

R&D Strategy Development for Nanotechnology Areas based on Efficiency Comparisons

Seoung-Hun Bae* · Jun-Hyun Kim* · Yeon-Ju Jung*
Sang-Kyu Kang* · Jae-Sin Kim* · Heung-Kyu Kim**†

*National Nanotechnology Policy Center, Korea Institute of Science and Technology Information

**School of Business Administration, Dankook University

효율성 비교를 통한 나노기술 분야별 R&D 전략 수립

배성훈* · 김준현* · 정연주* · 강상규* · 김재신* · 김흥규**†

*한국과학기술정보연구원 국가나노기술정책센터

**단국대학교 경영학부

In this paper, we compared the efficiencies of national R&D investments between NT (Nanotechnology) areas in terms of papers, patents, and commercializations, and found ways to improve the efficiencies of national R&D investments for each NT area. This is in response to huge R&D investments government has made recently in NT areas.

Here, we collected data on investments, papers, patents, and commercializations for the R&D projects in NT areas through National Science & Technology Information Service. Based on the data, we analyzed the investment and performances (papers, patents, and commercializations) for each NT area, calculated the efficiency for each NT area, and compared the efficiencies between NT areas. Next, using cluster analysis, we identified several NT areas with similar characteristics in terms of paper efficiency, patent efficiency and commercialization efficiency. Finally, we derived implications for the efficiency enhancement for each grouping.

The cluster analysis showed that there could be two groups, one being low in terms of technological outcome (papers and patents) efficiencies and high in terms of commercialization efficiencies, while the other being high in terms of technological outcome (papers and patents) efficiencies and low in terms of commercialization efficiencies. Therefore, the strategy for one group calls for support for technology transfer or technology introduction from other R&D performers and grant of guidance for improving R&D performers' commercialization ability to other R&D performers while the strategy for the other group calls for R&D support for transfer of technology to other R&D performers, activation of technology transfer and support for commercialization of R&D performers.

Keywords : NT (Nanotechnology), R&D Investment, R&D Performance, R&D Efficiency, R&D Strategy

1. 서론

인류는 R&D 활동을 통하여 과학적 지식을 포함한 통합적인 지식을 증진시켜 왔으며, 이렇게 얻어진 지식은 이전에는 가능하지 않았던 재화나 서비스의 생산을 가능하게 하였다. 또한 R&D 활동은 기업측면에서는 생산성 향상의 기반이며, 국가측면에서는 지속적인 경제성장을 가능하게 한다[4].

이러한 이유로 우리나라 정부도 R&D에 많은 예산을 투자하여 왔다. 이 중 정부의 나노기술 R&D 사업규모는 지속적으로 증가하였다. 정부의 나노기술 R&D 사업규모는 2008년 4,519억 원, 2009년 5,135억 원, 2010년 5,441억 원, 2011년 6,075억 원으로 매년 증가하였다[9].

이와 같은 정부의 나노기술 R&D 사업에 대한 많은 예산투자는 바람직하다고 할 수 있으나, 이와 동시에 투자효율성을 확보하여야 한다. 즉, 장기적인 국가경쟁력 제고를 위해서는 양적인 측면에서의 나노기술 R&D의 투자규모의 확대도 중요하지만, 질적인 측면에서의 나노기술 R&D의 효율성 제고도 중요하다.

나노기술 R&D 사업의 효율성을 제고하기 위해서는 나노기술 R&D 사업에 따른 성과를 모니터링 및 분석하여 성과향상을 위한 전략을 도출하여야 한다. 본 연구의 목적은 정부의 나노기술 R&D 투자효율성을 평가하고, 이의 향상을 위한 전략적 방향을 도출하는 데에 있다.

2. 이론적 배경

R&D 성과 국가 R&D 사업의 성과는 크게 논문, 특허, 사업화, 인력양성, 인프라로 분류하고 있다[6]. 또한 R&D 사업의 성과는 1차 성과와 2차 성과로 구분하기도 하는데, 1차 성과는 기본적으로 논문, 특허, 사업화의 3가지를 의미하고, 2차 성과는 1차 성과를 활용하여 발생한 비용절감, 매출증대, 품질개선 등을 의미한다.

이러한 ‘산출’과 ‘결과’는 R&D 사업을 R&D 활동과 R&D 결과의 사업화로 구분할 때, R&D 활동과 R&D 결과의 사업화의 산출물로 생각할 수 있다. 즉, R&D 활동을 통해 산출되는 R&D 활동의 성과를 직접적 성과로 간주할 수 있다. 한편, 일반적으로 R&D 활동을 통해 경제적 수익을 창출하기 위해서는 사업화 과정이 필요하다. 사업화 과정을 통해 R&D 활동에 따른 경제적 성과가 발생하게 된다.

<Table 1> R&D Performance Measures

Output	Outcome
Paper, Patent, Commercialization	Cost Reduction, Sales Increase, Quality Improvement

한편, R&D 활동은 크게 단계별로 기초연구(basic research), 응용연구(applied research), 그리고 개발연구(experimental development)의 세 가지로 구분될 수 있다[2, 5]. 먼저 기초연구는 실제적 응용을 목적으로 하지 않고, 새로운 지식을 습득하기 위해 행하는 실험적 또는 이론적 활동으로서의 R&D 활동이다. 다음 응용연구는 특정한 실제 응용을 목적으로 새로운 과학적 지식을 획득하고자 하는 창조적 활동으로서의 R&D 활동이다. 또한 개발연구는 새로운 공정, 제품, 혹은 서비스를 도입하거나 기존기술의 본질적 개량을 목적으로 기존의 지식을 이용하는 활동으로서의 R&D 활동이다. 기초연구에서의 R&D 활동의 성과는 주로 학술논문으로 나타나며, 응용연구에서의 R&D 활동의 성과는 주로 특허로 나타나게 되고, 개발연구에서의 R&D 활동의 성과는 주로 시제품이나 공정개선의 형태(이하 사업화)로 남게 된다.

이와 같은 R&D 활동의 직접적인 성과인 논문, 특허, 사업화를 추적·조사하기 위해서는 상당한 시간이 소요된다. 예를 들어 논문의 경우에는 투고에서 게재까지 보통 1~3년 걸린다. 다음 특허의 경우에도 출원 및 등록하는데 보통 3~5년이 걸린다. 또한 사업화의 경우에도 보통 수개월에서 수년까지 상당한 시일이 걸린다.

<Table 2> R&D Stage & Major Output

R&D Stage	Major Output
Basic Research	Paper
Applied Research	Patent
Experimental Development	Commercialization

나노기술 분류 나노기술은 나노미터 크기의 원자·분자 수준의 현상을 규명하고, 그 차원에서 물질의 구조 및 구성요소를 조작 및 제어하는 기술이다. 나노기술은 전자와 정보통신은 물론 기계, 화학, 바이오, 에너지 등 모든 산업에 응용할 수 있어 인류문명을 혁명적으로 바꿀 기술로 평가되고 있으며, 21세기 지식기반사회를 선도하는 역할을 할 것으로 전망되고 있다[7, 8].

나노기술은 크게 ‘나노소자 및 시스템’, ‘나노소재’, ‘나노 바이오보건’, ‘나노기반·공정’의 네 가지로 분류할 수 있다[9]. 먼저 ‘나노소자 및 시스템’은 시장에서 경쟁우위를 확보 가능한 원천기술로 평가받고 있다. 다음 ‘나노소재’는 나노분말소재, 광학용 나노소재 등을 포함하는 분야로 경제적 파급효과가 큰 응용기술로 평가받고 있다. 다음 ‘나노 바이오·보건’은 나노기술과 생명공학기술의 융합분야라고 할 수 있다. 또한 ‘나노기반·공정’은 산업경쟁력 강화에 도움을 주는 공공성이 강한 원천기술이라고 할 수 있다.

〈Table 3〉 Nanotechnology Classification

NT Area	NT Sub-Area
Nano Element & System	Nano electronics device technology, nanotechnology information storage technology, tunable optical device technology, nano photonics technology, other nano devices and system technology
Nano Material	Nanomaterial technology(focusing on nano powder material, optical nano material, high performance synergy material, catalyst, environment and functional material), other nanomaterial technology
Nano Bio & Health	Nano bio material synthesis and analysis technology, drug delivery system, other nano bio health technology
Nano-based Process	Atomic and molecular level materials manipulation technology, nano measurement technology(below 100 nm), nanomaterial technology, interface or surface nanostructuring technology, nano-new functional molecule synthesis technology, nano patterning process technology, nano chemical process technology, other nano-based process technology

전술한 바와 같이 나노기술은 4대 기술 분야, 즉 ‘나노소자 및 시스템’, ‘나노소재’, ‘나노 바이오보건’, ‘나노기반·공정’으로 나눌 수 있는데 이를 좀 더 세분화하면 다음과 같이 18대 세부기술 분야로 세분화할 수 있다[9]. 먼저 ‘나노소자 및 시스템’은 ‘나노전자소자기술’, ‘나노정보저장기술’, ‘가변과장광소자기술’, ‘나노 photonics 기술’, ‘기타 나노소자 및 시스템기술’로 나눌 수 있다. 다음 ‘나노소재’는 ‘나노소재기술(나노분말소재, 광학용 나노소재, 고기능 시너지 소재, 촉매·환경·기능소재에 중점)’, ‘기타 나노소재기술’로 나눌 수 있다. 다음 ‘나노 바이오보건 기술’은 ‘나노 바이오 물질합성 및 분석기술’, ‘의약 약물전달시스템’, ‘기타 나노바이오보건기술’로 나눌 수 있다. 또한 ‘나노기반·공정’은 ‘원자·분자 레벨 물질 조작기술’, ‘나노 측정기술(100nm 이하)’, ‘나노모사 기술’, ‘계면 혹은 표면의 나노구조화기술’, ‘나노 신기능 분자합성기술’, ‘나노패터닝 공정기술’, ‘나노화학 공정기술’, ‘기타 나노기반 공정기술’로 나눌 수 있다.

따라서 나노기술은 환경적 측면에서는 소비되는 자원의 손실을 최소화하면서 나노 구조체, 소자 혹은 시스템을 제조하는 경제적이며 친환경적인 기술이라고 할 수 있다. 다음 학문적 측면에서는 원자·분자현상의 해석·조작·응용을 위하여 수학, 물리, 화학, 의학, 전자, 재료 등 여러 분야의 학문 혹은 기술이 복합적으로 결합되는 기술이라고 할 수 있다. 또한 산업적 측면에서는 기존기술의 연장선이 아닌 기존기술의 한계를 뛰어넘을 수 있는 가능성이 큰 기술이기 때문에 기존시장을 대체하거나 신규시장을 창출할 수 있는 기술이라고 할 수 있다.

연구절차 NTIS(National Technology & Science Information Service)에서는 정부에서 수행하는 R&D 과제의 성과정보, 즉 투자는 물론, 논문, 특허, 사업화에 관한 정보를 제공하고 있다.

본 연구에서는 NTIS에서 제공하고 있는 R&D 과제 중 2008년부터 2011년까지 수행된 나노기술 관련 과제 9,151 개를 대상으로 하였다. 이는 2016년 현재 NTIS에서 2014년까지의 성과를 추적·조사하였고, R&D 성과가 도출되는 기간을 최장 3년 고려하였기 때문이다.

즉, 본 연구에서는 정부의 나노기술 분야에의 투자와 이로부터의 성과, 즉 논문게재건수, 특허출원건수, 사업화건수를 집계하여 추세분석은 물론 18대 세부기술 분야 별로 투자효율성을 평가하고, 이의 향상을 위한 전략적 방향을 도출하고자 한다.

3. 추세분석

3.1 R&D 투자

정부의 나노기술 분야 R&D 투자는 매년 증가하고 있다. <Table 4>에 나타난 바와 같이 2011년도 정부의 나노기술 분야 R&D 투자는 6,075억 원으로 전년대비 634억 원(12%) 증가하였다.

한편, 2011년도 정부의 나노기술 분야 R&D 투자 6,075억 원 중 ‘나노소재기술(나노분말소재, 광학용 나노소재, 고기능 시너지 소재, 촉매·환경·기능소재에 중점)’은 2,293억 원(38%), ‘기타 나노소재기술’은 639억 원(11%), ‘기타 나노기반 공정기술’은 601억 원(10%)의 순으로 높았는데, 이는 ‘나노소재’ 분야의 경제적 파급효과가 매우 클 것이라는 기대를 반영하는 것으로 보인다.

2008년부터 2011년까지의 투자추이를 살펴보면 연평균 10%가 증가하였으며, 이 중 ‘나노정보저장기술’, ‘가변 파장 광소자기술’, ‘기타 나노소자 및 시스템기술’은 연평균 20% 이상의 증가추세를 보여 가장 높았는데, 이는 ‘나노소자 및 시스템’ 분야에서 경쟁우위를 확보할 수 있으리라는 기대를 반영하는 것으로 보인다.

3.2 R&D 성과

논문게재건수 정부의 나노기술 분야 R&D 투자에 따른 발생 논문게재건수의 경우 <Table 5>에 나타난 바와 같이 2011년도 R&D 투자에 따른 발생 논문게재건수는 8,564로 전년도 R&D 투자에 따른 발생 논문게재건수 대비 6,448(33%) 증가하였다.

<Table 4> R&D Investment

(Unit : 100 Million Won)

NT Sub-Area	Year	2008	2009	2010	2011	Total
Nano electronics device technology		267	300	318	439	1,324
Nanotechnology information storage technology		40	68	125	81	315
Tunable optical device technology		15	17	57	30	119
Nano photonics technology		141	178	205	230	754
Other nano devices and system technology		162	272	291	311	1,036
Nanomaterial technology		1,606	1,654	1,893	2,293	7,445
Other nanomaterial technology		432	536	532	639	2,138
Nano bio material synthesis and analysis technology		132	209	191	186	718
Drug delivery system		74	83	82	69	308
Other nano bio health technology		80	106	106	106	397
Atomic and molecular level materials manipulation technology		114	68	77	90	349
Nano measurement technology(below 100 nm)		498	631	360	441	1,930
Nanomaterial technology		71	63	51	52	238
Interface or surface nanostructuring technology		75	89	89	100	353
Nano-new functional molecule synthesis technology		26	71	74	42	213
Nano patterning process technology		257	259	237	247	1,000
Nano chemical process technology		77	98	157	119	451
Other nano-based process technology		454	432	593	601	2,080
Total		4,519	5,135	5,441	6,075	21,169

<Table 5> Number of Papers Published

NT Sub-Area	Year	2008	2009	2010	2011	Total
Nano electronics device technology		343	474	491	714	2,022
Nanotechnology information storage technology		65	243	145	195	648
Tunable optical device technology		24	67	59	123	273
Nano photonics technology		141	198	247	275	861
Other nano devices and system technology		111	244	261	309	925
Nanomaterial technology		1,244	2,822	2,526	3,317	9,909
Other nanomaterial technology		334	912	977	1,410	3,633
Nano bio material synthesis and analysis technology		211	352	338	530	1,431
Drug delivery system		126	143	228	157	654
Other nano bio health technology		61	87	105	121	374
Atomic and molecular level materials manipulation technology		96	70	91	105	362
Nano measurement technology(below 100 nm)		536	514	224	215	1,489
Nanomaterial technology		115	159	124	143	541
Interface or surface nanostructuring technology		62	74	34	91	261
Nano-new functional molecule synthesis technology		17	25	36	133	211
Nano patterning process technology		140	174	177	177	668
Nano chemical process technology		46	71	118	99	334
Other nano-based process technology		131	376	267	450	1,224
Total		3,803	7,005	6,448	8,564	25,820

한편, 2011년도 R&D 투자에 따른 발생 논문게재건수 8,564 중 ‘나노소재기술(나노분말소재, 광학용 나노소재, 고기능 시너지 소재, 촉매·환경·기능소재에 중점)’ 3,317 (39%), ‘기타 나노소재기술’은 1,410(16%), ‘나노전자소자 기술’ 714(8%), ‘나노 바이오 물질 합성 및 분석기술’ 530 (6%)의 순으로 높았다.

2008년부터 2011년까지의 R&D 투자에 따른 발생 논문게재건수추이를 살펴보면 전년도 R&D 투자에 따른 발생 논문게재건수대비 평균 31% 증가하였으며, 이 중 ‘나노 신기능 분자합성기술’은 전년도 R&D 투자에 따른 발생 논문게재건수대비 평균 99%의 증가추세를 보여 가장 높았고, ‘가변 파장 광소자기술’, ‘기타 나노소재 기술’, ‘기타 나노기반

<Table 6> Papers per 100 Million Won

NT Sub-Area	Year	2008	2009	2010	2011	Total
Nano electronics device technology		1.29	1.58	1.54	1.63	1.53
Nanotechnology information storage technology		1.61	3.55	1.16	2.41	2.06
Tunable optical device technology		1.57	3.99	1.03	4.14	2.29
Nano photonics technology		1.00	1.11	1.21	1.20	1.14
Other nano devices and system technology		0.69	0.90	0.90	0.99	0.89
Nanomaterial technology		0.77	1.71	1.33	1.45	1.33
Other nanomaterial technology		0.77	1.70	1.83	2.21	1.70
Nano bio material synthesis and analysis technology		1.59	1.69	1.77	2.85	1.99
Drug delivery system		1.71	1.73	2.77	2.26	2.12
Other nano bio health technology		0.77	0.82	0.99	1.15	0.94
Atomic and molecular level materials manipulation technology		0.84	1.03	1.18	1.17	1.04
Nano measurement technology(below 100 nm)		1.08	0.82	0.62	0.49	0.77
Nanomaterial technology		1.62	2.51	2.43	2.74	2.28
Interface or surface nanostructuring technology		0.83	0.83	0.38	0.91	0.74
Nano-new functional molecule synthesis technology		0.66	0.35	0.48	3.20	0.99
Nano patterning process technology		0.55	0.67	0.75	0.72	0.67
Nano chemical process technology		0.60	0.72	0.75	0.83	0.74
Other nano-based process technology		0.29	0.87	0.45	0.75	0.59
Average		0.84	1.36	1.19	1.41	1.22

<Table 7> Number of Patents Applied

NT Sub-Area	Year	2008	2009	2010	2011	Total
Nano electronics device technology		141	175	196	254	766
Nanotechnology information storage technology		14	57	42	23	136
Tunable optical device technology		4	11	13	12	40
Nano photonics technology		70	62	76	103	311
Other nano devices and system technology		46	98	124	162	430
Nanomaterial technology		405	650	913	1,083	3,051
Other nanomaterial technology		123	285	269	341	1,018
Nano bio material synthesis and analysis technology		68	123	149	156	496
Drug delivery system		38	95	59	59	251
Other nano bio health technology		23	71	42	45	181
Atomic and molecular level materials manipulation technology		51	15	25	29	120
Nano measurement technology(below 100 nm)		66	60	109	93	328
Nanomaterial technology		37	42	45	25	149
Interface or surface nanostructuring technology		20	14	18	29	81
Nano-new functional molecule synthesis technology		1	17	39	14	71
Nano patterning process technology		104	91	134	117	446
Nano chemical process technology		42	33	96	58	229
Other nano-based process technology		93	206	183	252	734
Total		1,346	2,105	2,532	2,855	8,838

공정기술'은 각각 평균 72%, 62%, 51%의 증가율을 보였다.

논문은 R&D 투자로 이루어지는 R&D 활동의 결과물이므로 정부의 나노기술 분야 R&D 투자효율성을 살펴보기 위해 R&D 투자 1억 원당 발생 논문게재건수를 살펴보았다. 정부의 나노기술 분야 R&D 투자 1억 원당 발생 논문게재건수의 경우 <Table 6>에 나타난 바와 같이 2011년도 R&D 투자

1억 원당 발생 논문게재건수는 1.41로 전년도 R&D 투자 1억 원당 발생 논문게재건수 대비 0.22(19%) 증가하였다.

2008년부터 2011년까지의 R&D 투자 1억 원당 발생 논문게재건수추이를 살펴보면 전년도 R&D 투자 1억 원당 발생 논문게재건수대비 평균 19% 증가하였으며, 이 중 '나노 신기술 분자합성기술'은 전년도 R&D 투자 1억 원당 발생 논문게

재건수대비 평균 69%의 증가추세를 보여 가장 높았고, ‘기타 나노소재기술’, ‘가변 파장 광소자기술’, ‘기타 나노기반 공정기술’은 각각 평균 42%, 38%, 38%의 증가율을 보였다.

특허출원건수 정부의 나노기술 분야 R&D 투자에 따른 발생 특허출원건수의 경우 <Table 7>에 나타난 바와 같이 2011년도 R&D 투자에 따른 발생 특허출원건수는 2,855로 전년도 R&D 투자에 따른 발생 특허출원건수대비 323(13%) 증가하였다.

한편, 2011년도 R&D 투자에 따른 발생 특허출원건수 2,855 중 ‘나노소재기술(나노분말소재, 광학용 나노소재, 고기능 시너지 소재, 촉매·환경·기능소재에 중점)’ 1,083 (38%), ‘기타 나노소재기술’은 341(12%), ‘나노전자소자기술’ 254(9%), ‘기타 나노기반 공정기술’ 252(9%)의 순으로 높았다.

2008년부터 2011년까지의 R&D 투자에 따른 발생 특허출원건수추이를 살펴보면 전년도 R&D 투자에 따른 발생 특허출원건수 대비 평균 28% 증가하였으며, 이 중 ‘나노 신기능 분자합성기술’은 전년도 R&D 투자에 따른 발생 특허출원건수 대비 평균 100%를 초과하는 증가추세를 보여 가장 높았고, ‘기타 나노소자 및 시스템기술’, ‘가변 파장 광소자기술’, ‘기타 나노소재 기술’은 각각 평균 52%, 44%, 40%의 증가율을 보였다.

특히는 R&D 투자로 이루어지는 R&D 활동의 결과물이므로 정부의 나노기술 분야 R&D 투자효율성을 살펴보기 위해 R&D 투자 1억 원당 발생 특허출원건수를 살펴보았다. 정부의 나노기술 분야 R&D 투자 1억 원당 발생 특허출원건수의 경우 <Table 8>에 나타난 바와 같이 2011년도 R&D 투자 1억 원당 발생 특허출원건수는 0.47로 전년도

R&D 투자 1억 원당 발생 특허출원건수와 유사하였다.

2008년부터 2011년까지의 R&D 투자 1억 원당 발생 특허출원건수추이를 살펴보면 전년도 R&D 투자 1억 원당 발생 특허출원건수대비 평균 16% 증가하였으며, 이 중 ‘나노 신기능 분자합성기술’은 전년도 R&D 투자 1억 원당 발생 특허출원건수대비 평균 100%를 초과하는 증가추세를 보여 가장 높았고, ‘기타 나노기반 공정기술’, ‘기타 나노소재기술’, ‘나노소재기술(나노분말소재, 광학용 나노소재, 고기능 시너지 소재, 촉매·환경·기능소재에 중점)’은 각각 평균 27%, 23%, 23%의 증가율을 보였다.

사업화건수 정부의 나노기술 분야 R&D 투자에 따른 발생 사업화건수의 경우 <Table 9>에 나타난 바와 같이 2011년도 R&D 투자에 따른 발생 사업화건수는 335로 전년도 R&D 투자에 따른 발생 사업화건수대비 3(1%) 감소하였다.

한편, 2011년도 R&D 투자에 따른 발생 사업화건수 335 중 ‘나노소재기술(나노분말소재, 광학용 나노소재, 고기능 시너지 소재, 촉매·환경·기능소재에 중점)’ 155(46%), ‘기타 나노기반 공정기술’ 50(15%), ‘기타 나노소재기술’ 38 (11%), ‘나노패터닝 공정기술’ 13(4%)의 순으로 높았다.

2008년부터 2011년까지의 R&D 투자에 따른 발생 사업화건수추이를 살펴보면 전년도 R&D 투자에 따른 발생 특허출원건수대비 평균 7% 감소하였으며, 이 중 ‘원자·분자 레벨 물질 조작기술’은 전년도 R&D 투자에 따른 발생 사업화건수대비 평균 87%의 증가추세를 보여 가장 높았고, ‘기타 나노바이오보건 기술’, ‘나노화학공정기술’은 각각 평균 19%, 7%의 증가율을 보였다.

<Table 8> Patents per 100 Million Won

NT Sub-Area	Year	‘08	‘09	‘10	‘11	Total
Nano electronics device technology		0.53	0.58	0.62	0.58	0.58
Nanotechnology information storage technology		0.35	0.83	0.34	0.28	0.43
Tunable optical device technology		0.26	0.66	0.23	0.40	0.34
Nano photonics technology		0.50	0.35	0.37	0.45	0.41
Other nano devices and system technology		0.28	0.36	0.43	0.52	0.42
Nanomaterial technology		0.25	0.39	0.48	0.47	0.41
Other nanomaterial technology		0.28	0.53	0.51	0.53	0.48
Nano bio material synthesis and analysis technology		0.51	0.59	0.78	0.84	0.69
Drug delivery system		0.52	1.15	0.72	0.85	0.82
Other nano bio health technology		0.29	0.67	0.40	0.43	0.46
Atomic and molecular level materials manipulation technology		0.45	0.22	0.33	0.32	0.34
Nano measurement technology(below 100 nm)		0.13	0.10	0.30	0.21	0.17
Nanomaterial technology		0.52	0.66	0.88	0.48	0.63
Interface or surface nanostructuring technology		0.27	0.16	0.20	0.29	0.23
Nano-new functional molecule synthesis technology		0.04	0.24	0.53	0.34	0.33
Nano patterning process technology		0.41	0.35	0.56	0.47	0.45
Nano chemical process technology		0.55	0.34	0.61	0.49	0.51
Other nano-based process technology		0.20	0.48	0.31	0.42	0.35
Average		0.30	0.41	0.47	0.47	0.42

사업화는 R&D 투자로 이루어지는 R&D 활동의 결과물이므로 정부의 나노기술 분야 R&D 투자효율성을 살펴보기 위해 R&D 투자 1억 원당 발생 사업화건수를 살펴봤다. 정부의 나노기술 분야 R&D 투자 1억 원당 발생 사업화건수의 경우 <Table 10>에 나타낸 바와 같이 2011년도 R&D 투자 1억 원당 발생 사업화건수는 0.06으로 전년도 R&D 투자 1억 원당 발생 사업화건수와 유사

하였다.

2008년부터 2011년까지의 R&D 투자 1억 원당 발생 사업화건수추이를 살펴보면 전년도 R&D 투자 1억 원당 발생 사업화건수대비 평균 1% 감소하였으며, 이 중 ‘원자·분자 레벨 물질 조작기술’은 전년도 R&D 투자 1억 원당 발생 사업화건수대비 평균 70%의 증가추세를 보여 가장 높았고, ‘기타 나노바이오보건기술’은 평균 21%의 증가율을 보였다.

<Table 9> Number of Commercializations Realized

NT Sub-Area	Year	'08	'09	'10	'11	Total
Nano electronics device technology		4	5	16	6	31
Nanotechnology information storage technology		0	0	0	1	1
Tunable optical device technology		0	0	3	0	3
Nano photonics technology		4	8	9	2	23
Other nano devices and system technology		63	10	3	12	88
Nanomaterial technology		245	129	137	155	666
Other nanomaterial technology		66	60	51	38	215
Nano bio material synthesis and analysis technology		7	9	6	0	22
Drug delivery system		3	12	11	5	31
Other nano bio health technology		2	9	8	13	32
Atomic and molecular level materials manipulation technology		5	2	1	0	8
Nano measurement technology(below 100 nm)		21	7	8	12	48
Nanomaterial technology		0	0	0	0	0
Interface or surface nanostructuring technology		25	6	5	15	51
Nano-new functional molecule synthesis technology		8	0	5	2	15
Nano patterning process technology		26	8	16	13	63
Nano chemical process technology		9	5	12	11	37
Other nano-based process technology		62	40	47	50	199
Total		550	310	338	335	1,533

<Table 10> Number of Commercializations per 100 Million Won

NT Sub-Area	Year	'08	'09	'10	'11	Total
Nano electronics device technology		0.01	0.02	0.05	0.01	0.02
Nanotechnology information storage technology		0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Tunable optical device technology		0.00	0.00	0.05	0.00	0.03
Nano photonics technology		0.03	0.04	0.04	0.01	0.03
Other nano devices and system technology		0.39	0.04	0.01	0.04	0.08
Nanomaterial technology		0.15	0.08	0.07	0.07	0.09
Other nanomaterial technology		0.15	0.11	0.10	0.06	0.10
Nano bio material synthesis and analysis technology		0.05	0.04	0.03	0.00	0.03
Drug delivery system		0.04	0.15	0.13	0.07	0.10
Other nano bio health technology		0.03	0.08	0.08	0.12	0.08
Atomic and molecular level materials manipulation technology		0.04	0.03	0.01	0.00	0.02
Nano measurement technology(below 100 nm)		0.04	0.01	0.02	0.03	0.02
Nanomaterial technology		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interface or surface nanostructuring technology		0.34	0.07	0.06	0.15	0.14
Nano-new functional molecule synthesis technology		0.31	0.00	0.07	0.05	0.07
Nano patterning process technology		0.10	0.03	0.07	0.05	0.06
Nano chemical process technology		0.12	0.05	0.08	0.09	0.08
Other nano-based process technology		0.14	0.09	0.08	0.08	0.10
Average		0.12	0.06	0.06	0.06	0.07

4. R&D 투자에의 시사점

4.1 세부기술 분야별 효율성 비교

제 3장에서 논의한 2008년부터 2011년까지의 R&D 투자 1억 원당 발생 논문게재건수, 특허출원건수, 사업화건수를 각각 논문효율성, 특허효율성, 사업화효율성으로 정의하고, 이를 나노기술 분야별로 정리한 결과는 <Table 11>에 나타난 바와 같다.

논문효율성, 특허효율성, 사업화효율성을 기준으로 군집분석을 실시하여 2개의 집단으로 분류하였다. 여기서 군집분석이란 비슷한 특성을 가진 개체를 묶어 군집으로 만드는 통계적 방법이라고 할 수 있다[3]. 군집분석의 결과는 <Figure 1>과 <Table 12>에 나타난 바와 같다. 군집 1은 논문효율성과 특허효율성이 평균보다 낮은 반면 사

업화효율성이 평균보다 높다. 반면 군집 2는 논문효율성과 특허효율성이 평균보다 높은 반면, 사업화효율성이 평균보다 높다.

Cluster	1	11.000
	2	7.000
Effective Cases		18.000
Missing Cases		.000

	Cluster	
	1	2
Paper Efficiency	.89	2.00
Patent Efficiency	.37	.57
Commercial. Efficiency	.07	.04

<Figure 1> Cluster Analysis

<Table 11> Efficiency of R&D Investment

NT Sub-Area	Year	Paper Efficiency	Patent Efficiency	Commercial. Efficiency
Nano electronics device technology		1.53	0.58	0.02
Nanotechnology information storage technology		2.06	0.43	0.00
Tunable optical device technology		2.29	0.34	0.03
Nano photonics technology		1.14	0.41	0.03
Other nano devices and system technology		0.89	0.42	0.08
Nanomaterial technology		1.33	0.41	0.09
Other nanomaterial technology		1.70	0.48	0.10
Nano bio material synthesis and analysis technology		1.99	0.69	0.03
Drug delivery system		2.12	0.82	0.10
Other nano bio health technology		0.94	0.46	0.08
Atomic and molecular level materials manipulation technology		1.04	0.34	0.02
Nano measurement technology(below 100 nm)		0.77	0.17	0.02
Nanomaterial technology		2.28	0.63	0.00
Interface or surface nanostructuring technology		0.74	0.23	0.14
Nano-new functional molecule synthesis technology		0.99	0.33	0.07
Nano patterning process technology		0.67	0.45	0.06
Nano chemical process technology		0.74	0.51	0.08
Other nano-based process technology		0.59	0.35	0.10
Average		1.22	0.42	0.07

<Table 12> Clusters based on Efficiencies

Cluster	NT-Sub Area	Characteristic
1	nano photonics technology, other nano devices and system technology, nanomaterial technology(focusing on nano powder material, optical nano material, high performance synergy material, catalyst, environment and functional material), other nano bio health technology, Atomic and molecular level materials manipulation technology, nano measurement technology(below 100 nm), interface or surface nanostructuring technology, nano-new functional molecule synthesis technology, nano patterning process technology, nano chemical process technology, other nano-based process technology	<ul style="list-style-type: none"> • paper efficiency-low • patent efficiency-low • commercial. efficiency-high
2	Nano electronics device technology, nanotechnology information storage technology, tunable optical device technology, other nanomaterial technology, nano bio material synthesis and analysis technology, drug delivery system, nanomaterial technology	<ul style="list-style-type: none"> • paper efficiency-high • patent efficiency-high • commercial. efficiency-low

따라서 군집 1에 해당하는 ‘나노 photonics 기술’, ‘기타 나노소자 및 시스템기술’, ‘나노 바이오 물질합성 및 분석 기술’, ‘기타 나노바이오보건기술’, ‘원자·분자 레벨 물질 조작기술’, ‘나노 측정기술(100nm 이하)’, ‘계면 혹은 표면의 나노구조화기술’, ‘나노 신기능 분자합성기술’, ‘나노패터닝 공정기술’, ‘나노화학 공정기술’, ‘기타 나노기반 공정 기술’은 논문, 특허와 같은 기술적 산출 효율성은 낮으나, 사업화와 같은 사업화 결과 효율성이 높다고 할 수 있다. 반면 군집 2에 해당하는 ‘나노전자소자기술’, ‘나노정보저장기술’, ‘가변과장광소자기술’, ‘기타 나노소재기술’, ‘나노 바이오 물질합성 및 분석기술’, ‘의약 약물전달시스템’, ‘나노모사기술’은 기술적 산출 효율성은 높으나, 사업화 결과 효율성이 낮다고 할 수 있다.

4.2 전략적 R&D 관리

정부의 나노기술 분야 R&D 투자효율성을 개선하기 위해서는 무엇보다도 먼저 R&D 전략을 수립할 필요가 있다. 즉, 정부 R&D 예산은 한정되어 있기 때문에 이의 효율적 배분과 더불어 나노기술 분야별로 R&D 활동을 방향을 정해야 한다.

먼저 군집 1에 해당하는 ‘나노 photonics 기술’, ‘기타 나노소자 및 시스템기술’, ‘나노 바이오 물질합성 및 분석기술’, ‘기타 나노바이오보건기술’, ‘원자·분자 레벨 물질 조작기술’, ‘나노 측정기술(100nm 이하)’, ‘계면 혹은 표면의 나노구조화기술’, ‘나노 신기능 분자합성기술’, ‘나노패터닝 공정기술’, ‘나노화학 공정기술’, ‘기타 나노기반 공정기술’은 군집 2에 해당하는 ‘나노전자소자 기술’, ‘나노정보저장기술’, ‘가변과장광소자기술’, ‘기타 나노소재기술’, ‘나노 바이오 물질합성 및 분석기술’, ‘의약 약물전달시스템’, ‘나노모사기술’에 비해 기술적 산출 효율성 측면에서 경쟁열위에 있지만, 사업화 결과 효율성 측면에서는 경쟁우위에 있는 분야라고 할 수 있다. 반면 군집 2에 해당하는 세부나노기술 분야는 군집 1에 해당하는 세부나노기술 분야에 비해 기술적 산출 효율성 측면에서 경쟁우위에 있지만, 사업화 결과 효율성 측면에서는 경쟁열위에 있는 분야라고 할 수 있다.

따라서 군집 1에 해당하는 세부나노기술 분야에 대해서는 타 R&D 수행주체로부터의 기술이전이나 기술도입에의 지원 혹은 R&D 수행주체의 사업화 능력향상을 위한 지도 등이 필요하다. 한편, 이 과정에서 개방형혁신(Open Innovation)관점으로 R&D를 수행하는 것을 고려할 필요가 있다. 여기서 개방형혁신이란 국내적으로는 산·학·연 협력이나 국외적으로는 국제기술협력을 통하여 빠르게 기술을 습득하는 것을 의미한다[1]. 반면 군집 2에 해당하는 세부나노기술 분야에 대해서는 타 R&D 수행주체

로의 기술이전이나 기술전수 활성화 혹은 R&D 수행주체의 사업화 등을 위한 R&D 지원이 필요하다.

지금까지 논의한 R&D 추진전략을 군집별로 정리한 결과는 <Table 13>에 나타낸 바와 같다.

<Table 13> Strategic R&D Management

Cluster	R&D Strategy
1	<ul style="list-style-type: none"> • Support for technology transfer or technology introduction from other R&D performers • Grant of guidance for improving R&D performers' commercialization ability to other R&D performers
2	<ul style="list-style-type: none"> • R&D support for transfer of technology to other R&D performers, activation of technology transfer • Support for commercialization of R&D performers

5. 결 론

본 연구에서는 정부의 나노기술 분야 R&D 투자증가에 따라 R&D 투자의 효율성 제고를 위한 R&D 전략이 요구되는 상황에서 다음을 수행하였다. 먼저 나노기술에 대한 정부의 나노기술 분야 R&D 투자에 따른 성과, 즉 논문, 특허, 사업화에 대한 체계적인 분석을 통하여 R&D 투자효율성을 객관적으로 측정하였다. 그 결과 ‘나노 photonics 기술’, ‘기타 나노소자 및 시스템기술’, ‘나노 바이오 물질합성 및 분석기술’, ‘기타 나노바이오보건 기술’, ‘원자·분자 레벨 물질 조작기술’, ‘나노 측정기술(100nm이하)’, ‘계면 혹은 표면의 나노구조화기술’, ‘나노 신기능 분자합성기술’, ‘나노패터닝 공정기술’, ‘나노화학 공정기술’, ‘기타 나노기반 공정기술’은 기술적 산출 효율성은 낮으나, 사업화 결과 효율성이 높게 나타났다. 반면 ‘나노전자소자기술’, ‘나노정보저장기술’, ‘가변과장광소자기술’, ‘기타 나노소재기술’, ‘나노 바이오 물질합성 및 분석기술’, ‘의약 약물전달시스템’, ‘나노모사기술’은 기술적 산출 효율성은 높으나, 사업화 결과 효율성이 낮게 나타났다.

다음 나노기술에 대한 정부의 R&D 예산의 효율적 배분과 효율성 향상에 관한 시사점을 도출하였다. 그 결과 ‘나노 photonics 기술’, ‘기타 나노소자 및 시스템기술’, ‘나노 바이오 물질합성 및 분석기술’, ‘기타 나노바이오보건 기술’, ‘원자·분자 레벨 물질 조작기술’, ‘나노 측정기술(100nm 이하)’, ‘계면 혹은 표면의 나노구조화기술’, ‘나노 신기능 분자합성기술’, ‘나노패터닝 공정기술’, ‘나노화학 공정기술’, ‘기타 나노기반 공정기술’은 타 R&D 수행주체로부터의 기술이전이나 기술도입에의 지원 혹은 R&D 수행주체의 사업화 능력향상을 위한 지도 등이 필요함이 도출되었다. 반면 ‘나노전자소자기술’, ‘나노정보저장기술’,

‘가변과장광소자기술’, ‘기타 나노소재기술’, ‘나노 바이오 물질합성 및 분석기술’, ‘의약 약물전달시스템’, ‘나노모사 기술’은 타 R&D 수행주체로의 기술이전이나 기술전수 활성화 혹은 R&D 수행주체의 사업화 등을 위한 R&D 지원이 필요함이 도출되었다.

물론 이는 세부나노기술 분야 각각이 처한 서로 다른 환경을 무시하고 단지 효율성측면만을 고려하여 얻은 결과이므로 R&D 전략을 수립할 때 다른 객관적인 자료와 함께 활용할 필요가 있다.

Acknowledgement

This research was supported by Nano · Material Technology Development Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning(No. 2009-0083402).

References

- [1] Chesbrough, H. and Crowther, A.K., Beyond high tech : early adopters of open innovation in other industries, *R&D Management*, 2006, Vol. 36, No. 3, pp. 229-236.
- [2] Freeman, C. and Soete, L., The Economics of Industrial Innovation, *The MIT Press*, 1997, pp. 1-25.
- [3] Hair, J., Anderson, R., Tatham, R., and Grablovsky, B., *Multivariate Data Analysis With Readings*, *Petroleum Publishing Company*, 1979, pp. 81-122.
- [4] Hong, S.K., Hong, S.K., and Ahn, D.H., A Study on the Analysis of the Inter-industry Flow and Increase of Direct and Indirect Productivity of R&D Investment, *Science and Technology Policy Institute*, 1991, pp. 6-47.
- [5] Hwang, S.W. and Jeong, J.W., Economic Valuation of R&D Programs with Strategic Flexibility, *Journal of Technology Innovation*, 2006, Vol. 14, No. 3, pp. 237-262.
- [6] Hwang, S.W., Ahn, D.H., Choi, S.H., Kwon, S.H., Cheon, D.P., Kim, A.R., and Park, J.H., Efficiency of National R&D Investment, *Science and Technology Policy Institute*, 2009, pp. 28-53.
- [7] Lee, J.S. and Jeong, B.H., Analysis for The National R&D Investment and The Trend of Patent Application in 6T Areas, *Joint Conference of the Korean Society of Industrial Engineers and Korean Society of Management Scientists*, Chonbuk National University, 2004, Korea.
- [8] Nam, I.S., Kim, W.S., Lee, J.S., and Jeong, B.H., A Study on Trend Analysis of Patents Application in 6T Area, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2004, Vol. 27, No. 4, pp. 49-58.
- [9] National Science & Technology Information Service, <http://www.ntis.go.kr>.

ORCID

- | | | |
|----------------|--|---|
| Seoung-Hun Bae | | http://orcid.org/0000-0002-0819-4386 |
| Jun-Hyun Kim | | http://orcid.org/0000-0001-6184-7924 |
| Yeon-Ju Jeong | | http://orcid.org/0000-0003-1888-9795 |
| Sang-Kyu Kang | | http://orcid.org/0000-0002-5155-0980 |
| Jae-Sin Kim | | http://orcid.org/0000-0002-9806-2714 |
| Heung-Kyu Kim | | http://orcid.org/0000-0003-2506-6519 |