

재료기술혁신의 원천에 관한 연구

(Study on the Sources of Materials Technology Innovation)

채재우*, 조규갑**, 김정흠***

〈목 차〉

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| I. 서론 | IV. 재료기술혁신 원천간의 상호작용 |
| II. 기술혁신원천에 관한 가설고찰과 분석틀 | V. 요약 및 결론 |
| III. 재료기술혁신 원천 도출 | |

Abstract

This paper attempts to find the sources of materials technology innovation and to analyze the relationships between the sources and materials technology innovation. Starting from the traditional hypothesis on the innovation sources (e.g. technology-push, demand-pull and user-supplier), materials scientific knowledges, materials processing technologies and users' needs are found as three main sources of innovation in materials technology. There are not only close interactions between the sources and materials innovation, but also the interactions among the sources of innovations play important roles for materials technology innovation. This paper discusses the characteristics of interactions between sources of innovation in materials technology. This study on the sources and interactions among sources may provide important information for policymaking in materials technology

Key words: 재료기술, 혁신원천, 재료과학 지식, 재료공정 기술, 사용자 수요

* 한국기계연구원 선임연구원 jaewoo@kmail.kimm.re.kr

** 부산대학교 산업공학과 교수 kkcho@pusan.ac.kr

*** 과학기술연합대학원대학교 교수 kimjh@ust.ac.kr

I. 서론

기술의 변화를 유발하는 원천 혹은 원동력을 규명하고자 하는 연구는 많은 기술경제학자들에 의해서 다양한 가설들이 제기되고 있다. 기술주도(Technology Push), 수요견인(Demand Pull), 공급자(Supplier), 사용자(User)가설 등이 대표적이다. 이러한 가설들을 통해서 합치된 기술혁신의 원천은 효과적인 혁신의 방향과 정책수립에 관한 중요한 정보를 제공한다. 예를 들어, 기술혁신의 주체(사용자, 생산자, 공급자) 관점에서 볼 때 일반적으로 생산자 혹은 공급자가 혁신을 주도하고 혁신의 원천으로 파악될 수 있지만, 경우에 따라서는 사용자가 혁신을 주도하는 원천이 될 수 있다. <표 1>에서 보는 바와 같이 연구기자재, 반도체 및 PCB공정, Pultrusion 공정 등에 있어서는 사용자가 기술혁신의 주요 원천이 되고 있다. 적어도 이러한 산업에서는 생산자보다는 사용자 중심의 기술혁신 정책과 방향을 설정해야 그 효과를 얻을 수 있다. 결과적으로 혁신의 방향과 정책 수립은 혁신의 원천을 정확히 이해하는데서 시작되어야 한다(von Hippel, 1988).

<표 40> 주요산업별 기술혁신의 원천

	혁신의 원천					
	사용자 (%)	생산자 (%)	공급자 (%)	기타 (%)	NA* (건수)	혁신사례 건수
연구기자재	77	23	0	0	17	111
반도체 및 PCB 공정	67	21	0	12	6	49
Pultrusion 공정	90	10	0	0	0	10
트랙터	6	94	0	0	0	16
엔지니어링 플라스틱	10	90	0	0	0	5
플라스틱 접착제	8	92	0	0	4	16
산업용 가스	42	17	33	8	0	12
열가소성수지	43	14	36	7	0	14
유선전화장비	11	33	56	0	2	20

주) * : 분석에서 제외된 혁신사례 건수, % 계산에는 포함하지 않음.

자료원 : von Hippel(1988)

그러나, 혁신의 원천에 관련한 가설과 연구가 전 산업수준에서 옳고 그름을 판단하기 보다는, 산업별 특성에 맞는 원천을 도출하고 이해하는 연구가 더 현실적이다. 왜냐 하면, 산

업별로 기술혁신의 전개방향과 양상이 그 산업이 지니고 있는 기술적 속성이나 환경적 조건에 따라 상당한 차이를 보이고 있기 때문이다(Pavitt, 1984; Levin, et al, 1987; Malerba & Orsenigo, 1997). 이러한 특정 산업중심의 혁신 연구는 산업별 과학기술정책 수립과 긴밀하게 연계될 수 있어 그 중요성이 더해진다.

특히, 수많은 산업 중에서도 재료산업은 제품의 새로운 성능서비스 창출과 기술적 돌파구를 제공하는 기반기술(Enabling Technology)로서 거의 모든 산업기술은 재료기술에 직간접적으로 의존하고 있다(Cahill et al., 1999). 기계 발명의 역사는 우수한 재료의 출현과 새로운 사용에 근거할 정도로 새로운 재료의 발견은 새로운 산업과 경제활동의 출현에 큰 영향을 미쳤다. 오늘날 인류의 삶에 커다란 영향을 미치고 있는 항공우주산업, 정보통신산업, 전기전자산업, 의생명산업 등은 재료분야의 조용한 혁명(Silent Revolution)에 기인하고 있다(OECD 1990). 이처럼 놀랄만한 재료기술의 혁신에도 불구하고 기술혁신이론가 사이에서는 재료혁신과 관련하여 나타난 변화의 본질, 중요성, 원인과 결과에 대한 합의가 부족했다(Lastres, 1994). 여기에 더해, 오늘날의 전략 및 혁신연구는 정보통신기술, 생명공학기술 등 소위 첨단기술에 집중되고 있으며 이러한 편향성은 재료산업을 비롯한 성숙기 산업의 기술개발 정보와 관심 부족으로 이어지고 있다(Janszen et al., 1997).

따라서 본 논문에서는 재료기술의 혁신과정을 대상으로 혁신을 유발시키는 원천이 무엇이며, 이러한 원천간의 상호작용 관계를 파악하고자 한다. 이를 위해 먼저, 기존의 혁신원천에 관한 가설들을 검토하고, 이를 바탕으로 재료기술혁신 원천을 도출하기 위한 개념적 틀을 정립한다. 이 분석의 틀을 통해 재료기술혁신의 원천들에 대해 논의하며, 도출된 원천들간의 상호작용 관계를 설명한다. 끝으로 이러한 재료기술의 원천에 대해 논의가 기술정책의 관점에서 어떻게 활용될 수 있는가에 대해 논한다.

II. 기술혁신원천에 관한 가설고찰과 분석틀

기술혁신의 원천에 관한 기존 학설은 크게 기술주도-수요견인-상호작용으로 이어지는 가설과 공급자-사용자로 이어지는 혁신주체 관점의 2가지로 크게 분류될 수 있다.

1 기술주도, 수요견인, 상호작용 가설

과학주도 혹은 기술주도(Technology Push)가설은 2차대전 이후 1960년대까지 지배적으로 나타났으며, 이 가설은 기술 자체의 발달과 함께 과학적 지식의 발견이 신제품의 발명을 가능케 하고 그 제품을 상업화함으로써 기술혁신이 일어난다는 주장이다. 다시 말해 기술주도 가설은 과학적 지식의 창출이 기술개발을 유발하고 기술혁신을 유도하는 핵심원천이 된다. 대표적인 연구로는 Gibbons & Johnson(1974), Mowery & Rosenberg(1979), Dosi(1988), Nelson & Winter(1977) 등이 있다. 기술주도 가설은 과학기술의 발달과 함께 기술혁신 활동도 활발해진다고 주장하고 있지만, 과학기술적 역량이 뛰어난 국가 혹은 산업에서도 시장수요의 부족으로 기술혁신이 부진한 현상을 설명할 수 없는 약점을 가지고 있다(Lee, 1988).

Schmookler(1966)로 대표되는 수요견인(Demand Pull)설은 1960년대 후반부터 제시되었으며, 기술혁신의 원천이 시장의 수요나 사회의 필요성이라는 주장이다. 즉, 기술혁신의 시작이 시장에서 요구하는 것이나 사회적인 필요성을 충족시키기 위한 활동에서 비롯된다는 것이다. 이 가설에서는 시장 수요의 존재가 기술혁신이 일어나기 위한 필요조건이며, 과학기술 자체는 일종의 보조적인 역할로 파악하고 있다. 대표적인 연구로는 Vernon(1966), Rosenberg(1976), Rothwell, et al(1974), Rothwell(1977) 등이 있다. 수요견인 가설은 시장수요가 충분히 존재하고 이윤기회가 확실한 경우에도 기초과학이나 연관 기술의 발달 없이는 신제품의 개발이나 기술혁신이 이루어지지 못한다는 점을 설명하지 못하고 있다(Lee, 1988).

1960년 1970년대에 기술주도와 수요견인에 학설에 대한 많은 실증분석¹⁾ - HINDSIGHT, TRACES, SHAPPHO 등의 프로젝트이 이루어졌다. 그러나, 많은 연구들의 결론이 일정한 추세를 보여주고 있지 않아 사례분석으로는 공급측 요인과 수요측 요인 어느 쪽이 더 옳은지 판단하기 어렵다(설성수, 1997). 이러한 사례분석을 통해서 만일 어떤 일반화가 가능하다면 기술주도는 산업발전의 초기에 상대적으로 중요성을 갖는 경향이 있고, 수요견인은 상품 개발의 성숙기에 상대적으로 중요성을 갖는 경향이 있다(Freeman et al., 1982). 기술혁신에는 공급측 요인과 수요측 요인이 모두 중요하지만, 공급측 요인이 정책대상으로 선택하기 쉽다는 것이다. 따라서, 기술주도와 수요견인 중 어느 한 쪽의 생각이 일반적인 타당성을 갖는

1) HINDSIGHT : 20개 무기시스템의 개발에 대하여 기초과학, 응용과학, 기술분야가 기여한 공헌도의 비교연구(미국국방성이 지원)

TRACES : 5개의 개발에 관해 군의 계획에 기초한 연구, 군의 계획에 기초하지 않은 연구가 기여한 공헌도 비교연구(미국 국립과학재단이 지원)

SHAPPHO : 화학산업과 소재산업에서 성공은 거둔 혁신과 실패한 사례에 관해서 비교 연구

것은 아니다. 양자의 생각을 결합시키는 것이 산업발전을 효과적으로 설명할 수 있다 (Coombs, et al., 1987). 그 결과 상호작용 가설이 1970년대 중반부터 배태되어 1980년대 초에 구체화 되었다. 본 가설은 기술주도 가설과 수요견인 가설을 결합한 가설로서 기술혁신이 시장의 수요와 기술적 기회의 결합에 의하여 일어난다고 주장한다. 대표적인 연구로 Rothwell & Zegveld(1985)의 상호작용모델(Interactive model)과 Kline & Rosenberg(1986)의 체인연계모델(Chain-Link Model)을 들 수 있다. Rothwell & Zegveld(1985)에 의하면, 상호작용 가설이 시사하는 것은 기술혁신을 촉진하기 위해서는 기술주도 요인뿐만 아니라 시장요인을 모두 감안해야 한다는 것이다. 이러한 상호작용 가설이 현실을 잘 반영하고 있다 하더라도 다양한 요인에 어떻게 자원을 배분할 것인가는 어려운 결정 사항이다.

2. 공급자주도 가설, 사용자주도 가설

기술주도와 시장견인 가설에서는 기술혁신의 주체자는 과학기술 지식이나 수요견인 등의 요인에 수동적으로 반응하는 존재였으나, 혁신의 주체인 사용자와 공급자의 관점에서도 기술혁신의 원천에 관한 연구가 다루어지기 시작했다.

공급자주도 가설은 생산자(Manufacturer) 혹은 공급자(Supplier)가 기술혁신을 주도한다고 가정하고 기술혁신의 원천을 파악한다. 본 가설의 제품혁신은 제품 생산자에 의해서 기본적으로 이루어지고 있음을 가정한다. 공급자 중심의 기술혁신 원천을 고찰한 연구는 Rosenberg(1976), Utterback & Abernathy(1975), Gold(1979), Parkinson(1981), Lundvall(1992), Rothwell(1986), Fransman(1986) 등을 들 수 있으며, 사용자주도 가설이 나오기 전까지는 거의 대부분의 이론이 공급자 중심이었다.

von Hippel(1988), Foxall(1989) 등은 사용자주도 가설을 주장하였다. 특히 von Hippel은 이익창출의 기능적 관계에 의거해 사용자(User), 생산자(Manufacturer), 공급자(Supplier)로 분류하고 9개 산업의 기술혁신 사례분석을 통해서 기존의 공급자주도 가설과 더불어 사용자중심 혁신(User-as-Innovator)론을 주장하였다²⁾. 본 가설은 사용자가 기술혁신의 리더로서

2) von Hippel은 제품, 공정 혹은 서비스혁신 중 어디에서 이익을 창출하느냐에 따라 사용자, 생산자, 공급자를 기능적 관계에서 분류하고 있다. 즉, 사용을 통해서 이익을 창출하면 사용자(예: 항공기 운송기업), 생산을 통해서 이익을 창출하면 생산자(예, 항공기 제작기업), 사용자와 생산자에게 재료와 부품의 공급을 통해서 이익을 창출하면 공급자로 분류하고 있다. 그러나 기업의 기능적 역할이 고정되지 않고 분석하고자 하

제품 수요를 먼저 인식하고 이것에 대응하기 위하여 아이디어를 창출하고 기술혁신을 주도한다. 사용자는 기술혁신에 필요한 아이디어를 얻게 되며 그 아이디어 일부는 공급자에게 전달하기도 하지만, 더 나아가서는 사용자 자신이 직접 그 아이디어를 가지고 상업적 진입(Entrepreneurial Entry)³⁾을 시도하는 사례도 있다(Lee, 1998). 최근에는 복수의 사용자 집단(커뮤니티)이 혁신의 중요한 주체로 부각되고 있다(Franke, et al, 2003). 이와 같이 사용자는 의사개진, 제품개발 공동참여, 시제품 직접개발, 직접 상업화, 커뮤니티를 통한 혁신과 같이 다양한 방법으로 기술혁신에 영향을 미치고 있다.

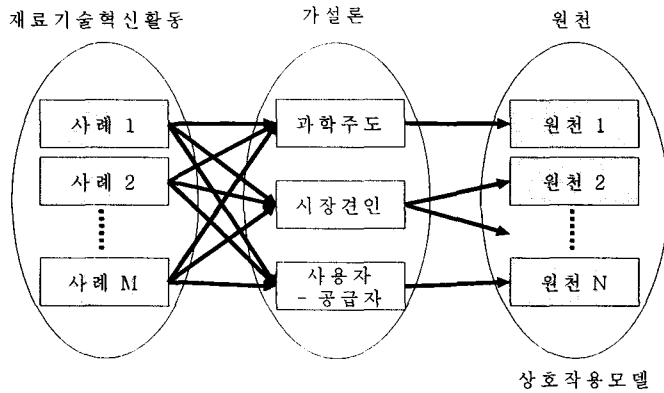
3. 재료기술혁신 원천의 도출 틀

본 논문에서는 하나의 원천이 기술혁신 과정에 결정적인 영향력을 미치는 선형적 사고가 아니라 다수의 혁신 원천에 의해 상호작용하는 관계를 기저에 두고 있다. 또한, 산업별 특성에 따라 가설들의 주도적인 요인이 상이함을 전제로 한다. 따라서 재료기술혁신에서는 '과학기술과 시장수요 중 누가 주도 하는가' 혹은 '사용자와 공급자 중 누가 주도 하는가'에 답하기 보다는, '재료기술혁신의 구체적인 원천이 무엇이며, 원천간의 상호작용 관계는 어떠한가'에 답하고자 한다.

재료기술혁신의 원천을 찾기 위한 방법으로 본 논문에서는 지금까지 논의된 기술주도설, 수요견인설, 사용자-공급자 등 3가지의 가설 관점에서 혁신 원천을 각각 도출하고자 한다. <그림 1>은 이러한 혁신 원천 도출과정을 설명하고 있다.

는 상황에 따라 가변적이다. 예를 들어, 항공기 제작사인 보잉은 운항사 입장에서는 생산자이지만, 공작기계업체 입장에서는 사용자가 된다.

3) 사용자 자신의 직접적인 상업적 진입은 일본의 공작기계 사용자인 자동차 생산업체들이 1950-1960년대에 공작기계산업에 직접 진출 사례에서 찾아볼 수 있다



〈그림 1〉 재료기술혁신 원천의 도출 틀

먼저 재료기술 혁신활동이 기술주도설에서 주장하는 바와 부합하는 사례가 있는지를 살펴보았다. 다시 말해, 재료기술혁신을 기술주도설에 투영하여 기술주도설 관점에서 재료기술혁신을 발생시키는 유발요인을 찾는다. 마찬가지로 수요견인, 사용자-공급자 관점에서도 이와 같은 방법을 수행하였다. 이렇게 해서 도출된 혁신 유발요인 중에서 다수의 유사한 요인은 하나의 요인으로 집약하였다. 집약된 혁신 유발요인을 최종적으로 혁신원천으로 제안하였다.

Ⅲ. 재료기술혁신의 원천 도출

1. 기술주도 관점에서 재료기술혁신

전후 10여년 동안 급속히 증가한 기초연구 과정에서 물질의 마이크로 레벨(원자, 분자, 결정체)에서 조직 구조(Structure)의 과학적인 이해와 제어능력이 축적되었고, 이렇게 축적된 과학기술적 지식이 현대 물질혁명의 주요 촉발요인이라고 할 수 있다. 물질의 내부 결정 구조를 어떻게 제어하고, 재료구조가 재료특성(Property)과 어떻게 연관되어 있는지를 과학적으로 이해할 수 있게 됨으로써 과거의 물리적인 외형만을 변형시키는 것과 달리, 전적으로 새로운 특성을 가지는 재료의 설계와 제조가 가능하게 되었다(Turner et al., 1990; Lastres, 1994).

1980년대부터는 생산의 질적인 향상을 가능케 하는 기구(Instrumentation), 제조장비(Manufacturing Equipment), 자료처리(Data Processing)와 같은 기술의 진보가 구조재료 혁명의 바탕이 되었다(Flemings, 1988). 첨단재료에서의 비교우위 확보는 장비 제조산업 등 인프라산업의 많은 노하우에 종속적이라는 인식이 기업과 공공연구기관에서 점점 증가하고 있다(OECD, 1990). 또한 Electron microscopy, X-ray diffraction, Calorimetry, Nuclear Microscopy와 같은 재료분석을 지원하는 각종 과학 장비의 등장은 재료기술을 더욱 가속화시켰다. 최근 급속히 발달된 정보통신기술(ICT) 및 컴퓨터 활용은 매크로 레벨에서의 재료 특성에 대한 과학적 이해증가와 재료설계에서의 구조, 제조, 수명 등의 관계를 예측하고 설명하는데 큰 도움을 가져왔다. 또한, 바이오, 전자와 같은 재료의 타 영역의 과학적 발전은 재료분야와 이들과의 융합연구가 더욱 활성화되는 기회가 만들어지고 있다.

한편, 재료기술혁신은 물질의 결정구조 규명, 생산장비 및 과학분석장비 발명 등 주변의 과학기술 진보에 기인하고 있지만, 물리·화학과 같은 기초과학에서 발견한 자연현상과 원리, 이른바 과학적 발견이 재료의 합성과 공정기술 혁신에 직접적인 단초로 제공되고 있다. 1911년 네덜란드의 물리학자 Onnes는 영하 273°C에서 전기의 저항이 갑자기 없어지는 초전도 현상(Superconductivity)을 발견하였고, 이러한 물리적 현상이 상온에서도 나타낼 수 있는 재료 이른바 ‘초전도 재료’ 개발의 직접적인 불씨가 되었다. 또한 반도체 현상과 같은 과학적 현상은 과학, 경제, 사회에 커다란 변화를 가져다주는 정보산업 혁명의 시발점이 되었다. 이외에도 <표 2>에서 보는 바와 같이 비정질합금, 열전 및 압전 세라믹스, 나노재료, 고분자 재료 등 신소재라 불리는 많은 재료들은 물리와 화학 등의 과학 지식과 원리의 발견에서부터 혁신 활동이 시작되는 직접적인 연관관계를 가지고 있다. 재료기술을 두고 재료공학(Materials Engineering)이면서도 재료과학(Materials Science)⁴⁾이라고 부르는 이유가 이와 같이 물질 특성과 성능을 원자분자 단위의 결정 구조를 통해 증명하는 과학적 지식에 기반을 두고 있기 때문이다.

결과적으로 과학기술의 진보는 재료기술혁신의 중대한 원천으로 작용하고 있음을 각종 사례를 통해서 알 수 있다.

4) 재료과학 : 재료 구조와 성질의 관계를 연구하는 학문

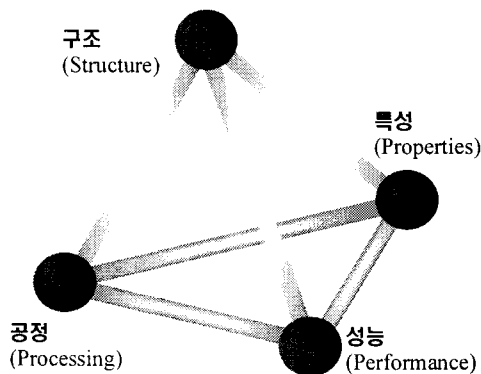
재료공학 : 재료 구조와 재료가 나타내는 특성의 상호관계에 대한 이해로부터 원하는 특성을 가지는 재료를 설계, 생산, 가공하는 분야

<표 41> 과학적 발견과 재료기술혁신의 사례

과학적 발견	발견자 (년도)	재료(공정)명	활용처
전기를 사용하여 화합물로부터 알칼리 금속을 분리하는데 성공하여 금속화합물로부터 순수한 금속을 분리 정제할 수 있는 과학적 지식을 발견	H. Davy (1807년)	알루미늄재료 마그네슘재료	구조재료 등
어떤 종류의 금속이나 합금을 절대영도(0 K: -273.16 °C) 가까이 냉각하였을 때 전기저항이 갑자기 소멸하는 초전도현상 발견	H. K. Onnes (1911년)	초전도재료	초전도자석 초전도선재 등
전기 전도도가 부도체보다는 높고 반도체보다는 낮은 고체 물질에서 어떻게 전류를 통과시키는지를 밝힘.	W. Shockley (1947년)	반도체재료	트랜지스터 집적회로 등
공간내의 분자들이 이온화된 형태로 존재하면 화학적 반응이 매우 활발한 고에너지 상태의 플라즈마를 발견	I. Langmuir (1928년)	플라즈마 코팅	내열합금코팅 등
atom-by-atom deposition을 통해 원자가 불규칙적으로 배열되는 아몰퍼스(amorphus) 현상을 갖는 금속필름을 발견하였고 이후에는 Au-Si 금속 응고를 통해서도 아몰퍼스 제조 가능성을 밝힘.	Buckel & Hilsch (1954년, 1956년)	비정질합금	오디오헤드 자기필터 광메모리
모든 물질은 원자·분자단위의 나노영역(10억분의 1m)에서 기존에 알려지지 않은 에너지·축매활성·자기특성 등을 갖게 되는데, 이런 부분을 제어할 수 있다면 기존 물질의 변형이나 개조는 물론 유용한 재료 또는 소자 등의 창출이 가능한 나노기술의 개념 발견	Feynman (1950년대)	탄소나노재료 나노분말재료	극소형 전자부품 등
서로 다른 두 종류의 금속 또는 반도체 양단을 접합하여 양단을 다른 온도로 유지하면 열기전력이 발생하는 현상 발견	T. Seebeck (1921년)	열전변환재료	온도계측용 열전대 등
압력이 가해졌을 때 전압을 발생하고, 전계가 가해졌을 때 기계적인 변형이 일어나는 압전현상(piezoelectric phenomenon)을 발견	P. Curie & J. Curie (1880년)	압전세라믹스	가스점화용 착화소자, 세라믹필터 등
전기의 절연체를 전기장 내에 놓았을 때 표면에 전하(電荷)가 유기되는 현상을 발견	E.G. von Kleist (1745년)	커패시터 (콘데서)	전자부품
천연고무나 셀룰로오스 등 천연으로 존재하는 고분자화합물의 성질이 밝혀짐에 따라 단위체(單位體)라 불리는 간단한 저분자(低分子)로부터 고분자화합물을 합성할 수 있게 되었음.	H. Staudinger (1930년대 초반)	플라스틱 탄성수지	전기절연재료 합성섬유 엔지니어링 플라스틱 등

주) 본 자료는 재료분야 전문가 면담을 통해서 조사됨.

또 다른 혁신연구에서는 예측 가능한 방법으로 원자, 분자, 결정체를 제어하여 설계 및 엔지니어링 차원에서 새로운 특성을 발휘하도록 하는 재료공정기술(Materials process technology)의 발전도 재료혁명의 촉발 요인이라고 논의되고 있다(OECD 1990, Janszen et al., 1997). <그림 2>에서 보는 바와 같이 재료기술은 구조-특성-성능-공정이 상호 밀접하게 연계되어 있으며, 특히 공정은 재료 성능을 결정하는 중요한 요소로 인식되고 있다(Antón et al. 2001).



자료 :Antón et al.(2001) 재구성

<그림 2> 재료기술의 구성

즉, 과학적 지식의 발견으로부터 새로운 특성의 소재를 개발하기 위해서는 물질의 결정체를 제어할 수 있는 공정기술이 재료기술혁신의 필수 요소이다. 오늘날의 수많은 재료의 증식(Materials proliferation)⁶⁾은 재료의 합금설계를 가능하게 하는 공정기술의 발전에서 기인하고 있다. 한편, 재료공정기술은 재료의 합금화 혹은 합성을 위한 소재화 공정⁷⁾과 소재화 공정을 거쳐 생산된 재료를 사용하여 형상과 기능을 가지는 부품으로 만들기 위한 부품화 공정⁸⁾기술로 나뉘어 진다. 대량생산, 생산성 향상 등을 실현하기 위해 부품화 공정기술은

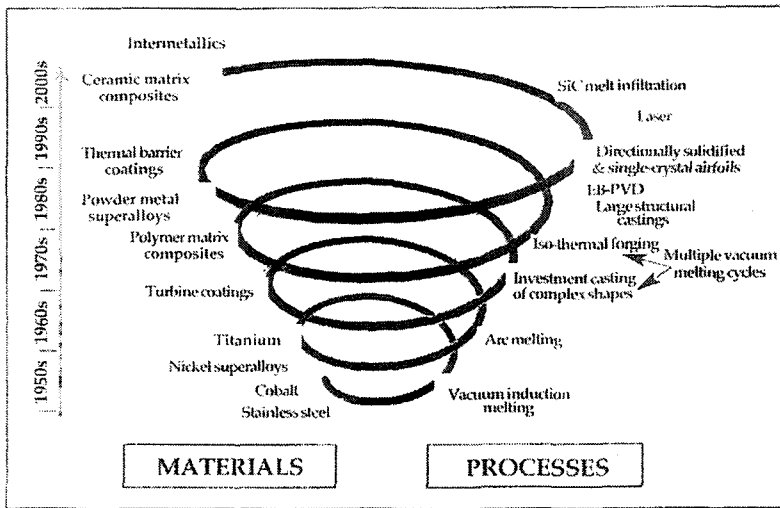
5) 구조적, 전기적, 열적, 화학적, 자기적, 광학적 그리고 이들의 복합적 기능

6) 자동차 1대당 1900년대에는 100종 이하의 재료가 사용된 반면에 현재는 적어도 4,000종 이상의 재료가 사용되고 있다(Clauser, 1975).

7) '소재화 공정'은 광물 등의 원료로부터 추출·정련·용해 등의 공정을 거쳐 기초 소재를 만드는 공정을 말한다.

중요한 기술로 분류된다. 우수한 특성의 재료일지라도 부품으로 성형해야 상품으로서의 가치를 가지며, 재료에서의 부가가치는 부품화 공정기술에서 더 많이 창출될 수 있다.

〈그림 3〉은 제트엔진재료와 공정기술의 역사를 보여주고 있다. 초내열합금, 티타늄합금, 금속간화합물 등의 내열재료 발명과 함께 이들 재료를 다루기 위한 진공유도용해, 단결정 공정, 일방향 응고, 내열코팅 등의 공정기술이 함께 발전해 오고 있음을 보여 주고 있다.



자료 : Schafrik et al., 2004

〈그림 3〉 제트엔진 재료와 공정개발

이렇듯 각종 재료의 발명과 부품의 산업계 적용을 위해서는 공정기술이 혁신의 중요한 원천이 되고 있으며, 재료의 응용 확대를 위해서 〈표 3〉에서 보는 바와 같이 다양한 재료공정기술의 발전이 뒷받침 되어야 한다.

8) '부품화 공정'은 주어진 재료를 사용하여 특정한 용도의 형상을 가지는 단위부품을 성형하는 주조, 소성가공, 열처리, 코팅 등의 공정을 말한다.

〈표 42〉 재료와 관련공정기술의 예시

재료명	소재화 공정기술	부품화 공정기술
초내열합금	<ul style="list-style-type: none"> · Vacuum Induction Melting · Vacuum Arc Melting 	<ul style="list-style-type: none"> · Investment Casting · Single Crystal Casting · Directionally Solidified Casting · Iso-Thermal Forging · EB-PVD · Thermal Barrier Coating · Powder Metallurgy · Diffusion Bonding
고분자 복합재료	<ul style="list-style-type: none"> · Micro Fiber Fabrication · Nano Fiber Fabrication · Carbon/Carbon technology · 수지고온특성향상기술 	<ul style="list-style-type: none"> · Autoclave Process · Pultrusion Process · Resin Transfer Molding Process · Filament Winding Process · Compression Molding Process · In-Situ Process · Fiber Placement System Technology
비철금속 합금 (Al, Mg 등)	<ul style="list-style-type: none"> · 전기분해 · Strip Casting · Die Casting · Squeeze Casting · Continuous Casting 	<ul style="list-style-type: none"> · Warm Rolling · Semi-solid forming · Cladding · Extrusion · Press forming · Swaging · Hot & Cold Rolling
세라믹	<ul style="list-style-type: none"> · 기계적분쇄법 · 용체분무법 · 기상반응법 · 액상반응법 · 고상반응법 · 소결(Sintering) 	<ul style="list-style-type: none"> · Slip casting · Tape casting · Solid Freeform Fabrication · Cold Isostatic Pressing · Injection Moulding · Extrusion · Plasma Spray Coating · Electro Phoretic Deposition
고분자 재료	<ul style="list-style-type: none"> · 부가중합반응 · 사슬중합방안 · 축합중합반응 · 그물망중합방안 	<ul style="list-style-type: none"> · Compression Molding · Transfer Molding · Extrusion · Blow Molding · injection moulding · Calendaring · Thermoforming · Spinning

주) 본 자료는 재료분야 전문가 면담을 통해서 조사됨.

2. 수요조건 관점에서 재료기술혁신

재료산업의 전방산업에 해당되는 부품 및 시스템 섹터의 진보는 새로운 특성의 재료와 보다 더 향상된 재료 성능을 요구하였고, 이러한 산업 수요는 재료의 연구 및 산업화에 중요한 촉매요인이 되었다. 대표적인 수요산업은 항공우주산업과 국방산업이며, 이들 분야는 구조재료개발의 강력한 견인차 역할을 하였다. <표 4>에서는 항공기의 성능 향상을 위해서 최초 개발된 재료의 사례를 보여주고 있다. 첨단재료의 특성상 발명에서 기존소재를 대체하는데 소요되는 과도한 선행투자 비용과 위험성은 기업의 첨단재료 상업화에 큰 걸림돌로 작용하고 있다(Wield, 1995, Maine et al., 2003). 하지만, 미국을 중심으로 하는 항공우주 및 국방산업은 이러한 경제적 논리에서 벗어나 국가적 차원에서 상당한 규모의 연구개발 투자비와 생산이 허용되었다. 또한 이들 재료는 매우 높은 수준의 신뢰성과 안정성을 요구하기 때문에, 재료기술의 수준을 한층 더 높이는데 지대한 공을 세웠다. 이들 산업에서 개발된 재료는 여타의 산업으로 확산(Spin off)되어, 오늘 날의 산업발전에 기여하고 있다. 최근에는 정보기술(IT)의 출현과 성장이 재료기술의 발전을 가속화 시키고 있다. 정보기술은 전자, 광학, 자성 기능을 가진 수많은 신소재의 개발을 요구하고 있다. 이와 같이 첨단재료의 80% 이상을 전자, 자본재, 항공우주에서 사용하고 있다(Lastres, 1994).

<표 43> 항공기 성능향상과 재료개발의 관계

연대	항공기종류	요구특성	재료개발
1930년대	금속재 비행기	구조중량 감소	고력 알루미늄
1950년대	초음속 비행기	건고성 증대	고강도 알루미늄
1960년대	대형/초음속기	엔진성능향상	초내열합금
1980년대	초대형 비행기	구조물 경량화	복합재료
1990년대	스텔스 비행기	레이다 미포착	전파흡수재료
2000년대	초고속 비행체	고온내열성 향상	열차폐 내열재료

자료원 : 한국기계연구원, 1999.

한편, 산업수요 이외에도 환경 보존, 에너지 절약과 재생, 생명 연장, 사회 안전 등의 사

회적 수요(Social needs)가 점점 증대하고 있다. 이러한 수요를 충족시키기 위해 재료 과학자와 엔지니어에게 생산비용을 유지하거나 감소시키면서도 재료의 기능성(Functionality) 증가시키는 재료기술혁신을 지속적으로 요구하고 있다(NRC, 2003). 이른바 환경친화재료, 에너지재료, 생체재료, 지능형 재료 등이 이러한 사회적 수요에 대응하기 위한 대표적인 재료들이다. 이러한 사회적 수요는 경우에 따라 제도화로 이어져 재료연구개발을 활성화하는 사례를 찾아 볼 수 있다. 자동차 배기가스가 심각한 환경문제로 대두되면서 사회적 관심을 불러일으키자 미국 캘리포니아주는 자동차 배기가스 배출 기준을 법제화 하였다. 자동차 생산 기업은 배기가스 배출 기준을 준수하기 위한 방안으로 자동차 재료의 경량화에 관심을 가지기 시작하였고, 그 결과 이 분야에 연구개발 자금이 집중되고 있다(Janszen et al., 1997).

이와 같이 다양한 수요를 충족하기 위해 주요 재료별로 연구개발이 필요한 내용을 <표 5>에서 예시적으로 보여 주고 있다. 결과적으로 산업계 수요(Industrial Needs)와 사회적 수요(Social Needs)는 재료기술혁신의 동인으로 작용하고 있음을 알 수 있다. 이처럼, 첨단재료는 새로운 기술패러다임을 현실화 하고, 경제 환경을 일관성 있게 만드는 도구와 같다고 볼 수 있다(Cohendet, et al., 1988).

<표 44> 주요 재료의 연구개발 수요 예시

ALUMINUM	STEEL	METAL CASTING
<ul style="list-style-type: none"> · High-temperature materials, including refractories · Casting · Advanced forming · Tool and die materials · Databases and modeling · Joining and welding · Materials for hight caustic environments · Rolling and extrusion · Products and microstructure processing 	<ul style="list-style-type: none"> · Wear-resistant materials · High-temperature materials and refractories · Coating properties, processing and applications · Tooling · Joining · Process modeling · Refractory repair (for coke making) · Energy-saving processes 	<ul style="list-style-type: none"> · Computer design tools · Model and die fill modeling · Casting(microstructure, properties and processing) · Dies and coating · Refractories · Reduced emissions · Joining of new alloys · Testing standards · Waste-stream treatment, recycling and use

자료원: NRC, 2003.

3. 사용자-공급자 관점에서 재료기술혁신

재료기술의 혁신 원천으로 공급자와 사용자⁹⁾의 상호작용(Supplier-User interaction)을 주장하고 있다(Cohendet, et al., 1988). 첨단재료의 개발과 생산에서 사용자(수요기업)의 광범위한 참여가 이루어지고 있다. 또한 연구-설계-생산-마케팅-소비간의 연계(linkage)가 보다 더 긴밀해지면서 기업내 부서간 협력, 기업간 보완적 협력이 재료분야의 중요한 특징이 되고 있다(Lastres, 1994).

재료가 주문형 재료(Bespoke materials)화 됨에 따라 공급자와 사용자간의 연구, 설계, 생산, 그리고 시장연계가 점점 더 의존적인 관계로 발전하고 있다. 재료 사용자와 공급자는 그들의 활동을 모두 통합하는 전략적 제휴를 필요로 하고 있다. 아울러 선도고객(대형 전자회사, 자동차기업, 항공우주업체 등)과의 협력이 중요해지고 있다(Wield, et al., 1995). 사용자는 새로운 재료 개발에 필요한 요구 성능을 제공함으로써 재료 개발의 필요조건이 되고 있다(Hansen, et al., 1994).

공급자-사용자 관계에서 더 나아가서 사용자 중심으로 주도권이 이전되는 현상이 나타나기도 한다. 재료과학의 진보는 새로운 응용이 가능한 첨단재료(고분자, 세라믹, 복합재료)의 다양성 창출을 가져왔다(Marcum, 1990). 첨단재료의 출현은 사용자가 제품의 성능향상과 제조편의성을 향상시키기 위해 이용 가능한 재료의 종류를 넓혔다(Waterman, 1987). 따라서 사용자는 몇 종의 범용재료(commodity materials)에서 파생된 제한적 종류에서 재료를 선택하던 환경에서, 보다 더 다양해진 재료종류에서 설계 요구조건에 가장 적합한 재료를 선택하거나, 새로운 특성의 재료를 공급자와 함께 개발할 수 있는 선택권을 가지게 되었다. 사용자는 재료 구매가 마치 시스템의 기술적 문제 해결방안을 구매하는 것과 같이 되었고, 재료산업은 서비스산업처럼 보여 지고 있다. 즉, 재료시장의 주도권이 일방적인 생산자 중심(Producer-driven)에서 사용자(User-led)로 뒤바뀌는 현상을 초래하고 있다(Turner et al., 1990). 또한, 사용자의 재료 선택권은 구매협상력의 증가를 의미하며, 철강 등 전통적인 재료공급자에게는 이러한 구매협상권이 상당한 압력으로 작용하게 된다(Janszen et al., 1997). 경제적 관점에서도 재료산업은 규모의 경제가 아니라 "범위의 경제"로 전환되고 있다

9) 공급자는 재료 혹은 단위부품을 생산하는 기업을 말하며, 사용자는 공급자 산업의 전방산업에 해당하는 모듈부품 및 시스템산업을 말한다.

(Willinger et al., 1988). 이와 같은 현상을 종합해 보면 재료기술혁신에서 사용자(User)의 중요성을 간과할 수 없다.

4. 재료기술혁신의 원천

전술한 바와 같이 기술혁신론에서 거론되고 있는 기술주도설, 수요견인설, 사용자-공급자 가설의 관점에서 재료기술혁신과 관련된 문헌, 기술개발 사례, 면담조사를 통해서 분석해 본 결과 다양한 혁신 유발요인을 <표 6>과 같이 찾을 수 있었다.

기술주도가설의 관점에서 볼 때 재료기술혁신의 유발요인은 다시 2개의 중요한 요인으로 집약될 수 있다. 하나는 물질의 내부구조에 대한 과학적 이해와 과학적 현상 발견 등의 “재료과학 지식”의 진보이며, 다른 하나는 과학적 분석장비·제조장비의 진보 및 재료공정기술의 발전 등과 같은 “재료공정 기술”의 진보이다.

한편, 수요견인설 관점에서는 산업적 수요와 사회적 수요가 재료기술혁신의 중요한 혁신 유발 요인으로 작동하고 있으며, 사용자-공급자 관점에서는 사용자가 중요한 혁신 요인으로 부각되고 있는 상황이다. 이상의 2가지의 요인에서 볼 때 “사용자의 수요”는 재료기술혁신의 또 다른 혁신 원천으로 집약할 수 있다. 여기서 사용자는 재료를 필요로 하는 기업, 산업, 사회, 국가 등 포괄적 의미의 수요자를 말한다. 따라서 본 논문에서는 재료기술혁신의 원천으로 “재료과학 지식”, “재료공정 기술”, “사용자의 수요”를 제안한다. 이들 3개의 혁신 원천의 상호작용에 대해서는 다음 장에서 논한다.

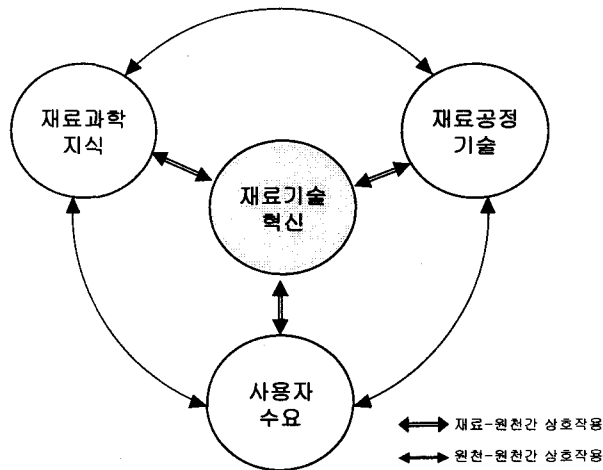
<표 45> 재료기술혁신의 원천

분석의 틀	혁신 유발요인	집약된 원천
기술주도 관점	· 물질의 마이크로 구조에 대한 과학적 이해와 제어	재료과학 지식
	· 물리, 화학적 현상의 발견과 재료 개발	
	· 과학 분석장비, 기구, 제조장비의 기술적 진보	재료공정 기술
	· 재료공정기술의 발전	
수요견인 관점	· 전방산업의 수요	사용자의 수요
	· 사회적 수요	
공급자-사용자 관점	· 공급자-사용자 상호작용	
	· 재료의 다양화에 따른 사용자의 재료 선택권 증대	
	· 사용자 주도의 시장	

IV. 재료기술혁신 원천간의 상호작용

재료기술혁신은 재료과학 지식, 재료공정 기술, 사용자의 수요 등 3가지의 원천에 의해 영향을 받는 결합모델¹⁰⁾을 가지면서 동시에 이들 3가지의 원천 간에도 상호작용이 존재하고 있다. <그림 4>에서 보는 바와 같이, 재료기술혁신 원천은 2가지의 상호작용 유형을 내포하고 있다. 하나는 재료기술과 원천간의 상호작용이고, 다른 하나는 원천과 원천간의 상호작용이다. 각각의 원천은 재료기술혁신을 이끄는 동력원이면서, 동시에 다른 원천의 혁신을 이끄는 동력원이기도 하다. 이는 재료과학 지식, 재료공정 기술, 사용자 자체가 지속적으로 혁신을 해야 하는 당사자임을 의미한다. 그리고 이들 원천간에는 정보 제공과 같은 단순 상호작용을 넘어서, 직접적으로 혁신방향과 기회를 상호 주고받는 관계를 보여 주고 있다.

재료기술혁신 원천을 도출하는 과정에서 재료기술혁신과 원천간의 상호작용 관계는 이미 파악하였으므로, 본 장에서는 <그림 5>와 같이 원천과 원천간의 상호작용 관계를 별도로 분리하여 분석한다.



<그림 4> 재료기술혁신 원천의 상호작용

10) Janszen, et al.(1997)은 재료기술혁신은 하나의 요인에 종속적으로 지배되지 않고, 특정 재료기술과 관련하는 종합적인 기반시스템(Infrastructure System)과 관련이 있다고 한다. 그는 재료와 관련한 혁신시스템의 구조를 3개의 사회적 서브시스템(투자, 제도, 사회문화)과 2개의 자원 시스템(과학기술력, 환경)을 나누고 서브시스템간의 복잡한 피드백 루프를 통해서 혁신과정을 설명하고 있다.

1. 재료과학 지식과 재료공정 기술간 상호작용

새로운 재료과학적 현상과 원리는 재료공정이라는 제조과정에 의해서 물리적인 형태로 형상화 된다. 우수한 특성을 가지는 신 재료의 합성과 합금 개발은 원자분자의 배열과 결정 구조를 제어할 수 있는 공정기술과 대량생산기술에 의해서 가능해진다. 즉, 재료공정 기술은 재료과학 지식을 물리적으로 구현·증명하고 지식 창출을 촉진하는 원천이 된다. 예로 재료에 잔존하는 ppm(100만분의 1)이나, ppb(1억분의 1)의 불순물의 원소가 재료의 특성에 미치는 영향이 재료과학적 차원에서 해명되면서, 재료의 초고순도화는 고성능 구조재료와 화합물 반도체 개발에 불가결한 요소가 되었다. 이러한 초고순화는 전해증류, 아크용해, 전자빔용해, 분위기처리 및 대역정제, 고상전해, 광여기정제 등의 고순도화 공정기술의 개발에 의해서 크게 발전하였다(서영섭외, 2004).

반면, 재료공정기술은 과학기술적 진보에 힘입어 제조 과정상의 물리적·화학적 반응을 이해할 수 있게 되었고, 또한 재료과학 지식이 재료공정으로 이어지는 사례를 찾아 볼 수 있다. 예를 들어, 재료 표면에 원자 적층 원리에 관한 과학적 규명은 내식성, 내열성 향상을 도모하는 적층박막제조기술¹¹⁾의 발전을 가져왔다. 또한 내열성 향상 크립 이론은 초내열 합금의 일방향 단결정 성장 공정기술을 낳았다. 이와 같이 재료과학과 재료공정은 재료기술혁신을 이루는 근간을 이루면서 상호 의존적인 혁신유발 관계에 있다.

2. 재료공정 기술과 사용자 수요간 상호작용

재료공정 기술은 사용자가 요구하는 재료와 부품을 상품화하며 시스템의 혁신에 직접적인 아이디어와 기술적 해결책을 제공함으로써 재료기술혁신을 이끌고 있다. 예를 들어 초소성 성형기술¹²⁾은 시스템의 경량화, 조립공정의 단순화를 위한 직접적인 해결책으로 제시되고 있다. 24개의 기계가공 부품으로 이루어진 AH-64 아파치 헬리콥터의 copilot's floor 부분

11) 재료표면에 코팅하여 재료의 특성을 향상시키는 공정기술.

12) 초소성 성형기술은 엇과 같이 재료가 크게 늘어나는 성질을 가진 초소성 재료(티타늄합금과 알루미늄합금 등)를 가스압력을 이용하여 플라스틱처럼 자유롭게 쉽게 복잡한 형상의 부품을 단일공정으로 제조하는 기술.

품을 초소성 성형공정으로 대체하여 19개의 부품과 193개의 체결기구가 없어지고 7%의 무게감소 효과를 얻은 사례가 있다(Story, 1990). 판재를 연속으로 대량생산하는 박판연속주조 기술은 50% 이상의 에너지 및 가공비용을 각각 절감하여 사용자 측의 원가 절감에 기여하고 있다. 이와 같이 공정단축, 양산체제 정립 등 재료공정 기술의 발전은 사용자 측의 제품 혁신, 비용절감 등의 수요를 충족시키는 작용을 하고 있다.

역으로, 사용자측의 끊임없는 생산성 향상, 기존설비의 재활용, 부품의 성능향상, 환경보존 등 산업적·사회적 문제해결 요구는 재료공정 기술의 개량과 개선의 촉발 요인으로 작용하고 있다. 예를 들어, 1300°C 이상의 초고온에서 견딜 수 있는 가스터빈용 터빈블레이드 성능 향상 요구는 단결정 성장기술, 내열코팅기술(Thermal Barrier Coating)과 미세한 냉각구멍(airfoil)을 성형할 수 있는 정밀주조기술의 발전을 가져왔다. 또한, 환경 오염방지라는 사회적 수요에 부응하기 위해 환경친화적인 공정기술의 개발이 활발해지고 있다. 6가 크롬¹³⁾ 대체 표면처리기술, 재료의 재활용 공정기술, 에너지 저사용 공정기술 등이 대표적으로 개발되고 있으며 속속 산업계에 적용되고 있다.

이와 같이, 재료기술혁신의 원천인 재료공정 기술과 사용자 수요는 시스템과 부품의 대량생산, 생산성 향상, 성능 향상, 환경 보존 등의 목표 달성을 위해서 상호작용하고 있는 관계임을 파악할 수 있다.

3. 재료과학 지식과 사용자 수요간 상호작용

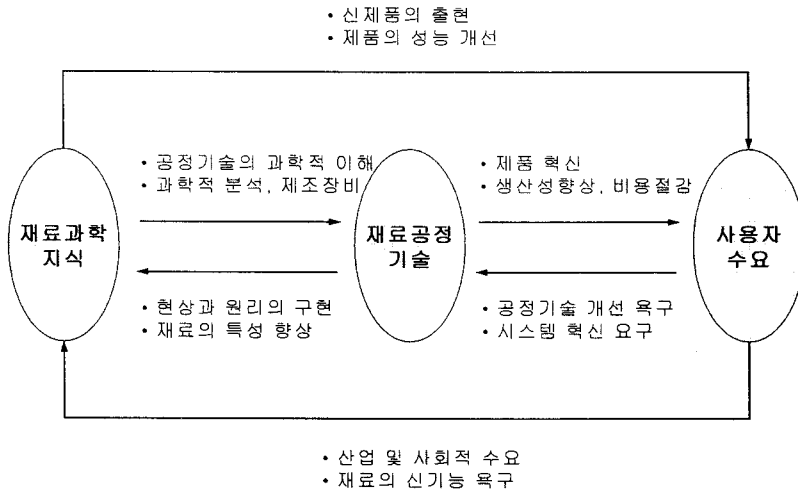
과학적 현상의 발견은 사용자 측의 신제품 개발 및 제품 성능개선과 직접적으로 연관된다. 1908년 발견된 초전도 현상은 비록 많은 시간이 흘렀지만, 초전도 전선, 자기공명영상촬영장비(MRI), 초전도 자기부상열차 등의 출현을 가져왔다. 또한 1923년 반도체에 전압을 가할 때 생기는 발광현상은 총천연색을 구현하는 발광다이오드(LED; Light Emitting Diode)¹⁴⁾의 개발을 가져왔다. LED는 디지털 표시기, 전광판, 안내판, 신호등, 전구 등 우리 생활 곳곳에서 기존제품을 대체하고 있다. 오늘 날에는 사용자 측에서 보다 더 적극적으로 재료과

13) 부식방지제로서 금속표면처리 기술에서 가장 널리 사용되지만 인체 치명적인 독성물질이다.

14) 고휘도의 청색과 녹색을 내는 질화갈륨(GaN) 반도체 재료의 발견으로 비로소 LED가 총천연색을 구현할 수 있게 되었다.

학적 지식을 현실화하기 위해서 자원을 투입하기도 한다. 사용자의 기초연구에 대한 투자 증대가 이를 증명하고 있다. 사용자의 이러한 적극성은 기초연구-응용연구-개발연구의 기간을 단축시켜 과학의 실용화를 앞당기는 역할을 하고 있다.

뿐만 아니라, 기존의 지식과 기술로 해결될 수 없는 시스템 성능의 한계와 사용자의 다양한 기술적 수요는 다시금 재료의 특성과 내부구조 관계를 규명하고 새로운 지식을 창출하는 피드백 역할을 하고 있다. 재료가 거대기업에 의한 독점 공급체제가 되면서, 독점기업과 시스템기업간의 기술적 유착관계는 매우 커지고 있으며 시스템의 성능목표가 곧 바로 재료혁신의 지표가 되기도 한다. 이와 같이 과학과 기술의 학문적 구분이 점점 모호해지고 있는 가운데서 과학자와 사용자의 상호작용이 중요해지고 있다(NRC 2003). 또한 기술혁신 당사자들이 직접 대면하여 기술적 문제를 해결하려는 압축 체제가 나타나고 있다.



〈그림 5〉 재료기술혁신 원천간의 상호작용

V. 요약 및 결론

본 논문에서는 다양한 혁신 원천이 상호작용하는 모델에 이론적 배경을 두고, 재료기술혁신의 원천을 도출하여 기술혁신과 원천간의 상호작용 관계를 분석하였다. 혁신 원천을 도출

하기 위한 분석 틀로 기존의 과학기술주도가설, 수요견인가설, 공급자-사용자가설을 사용하였다. 이들 가설이 주장하는 관점에서 재료기술혁신과 관련한 문헌연구, 사례분석, 면담조사를 통해서 각각의 혁신 유발요인을 도출하였다. 이들 혁신 요인을 집약하여 재료기술혁신의 주요 원천으로 '재료과학 지식', '재료공정 기술', '사용자의 수요' 3가지를 제안하였다. 3가지의 재료기술혁신 원천은 재료기술혁신 과정에 모두 영향을 미치면서도 동시에 혁신 원천 상호간에도 영향을 미치는 2가지 유형의 상호작용을 파악할 수 있었다. 이들 3가지 혁신 원천의 당사자는 과학자(Scientist), 기술자(Engineer), 사용자(User)이며, 이들의 시너지 작용에 의해서 수 많은 재료기술의 장벽이 돌파되고 있다.

혁신의 원천을 분석하는 것은 일반적으로 기술혁신과정의 현상과 본질을 파악하는데 그 목적이 있지만, 특정 산업의 기술정책 대상과 혁신 방향을 정하는데 있어 길잡이 역할을 할 수 있다. 그래서 기술정책의 시작은 혁신 원천에서부터 비롯된다. 본 논문의 결과를 놓고 볼 때, 재료기술의 혁신을 촉진하기 위해서는 '재료과학 지식', '재료공정 기술', '사용자의 수요' 등 3가지의 혁신 원천을 대상으로 투자와 과학기술 정책을 수립할 필요가 있음을 시사한다.

부연하면, 기존에 볼 수 없었던 새로운 특성과 기능을 가진 신 재료기술 개발을 위해서는 재료과학적 기초연구에 대한 투자가 선행되어야 한다. 재료과학 지식에 대한 투자는 상당한 시간과 자금을 필요로 하는 태동기적 성격을 가지면서, 급진적인 혁신의 지식기반을 제공한다. 재료과학 지식은 공공재적 성격을 지니고 있어 새로운 지식을 발견하기 위한 노력보다는 누군가가 발견한 지식을 활용하는데 중점을 둘 수 있다. 그러나 원천기술을 가진 기업이 시장을 독점하는 구조가 심화되고 있어 재료과학에 대한 투자를 소홀히 할 수 없는 상황에 있다.

재료공정 기술은 상업화를 가능하게 하는 시장근접 기술이기 때문에 기업들이 비교적 쉽게 접근할 수 혁신분야이다. 그래서 수요가 풍부한 개도국에서는 재료공정 기술을 중심으로 재료기술혁신 정책을 수립하는 방안이 우선시 될 수 있다. 재료공정 기술은 생산장비 및 시설이 직접적인 혁신의 제약조건이 되므로, 경우에 따라 시설투자와 같은 요소투입 전략과 병행하여 기술정책이 수립되어야 한다. 그러나 개도국의 사례에서 보듯이 재료과학 지식(원천기술)의 창출이 담보되지 않은 재료기술혁신은 그 한계를 가질 수밖에 없다.

재료과학 지식과 재료공정 기술에 관한 혁신전략은 기본적으로 사용자의 수요에 기반을

두고 있다. 재료의 사용자인 전방산업과 사회적 수요를 적극적으로 반영하거나 사용자와 재료공급자가 공동 대응하는 이른바 시장친화적인 기술개발 정책을 강구해야 한다.

이와 같이 재료기술 정책은 3개의 혁신 원천을 동시에 고려해야 지속적인 혁신성과를 창출할 수 있다. 하지만, 미시적인 정책 수립은 산업 상황과 R&D 환경을 보다 더 면밀히 감안해야 한다. 이는 재료의 수명주기 혹은 국가별 재료산업의 환경에 따라 혁신 원천의 영향력이 각각 다를 수 있음을 의미한다. 따라서 혁신원천이 기술정책 수립의 도구로 활용되기 위해서는 재료기술 역량과 산업의 환경에 따른 혁신원천의 영향력에 대한 연구가 필요하다. 이러한 혁신원천의 동태성에 관한 연구는 향후 연구과제로 제시한다.

참고문헌

- 설성수 (1997), “정책적인 관점의 기술혁신 촉진요인”, 한남대학교 산업과학기술연구회 편, 「기술혁신과 산업과학기술정책」, pp. 16-58.
- 서영섭, 백승호, 이철영 (2004), 「신소재 공학」, 기전연구소.
- 한국기계연구원 (1999), 「항공우주 부품용 신소재 기술개발 연구기획사업 최종보고서」, 산업자원부.
- Antón P. S., R. Silbergliitt and J. Schneider (2001), *The Global Technology Revolution: Bio/Nano/Materials Trends and Their Synergies with Information Technology by 2015*, RAND National Defence Research Institute.
- Cahill, E., H. Hernandez and F. Bellido (1999), “Materials and Materials technologies : materials in the making”, *Foresight : The Journal of Futures Studies, Strategic Thinking and Policy*, Vol. 1, No. 06.
- Clauser, H. R. (1975), *Industrials and Engineering Materials*, New York : McGraw-Hill.
- Cohendet, P., M. J. Ledux and E. Zuscovitch (1988), *New Advanced Materials : Economic Dynamics and European Strategy*, Berlin, Springer-Verlag.
- Coombs, R., O. Saviotti and W. Walsch (1987), *Economics and Technological Change*, Macmillan.
- Dosi, G. (1988), “Sources Procedures and Microeconomic Effects of Innovation”, *Journal of*

- Economic Literature*, Vol. 26, September, pp. 1120-1171.
- Flemings, M. C. (1988), "Structural Materials : Metals, Ceramics, Polymers and Composites", *ATAS Bulletins* 5.
- Foxall, G. R. (1989), "User Initiated Product Innovations", *Industrial Marketing Management*, Vol. 18, Issue 2. pp. 95-104.
- Franke, N. and S. Shah (2003), "How Communities Support Innovative Activities: an Exploration of Assistance and Sharing among End-user", *Research Policy*, Vol. 32, pp. 157-178.
- Fransman, M. (1986), *Machinery and Economic Development*, London: Macmillan Press.
- Freeman, C., J. Clark and L. Soete (1982), *Unemployment and Technical Innovation*, London: Frances Pinter.
- Gibbons, M. and R. Johnson (1974), "The Role of Science in Technological Innovation", *Research Policy*, Vol. 3.
- Gold, B. (1979), "Inter-industry Repercussions of Major Technological Innovation", in M. Baker (ed.), *Industrial Innovation-Technology, Policy Diffusion*, London: The Macmillan Press.
- Hansen, P. A. and G. Serin (1994), "Materials Development and Adaptability of Industrial Structure", *Technological Forecasting and Social Change*, 46.
- Janszen, F. and M. Vloemans (1997), "Innovation and the Materials Revolution", *Technovation*, 17(10).
- Kline, S. J. and N. Rosenberg (1986), *An Overview of Innovation*, in *National Academy of Engineering*, The National Academy Press.
- Lastres, H. (1994), *The Advanced Materials Revolution and Japanese System of Innovation*, St. Martin's Press.
- Lee, K. (1998), *The Sources of Capital Goods Innovation - The Role of User Firms in Japan and Korea*, Harwood Academic Publishers.
- Levin, R. D. et al (1987), "Appropriating the Returns from Industrial Research and Development", *Brookings Paper on Economic Activity*, 3, pp. 783-820.
- Lundvall, B. (1992), *National Systems of Innovation - Towards Theory of Innovation and*

- Interactive Learning*, London: Pinter Publishers.
- Maine, E., D. Probert and M. Ashby (2003), "Investing in new materials : a tool for technology managers", *Technovation*.
- Malerba, F. and L. Orsenigo (1997), "Technological Regimes and Sectoral Patterns of Innovative Activities", *Industrials and Corporate Change*, 6(1), pp. 83-117.
- Marcum, J. M. (1990), "Technical Note: Materials: the economics implication", *International Journal of Materials and Product Technology*, 5(2).
- Mowery, D. and N. Rosenberg (1979), "The Influence of Market Demand upon Innovation: A Critical Review of Some Recent Empirical Studies", *Research Policy*, Vol. 8.
- Nelson, R. and S. Winter (1977), "In Search if a Useful Theory of Innovation", *Research Policy*, Vol. 6.
- NRC(National Research Council) (2003), *Materials and Society From Research to Manufacturing: Report of Workshop*, The National Academies Press.
- OECD (1990), *Advanced Materials : Policies and Technological Challenges*, Paris.
- Parkinson, S. (1981), "Successful New Product Development - an International Comparative Study", *R&D Management*, Vol. 11, No. 2, pp. 79-85.
- Pavitt, K. (1984), "Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory", *Research Policy*, Vol. 12, pp. 343-373.
- Rosenberg, N. (1976), *Perspective on Technology*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Rothwell, et al. (1974), "SAPPHO Updated: Project SAPPHO Phase Two", *Research Policy*, Vol 3, No. 3.
- Rothwell, R. and W. Zegveld (1985), *Re-industrialization and Technology*, Harlow: Longman.
- Rothwell, R. (1977), "The Characteristics of Successful Innovators and Technically Progressive Firms", *R&D Management*, Vol. 7, No. 3.
- Rothwell, R. (1986), "Innovation and Re-innovation: A Role of the User", *Journal of Marketing Management*, Vol 2, No. 2.
- Schafrik, R. and R. Sprague (2004), "Gas Turbine Materials Part 1", *Advanced Materials & Process*, p. 34, March.
- Schmookler, J. (1966), *Invention and Economic Growth*, Harvard University Press,

Cambridge, Mass.

- Story, J. M. (1990), "Part Selection Critical and Design Considerations for the Use of Superplastically Formed Aluminum for Aerospace Structure", *Superplasticity in Aerospace II*, edited by McNelley, T. R and Heikkinen, H. C., TMS, pp. 151-166.
- Turner, C., R. Roy and D. Wield (1990), "Materials : A New Revolutionary Generic Technology? Condition and Policies for Innovation", *Technology Analysis and Strategic Management*, Vol. 2, No. 3.
- Utterback, J. and W. Abernathy (1975), "A Dynamic Model of Process and Product Innovation", *Omega*, Vol. 3.
- Vernon, R. (1966), "International Investment and International Trade in the Product Cycle", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 80. pp. 190-207.
- von Hippel, E. (1988), *The Source of Innovation*, Oxford University Press.
- Waterman, N. A. (1987), "Materials for Today & Tomorrow", paper no 3 in DTI, *Profit Through Materials Technology - Paper and Case Studies - Promat*, London: HMSO.
- Wield, D. and R. Roy (1995), "R&D and Corporate Strategies in UK Materials- Innovating Companies", *Technovation*, 15(4).
- Willinger, M. and E. Zuscovitch (1988), "Towards the Economics of Information-intensive Production Systems: the Case of Advanced Materials", in G. Dosi, *Technical Change and Economic Theory*, Printer, London and New York.