이고, 편안한 비행을 이끌어 낼 수 있다.

1994년 Mangalam는 Tao System사를 설립하고 항공역학 및 구조역학적 힘의 실시간 측정시스템을 개발했다. SBIR프로그램의 지원과 드라이덴 비행연구센터에서 비행실험 기회를 통해 Tao System은 실시간 감지 시스템을 개발했다. 양력 및 항력은 기류가 센서를 항공기 표면에 붙이려거나 떨어뜨리려고 하는 것으로 측정될 수 있다. 기류가 초래하는 열 손실은 기체 표면을 항온으로 유지하기 위해 얼마만큼의 열이 필요한지를 측정해서 알 수 있다. 기존의 실시간 센싱 기술이 전자기파나 라디오 주파수와 같은 교란에 간섭을 받는 것과 달리, 이 간단한 아이디어는 비행 중 간섭을 받지 않는다.

최근 보잉, 록히드 마틴, Northrop Grumman, GE, BMW, 롤스로이스는 기류 및 온도 특성 측정을 위해 Tao Systems사의 SenFlex센서를 도입하고 있다. 샌디아 국립연구소는 이 회사의 기술을 사용해서 풍력발전기의 성능개선 연구를 하고 있다. 또한 Tao Systems는 빌딩 공조에 필요한 에너지를 최적화 하기 위해, 빌딩 내부의 공기의 흐름을 조사하는데 자사의 기술을 사용하고 있다. 뿐만 아니라 조력이나 파도로 전기를 생산하는 수중에 있는 터빈개발에 자사의 기술을 적용하고 있다. Tao Systems는 미 해군과 잠수함 프로펠러 날개를 유지하고 성능을 개선하는데 필요한 시스템개발에 공동연구하고 있다.



그림. 2 (좌) 드라이덴 비행 연구센터의 F-15B의 장착된 음속 충격파 위치 센서. (우) Tao System사의 센서 어레이.

2) 안전

가) 무인 비행체의 방빙장치

최근 항공산업에서 놀랄만한 발전을 하고 있는 분야는 무인 항공기 개발이다. 1916년 최초로 개발된 이후로, 무인 항공기는 감시, 전투, 탐사, 구조, 과학연구, 야생동물 감시 등 여러 분야에 값싸게 사용되고 있다. 파일럿의 안전에 대한 제약이 없기 때문에 무인 비행공기는 원격 탐사나 유해환경 탐사를 가능하게 한다. 하지만 유인 항공기뿐만 아니라 무인 항공기를 괴롭히는 한 가지 문제가 있다. 특정 대기 조건에서 얼음층이 비행기 표면에 생길 수 있다. 이렇게 생긴 얼음층은 항공역학에 나쁜 영향을 미치거나 성능을 떨어뜨리고, 심지어 제어력을 잃게할 수도 있다. 특히 경량 무인 항공기에 그 문제가 치명적일 수 있어 값비싼 무인 항공기가 어떤 날씨조건에서 사용할 수 없어 무용지물이 될 수 있다. 특히 군사용 무인 항공체의 경우, 임무를 중단해야 하거나 전략적 능력을 떨어뜨릴 수 있다.

이러한 문제를 해결하는 것은 NASA의 전략적 목표 중 하나이다. NASA의 연구원들은 다양한 종류의 방빙 기술을 연구했고, 모든 비행기가 안전하게 운항할 수 있게 했다. 그 중 한가지 방법은 애임스 연구소의 Leonard Haslim이 발명한 것이다. 비행기 동체에 구부러 질 수 있는 유연한 물질 속에 금속 전극 쌍들 몰어놓는다. 그리고 전극에 전류 펄스를 흘리면 자기장이 형성된다. 이 자기장은 금속 전극을 포함한 구부러 질 수 있는 물질을 약 1인치 정도 움직이게 하면서, 얼음 조각을 파괴한다. Haslim은 이 기술을 electroexpulsion separation system (EESS) 혹은 ice zapper 라고 불렀고, 1988년 NASA 올해의 발명상을 수상했다.

항공 엔지니어 Mark Bridgeford는 애임스 혁신 전시회에서 Haslim의 부스를 지나며 궁금증을 가졌다. 부스에는 Haslim의 방빙장치 위에 포커칩이 올려져 있어, 얼음 조각 대신에 포커칩이 공중으로 튕겨져 나가는 것을 시연하고 있었다. Bridgeford는 즉시 이 기술이 일반 시장에 사용될 수 있을 것 같은 생각을 했다. 1995년 그는 Ice Management System (IMS)사와 Haslim의 방빙장치 라이선스를 체결했다. IMS는 더 많은 연구를 통해 electroexpulsive deicing system (EEDS)를 개발하여, Thompson Ramo Wooldridge사의 Hunter UAV, General Atomics사의 Sky Warrior UAV 프로그램에 판매했다. 이 기술이 각광받는 이유는 아주 적은 에너지를 사용하기 때문이다. 이 시스템은 약 600-900 와트를 사용하는데 반해, 기존의 가열방식 방빙장치는 수만 와트가 필요해서 무거운 발전기를 동반해야 하기 때문에 경량 무인항공기에 적합하지 않다. 또한 에틸렌 글라이콜과 같은 방빙물질을 코팅을 하는 것은 항공기가 무거워 지고, 오랫동안 비행하면서 코팅 물질이 닳아 없어질 수 있다. 압축공기를 불어넣어 표면을 부풀려 얼음을 깨는 압축공기 부트 시스템은 어느정도 얼음이 쌓여있을 때에만 효과가 있다.

2010년 IMS에 큰 전진이 있었는데, 영국군의 Thale UK Watchkeeper Tactical UAV에 판

매를 했다.

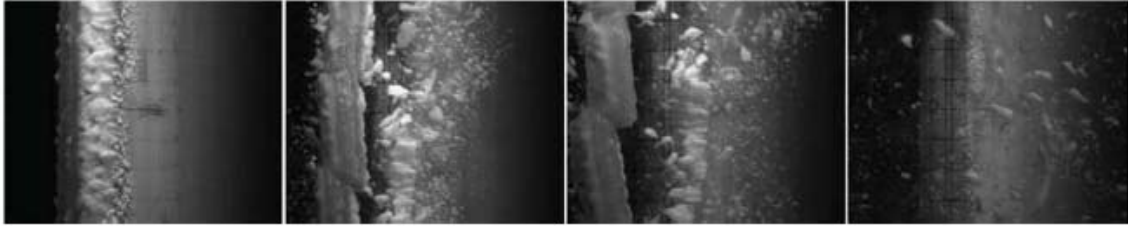


그림. 3 전류 펄스가 두개의 떨어져 있는 전극에 가해지면, 전극이 기계적으로 열리고 닫히면서 얼음 조각을 파괴한다.

나) 항공기 몸체 전체를 구조할 수 있는 낙하산

Boris Popov 가 8살 일 때, 그는 어머니의 천 조각과 실을 가지고 낙하산을 만들어 나무에 올라 뛰어 내렸다. 집에서 만든 낙하산은 실패했고, 아버지는 실망한 아들을 데리고 나가 더 높은곳으로 올라가라고 말했다. 몇 년 후 1970년대 중반 어느날 대학생이 된 Popov는 호수 위에서 행글라이더를 타고 있었다. 행글라이더를 끌던 배가 너무 빨리 가속해 행글라이더의 손잡이를 놓쳤고, Popov는 호수로 떨어졌다. 떨어지면서 그는 만약 낙하산같은 것이 있으면 생명을 구할 수 있을것이란 생각을 하며, 생명을 구하는 낙하산을 만들어야겠다고 다짐했다.

십여년 후, Popov는 Ballistic Recovery System 사를 창업했고, 그의 경험을 통해 개인용 비행기 전체를 구조하는 낙하산을 상업화 했다. 이후 BRS는 랭글리 연구소와 SBIR을 체결해, 시스템을 훨씬 크고 무거운 비행기로 확장하려는 목표를 세웠다. NASA의 지원으로 BRS는 얇고, 강하고 쉽게 펼쳐지면서 비행기 전체를 구조하는 낙하산을 개발했다. “세스나(미국의 2인승 관측기)의 등에 50갤런의 드럼통만한 낙하산을 달고 날 순 없다.”라고 Popov는 말했다. 파일럿이 조종석의 핸들을 당기면 낙하산이 연결된 로켓 모터가 동작한다. 이 로켓은 시간당 100마일의 속도로 발사되고, 낙하산이 발사되는데 1초면 충분하다. 낙하산이 펼쳐지는 속도는 항공기의 속도에 따라 달라진다. 항공기가 빨리 달릴때, 낙하산은 처음 수 초동안 약 25%만 펼쳐지고, 속도가 점점 감소함에 따라 천천히 펼쳐져 갑작스런 충격을 방지한다. 항공기가 천천히 달리거나, 낮은 고도에 있을 때는 낙하산은 재빨리 펼쳐진다. 이 낙하산은 인명을 구할 뿐아니라 비싼 비행기를 구해 나시날 수 있게 한다.

BRS는 30,000개의 지금까지 시스템을 판매했고 올해 2천억달러의 매출을 기록했다. BRS는 군사용 UAV, 수송기, 훈련기용 낙하산을 생산하고 있다. 더 큰 크기의 항공기를 위한 낙하산은 개발중에 있다. 지금까지 BRS의 제품으로 246명의 생명이 구해졌다.



그림. 4 (좌) BRS Aerospace 사의 낙하산 시스템. 소형 항공기 전체를 보호할 수 있으며 펼쳐지는데 1초 미만이 걸린다. 검은 부분이 뚜껑이다. (우) 낙하산이 실제로 펼쳐지는 모습

다) 긴급 통신을 할 수 있는 팽창 가능한 안테나

우주 탐사는 안정하고 효과적인 통신기술을 필요로 한다. 현재 개발 중인 한가지 기술은 팽창 가능한 안테나 이다. 무게가 가볍고, 설치가 쉽고, 값싸면서, 보관부피가 작은 특징으로 인해 팽창 가능한 안테나는 우주 기술에 아주 적합하다. 기계적인 구동기나 사람이 조립할 필요없이 이 안테나는 우주에서 농구장 크기만큼 부풀어 오를 수 있다.

1960년대, NASA는 최초로 금속 공 형태의 팽창 가능한 구조체인 Echo 인공위성을 쏘아올렸다. 이 위성은 지구의 한 위치에서 통신신호를 반사해 다른 한 곳으로 보내는 역할을 하도록 설계되었다. Echo 1A는 궤도에 안착했고, 전화, 라디오, 텔레비전 신호를 성공적으로 중계했다. 하지만 다른 고성능 인공위성이 개발됨에 따라 팽창 가능한 안테나는 잠시 자취를 감췄다. 하지만 1990년대를 지나면서 이 기술의 값싼 가격 때문에 1996년 우주 왕복선 STS-77은 팽창 가능한 안테나를 사용했다.

다시 등장한 이 기술을 사용해서, 1997년 ManTech SRS Technology는 발전용 태양열 집열판을 개발하는데 글렌 연구소로부터 SBIR을 받게 된다. 팽창 가능한 태양열 집열판은 태양을 향하고 태양 에너지를 모은다. 접시 모양의 형태는 태양에너지를 뿐만 아니라 라디오파수를 모으는데 사용될 수 있다. SBIR의 지원으로 SRS는 지상용 팽창 가능한 안테나를 만들었다. Ground Antenna Transmit and Receive의 약자인 GATR Technology사가 2004년 설립되고, SRS와 라이선스 체결을 통해 지상 위성통신 시스템을 개선했다. 이 시스템의 성능이 연방통신위원회 기준을 통과하기 위해서, GATR는 글렌연구소와 협정을 체결했고, 2008년 세계 최초로 팽창 가능한 안테나가 연방통신위원회 승인을 얻었다. 이 안테나는 현재 NASA내부 통신, 다른 정부기관, 산업계 등지에서 쓰이고 있다. 이 기술은 SBIR이 수여하는 Tibbetts Award를 수상했고, 2010년 R&D 100선에 뽑히기도 했다.

2004년 설립된 이후로 60개의 지상 팽창 가능한 안테나 시스템을 판매했고, 2009년 미국내 가장 빠르게 성장하는 기업 500선에 포함되기도 하였다. GATR의 시스템은 인터넷, 인터넷전화, 이메일, 화상전화, 방송, 통신에 사용 가능하고, 접근하기 어려운 원격 설치가 용이하고, 설치하는데 45분, 해체하는데 15분이 걸린다. 팽창 전 전체 시스템은 약 90파운드 정도이고, 크기는 여객기 화물 체크인 기준을 통과한다.

GATR의 시스템은 미시시피주의 허리케인 카트리나 사건때 약 250 가정과 교도소의 통신을 지원했고, 2010년 1월 아이티 지진시 인터넷망을 제공했다. 현재 미국, 한국, 아프리카, 이라크, 아프카니스탄에 납품하고 있고, 미 육군에서 활발이 사용하고 있으며, 최근 미 해군과 계약을 체결했다.

앞으로의 계획은 작은 배낭에 들어갈 정도의 초소형 제품과, 현재 시스템보다 두배 이상 큰 초대형 제품 개발이다. 초소형 제품은 배낭에 들어갈 크기의 초고속 인터넷 용이다.



그림. 5 (좌) 군인들이 북 캐롤라이나 지방에서 팽창 가능한 안테나를 설치하고 시험하고 있다. (우) 안테나를 설치하는데는 45분이 소요되고, 해체하는데는 15분이 소요된다. 해체 되었을 때는 안테나를 돌돌 말을 수 있어 침방가방 크기에 들어간다. 전체 무게는 약 90파운드 미만이다.

라) 폭발성 화학약품 휴대용 검출기

작고 값싸면서도 고성능을 내는 것. 성능을 희생하지 않으면서 에너지 소모는 적은 것. 이러한 모순점들은 우주선에 사용되는 센서들을 설계할 때 공통적으로 발견된다. 예를들어 화성 과학 실험실은 2011년에만 10개의 센싱 장비를 우주선에 탑재할 계획인데, 그것들은 이륙, 8개월간의 항해, 착륙, 화성의 생소한 환경들을 견뎌내야 한다. 이러한 요구 조건을 작고 안정적인 한 개의 패키지에 담아내는 것은 최첨단 기술을 필요로 한다. NASA의 Astrobiology Science and Technology Instrument Development (ASTID) 프로그램은 우주공간에서 우주생물학 연구나 지구에서 비슷한 연구를 수행할 수 있는 혁신적 장치를 개발하고 있다. ASTID와 SBIR 프로그램의 Ion Application 사는 ion mobility spectrometer (IMS)라 불리는 고성능 소형 센서기술을 개발했다. IMS는 가스 분자를 분리하고 검출하는데 매우 빠르고 민감한 방법이다. IMS 센서는 완충 가스로 채워진 튜브를 통과하는 대기 중 이온화된 기체 분자를 수집한다. 튜브를 지나가는 속도는 이온의 질량, 크기, 모양, 전하량에 따라 달라진다. 이온이 튜브를 통과하는 속도를 측정함으로써, IMS는 다양한 종류의 분자들을 검출해 낼 수 있다. IMS는 무거운 화합물부터 수소 같은 영구

기체까지 거의 모든 분자를 검출할 수 있다. 이 기술은 1960년대부터 폭발물이나 화학전 약품검색 목적을 공항 검색대나 군사용으로 널리 퍼지기 시작했다.

NASA는 가스 크로마토그래피 GC-IMS 개발을 완료하고 mini-Cometary Ice and Dust Experiment (miniCIDEX)라 명명했다. 이 장치는 우주생물학 임무 수행 시 필요한 정밀 가스분석을 위해 가스 크로마토그래피와 IMS를 결합한 것이다. 가스 크로마토그래피 장치는 충분히 소형화 되었지만, IMS는 작은 크기의 샘플을 조사할 수 있기 위해 더 작아질 필요가 있다. 이에 따라 애임스 연구소의 SBIR 지원으로 Ion Applications 사는 세라믹 IMS 셀을 개발했다. Mini-Cell IMS는 기존의 IMS보다 더 정밀하고, 안정한 제품이다. 이 제품은 행성탐사, 달탐사나 우주정거장의 공기질 모니터링에 사용된다.

지상용 제품을 위해 Ion Applications 사는 Mini-Cell IMS를 변형해 EASYTEC-XP 라는 휴대용 검출기를 상용화 했다. 손잡이를 가진 전자총 형태의 모양으로 검출대상을 겨누어 측정한다. 휴대성뿐만 아니라 EASYTEC-XP는 기존의 IMS가 가진 많은 문제들을 해결한다. 기존의 IMS는 일반인이 사용하기에 불편하다. EASYTEC-XP는 IMS와 달리 수분 침투 방지막이 필요없다. 동시에 기존의 것보다 10배 이상 작고, 더 정밀하며, 교정이 필요 없고, 유지비용이 예전에 비해 약 1/8에 불과하다. 뿐만 아니라 비접촉식이어서 일반인들이 사용하기 쉽다.

현재 미 육군과 해군에서 EASYTEC-XP를 사용하고 있다. 군인은 이 검출기를 들고다니면서 폭발의심 물질을 검사할 수 있다. 또한 히로인, 코카인, 메타페타민 등을 검출할 수 있는 검출기를 개발했고, 이 장치의 휴대성은 공항 보안, 항만 컨테이너 조사, 대기 질 측정, 기타 다른 군사 및 보안 분야로 확장시킨다. 공공 안전분야 뿐만아니라 중국에서는 반도체 클린룸의 청정도 측정에 사용되고 있다. EASYTEC-XP는 클린룸에서 수율에 악영향을 미치는 가스들과 다른 산업체에서 독가스를 검출해 낸다.

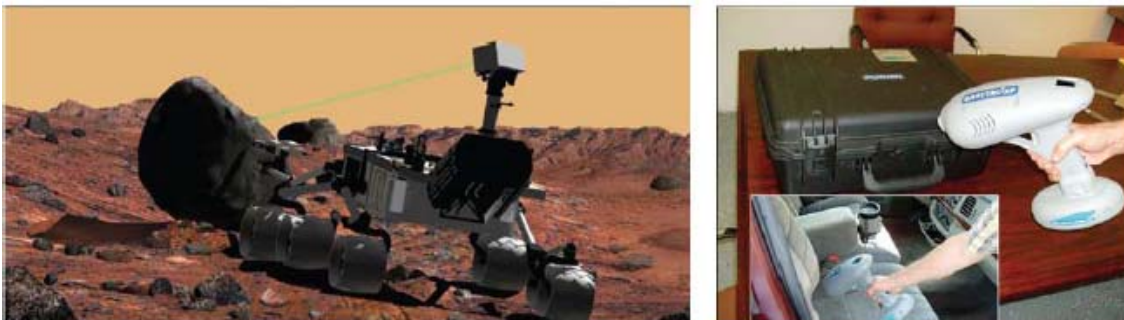


그림. 6 (좌) NASA 화성 과학 연구소는 탐사차량에 10개의 관측 기기들을 탑재했다. 모든 관측 기기는 견고하면서도 화성의 기후 조건에 적합해야 한다. (우) 교정이 필요없는 비접촉식 측정기. Ion Applicatino 사의 IMS 기술은 가방이나 차량의 폭발물이나 위험한 화학약품을 검색하는데 사용된다.

3) 컨슈머 제품

가) 작물 재배용 LED

우주공간에서 오랫동안 머물기 위해 지속가능한 환경이 필요하다. 작물은 신선한 음식을 제공하고, 공기를 맑게하며, 물을 맑게한다. 하지만 작물이 자라기 위해 빛이 필요하다. 지구에서 대부분의 식물은 무한한 에너지원인 태양으로부터 빛을 받는다. 하지만 우주에서 식물이 자라기 위해서는 문제가 있다. 낮의 길이가 우주선의 위치에 따라 달라진다. 우주선의 위치는 수시로 바뀌고 대개 식물이 자라기에 적합한 위치에 있지 않다. 따라서 NASA는 작물이 우주에서 잘 자라게 하기위한 인공 광원을 개발하고 있다. 전기 램프를 사용한 빛은 많은 문제들을 해결했으나 우주에서 소중한 에너지를 소모하고, 식물에 원하지 않는 열을 가하는 문제가 있다. 이러한 문제들은 정교한 양의 빛을 적은 에너지를 사용하면서 적은 열을 방출하는 LED광원으로 해결할 수 있다. 또한 LED는 작고 가벼우며 수명이 길고 깨질 염려가 적다.

우주 공간을 위한 작물 재배기술 개발을 위해 NASA는 Orbital Technologies Corporation (ORBITEC)과 파트너십을 체결했다. 회사는 1억 25백만 달러 규모의 정부지원금을 받고 있고, 그 대부분이 SBIR프로그램으로 시작되었다. ORBITECH은 1995년 'Professional Service Business of the Year', 1996년과 1997년 'Tibbets Award'를 수상했다. 'Tibbets Award'는 SBIR프로그램 중 최우수 성과를 낸 기업에 수여되는 상이다. ORBITEC의 업적중 하나는 2002년 발사된 STS-110에 탑재된 작물재배시스템이 ISS에서 73일간 머문 것이다.

최근 ORBITEC이 케네디 우주센터와 협력하고 있는 것 중 하나는 High Efficiency Lighting with Integrated Adaptive Control (HELIAC) 시스템 개발이다. HELIAC 시스템은 일련의 LED 발광 패널로 구성된다. 광량이 정교하게 제어되고, 식물 성장에 최고 효율을 만들어 낸다. NASA가 이 기술을 미래 우주실험의 유망기술로 기대하는 동안, HELIAC 프로그램의 하드웨어 및 소프트웨어는 상업적 농업과 아쿠아리움 등지에 에너지를 절약하는 광원 제품을 갖추게 되었다.

이 시스템은 식물의 성장 단계에 따른 특정 식물에 맞는 적응형 램프로 재 구성되어 모든 광합성 섬유에 광 흡수효율을 최대화 시킨다. 식물 섬유의 위치를 센싱하여 그 주변 LED에만 전원을 공급한다. 그림과 같은 새 싹이 돋은 식물의 앞에만 빛을 조사 한다. 기존의 광원은 전면에 빛을 조사하여 식물이 자라는데 필요한 양보다 훨씬 많은 빛이 소모되었다. 또 다른 응용 분야는 아쿠아리움 조명이다. 수족관에서 수온 조절은 아주 중요한 문제이다. 특정 물고기나 산호가 생존하기 위해 온도는 아주 정확해야 한다. 기존의 조명 시스템을 사용했을 경우 항온을 유지하기 위해 냉각기가 동시에 필요했다. LED는 발열량이 적어 냉각기가 없어도 된다. LED 기반의 다른 조명 시스템에 비해 ORBITEC 시스템의

장점은 프로그램 가능성이다. NASA의 구동회로와 소프트웨어 발열 제어시스템은 수온을 정교하게 제어한다. 또한 특정한 스펙트럼의 빛을 방출 할 수 있게 프로그램되어 구름이 지나가는 것이나, 밀물과 썰물, 달의 운동에 따른것과 유사한 빛의 스펙트럼을 흉내내어 마치 실제 자연환경과 같은 아쿠아리움 생태계를 유지한다. 현재 이 기술은 두 개의 아쿠아리움 조명회사와 라이선스를 체결했고 Aquallumination이라는 상품명으로 제작되고 있다.



그림. 7 NASA 가 개발한 분산 조명 시스템. 전력 낭비가 적고, 발열이 없으며, 모든 앞에 균일한 빛이 조사된다. 광합성에 효율적인 파장의 빛을 선택적으로 조사하고, 성장 단계에 따라 빛의 양이 자동으로 조절된다.

나) 극저온 방열용 에어로젤

약 80년 전 미국에서 발명된 에어로젤은 약 95% 이상 공기로 이루어진 구멍들로 구성된 물질이다. 머리카락의 1/10,000 크기의 구멍들을 가진 나노기공성 에어로젤은 어떤 다른 고체물질보다 작은 열전도도를 갖는다. 낮은 밀도, 가벼운 무게, 불에 타지 않는 실리카 에어로젤은 NASA의 우주왕복선과 우주탐사선의 극저온 절연체로 사용되었다. 예를 들어 우주왕복선에 연료를 주입 시, 50만 갤론의 액체 산소와 액체 수소가 필요하다. 이들을 액체상태로 유지하기 위해서 수소는 $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$, 산소는 $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 유지되어야 한다. 이러한 극저온 액체들을 수송하고, 저장하고, 주입하려면 고성능 절연 기술이 반드시 필요하다.

1992년 NASA는 실용적인 형태의 에어로젤 개발을 시작했다. 그때까지 에어로젤은 깨지기 쉬워 다루기 어려웠고, 제작하는데 시간과 비용이 많이 소모되었다. 케네디 우주센터의 극저온 연구실의 James Fesmire는 잘 구부러지는 에어로젤의 도입을 시도했다. Fesmire는 극저온 연료주입 시스템의 설계를 담당하고 있었고, 에어로젤이 적합하다는 비전을 가지고 있었다.

케네디 우주센터는 Aspen System사에 SBIR프로그램으로 구부러지고, 내구성을 지니면서

다루기 쉬운 에어로젤 개발을 지원했다. 1993년 세계 최초로 크기 크기의 에어로젤 담요가 실험실에서 만들어 졌다. 초기 실험에서 에어로젤 물질은 아주 훌륭한 절연 성능을 보였다. 1999년부터 더 미래 지향적 파트너십이 체결되고, 생산 시간과 비용을 낮추고, 구부러질 수 있는 새로운 형태의 에어로젤을 개발했다. 더 실용적인 신 물질을 만들기 위해 강화섬유의 빈 공간을 실리카 에어로젤로 채웠다. 이것은 에폭시 수지와 유사하면서, 아주 훌륭한 접착물질이다. 섬유와 혼합된 이것으로 비행기나 헬리콥터 동체를 만들 수 있다. 2001년 Aspen System은 Aspen Aerogels사를 새로 시작하면서 좀 더 혁신적인 제품을 시장에 내놓았다. 2003년에 Aspen Aerogels는 'R&D 100'을 수상했고, 2009년부터 미국의 에어로젤 시장을 주도하고 있다.

NASA가 Aerogel을 비행체, 우주왕복선, 구멍기구, 로켓추진대 등과 같은 극저온에 응용하면서도 파이프 절연, 건축, 가전, 냉각기구, 자동차, 의복 등과 같은 상업적 산업제품으로 사용했다. Polar Wrap LCC 사는 Aspen Aerogels 로부터 원료를 구입해 Toasty Feet 이라는 신발 안창을 생산했다. Toasty Feet는 열 손실이나 열 교환을 차단한다.

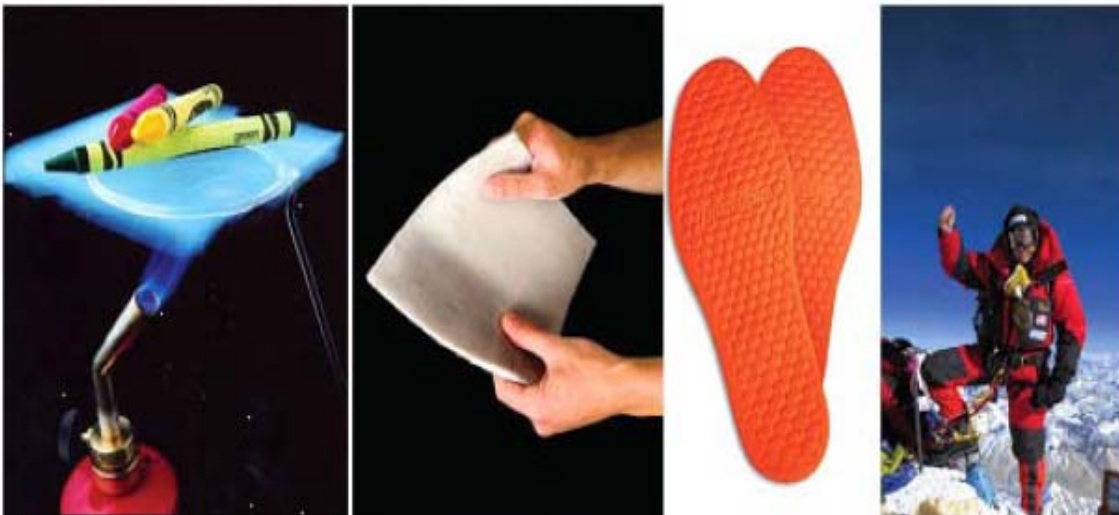


그림. 8 (좌1) 에어로젤 상의 크레파스가 녹지 않을 정도의 단열성. (좌2) Aspen System 사의 내구성이 좋은 에어로젤. (우2) Polar Wrap LCC 사의 극저온 단열 패드. (우1) 산악가 Ann Parmenter의 에베레스트산 등정. 에어로젤로 만든 양말을 착용.

4) 환경

가) 날씨 예측을 위한 소형 방사계

NASA는 우주 정보를 수집하기 위해 하늘 위를 관찰할 뿐만 아니라, 지구의 정보를 수집하기 위해 땅 아래도 면밀히 관찰한다. NASA의 지구과학프로그램은 자연적 혹은 인간에 의한 지구의 변화를 이해함으로써 기후, 날씨, 자연재해 등의 예측 능력을 향상하려는 목적을 지닌다. 이러한 지구의 변화를 감지하는 방법은 토양의 수분이나 바다의 염도를 관찰하는 것이다.

물 순환의 일부로서, 토양 수분과 해수 염도는 지구 에너지와 생지화학적 순환 (biogeochemical cycle)과 관련 깊다. 이들 자연 순환은 전반적인 지구 환경을 극단에 치우치지 않게 한다. 예를 들어 빙하가 녹아 바다로 흘러 들어가 해수 염도를 낮추고 이것이 해수를 순환시키고 기후에 영향을 미친다. 2015년에 NASA는 전 지구적으로 토양의 수분과 수분의 결빙 및 해동을 측정할 수 있는 Soil Moisture Active and Passive (SMAP) 임무를 착수할 계획에 있다. SMAP우주 비행선의 측정자료는 물, 에너지, 탄소순환의 연결된 과정을 이해하도록 도울 것이며, 생태계 연구와, 물 자원 평가, 자연재해 예방에 필요한 정보를 제공할 것이다. 토양 수분과 해양 염분과 같은 표면 조건을 측정하는 가장 좋은 방법은 L-밴드와 같은 긴 파장의 마이크로파 원격 탐사를 사용하는 것이다. 하지만 지구에서 반사되는 긴 파장을 수신하기 위해서 매우 큰 우주 안테나가 필요하다. 2010년 고다드 우주비행센터의 SBIR프로그램의 결과로 ProSensing 사는 작고 매우 안정한 복사계(radiometer)를 개발했다. 무선통신기술의 급격한 발달의 도움으로 ProSensing은 작고, 값싸면서 고성능을 갖는 두세 개의 복사계 어레이가 아주 큰 우주안테나 역할을 한다. “센서를 손바닥에 쫄 수 있는 크기만큼 작게 만드는 것은 매우 중요하다. 기존의 복사계는 대략 10배 이상 컸다. 이전 방법대로 복사계를 만들었다면, 제작시간과 비용, 노력이 훨씬 많이 투입되었을 것이다. 아주 발전된 휴대폰기술을 통해 비용은 50%로 줄이면서 경쟁력을 갖출 수 있었다.”고 ProSensing의 대표 James Mead는 밝혔다.

2005년까지 ProSensing은 고다드 센터의 2D-STAR연구에 35개의 센서 유닛을 납품했다. 고다드 우주 비행센터의 David M. Le Vine는 “2D-STAR 연구에서 우주에 공간에 큰 안테나를 설치하지 않고서도 큰 안테나와 같은 결과를 얻었다.”고 밝혔다. 고다드 센터와 협력하는 동안 ProSensing은 호주 멜버른 대학으로부터 6개의 항공원격탐사 모듈을 주문 받았다. 2006년까지 polarimetric L-band microwave radiometer (PLMR)을 제작하여 납품했다.

마이크로파 방사계는 자연계의 방사선을 측정함으로써 작동한다. 바다의 방사선 신호의 세기가 염도에 따라 달라진다. 이 신호의 세기를 표면 복사율 이라고 한다. 토양의 경우 표면 복사율이 습도에 따라 변한다. 또한 복사율은 표면의 거칠기에 따라 달라지고, 이것을 통해 해수면 위의 바람의 속도를 측정할 수 있다. 바람이 빨리 불수록 해수면의 표면

은 거칠어지고, 이에 따른 신호가 방사계에 전달된다.

2008년 NASA의 기술은 허리케인내 해수면 위의 바람의 속도를 측정하는 hurricane imaging radiometer (HIRAD) 개발에 영향을 주었다. 마셜 우주비행센터에서 개발한 이 장치는 사용 파장대역만 다른 동일한 방사계를 사용한다. HIRAD는 작고 가볍고 전력소모가 작다. 2009년 ProSensing은 독일의 가장 큰 연구소 중 하나인 Institute of Chemistry and Dynamics of the Geosphere로부터 PLMR을 주문받았다. 6개의 방사계 모듈로 이루어진 장치는 토양 수분 및 염도 측정에 사용된다. 가장 최근 매사추세츠 대학은 두 개의 방사계 모듈을 주문했다. 이 모듈은 사람의 뇌와 척추사이를 흐르는 뇌척수액의 온도를 비 침습 방식으로 측정하는데 사용된다. 뇌척수액의 온도는 뇌수막염과 같은 특정 신경계 질환을 진단하는데 유용하게 사용된다. 방사계로 온도를 원격측정 할 수 있다면 응급실에서 폭넓게 활용될 수 있을 것이다.

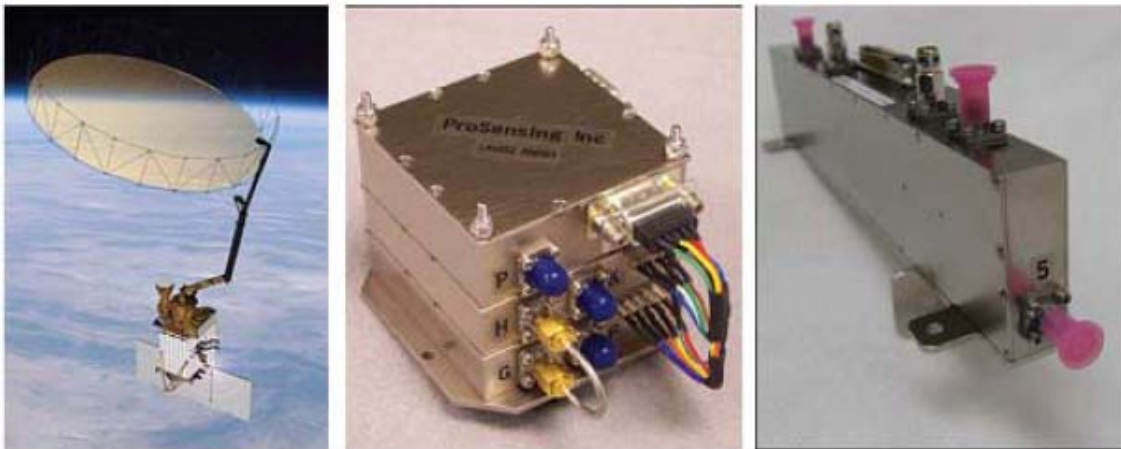


그림. 9 (좌) SMAP 미션에서 안테나는 토양 수분과 해수 염분을 측정한다. (중) ProSensing 사의 소형 방사계. (우) 허리케인 속도측정용 방사계

나) 원유유출, 오염된 물을 정화하기 위한 박테리아

지구의 크기와 풍부한 자원 때문에 우리가 가진 자원이 유한하다는 것을 잊기 쉽다. 인구가 계속해서 증가함에 따라 어떻게 오염을 막고 재활용하며 물과 연료를 보존할 지에 대한 문제들이 모두 중요해 진다. 훨씬 작은 규모인 국제우주정거장 (International Space Station)의 폐쇄된 공간에서 살고있는 우주인들에게도 동일한 문제들이 적용된다. 공기, 물, 에너지등 모든 ISS 자원들은 제한되어 조심스럽게 사용되고 재활용되어야만 한다.

1998년 ISS가 건설되기 전, NASA는 물이 정화되고 재활용될 수 있는 방법에 대해 연구했다. NASA와 텍사스의 기업이 파트너십을 통해 개발한 방법은 지구에 흔한 바이오 자원인 박테리아를 가지고 올라가는 것이다. 1980년대 초 Micro-Bac International사는 안전하고, 효과적이고, 자연친화적인 지구의 자연정화 시스템을 사용하려는 아이디어로

사업을 시작했다. “모든것들은 미생물에 의해 분해된다. 하지만 특정한 오염물을 분해하는데 적합한 미생물이 없는 경우도 있다. 수년간 연구를 통해 자연에서 특정 미생물을 분리하여 일반적으로 분해되기 어려운 유기화합물을 분해할 수 있는 능력을 부여할 수 있음이 밝혀졌다.”라고 Micro-Bac의 Dennis Schneider는 밝혔다. 박테리아는 유기화합물을 쪼갤 수 있는 단백질 효소를 생성한다. 이 과정은 독성 부산물을 형성하지 않는 자연적 과정이다.

마셜 우주비행센터의 1, 2차 Small Business Innovation Research (SBIR) 프로그램을 통해 회사는 광영양 세포(Phototrophic cell)를 개발했다. 세포 내부에 수백만 광합성 박테리아는 ISS의 우주인이 맞닥들일 수 있는 독성 화학품을 분해할 수 있는 능력을 갖는다. Mega-Bac TF는 세계의 도시나 산업에 상용화 하려는 노력을 하고있는 제품이다. Mega-Bac은 가축배설물, 오염수, 하수탱크 정화에 사용되고 있고, 가축농장과 식품공장의 쓰레기 처리에 사용되고 있다. 미국의 돼지고기 생산장, 토틸라 농장, 주스 공장, 양조장 등지에서 자연 친화적 비병원성 바이오기술을 사용하고 있다. 이 회사의 박테리아 솔루션은 브라질과 같은 열대지방에서 매우 인기가 높다. 풍부한 태양광으로 인해 광합성 박테리아가 슬러지를 이용한 전통적인 오염수 처리방법보다 가격 효과적인 대안이 된다. Micro-Bac은 또한 유해물에 오염된 물, 낙농 오염수, 기름, 과일 및 채소처리시 발생하는 오염수, 가죽 염색시 발생하는 오염수를 처리할 수 있는 특별한 제품도 생산하고 있다. Micro-Bac은 좀더 특별한 오염물 처리 솔루션을 제공한다. 석유제품의 개선을 위한 미생물 제품을 생산한다. 석유 시추시 파라핀이나 아스팔트와 같은 화합물의 축적 때문에 원유 생산시 이를 제거할 값비싼 공정을 필요로 한다. Micro-Bac은 유전에 이러한 축적물을 분해하는 박테리아를 제공하여 생산성을 매우 향상시킬 수 있었다. 캔자스의 한 유전은 Micro-Bac제품 적용으로 500%의 생산성 향상이 있었다. 동시에 이러한 제품은 원유 누출로 인해 오염된 환경을 복구하는데 효과적으로 사용된다. 실제로 에콰도르의 원유 누출사고에 사용되기도 했다.

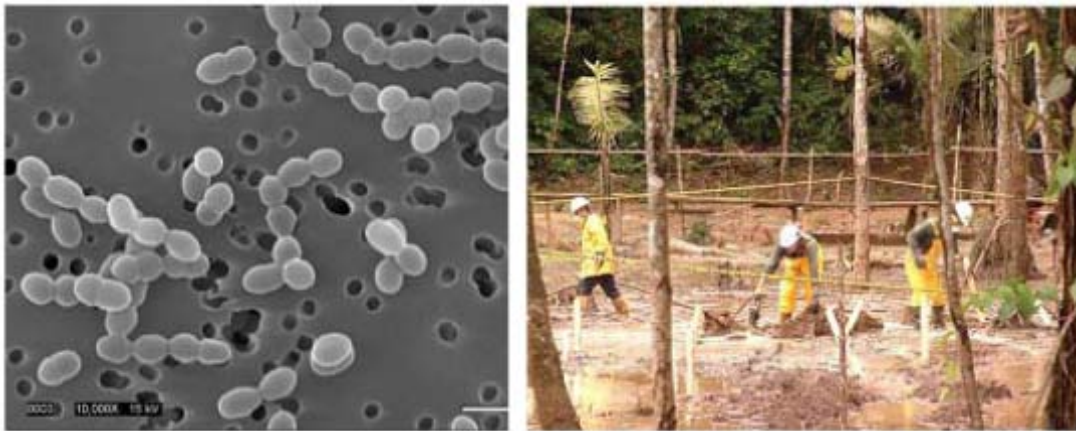


그림. 10 (좌) 특별히 분리된 박테리아는 배설물, 기름, 독성물질등을 효과적으로 분해할 수 있다. (우) MicroBac 사의 박테리아 솔루션은 원유유출사고 정화에 사용되었다. 2010년 멕시코 걸프만

의 원유 누출 사고 시, 에콰도르의 아마존 밀림에 원유 오염을 정화하고 있다.

5) 의료 및 제약분야

가) 시력 보호 및 개선을 위한 UV 차단 렌즈

1980년대 제트추진연구소의 James Stephenes는 우주의 빛뿐만 아니라 레이저 가공이나 용접 중 발생하는 빛의 유해성을 연구했다. 용접시 발생하는 강력한 빛은 눈을 해치고, 각막의 팽창이나 망막의 손상을 초래한다. 새가 사냥하는 것을 연구하던 중 새의 안구에서 소량의 기름방울이 나와 유해한 방사성 빛을 차단하고 가시광선만 통과시켜 시력을 향상시키는 과정을 발견했다. 이를 토대로 연구원들은 위험한 빛을 흡수하고, 걸러내고, 산란시킬 수 있는 용접커튼 렌즈를 개발했다. 이 렌즈는 상업화 되어 자외선 차단 안경에 적용되었다. 2010년 이 기술은 우주 재단의 영예의 전당에 가입되었다.

NASA와 라이선싱을 통해 SunTiger사가 설립되었고, 100% 자외선 차단 렌즈를 생산했다. 이후 Eagle Eyes Optics 로 개명하고, 현재 수 백만명이 이 회사의 보안 안경을 착용하고 있다. 자외선을 차단하는 것은 시각을 개선하는것과 관련이 깊다. 태양 빛이 눈에 들어가면 이 빛은 눈을 건강하게도 하지만 파괴하기도 한다. 빛은 각막을 통과해 망막에 도달한다. 망막은 망막은 1억개의 간상체와 7백만개의 추상체로 이루어져 있다. 간상체와 추상체의 바깥 표면은 감광성 물질인 로돕신이 묻어있다. 로돕신은 야간 시각을 가능하게 하는 아주 빛에 민감한 물질이다. 로돕신이 빛의 전 파장에 노출되면 곧바로 분해되고, 복원되는데 30분이 걸린다. 로돕신은 붉은 색에 가까운 긴 파장의 빛에는 덜 민감해 천천히 분해된다. 이것이 바로 사람들이 야간 시각을 위해 붉은색을 사용하는 이유이다. 반대로 로돕신이 자외선과 같이 짧은 파장의 빛에 노출되면 눈이 상하게 되고, 1년 이상 걸리는 복잡한 시력회복 과정을 겪어야만 한다.

자외선을 차단하는 가장 효과적인 방법은 바로 선글라스를 착용하는 것이다. 사람들은 더 어두운 렌즈가 시력을 보호하는데 더 효과적이라고 생각하지만 꼭 그렇지만은 않다. 어두운 선글라스를 착용하게 되면 눈이 편안해져, 더 많은 빛을 흡수하려고 한다. 특히 더 많은 양의 푸른색 파장이 망막에 도달하게 되어 오랜시간 착용하면 망막에 손상을 줄 수 있다. Eagle Eyes의 렌즈는 자외선을 차단할 뿐만 아니라 더 중요하게는 푸른색 빛을 차단하여 시각을 향상시키면서 유해한 모든 파장을 차단한다.

수많은 사람들의 기부를 통해서 Eagle Eyes의 렌즈는 전 세계적으로 시력보호가 꼭 필요한 알래스카나 갈레나 지역의 사람들에게 배포되고 있다.



그림. 11 (좌) Eagle eyes 렌즈 필터의 개념도. (우) Eagle eyes 사의 선글라스는 자외선, 보라색, 푸른색을 차단하고, 붉은색, 주황색, 노란색을 강화시켜 유해한 빛을 차단하면서 시각을 선명하게 한다.

나) 초분광 이미지 센서

사람의 눈은 세상의 많은 것을 볼 수 있지만 보지 못하는 영역이 더 많이 존재한다. 기술의 도움이 없었다면 사람은 가시광선의 빛만을 볼 수 있었을 것이다. 하지만 초분광(hyperspectral) 이미징 기술은 가시광선 영역 밖인 UV나 적외선영역의 물체를 볼 수 있게 한다. 초분광 기술은 사람이 볼 수 있도록 해당 에너지에 특정 색을 대응시킨다. 일련의 이미지는 물체가 다양한 파장의 빛을 어떻게 흡수, 반사, 통과시키는지에 대한 정보를 제공한다. 이러한 기술은 지문이나 오염된 지하수나 음식 등 사람의 눈으로 관찰할 수 없는 중요한 정보를 제공한다.

NASA는 1972년 지구의 표면을 관찰할 수 있는 다분광(multispectral) 스캐너를 탑재한 Earth Resources Technology Satellite을 쏘아올렸고, 1983년부터 제트추진연구소에서 초분광 시스템 연구를 시작해 Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS)를 개발완료 현재까지 사용 중이다. AVIRIS는 비행체 외부에 부착된 환경이나 날씨변화를 측정하기 위한 정보를 수집한다. 2001년에는 처음으로 궤도상 초분광기인 Hyperion을 Earth Observing-1과 함께 쏘아올렸다.

지구관측위성에 사용되는 초분광 이미지 센서를 기반으로 하여 NASA 스테니 우주센터와 Institute for Technology Development (ITD)와 협력하여 작고 관측 목표점과 센서사이의 상대적 움직임이 없는 초분광 이미지 센서를 개발했다. 2008년 Themis Vision System 사는 이 기술을 독점실시권을 획득했다. Themis Vision System의 대표 Mark Allen Lanoue 는 ITD에서 개발을 담당했던 엔지니어 출신이다. Themis는 FBI가 주문한 3기를 포함해서 약 40여기의 주문형 시스템을 만들었다. 고객사는 10개국에 걸쳐있고, 최근 중국에 최초의 UV 초분광 시스템을 건설했다. 가장 최근의 제품은 Transluminous 시리즈, Optoluminous 시리즈, HyperVisual 소프트웨어 인데, 그들의 특징은 그 크기에 있다. 기존의 10파운드 장치에 비해 4파운드 시스템으로 작아져서, 현미경이나 삼각대등에

장착될 수 있다.

최근 초분광 장치의 주요 응용분야는 농업이나 토지 이용계획등의 원격 이미징 분야이다. 그리고 다른 여러 곳에서 응용분야가 생겨나고 있다. 의료, 생명과학, 국방 및 보안, 법의학 분야가 그 예이다. 의료 분야에서 질병 진단 장비로 사용될 수 있다. 초분광 카메라가 상처나 화상부위를 촬영하여 치료 과정을 관찰하고, 피부병을 진단하고, 당뇨병 망막변증 진단을 위해 안구검사를 한다. 법의학 분야에서는, 위조 여권, 위조 지폐나 위조 수표를 구별해낸다. 미국 농무부는 가금류, 육류와 다른 식품들을 촬영할 때 초분광 카메라를 사용한다. 초분광 사진으로 가금류의 피부상태, 상처, 배설물 오염등을 검사한다. 또한 X-Rite이라 불리는 제품은 페인트를 교반했을 때 색이나 품질을 판단하는데 도움을 준다. 화장품 회사인 에스티로더는 초분광기로 화장품 도포 정도를 조사한다. 어떤 기관은 위장복을 개발하거나 위장복을 검사하는데 사용하고 있고, 군에서는 지뢰나 덫을 찾는 데 사용한다. 좀더 특별한 분야는 미술품 감정이다. 미술가들은 자신들 만의 표식을 그려놓고 그림을 덧칠한다. 초분광 카메라는 표면 밑에 숨겨진 부분까지 촬영 할 수 있다.



그림. 12 (좌) NASA Hyperion 이 촬영한 아일랜드 화산의 초분광 이미지와 적외선 이미지. (우) 초분광 이미지를 사용해서 피부질환의 진단용 사진.

다. 맺음말

지난 50여년 이상 NASA는 최첨단 우주기술을 연구해 오고 있다. 우주 기술을 목적으로 수행되었던 초기의 연구 결과들이 공공 제품이나 서비스로 파생되는 것을 스피ن 오피노프 사례로 확인할 수 있다. 더 흥미로운 사실은 파생 분야가 건강, 교통, 안전, 소비자, 환경 등 전 분야에 걸쳐있다는 점이다. 이처럼 기술의 파생과 상업화가 가능했던 요인은 산업계와 공동연구, 적극적인 창업 시도, 그리고 연구원들에게 창업에 대한 정부 차원의 재정적인 지원이 핵심이라고 여겨진다. 이는 앞으로 우리나라의 R&D 정책방향 수립에 시사하는 바가 크다.

참고문헌 - 2010 NASA Spinoff, NASA Technologies Benefit Society