

한·독·일 소재기술분야 공공연구시스템 비교연구

A Comparative Study on Public Research System in Korea, Germany and Japan

이주석(Juseok Lee)*, 이경재(Kyongjae Lee)**, 채재우(Jae-Woo Chae)***,
이장재(Jangjae Lee)****

목 차

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| I. 서론 | III. 주요국 국가소재혁신시스템 비교분석 |
| II. 소재기술과 국가혁신시스템의 개념 | IV. 결론 및 시사점 |

논문 요약

본 연구에서는 기술을 차원으로 한 국가소재기술혁신시스템을 개념틀로 하여 국가 간 비교분석을 추진하였다. 소재기술을 주된 차원으로 하고 관련 산업을 대상으로 소재기술과 제조업 강국인 독일과 일본 그리고 우리나라의 혁신시스템을 공공연구시스템 차원에서 비교분석을 수행함. 동 분석의 장점은 소재기술을 둘러싼 혁신주체(산학연)와 산업 간에서 일어나는 학습활동, 연구개발, 상호작용, 기술의 생성과 확산, 네트워크 등 동태적인 기술혁신 활동을 공공연구시스템 차원에서 분석하고 비교할 수 있다는 것임. 본 연구를 통하여 국가별 시스템의 장단점 분석과 함께 향후 바람직한 국가소재기술혁신시스템을 지향하기 위한 공공연구시스템의 방향을 제시하고자 함.

Keyword : 소재기술, 공공연구시스템, 국가소재기술혁신시스템

* 한국과학기술기획평가원 부연구위원, jlee@kistep.re.kr., 02-589-5267

** 한국과학기술기획평가원 연구위원, kjlee@kistep.re.kr, 02-589-2223

*** 재료연구소 책임연구원, jaewoo@kims.re.kr, 055-280-3782

**** 교신저자, 한국과학기술기획평가원 선임연구위원, jjlee@kistep.re.kr, 02-589-2832

I. 서론

한국의 소재 관련 국가혁신체제는 지금까지는 모방형¹⁾·각개약진형²⁾ 혁신체제 형태로 정의할 수 있으며, 이제는 새로운 진화의 과정을 필요로 하고 있다(송위진, 2005). 우리의 소재산업은 세계 6위권의 규모를 보유하고 있음에도 불구하고 모방분산형 산업구조와 함께 일부 대기업을 제외하고는 혁신역량이 부족한 다수 중소기업으로 구성되어 있다. 소재·부품발전 정책의 결과로 부품 분야는 상당한 수준으로 성장하였으나 원천기술과 장기적인 기술 투자가 요구되는 소재분야는 아직 수입의존도가 높은 실정이다. 소재수출산업의 경우도 업체의 대부분이 중소기업으로 구성되는 기반과 허리가 취약한 침투형 구조로 나타난다. 소재분야의 SCI 논문 게재 수는 세계 3위권 수준이나, 논문 1편당 평균 피인용수는 다소 낮은 실정이다. 첨단소재분야의 경우 최고국과의 기술수준의 차이(gap)가 최근 증가하는 추세이다. 이는 기업이 필요로 하는 기술지식과 대학 및 출연(연)이 공급할 수 있는 지식 간의 부정합성을 현저하게 들어내는 결과이다. 대학의 지식과 기업이 요구하는 기술지식의 간극을 좁히는 것도 중요하지만 공공연구기관인 정부출연(연)의 지식을 기업이 요구하는 지식과 정합성을 높이는 노력이 더욱 필요하다. 현재 정부출연(연)은 다양한 기관들이 다양한 분야에서 소재 관련 연구를 수행하고 있으나 각개약진형으로 전개되고 있다. 결과적으로 현재의 공공연구시스템은 국가적 목적과 기업수요를 체계화한 형태에서 기술개발이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 신소재 개발과 현재 기업의 소재기술 수요를 충족시킬 수 있는 체계화된 공공연구과 관련시스템의 정비가 필요한 시점이다. 본 연구에서는 기술을 차원으로 한 국가소재기술혁신시스템(NMIS: National Materials Technological Innovation Systems)을 개념틀³⁾로 하여 국가 간 비교분석을 추진하였다. 본 연구에서는 소재기술을 주된 차원으로 하고 관련 산업을 대상으로 소재기술 강국이며, 제조업 강국인 독일과 일본 그리고 우리나라의 혁신시스템을 공공연구시스템 차원에서 비교분석을 수행하였다. 동 분석의 장점은 소재기술을 둘러싼 혁신주체(산학연)와 산업 간에서 일어나는 학습활동, 연구개발, 상호작용, 기술의 생성과 확산, 네트워크 등 동태적인 기술혁신 활동을 공

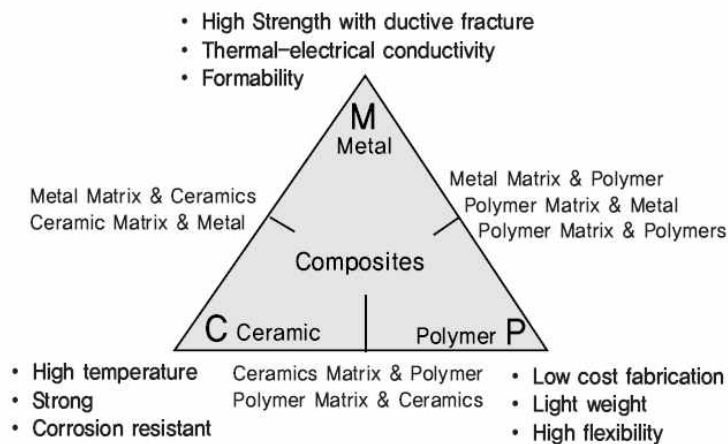
- 1) 모방형이란 외국에서 도입한 원천기술을 소화·개량하여 상업화하는 과정을 통해 혁신능력을 축적해왔고, 생산능력과 제품화 능력을 고도화시켜 재빠른 추격자로 발전해 온 과정을 가리킴.
- 2) 각개약진형이란 모방형 기술혁신과정에서 기업이 필요로 하는 기술지식과 출연(연)과 대학이 공급할 수 있는 지식 간 부정합(mismatch)이 존재하고, 지식연계 메커니즘이 미약하여 혁신주체들의 각개약진 현상이 나타난 것을 의미함.
- 3) 국가소재기술혁신시스템(NMIS)은 국가혁신시스템에서 소재기술을 주된 대상으로 하는 기술혁신시스템(TIS: Technology Innovation System)으로 관련 산업과 지역을 포함하는 개념틀이다. 자세한 내용은 이장재 외(2017) 참고.

공연구시스템 차원에서 분석하고 비교할 수 있다는 점이다. 이를 통해 국가별 시스템의 장단점 분석과 함께 향후 바람직한 국가소재기술혁신시스템을 지향하기 위한 공공연구시스템의 방향을 제시하고자 한다.

II. 소재기술과 국가혁신시스템의 개념

1. 소재기술의 개념과 분류

소재는 자연물로부터 제품(물건)까지의 모든 것을 구성하는 요소로서(국가과학기술자문회의, 2015.10.22.) 부품·완제품을 구성하거나, 혹은 특정 기능을 좌우하는 핵심 기초물질로, 크게 금속, 화학, 세라믹으로 구분된다. 소재는 구조, 성분, 제조 및 가공 방법에 따라 특성이 현저히 달라져 다양하게 활용이 가능하다⁴⁾. 일반적인 소재의 분류는 금속소재, 화학(고분자) 소재, 세라믹 소재, 기타 복합소재 등이며, 소재기술은 이러한 소재를 대상으로 한다(소재기술백서 2009). 금속소재(Metal)는 강도와 인성이 우수하여 충격에 강하고 열 및 전기의 전도성이 좋으며, 소성변형이 잘되는 특성이 있다. 화학(고분자) 소재(Polymer)는 가볍고 값이 싸며, 연성을 가지며, 강도가 낮은 특성을 가지고 있어 재활용이 용이하고 변형이 쉽다. 세라믹소재(Ceramic)는 고온에서 강하고 금속보다 가벼운 대신에 취성이 심한 특성을 가진다. 복합소재(Composites)는 금속, 세라믹, 고분자소재가 가지고 있는 단점을 다른 소재의 장점과 결합하여 보다 더 우수한 특성을 발휘하도록 만들어진 소재이다.



출처: Kaounides(1990), 소재기술백서 2009에서 재인용

(그림 1) 소재의 성분별 종류와 특성

4) 철강재료는 철(Fe)을 주성분으로 하지만 탄소와 결합하면 강철이 되고 단조와 열처리를 거쳐 가공하면 면도날이 되며, 모래의 주성분인 실리콘(Si)을 단결정으로 성장시켜 인 혹은 황을 국부적으로 도핑하면 반도체 산업을 창출한 반도체가 됨.

소재기술(Materials Technology 혹은 Materials Engineering)은 원재료에서부터 재료의 가공에 이르기까지 특정 용도에 필요한 모양과 형태로 제품을 생산하기 위한 기술로 추출, 정련, 합금, 합성, 부품성형 등의 공정기술까지를 포함한다(소재기술백서 2009). 소재기술은 관련 대상과 기술 등을 기준으로 할 때 매우 광범위하여 단일 기준보다는 다양한 차원에서 정의하여 구분하고 있다. 금속, 플라스틱 및 세라믹과 같은 소재는 전형적으로 완전히 다른 특성을 가지므로 생산과 관련된 기술은 근본적으로 달라진다. 공정은 소재의 성능과 부품의 형상을 결정하는 매우 중요한 요소로서 소재와 공정은 상호 불가분의 관계를 가진다. 소재기술은 끊임없이 진화하는 분야이며 흥미로운 특성을 지닌 새로운 소재는 새로운 응용 분야로 연결된다. 즉, 서로 다른 소재를 조합한 복합소재는 완전히 새로운 특성을 갖게 된다. 소재기술을 지원하는 소재과학(Materials Science)은 소재의 화학적 조성, 미세 구조 및 결정 구조에 소재의 특성을 연결하는 종합 과학분야이다.



(그림 2) 소재과학(MS)과 소재기술(MT) 관계

소재기술(Materials Technology)은 원재료에서 기초소재·가공소재로 전환되는 과정에서 소재화 공정⁵⁾ 및 부품화 공정⁶⁾ 과정을 거치게 된다(소재기술백서 2011). 소재공정기술(Materials Process Technology)은 소재의 합금화 혹은 합성을 위한 소재화 공정과 동 공정을 거쳐 생산된 소재를 사용하여 형상과 기능을 가지는 부품으로 만들기 위한 부품화 공정기술로 나누어진다.

5) 소재화 공정: 광물 등의 원료로부터 추출, 정련, 용해 등 공정을 거쳐 기초 소재를 만드는 공정

6) 부품화 공정: 소재를 사용하여 특정한 용도의 형상을 가지는 단위부품으로 성형하는 주조, 소성가공, 열처리, 코팅 등의 제조공정

2. 소재기술과 국가혁신시스템

국가혁신시스템(NIS: National Innovation Systems)이란 국가를 분석단위(unit of analysis)로 하여 국내의 환경 하에서 기업, 산업, 그리고 국가의 혁신활동을 체계적(systematic), 진화적(evolutionary) 관점에서 다루고자 하는 접근방법이다(이장재, 2012). 스웨덴 출신 학자인 룬드발(Lundvall)은 국가 차원에서 구분되는 혁신체제가 존재함을 주장하면서 동 체제의 존재는 산업의 경쟁적 행태를 설명하는 데 기여할 것이라는 가정 하에서 동 개념을 제안하였다. 영국의 기술혁신 경제학자인 Freeman은 국가혁신체제를 ‘새로운 기술의 창출, 변경, 확산을 유도하는 공적, 사적 제도들의 네트워크(institutional network)’로 정의하고 일본을 대상으로 국가혁신시스템 분석을 시도하였다. 국가혁신시스템에 대한 국가 간 비교를 시도한 미국의 Nelson과 Rosenberg (1993)는 국가혁신시스템이 복잡성과 다양성을 내포하고 있어 국가혁신시스템에 대한 일반화가 어렵다고 지적하였다.

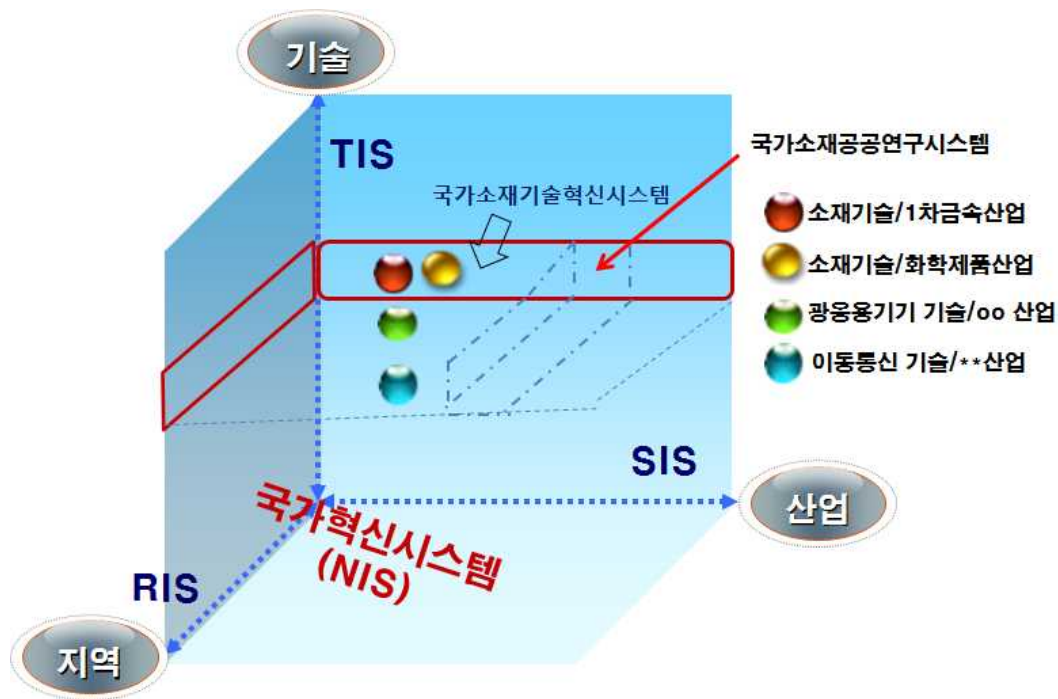
국가혁신시스템은 국가, 즉 국민경제를 분석단위로 하기 때문에 기술, 산업, 지역 등의 거시적 총합이 분석의 기초를 구성하고 있어 분석범위가 넓고 복잡하여 동태적인 심층 분석이 어려워 정태적 비교분석이 주가 된다. 국가혁신시스템(NIS) 개념은 시장실패(market failure)에 기반을 둔 주류경제학의 정책대안을 보완하는 시스템실패(system failure)라는 정책대안을 제시하면서 큰 방향을 일으켰다. 국가혁신시스템은 시간에 따른 진화와 다양한 요인의 영향력 및 피드백 과정을 중시하는 역사적이고 진화적인 관점에 기반을 두어 시스템실패라는 정책적 대안을 제시하였다. 시스템실패에 기반한 정책수단은 시장실패에 근거를 둔 정책대안보다 훨씬 광범위한 정책대안을 제시하는 장점을 가진다. 즉, 시스템실패에 기반한 정책대안은 근본적으로 제도적 변화를 유도하는 차원의 정책수단을 사용할 수 있는 근거를 제공한다. 시스템실패에서 다루는 정책주체 또한 시스템의 구성요소에 포함되므로 정부실패(government failure)까지를 고려하는 정책대안을 마련하도록 한다.

국가혁신시스템은 다양한 하위시스템으로 구성되어 있으며, 대표적 하위시스템으로 기술혁신시스템(TIS: Technological Innovation Systems)⁷⁾, 산업혁신시스템(SIS: Sectoral Innovation Systems)⁸⁾, 지역혁신시스템(RIS: Regional Innovation Systems)⁹⁾을 들 수 있다.

7) 기술혁신시스템(TIS)은 “기술의 발생, 확산, 사용을 목적으로 특수한 기술적 영역에서 상호작용하는 행위자들의 네트워크”로 정의(Carlsson, 1997).

8) 산업혁신시스템(SIS)은 산업을 대상으로 자생적이고 유동적인 네트워크와 이를 통한 상호학습, 전문 지식의 창조와 확산, 연구개발(R&D) 등 기술혁신이 이루어지는 시스템을 가리킴.

9) 지역혁신시스템(RIS)은 “지리적으로 한정적인 행정 지원이 제공되는 일정한 공간에서 기업의 혁신활동을 촉진하기 위해 규칙적으로 상호작용하고 있는 혁신 네트워크와 제도의 배열(arrangement)”로 정의됨.



출처: 이장재 외(2017), 재료연구소의 한국재료연구원 설립에 관한 타당성 조사

(그림 3) 국가혁신시스템과 하위시스템의 구성

1) 기술혁신시스템(TIS)

기술혁신시스템은 1990년대에 스웨덴 학자들을 중심으로 연구되기 시작한 개념으로 진화론에 입각한 동태적 분석을 추구하기 위한 문제의식에서 출발하였다. 기술혁신시스템은 각 기술에는 그에 대응하는 기술체제가 존재한다는 가정을 전제로 특정한 기술의 발생, 확산, 사용에 집중하여 이를 동태적으로 분석하고자 하는 접근방법이다. 새롭게 출현하는 기술이 시간의 경과에 따라 어떻게 확산되고 사용되고 공유기술이 시간의 경과에 따라 각 분야에 어떻게 파급되는가 등을 통해 시스템의 변화와 전환, 즉 동태적 분석을 추구한다. 최근 기술체제론은 바이오연료, 천연가스, 태양광 등 신재생에너지의 기술체제 분석에 집중하고 있는데 이는 신재생에너지가 새롭게 출현하는 공유기술일 뿐만 아니라, 신재생에너지의 확산은 기존 에너지시스템의 근본적인 변화를 요구하기 때문이다.

2) 산업혁신시스템(SIS)

산업혁신시스템은 국가혁신시스템 개념이 가지는 분석의 광범위성이라는 한계를 극복하고자 분석단위를 산업에 두어 한 국가의 경제성장 및 혁신활동의 국가적 패턴을 이해하고자 하는 노력이다. 산업혁신시스템에서의 섹터(Sector)는 특정한 수요를 위한 제품집단에 의해 분류되고 기본지식을 공유하는 활동의 집합으로서 산업과 유사한 개념이다. 산업혁신체제론은 산업에 초점을 맞추어 지역적·국가적·지구적 범위를 대상으로 분석할 수 있어 특수한 산업의 목표에 적합한 정책 제언이 가능하

다. 산업혁신시스템은 기존 산업이론들과 비교할 때, 수요뿐만 아니라 공급을 중시하고, 기업뿐만 아니라 다른 행위자들을 강조하고, 비시장적 상호작용에 대한 주목 그리고 산업적 동태성을 고려한다는 특징을 가진다.

3) 지역혁신시스템(RIS)

지역혁신시스템은 국가혁신체제 관점의 분석단위를 메조 수준(meso-level)인 지역수준으로 한정하여 혁신과정을 분석하고자 하는 접근방법으로 핵심적인 지식창출이 점점 지역화되고 있는 현실을 반영한다(이장재 외, 2012). 지역단위에서 이루어지는 혁신주체의 상호작용과 학습, 그리고 관련제도의 구축(institutional setting)을 주된 분석대상으로 한다. 지역혁신시스템에서 지역은 기술변화의 통합적 장소로 인식되고 있으며, 기술변화는 지역의 발전 또는 경쟁력의 중요한 결정요인으로 간주된다. 따라서 지역은 기술변화와 경제발전간의 관계를 가장 잘 관찰할 수 있는 분석단위로 지역은 새로운 출현기술을 개발하고 이를 통해 사회경제적 수요와의 결합을 통해 혁신의 새로운 발전경로를 제시할 수 있는 단위이다.

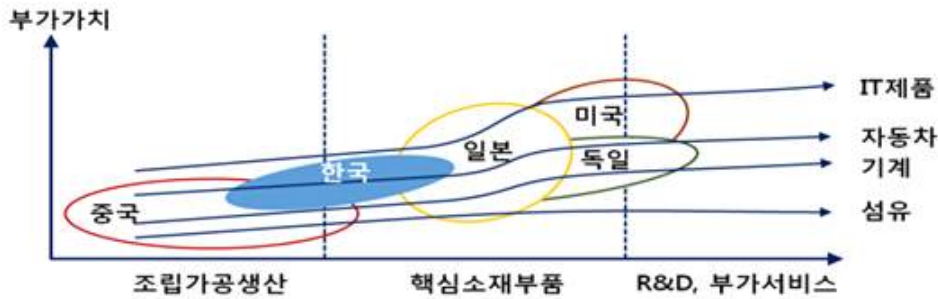
본 연구에서는 소재기술을 주된 대상으로 하는 기술혁신시스템으로 관련산업과 지역을 포함하는 국가소재기술혁신시스템(NMIS)을 개념틀로 하여 국가간 비교분석을 수행하였다. 이에 따라 소재강국인 독일과 일본 그리고 우리나라 혁신시스템을 공공연구시스템 차원에서 비교분석을 수행함으로써 국가별 시스템의 장단점 분석과 함께 우리나라의 공공연구시스템의 지향점을 제시하였다.

Ⅲ. 주요국의 국가소재혁신시스템 비교분석

1. 국가소재공공연구시스템 비교분석: 독일, 일본, 대한민국

1) 비교분석의 개요

국가혁신시스템(NIS)과 기술혁신시스템(TIS) 개념을 적용한 국가기술혁신시스템을 기본틀로 하여 소재강국으로 유사한 규모의 국가인 대한민국과 독일, 그리고 일본의 공공연구시스템에 대한 비교를 진행하였다. 이들 3개국은 규모 측면에서 소재강국 중 거대국가에 속하는 미국 및 중국과 비교할 때 소재 강중국(強中國)으로 분류할 수 있다. 제조업 강국의 산업구조는 조립가공생산 단계에서 핵심소재부품 단계, 그리고 연구개발과 부가서비스 창출 단계 과정을 거쳐 발전해 오고 있다. 한, 독, 일의 국가소재공공연구시스템 분석을 통해 국가가 지향하고 있는 소재분야의 발전과정을 살펴보고 국가단위에서 혁신주체와 관계주체 그리고 이들간의 상호작용에 대한 분석을 통해 시사점을 도출하고자 한다.



출처: 관계부처 합동(2016.12), 제4차 소재부품발전기본계획

(그림 4) 제조업 강국의 산업구조 변화 및 발전단계

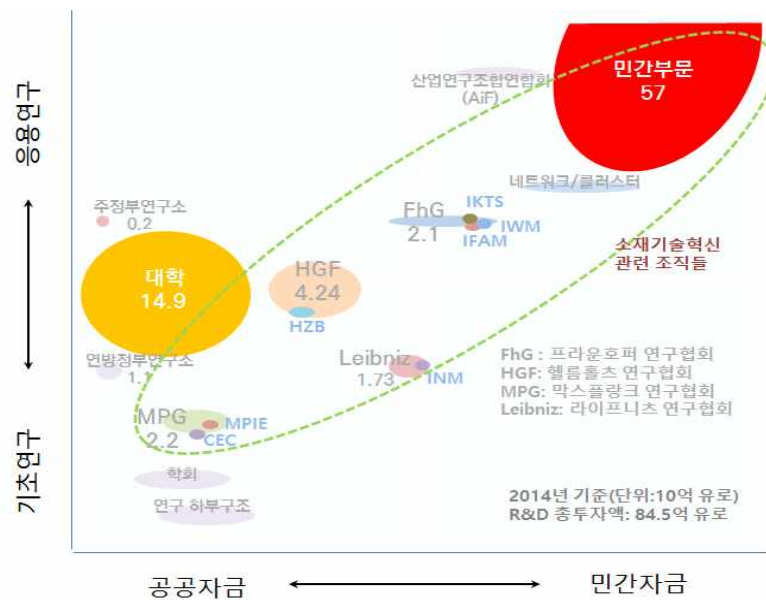
국가소재공공연구시스템에 대한 비교 분석은 소재기술을 둘러싼 연구개발 활동과 혁신주체간의 상호작용, 기술의 생성과 확산, 네트워크 관계 등 소재기술혁신을 둘러싼 국가적 특성과 시스템을 파악할 수 있는 도구를 제공한다. 독일, 일본, 그리고 대한민국은 2015년 현재 소재분야 제품의 세계수출시장의 점유율이 각각 8.8%, 4.7%, 3.6% 수준으로 세계 3위, 4위, 5위권 국가이다. 시스템에 대한 분석은 각 국별 소재산업의 경쟁력과 역량을 국가에 체화된 연구시스템과 관련 활동 그리고 성과의 흐름 등을 통해 파악할 수 있게 함으로서 국가별 양적 비교만이 아닌 질적 비교가 가능하게 하는 장점을 가진다. 본 연구에서는 국가소재기술혁신시스템을 공공연구부문을 중심으로 고찰하고 관련 혁신활동과 민간부문 간의 연계 관계를 분석하고자 한다.

2) 독일의 국가소재공공연구시스템

독일의 소재기술혁신시스템을 구성하는 핵심주체는 정부(연방정부, 주정부), 공공연구(MPG, FhG, HGF, Leibniz) 부문과 대학, 민간연구 부문(기업과 기타), 중개기관 등으로 구분할 수 있다. 연방정부의 교육연구부(BMBF)가 연구개발 거버넌스의 총괄 주관 부처로 기능을 수행하고, 16개 주정부가 자체적으로 기술혁신 관련 지원 정책을 시행한다. 공공연구 부문은 연구소들의 집합체로서 막스플랑크 등 4개의 연구협회와 정부연구소(연방정부와 주정부)가 존재한다. 대학은 주정부의 행정 및 재정 지원을 받으며 독일 연구개발시스템에서 응용연구를 주도한다. 민간연구 부문에서 기업 부문은 독일 국가연구개발비의 2/3 이상을 차지하고, 시장지향적 연구개발 활동을 수행하며, 기타로는 산업연구조합연합회(AiF)가 대표적으로 연구조합 소속 기업들을 지원하는 연구활동을 수행한다. 중개기관은 연구개발 자금이 공공과 민간 영역으로 최종 공급하는 창구 역할을 수행하며, 독일 연구재단, 각종 재단, 각종 협회 등이 해당된다.

독일의 혁신시스템에서 연방정부는 연방교육연구부(BMBF)가 연구개발 총괄 주관 부처로 기능을 수행하고 있으며, 독일의 교육, 연구, 혁신 시스템 전체의 지형을 모니터링하고 관련 정책과 프로그램을 개발 및 실행한다. 독일은 2006년 BMBF를

연구개발의 주관 부처로 결정하고, 범부처 ‘첨단기술전략(High Technology Strategy)’의 수립과 이행 권한을 부여해 왔다. BMBF(총 8개 핵심부서)에서 연구개발 전략과 사업을 기획하고 실행하는 조직은 제4국부터 제7국에서 수행하고 있으며, 이중 소재기술 분야는 제5국에서 수행한다. 또한 독일은 연방정부 내 각 부처와 16개 주정부가 각기 수행하던 연구 혁신 정책의 파편화, 분산화 문제 해결을 위한 조정 조직으로서, 2007년부터 공동과학회의(GWK: Joint Science Conference)를 설립하여 운영해 왔다.



출처: BMBF(2017), Education and Research in Figures 2017 참고로 작성

(그림 5) 독일의 국가소재 공공연구시스템

공공연구 부문은 4대 연구협회¹⁰⁾인 막스플랑크(MPG), 프라운호퍼(FhG), 헬름홀츠(HGF), 라이프니츠(Leibniz)와 연방정부 및 주정부가 특수 목적과 필요에 따라 설립한 정부 산하 연구소¹¹⁾로 구성된다. 4대 연구협회 중 대형 공공연구기관의 연합체인 헬름홀츠 연구협회가 가장 많은 연구비를 지출하고 있으며, 헬름홀츠 소속의 대형 연구센터들은 각기 행정적으로 독립된 기관으로 운영된다. 재원으로 볼 때, 4대 연구협회 중 프라운호퍼만이 민간 산업체로부터의 30-40% 정도의 자금을 계약 연구 형태로 지원받고 있으며, 나머지 연구협회들은 90% 이상을 정부의 기본 자금과 계약 자금을 의존하고 있다. 4대 연구협회 중 기초연구와 공공성이 강한 부문은 기본 자금이 비중이 큰 편이며, 응용연구 부문은 기본 자금보다는 계약연구 자금의 비중이 더 크다.

10) 2016년 현재 4개 연구협회 소속 연구소 수는 총 258개이며, 고용인력은 102,900명 수준임.

11) 정부연구소는 미션 지향적 연구조직으로 대부분 응용연구 수행 기관으로 구분되며, 연방정부 연구소 40개, 주정부 및 지자체 연구소 150 여개가 설치됨.

〈표 1〉 독일의 소재관련 주요 연구기관과 연구분야

구분	IFAM FhG	IWM FhG	IKTS FhG	MPIE MPG	INM Leibniz
개요	성형 및 기능성 물질(shaping and functional materials) 개발 분야 유럽 최고의 독립적 연구기관 (1968년 설립)	물질 특성에 기계적, 열적, 화학적, 전기적 요소가 미치는 영향 연구 (1949년 설립)	기초연구에서 응용 분야에 이르는 모든 연구 분야의 세라믹 연구를 수행하며, 구조 및 기능세라믹 시스템 솔루션에 집중 (1992년 설립)	화학, 물리학, 금속 및 재료과학을 결합하는 다양한 학제적 접근을 바탕으로 첨단 기술에 활용하기 위한 새로운 고성능 재료를 개발 (1971년 설립)	분자단계에서 실제 생산단계까지 소재의 새로운 성질을 조사 및 개발하고 활용 가능성을 분석 (1987년 설립)
인력	583명	429명	575명	280여명	246명
예산	약 581억 원	약 590억 원	약 703억 원	약 310억원	약 308억 원
주요 분야 · 부서	<ul style="list-style-type: none"> - 분말기술 - 금속소결 (Sintered) 합성 및 세포믹 속재료 - 접합기술 - 표면기술 - 주조기술 - 전기부품 및 시스템 - 섬유강화플라스틱 	<ul style="list-style-type: none"> - 물질디자인 - 제조과정 - 마찰공학 - 구성요소 안전 및 경량 - 물질평가 및 생애개념 	<ul style="list-style-type: none"> - 세라믹구조 - 물질 및 공정 특성화 - 환경 및 프로세스 엔지니어링 - 에너지시스템과 바이오-의학기술 - 전자마이크로시스템 	<ul style="list-style-type: none"> - 컴퓨터물질 디자인 - 인터페이스 화학 및 표면 엔지니어링 - 미세물리학 및 합금 - 구조 및 나노/마이크로메카닉 	<ul style="list-style-type: none"> - 나노기술 - NANOMERS - 광학재료 - 인터페이스 재료 - 에너지물질 - 기능적 미세구조 - 나노마찰공학 - 전황가능한 미세유체공학 - 구조형상 - 바이오인터페이스 - 다이아몬드로 코팅된 나노세프팅프락트

출처: 이장재 외(2017)

공공연구기관 중 소재분야 주요 연구기관은 프라운호퍼 연구협회 산하의 제조기술 및 첨단소재연구소(IFAM)¹²⁾, 소재역학연구소(IWM)¹³⁾, 세라믹기술 및 시스템연구소(IKTS)¹⁴⁾, 막스플랑크 연구협회 산하의 철강연구소(MPIE)¹⁵⁾, 라이프니츠 연구협회 산하의 신소재연구소(INM)¹⁶⁾, 그리고 헬름홀츠 연구협회 산하의 베를린 재료 에너지센터(HZB)¹⁷⁾ 등이 있다.

- 12) 제조기술 및 첨단소재연구소(IFAM)는 1968년 최초 설립되었으며, 1974년 프라운호퍼 연구협회로 편입된 기관으로 성형(成形) 및 기능성 소재(Shaping and Functional Materials)를 연구하고 이를 산업으로 연계하는 유럽 최고의 독립적, 중립적 연구기관.
- 13) 소재역학연구소(IWM)는 1949년 설립되었으며, 물질 평가 및 관련 모델을 구축하여 소재역학, 공정, 소재시스템 관리를 지원하고 기술시스템의 성능과 효율성을 제고
- 14) 세라믹기술 및 시스템연구소(IKTS)는 1992년 Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Sintered Materials IKTS를 설립 후 2006년 “세라믹 시스템 솔루션”을 강화하기 위하여 “Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems”으로 명칭을 변경
- 15) 막스플랑크 연구협회 산하의 철강연구소(MPIE)는 1917년 막스플랑크협회(MPG)의 전신인 카이저빌헬름학회(Kaiser Wilhelm Gesellschaft)와 철강연구소 VDEh((Verein Deutscher Eisenhüttenleute)의 조인트 벤처형태로 설립됨.
- 16) 라이프니츠 연구협회 산하의 신소재연구소(INM)는 재료분야 연구소로 나노복합기술, 인터페이스물질 및 바이오인터페이스 분야의 연구에 주력하는 기관으로 1987년에 설립되었고, 2007년에 인터페이스물질과 바이오인터페이스(interface materials and biointerfaces)라는 새로운 주제를 추진했고, 2014년 기술이전 등 산업계와 협력을 강화하기 위해 Innovation Center-INM을 설립함.
- 17) 헬름홀츠 연구협회 산하의 베를린 센터(HZB: Helmholtz-Zentrum Berlin)는 재료연구에서 대형기기를 필요로 하는 연구주제를 다루고 있으며 방사광가속기(BESSY II)와 중입

독일의 국가소재공공연구시스템의 강점은 공공연구기관과 기업간의 긴밀한 관계가 네트워크, 클러스터, 연구조합 등의 조직을 통해 운영되고 있다는 점이다¹⁸⁾. 독일 기업의 경쟁력은 기업과 대학, 연구소의 밀접한 협력관계에 기인하고 있으며, 신소재의 기초연구부터 상용화까지 연구단체 산하에 있는 250여개 연구소와 유기적 관계를 추진 중이다(지식경제부, 2012.12).

독일 국가혁신시스템의 강점은 산업에서 혁신적인 기술을 수용하고 이를 비즈니스로 확장 시키는데 우수한 점이다(HBR 포럼 코리아, 2014.06.22.). 독일의 다수 혁신은 오래된 제품이나 사업 방식에 새로운 아이디어와 가능성을 입히는 것이며, 뛰어난 생산 기술을 보유하고 있다. 독일의 산업 기반은 소규모 업체들과 공생하는 시스템으로 독일 기업 중 중소기업이 전체의 99.6%(367만개)를 차지하며, 수출 총액에서 중소기업이 차지하는 비중 또한 80%를 넘어서고 있다. 또한 각 분야에서 필요한 회사들을 연결시켜 주고 사업에 있어 아이디어들을 공유하고 발전시켜 주는 프라운호퍼 연구협회 등 국가 기관이 존재한다.

3) 일본의 국가소재공공연구시스템

일본의 국가소재기술혁신시스템을 구성하는 핵심주체는 기업과 산업정책을 적극적으로 추진하고 있는 정부, 공공연구기관, 산학연 공동연구 주체인 대학, 기반을 구축하고 있는 산업협회와 협력클러스터 등으로 구분할 수 있다. 일본 정부는 ‘산업 활력재생특별조치법’(일명, 산업재생법, 1999~2008)을 제정한 이래로, 경제산업성과 문부과학성이 소재기술개발을 위한 지원사업을 추진하는 동시에 산업협회나 조합 등을 통해 산업체와 긴밀한 관계를 유지하고 있다. 소재분야를 대표하는 일본의 공공연구기관은 물질·재료연구기구(NIMS)이며, 산업기술총합연구소(AIST)도 소재분야의 관련 기술개발을 추진하고 있다. 일본은 정부의 지원을 받는 대학에서도 높은 수준의 소재분야 연구를 수행하고 있으며, 산학 협력을 통해 기업과 긴밀한 관계를 형성하고 있다. 일본은 자체 R&D와 오랜 기술적 전통을 유지하고 있는 경쟁력이 강한 소재기업이 존재하고 있으며, 이들 기업들은 장인정신을 토대로 현장, 현물, 현실 등 3현주의를 바탕으로 한 가이젠(개선) 활동을 추구한다.

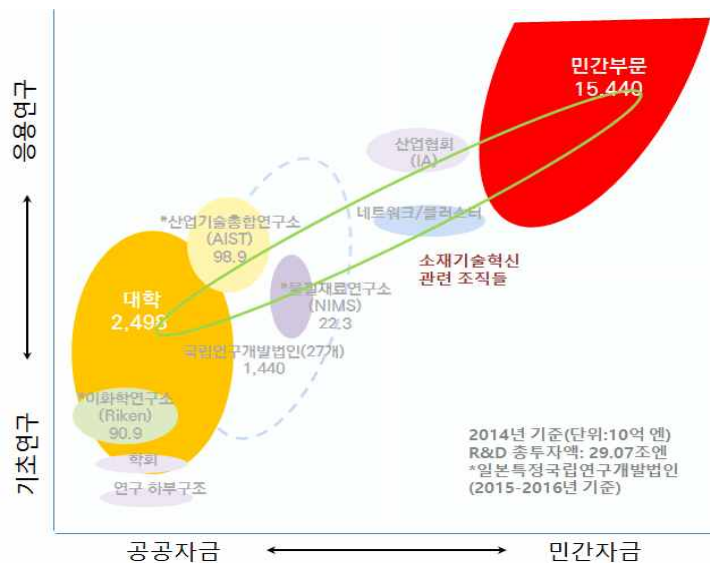
일본 정부는 경제산업성과 문부과학성 등이 나노테크놀로지와 재료 등 4분야에 대한 기술로드맵(2006년), 원소전략(희소금속대체재료개발프로젝트)(2007년), 혁신적 신구조재료기술개발(2013년) 사업 등을 적극적으로 추진해 왔다. 일본 정부는 부품소재산업육성정책 중에서도 전자소재산업을 국가경쟁력을 강화시키는 기본전략으로 인식하고 있다. 이는 일본의 소재산업이 제조업의 1/3을 점유하고 있는 중요 기간산

자가속기(BER II) 등 보유 가속기를 통해 물질과 에너지 연구 등을 수행하고 있음.

18) 클러스터의 대표적 사례는 남부 뮌헨공대에 있는 MAI Carbon Cluster로 여기에는 Audi, BMW, Premium AEROTEC, Eurocopter, Voith, SGL Carbon 등 우주항공, 자동차, 탄소섬유 가공업체를 비롯해 IHK Schwaben(슈바덴 시 상공회의소), 뮌헨공대, 아우구스부르크 대학과 같은 학술기관 등 약 50개의 기관이 협력하고 있음.

업이며 디지털 기기 및 부품 등 하이테크 산업의 기반이 되는 첨단재료를 공급하는 산업의 기반기술이기 때문이다(김윤명, 2005).

일본정부는 전자소재산업의 연구개발비 감축하지 않았으며 90년대 버블경제의 장기불황에서도 소재분야의 연구개발비는 매출액 대비 높은 수준을 유지하였다. 산업의 기반인 소재분야는 정부가 지속적으로 지원을 해야 한다는 정책 기조를 유지하고 있으며, 향후 신소재의 기반이 될 나노테크놀러지 및 재료의 개발에 기업의 참여가 불가피하다는 인식을 공유하고 있다. 자동차 분야의 경우 부품·소재기업을 대상으로 글로벌 니치 톱 기업의 발굴·지원사업을 통해 자금과 인력 측면에서 집중적인 지원을 시행하였다. 공동체제 구축과 혁신적인 기술 니즈의 사업화 등을 위해 참가기업과 대학과 연구기관의 연구기능과의 연대를 촉진하도록 집중적인 지원을 실시하였다



출처: 일본 문부성, 경제산업성 등 홈페이지를 참고

(그림 6) 일본의 국가소재공공연구시스템

일본 정부는 우리와 달리 기업에 대한 직접적인 지원보다는 관련협회나 조합 등을 통해 전자소재 업계를 간접적으로 지원하는 한편 업계의 요구사항을 정책에 반영하는데 주력한다. 사단법인 일본전자재료공업회는 주요 전자재료 종류별 관련 기업들이 참여하는 부회를 운영하고 있으며, 일본정부는 관계 부처의 공무원이 퇴직하면 관련 협회나 조합의 집행 책임자로 임명해 정부와 업계간의 채널을 구축한다. 협의 회장은 업계의 대표자가 겸임하지만, 전문이사나 사무국장 등은 정부의 퇴직 공무원을 임명하고 있다. 기타 과학기술 진흥을 위한 구조개혁, 산·학·관 협력체계의 강화, 지역 과학기술 진흥을 위한 정책을 지속적으로 추진하고 있다.

일본 정부는 2001년 4월 1일에 국가출연연구소를 대대적으로 통폐합하는 구조조정을 단행하였는데 소재와 관련된 공공연구조직으로는 물질·재료연구소(NIMS)와

산업기술총합연구소(AIST)를 들 수 있다. NIMS는 금속재료기술연구소(NRIM)와 무기재료연구소(NIRIM)가 통합되어 문부과학성 산하의 독립행정법인으로 설립된 것으로, 2016년에는 특정국립연구개발법인¹⁹⁾으로 지정되었다. 경제산업성(METI) 산하의 국립연구소 및 시험기관들도 산업기술총합연구소(AIST)라는 독립법인 형식으로 새로이 출범하였고, AIST도 2016년 특정국립연구개발법인으로 지정되었다.

<표 2> NIMS의 연구거점 및 주요 연구내용

구 분	주요 연구내용
①기능성재료 연구거점	없었던 물건, 만들 수 없었던 물건을 만들고 미래를 키우는 연구
②에너지·환경재료 연구거점	에너지·환경재료에 관한 세계 최고 연구
③자성·스핀트로닉스 재료연구거점	에너지 절약 디바이스를 위한 자성, 스핀트로닉스 재료에 대한 기초연구
④구조재료연구거점	국토강화와 산업경쟁력 강화를 위해 구조재료연구를 산학과 융합으로 추진하는 연구
⑤국제나노 아키텍트닉스연구거점	나노기술·재료과학의 세계 최고 연구
⑥첨단재료분석 연구거점	재료혁신을 가속화하는 첨단기술 연구
⑦정보통합물질·재료 연구거점	정보통합형의 새로운 과학을 이용하여 물질·재료연구를 진행할 혁신적 연구

출처: NIMS 홈페이지, <http://www.nims.go.jp>

NIMS는 국립연구개발법인 물질·재료연구기구법에 근거하여 설립되어 물질과 재료과학기술 수준을 향상시키는 것을 목적으로 하고 있다. NIMS의 설립목적은 물질·재료과학기술에 관한 기초연구 및 기반연구개발, 연구개발성과의 보급과 활용 촉진, NIMS의 시설 및 설비의 공동사용, 연구자·기술자의 양성 및 자질 향상 등이다. NIMS가 추구하는 향후 20년간 중장기 재료전략은 새로운 연구분야 개척: 탄소나노 튜브나 풀러렌(Fullerene) 등 분야에서 독창적인 탐색연구를 추진하는 것이다²⁰⁾. 또한 강한 연구분야를 더욱 강화하고 장기적·안정적 시각에서 NIMS가 지금까지 쌓아온 강점 분야를 더욱 강화하기 위해 기초·기반연구에 의한 신물질·소재를 개발하는 것이다, 그리고 NIMS가 보유하고 있는 세계 최고수준의 최첨단 연구설비의 정비 및 개발, 최첨단 나노기술의 개발과 응용을 목표로 한다.

산업기술총합연구소(AIST)에서는 8개의 주요 연구분야 중 ‘재료와 화학(Material

19) 특정국립연구개발법인은 세계적으로 높이 평가받는 탁월한 인재에 대해 차별화된 급여와 보수를 도입하고 혁신적인 기초연구 성과를 창출하는 것을 목적으로 하며, 이화학연구소(RIKEN), 산업기술총합연구소(AIST), 물질재료연구기구(NIMS)가 선정되었음 (출처: S&T GPS(글로벌 과학기술정책정보 서비스))

20) 트랜지스터, 초격자, 터널자기저항 등 나노스케일 물질, 재료과학분야의 개척과 금속·세라믹, 유기, 바이오 등 분야를 초월하는 융합을 통해 새로운 연구분야의 창출을 추진

and Chemistry)’에서 소재관련 연구를 수행하고 있다. 나노소재연구단(unit), 무기기능재료연구단, 구조재료연구단, 첨단기능재료의 전산설계 연구센터, 자력분말 야금 연구센터 등이 운영되고 있다²¹⁾.

일본에서의 산·학 연계체제 구축은 1999년 8월 일본판 베이-돌 법(Bayh-Dole Act) 제정으로 시작되었고, 철저한 한 중앙정부 주도로 제도적 인프라를 구축하였다. 일본정부는 국립대학법인화, 기술이전촉진법 제정, 바이오 클러스터 조성 등 산학연계 지원정책을 통해 적극적으로 대학의 산학협력 촉진 및 기술사업화를 장려하고 있다. 산업계로 기술이전을 촉진하기 위해, 기술이전조직(TLO) 설치 및 기술이전 대상기업에 대한 임원 겸임을 가능케 하는 대학교수의 겸업규제 완화, 산·학·관에 의한 공동연구 프로젝트 등 지원이 추진되고 있다. 특히 일본 토호쿠(東北)대학의 금속재료연구소(IMR)²²⁾는 세계 재료과학분야를 선도하는 연구소로 물질·재료 전반의 기초 및 응용연구를 수행하고 있다.

일본의 소재 중소기업들은 오랫동안 축적된 연구기술 및 노하우, 일관된 고품질 보증시스템을 유지하고 있으며, 대기업들과 장기간 공동으로 기술개발협력을 추진해오고 있다(매일경제, 2012.07.09.). 일본 소재기업들은 장기근무형 인력 관리를 통해 기술력을 축적, 확보하고 있으며, 이는 기술역량의 원천으로 작용한다. 일본 기업들은 모노즈쿠리의 힘을 키우기 위해 수요·공급업체 간 기술 승계를 추진하고 있는데 이는 최종 가공조립 기업과 부품·소재 기업이 협력해 기술 축적을 진행하는데서 나타난다. 또한 일본기업은 제품 설계 단계부터 협력사들을 적극 참여시키는 ‘R&BD’ 시스템을 구축하고 신뢰를 기반으로 대·중소기업 간 협력을 추진하고 있다. 새로운 화합물질을 합성, 개발하는 데 수십 년이 걸림에도 불구하고 중소기업이 투자를 철회하지 않고 지속할 수 있는 것은 이들을 믿고 지원하는 대기업이 있기 때문이다(전자신문, 2009.12.07)²³⁾²⁴⁾.

3) 대한민국의 국가소재공공연구시스템

대한민국의 소재기술혁신시스템을 구성하는 핵심주체로는 산업기술정책을 추진하고 있는 정부, 출연(연) 등 공공연구기관, 기초연구와 산학협력연구 주체인 대학, 일

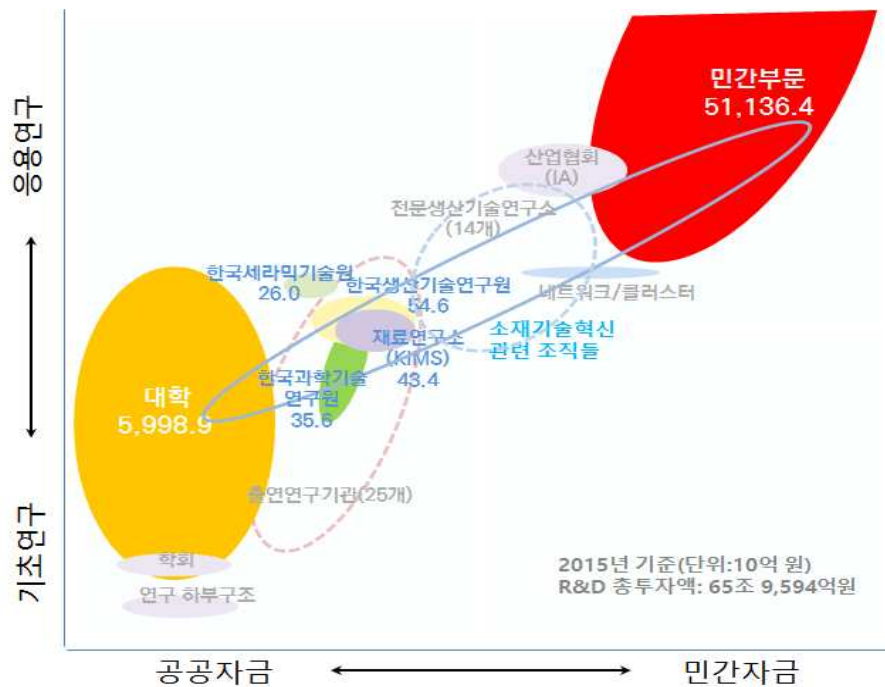
21) 무기기능재료연구단(IFMRI)의 경우는 11 개의 연구 그룹, 약 70 명의 연구원으로 구성되어 있으며, 업계와의 긴밀한 관계를 지속적으로 구축하고 혁신적인 기술의 상업화를 추구하고 있음.

22) 금속재료연구소는 1916년에 설립되어 철강재료연구에서 출발하여 금속을 비롯해 반도체, 세라믹, 유기 화합물 재료, 복합 재료 등 분야에서 연구를 수행, 산학협력연구도 활발하여 최근 일본 TPR 공업 및 전기 기기 메이커와 공동으로 높은 결정성과 큰 비표면적을 겸비하는 오픈셀(open cell)형 다공성 탄소(porous carbon)의 개발에 성공함(2015. 11).

23) 일본 내 완성품업체와 소재·부품 업체들은 가까이 밀집되어 긴밀한 협력을 추진하고 있는데 동경 오타구, 히가시오사카, 스와호수 주변(치노茅野, 시오지리:ㄹ22633;尻, 카미스와:上諏訪, 시모스와:下諏訪), 하마마쓰 등이 대표 집적지임.

24) 도레이 기업은 1926년 세계 최초로 설립된 소재기업으로, 3,000여명의 연구인력과 9개의 연구소를 보유한 기술 기반 업체로 지역 소재 산업의 육성을 위해 주도적으로 나서고 있음((전자신문, 2009.12.07).

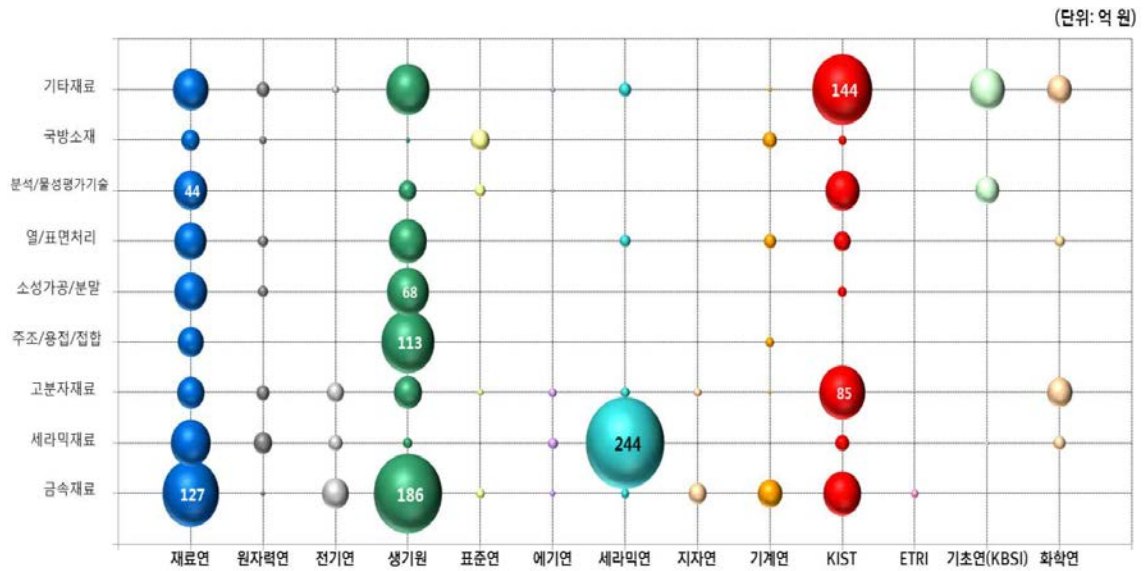
부 대기업과 다수의 중소기업으로 구성된 소재기업, 그리고 이를 뒷받침하는 하부구조를 들 수 있다. 정부는 4차에 걸친 소재·부품발전 기본계획을 통해 소재기업의 육성 기반 조성 및 양적 성장, 핵심소재의 개발과 미래선도 소재기술개발을 지원해 왔다. 정부의 지원을 받는 공공연구기관인 출연(연) 중 소재관련 기술개발을 수행하는 주된 기관으로는 한국생산기술연구원(KITECH), 한국세라믹기술원, 한국과학기술연구원(KIST), 한국기계연구원 부설 재료연구소 등이 있다. 국내 대학의 재료 혹은 소재 관련 학과는 258개가 운영되고 있으며, 연간 약 4,000여명의 졸업생을 배출하고 있다. 국내 소재기업은 세계 6위권의 소재산업 규모를 보유하고 있으며, 일부 대기업을 제외하고는 상대적으로 혁신역량이 취약한 중소기업으로 구성이 되어 있다.



(그림 7) 대한민국의 국가소재공공연구시스템

공공연구 부문에서는 현재 정부 출연연구기관 25개(부설 포함)와 전문생산기술연구소(산업부 소관) 14개 등이 운영되고 있다. 이중 소재 관련 연구를 연간 100억원 이상으로 수행하고 있는 출연(연)은 3개(재료연구소, 한국생산기술연구원, 한국과학기술연구원)와 산업기술혁신촉진법에 의해 설립된 한국세라믹기술원이 있으며²⁵⁾ 금속재료 분야, 세라믹재료, 고분자재료, 분석·물성평가기술 분야에서 다양한 공공연구기관들이 연구에 참여하고 있다.

25) 기타 한국화학연구원과 한국기초과학지원연구원, 한국전기연구원, 한국기계연구원, 한국원자력연구원 등도 10억원에서 100억원 이하 규모로 소재관련 연구를 수행하고 있다.



(그림 8) 재료분야 정부 연구비 투자 현황(2015년)

대학에서의 재료 혹은 소재 관련 학과와 연구소는 소규모의 기초연구 수행과 산학협력을 통한 산업계의 기술수요와 애로를 해결하는 한편, 관련 분야 인력배출을 통해 국가소재기술혁신시스템에 기여하고 있다. 2017년 영국 QS대학평가기관의 평가에 따르면, 국내 재료과학 관련 학과 중 세계 100위 안에 든 학과는 카이스트, 서울대, 포항공대, 성균관대, 한양대 등으로 나타났다. 재료 또는 소재 분야 대학원의 석사과정은 2016년 현재 188개, 박사과정은 183개로 연간 석사 1300여명, 박사 450여명을 배출하고 있다. 또한 최근 대학은 공공연구기관과 연계를 통한 공동연구센터 설립을 통해 새로운 학연모델을 구축하고 있다²⁶⁾.

정부는 2001년 소재·부품특별법 제정과 시행 이후 4차에 걸친 소재·부품발전 기본계획 수립과 정책 시행을 통해 외형적 성장과 함께 소재산업의 성장기반을 구축하는 성과를 거두었다. 2001년부터 16년간 소재·부품에 대한 정책 지원으로 기반 구축 1조원, 연구개발에 총 3.6조원이 투입되었다²⁷⁾. 정부는 제4차 소재·부품발전 기획계획(2017~2021년)을 통해 5대 소재²⁸⁾ 분야에 대해 50개의 첨단신소재기술을 선정하고 이를 개발하기로 하였으며 특히 4차 계획에서는 2025년까지 민관 합동 4조원을 투자할 계획이며, 소재와 부품 분야의 지원 비율을 7:3으로 유지하여 소재분야의 기술개발 지원에 더욱 중점을 두고 있다.

동 계획에서는 미래 소재 원천기술 확보를 위한 기초연구 확대와 첨단 소재 정보를 수집·재생산을 위한 빅데이터와 물성 소재발굴을 위한 계산과학 플랫폼 구축, 가상공학 전문 R&D인력 양성을 추진한다. 정부는 2016년 소재분야 기업체와 연구기관과 함께 신소재산업협의회를 발족하여 첨단 고부가 소재 관련 소재기업·중소부품

26) 창원대학은 재료연구소와 협약을 통해 공동‘소재부품 신뢰성 연구센터’를 유치함 (2015.5.8.).

27) 정부의 국가연구개발 투자에서 소재부문은 2015년 현재 3.92% 비중을 차지함.

28) 1차 금속, 화합물 및 화학, 고무 및 플라스틱, 섬유, 비금속광물을 가리킴.

기업·수요대기업·학계·연구기관 등 산업참여자 전반의 소통강화와 소재 분야간 협력 활성화를 추구려 하고 있다.

현재 국내의 소재기업은 양적 성장에서 질적 성장으로의 변곡점에 위치한 것으로 평가된다(제4차 소재·부품발전 기본계획, 2016.12). 국내 소재산업은 기반과 허리가 취약한 침탐형 생태계 구조로 소수의 대기업과 대부분의 중소기업으로 구성되어 규모의 영세성과 R&D 투자 부진 현상이 나타난다²⁹⁾. 전체 기업의 연구개발 투자 중 소재산업 기업이 차지하는 비중은 2015년 현재 8.9%로 2010년 이후 연평균 증가율은 8.0% 수준을 나타낸다. 소재기업의 매출액 대비 연구개발비는 2014년 현재 제조업 평균 3.6%보다 훨씬 낮은 1.6% 수준이며, 기업당 연구개발비의 경우도 제조업 평균 6.5억원보다 낮은 4.5억원 수준이다. 또한 원천기술이 중요한 소재산업 특성에도 불구하고, 연구개발 인력 비중이 낮고, 특히 융·복합 소재 인력이 부족하다³⁰⁾.

국내 소재산업은 2013년 현재 생산유발계수가 2.067로 전산업 평균 1.974보다 높으나, 부가가치 유발계수의 경우 0.557로 전산업 평균 0.669보다 낮다³¹⁾(한국은행, 산업연관분석 2015). 국내 소재산업은 부가가치유발계수(0.557)가 수입유발계수(0.443)보다 크나 전 산업 평균을 고려하는 경우 상대적으로 수입유발효과가 크다는 것을 가리킨다. 따라서 소재산업의 생산유발효과는 전 산업과 비교할 때 수입유발효과에 의존하는 비율이 높다는 것을 의미하며, 이는 또한 국내 소재산업의 기술수준과 산업기반이 상대적으로 취약하다는 점을 시사한다.

2. 독일, 일본, 대한민국의 국가소재공공연구시스템의 비교결과

독일, 일본, 한국의 국가소재공공연구시스템을 비교해 보면, 독일의 시스템은 분산형을 지향하는 반면, 일본은 집중형, 한국은 복잡형 형태로 운영되고 있는 것으로 나타난다. 독일은 오랜 공공연구기관의 역사와 함께 기초연구(막스플랑크), 장기적 응용개발 연구(라이프니츠), 대형시설 장비 운영(헬름홀츠), 단기적 응용개발연구(프라운호퍼) 주체가 구분되어 소재 분야의 연구를 추진하는 분산형이다. 일본은 공공연구기관의 법인화를 통해 분야별 공공연구의 집중화를 추구한 결과 소재 분야는 물질·재료연구소가 주도하고 산업기술종합연구소가 일부 수행하는 집중형 형태로 나타난다. 한국은 기술분야별 공공연구기관이 설립·운영된 결과 다양한 기술분야를 포괄하는 소재분야는 다양한 출연(연)과 전문생산기술연구소 등이 담당하고 있는 복잡형의 형태를 띄고 있다.

독일의 공공연구기관에서의 소재분야 연구는 각 기관들이 관련 분야를 수행하고 있으나 연구단계별로 구분된 공공연구기관의 전통에 따라 자연스럽게 구분되고 연

29) 2014년 기준 소재산업에서 종업원수가 300인 이상은 1.8%(139개사)로서 중소기업 비중이 98.2% 수준임(소재기술백서, 2016)

30) 종업원수 대비 연구인력 비율 : (소재) 13.8%, (부품) 26.5%('16년 KISTEP 연구개발 활동조사 보고서)

31) 이는 생산유발효과에서 수입유발효과가 전산업 평균보다 높다는 사실을 의미한다.

계되는 특징을 가진다. 독일의 강점은 막스프랑크 연구기관은 대학과 연계한 기초 연구, 프라운호퍼 연구기관은 산업계와의 긴밀한 협력을 통한 연구, 라이프니츠 연구기관은 중장기적 관점에서 응용과 개발연구를 수행하는 분화된 공공연구시스템이다. 헬름홀츠 연구기관은 거대과학 등 대형연구와 다양한 연구기관들과 대규모 시설과 장비를 사용하는 연구를 공동으로 수행하는 연구기관의 역할을 수행한다. 소재 분야 공공연구의 경우도 이러한 원칙으로 적용되고 있어 관련 연구기관들간의 경쟁보다는 협력과 연계가 잘 이루어지고 있다. 또한 관련 연구기관간 협력과 연계를 촉진하는 것은 연구기관별로 배분하는 독일의 공공연구시스템에서의 연구비 배분 원칙이다.

일본은 부처의 기능을 지원하는 공공연구시스템을 유지해 오다가 2001년 독립행정법인화를 추진한 이후, 2014년에 국립연구개발법인(연구개발 성과 확보를 목적으로 하는 법인)으로 구분되었고, 2016년에 특정국립연구개발법인 지정(3개 지정) 과정을 통해 공공연구의 분야별 집중화를 추진해 오고 있다. 집중화의 대표적 공공연구기관인 물질·재료연구소(연구기구)는 2001년 금속재료기술연구소와 무기재료연구소를 통합하여 독립행정법인화 되었다. 금속재료기술연구소(NRIM)와 무기재료연구소(NIRIM)의 통합은 당시 나노기술과 재료분야에 대한 일본의 적극적인 정책의지가 반영된 결과이다. 이는 제2기 과학기술기본계획에서 일본이 우세한 나노기술과 재료분야가 중점분야로 제시되었고 이에 따라 나노기술과 재료분야에 대한 일본 정부의 적극적인 대응에 따른 결과이다(文部科學省, 2001). 현재 동 연구소는 현재 세계적 공공연구기관을 지향하는 특정국립연구개발법인으로 지정되어 물질 및 재료연구 전반에 관한 기초연구 및 기반연구와 개발을 종합적으로 추진하고 있다. 한편, 산업기술융합연구소에서는 나노소재, 무기기능재료, 구조재료 등 분야에서 기업과 연계를 통한 혁신적 기술의 상업화를 추구하고 있다.

한국의 경우 기술분야별 공공연구기관이 운영되는 상황에서 소재분야를 각 기관들이 다루어 오다가 소재·부품산업 육성과 나노기술에 대한 정부의 지원이 확대되면서 소재분야에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔다. 결과적으로 소재 분야에 대한 공공연구시스템은 체계화되지 못한 채 과제를 중심으로 다수의 공공연구기관이 정부과제 등에 참여하는 형태를 띠게 되었다. 공공연구기관인 출연연들이 소재 및 나노기술 개발에 경쟁적으로 참여하여 현재 경쟁과 협력관계를 형성하고 있다. 이로 인해 재료기술 관련 연구는 소재·부품발전 기본계획에 따라 주요 산업계를 지원하는 응용개발 형태로 진행되었고, 나노기술육성 지원사업을 통해 기초적인 연구가 수행되었다. 한편, 재료기술 연구를 지향하는 대표기관으로 한국기계연구원 부설로 재료연구소가 2007년에 설립되어 10년의 역사를 가지고 있으나 부설기관이라는 한계로 인해 제한된 소재분야의 연구를 수행하고 있는 등 현재 한국의 소재공공연구시스템은 기능이나 분야가 정비되고 분리되지 않은 상태에서 경쟁과 협력이 이루어지는 복잡형의 형태를 띠고 있다는 것을 알 수 있다.

IV. 결론 및 시사점

우리의 소재분야 공공연구시스템은 분산형의 성격을 띠지만 기초와 응용개발 연구기관의 성격이 잘 분화되어 있는 독일과도 다른 복잡형으로 성격을 규정할 수 있다. 국가별 비교 관점에서 분석할 때 공공기관의 형태는 일본형이나 소재분야 연구는 독일형과 가까운 연구형태를 지향하고 있다. 이는 기업에 대한 기술지원을 주된 목적으로 소재분야의 공공연구가 시작된 배경으로 인해 소재분야의 공공연구는 산업기술을 지원하는 출연연구기관들이 다양한 소재분야를 대상으로 독자적으로 연구를 수행해 온 것에 기인한다. 우리의 소재분야에 대한 공공연구는 소재·부품발전 기본계획에 따라 산업의 관점에서 부품과 연계되어 기술개발이 추구되어 온 결과이며 소재분야에서 공공연구시스템은 최종 목적 지향, 즉 산업지원 지향적 관점에서 추진되어 왔다. 결과적으로 소재분야에서의 공공연구시스템의 존재나 시스템의 체계화 등은 정부정책의 범주에 포함되지 못하였다. 소재분야를 주요 기술분야로 인식하고 기초에서부터 응용·개발 또는 국가적 차원에서 추구하는 기술수준 및 신기술 개발을 위한 공공연구 시스템의 역할 조정과 시스템 구축 등 국가적 노력이 요구된다.

그러나 소재분야에 대한 공공연구시스템의 바람직한 방향이 자유방임형인가 혹은 중앙집중형인가 아니면 절충형인가 등의 문제제기가 가능하며, 여기에 대한 해법은 소재분야를 둘러싼 국가 내외적 조건(condition)에 의해 결정될 수 있다. 여기에는 자원과 인력, 그리고 국가적인 연구역량 등이 고려되어야 한다. 역사적으로 바라볼 때, 산업기술 수요에 대한 국가적 대응 방식은 초기에는 시장 수요지향적인 접근 중심에서 어느 정도 이러한 수요가 충족되어 가면서 수요와 공급을 동시에 추구하는 균형적인 접근방식이 채택되었다.

현재 우리의 상황이 이러한 조건들을 감안하여 소재분야에 대한 공공연구시스템에 대한 향후 정책적 방향을 고려하여야 할 시점으로 판단된다. 소재기술 분야에 대한 공공연구예산의 일정 규모 투입, 다양한 공공연구기관의 참여, 소재기술에 대한 산업수요 대응 및 새로운 소재기술 개발 및 이에 대한 체계적 연구의 필요성 등 소재기술 분야에 대한 공공연구시스템의 수요와 공급의 균형이라는 관점에서 향후 우리의 소재분야 공공연구시스템이 정비가 요구되는 상황이다.

현재 정부출연(연)은 다양한 기관들이 다양한 분야에서 소재 관련 연구를 수행하고 있다. 정부출연(연)으로 소재분야를 대표하는 기관은 한국기계연구원 부설로 2007년에 설립된 재료연구소라 할 수 있다. 그러나 재료연구소는 2016년 현재 정부출연(연) 예산의 1.7% 비중을 사용하는 연구주체이다. 재료연구소의 경우 한국기계연구원 부설이라는 점에서 주된 분야가 금속재료에 초점을 두고 있다. 한편, KITECH, KIST, KICET, KRICT 등도 소재 분야의 연구에 참여하고 있다. 각개약

진행으로 정의할 수 있듯이 현재의 공공연구시스템은 국가적 목적과 기업수요를 체계화한 상태에서 기술개발이 이루어지지 않고 있는 것으로 나타난다. 신소재 개발과 현재 기업의 소재기술 수요를 충족시킬 수 있는 체계화된 공공연구과 관련시스템의 정비가 필요한 시점이다. 출연(연)의 원천기술 개발 및 공통기반기술 개발 역량 제고를 통해 국가적 목적의 신기술 개발은 물론 공통애로기술 및 기업의 기술수요를 상호 연계하는 공공연구시스템을 구축할 필요성이 있다. 소재 분야의 원천기술개발부터 신소재 기술 개발 그리고 공통애로기술개발 등의 연구를 국가적 차원에서 기능별, 혹은 분야별로 조정하는 기능이 요구된다. 따라서 우리의 소재 분야 공공연구시스템은 한정된 자원을 효과적이고 효율적으로 운영하기 위해 일정한 규모 수준에 도달하기 전까지는 대표기관 중심으로 운영되는 집중형의 형태가 더욱 바람직할 것이다.

참 고 문 헌

- 국가과학기술연구회 (2015), 「2015 NST Annual Report」.
- 국가과학기술심의회 (2015), 「미래소재산업 선도국 실현을 위한 그래핀 사업화 촉진 기술 로드맵(안)(2015~2020)」.
- 국가과학기술위원회 (2010), 「소재R&D 체계 정비」.
- 국가과학기술자문회의 (2015), 「미래 신시장 선점을 위한 소재기술 혁신방안」.
- 국가과학기술연구회 통합통계정보서비스(NSTI), “각 기관의 인력·예산·성과 현황”, <http://stat.nst.re.kr/stat/org/listOrg.do/> (2017.03.02.).
- 글로벌 과학기술정책정보 서비스, S&T GPS (2017), <http://www.now.go.kr/> (2017.03.24.).
- 기획재정부 (2015), 「2014년도 공공기관 경영실적 평가보고서」.
- 관계부처 합동 (2016), 「제4차 소재·발전 기본계획」, 산업통상자원부.
- 대한무역투자진흥공사 (2015), 「Investment Opportunities in Korea: Parts and Materials 2015」.
- 델로이트 글로벌 & 미국경쟁력위원회(2016), 「2016 국제제조업 경쟁력 지수」.
- 송위진 (2005), 새로운 국가혁신체제 구축 전략: 모방에서 창조로, 「과학기술정책」, 153, 서울: 과학기술정책연구원, 1-16.
- 서행아 (2016), 「중국 “3차 5개년 국가 과학기술혁신 계획” 특징과 시사점」, 서울: 한국과학기술기획평가원.
- 용태석, 이상남, 박주현 (2015), 「미래산업 대응 소재의 정부 R&D 투자 방향」, 서울: 한국과학기술기획평가원.
- 이장재 (2016), “기술혁신국 중국: 새로운 해석과 대응과제”, 「과학과 기술」, Vol. 569, 56-61.
- 장진영 (2016), 「사례를 통해 본 화학소재기업의 리질리언스(Resilience)」, 삼성KPMG 경제연구원.
- 전북 창조경제혁신센터 출범식 축사 (2014), <http://www.korea.kr/briefing/speechView.do?newsId=132027904#urlCopy/> (2017.03.24.).
- 지식경제부 (2012), 「소재산업 육성을 통한 질 좋은 고용 창출방안 연구」.
- 재료연구소 (2015), 「한국재료연구원 설립계획(안)」.
- 재료연구소 (2017), “인력, 예산, 성과 현황”, <http://stat.nst.re.kr/stat/org/readOrg.do?orgCd=KIMS/>.
- 팽성일, 김형조 (2016), 「세계시장에서 주요국 소재·부품 수출경쟁력 변화 비교」, 세종: 산업통상자원부.
- 한국과학기술기획평가원 (2015), 「2014년 기술수준평가」.
- 한국생산기술연구원 (2017), <https://www.kitech.re.kr/> (2017.03.15.).
- 한국화학연구원 (2017), <https://www.kRICT.re.kr/> (2017.03.24.).
- 일본 경제산업성 등 (2016) 「PD ISUUE REPORT」
- 일본 ‘國立研究開發法人’ (2017), <https://ja.wikipedia.org/wiki/國立研究開發法人/> (2017.03.15.).

IFAM(Fraunhofer Institute for Manufacturing Technology and Advanced Materials DE),
2015 Annual Report.

IKTS(

Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems DE), 2015 Annual report.

IWM(Fraunhofer Institute for Mechanics of Materials DE), 2015 Annual report.

Networks and Alliances 기관 목록 (2016),
<http://www.ikts.fraunhofer.de/en/aboutus/networks.html/>.

NIMS(National Institute for Materials Science JP) Website (2016), <http://www.nims.go.jp/>.