

수요 요인을 고려한 첨단재료기술의 혁신유형 분류에 관한 연구

Innovation Patterns of Advanced Materials Technology Considering the Demand Factors

채재우(Jae-Woo Chae)* 조규갑(Kyu-Kab Cho)** 김정흠(Jeong-Hum Kim)***
이용태(Yong-Tai Lee)****

국문요약

본 논문은 첨단 재료기술의 혁신유형을 분류하는 것이다. 기존의 혁신유형 분류에 관한 연구는 전 기술 혹은 전 산업에 포괄 적용하는 개념에서 접근하고 있어 산업기술별 혁신의 고유한 특수성이 기술혁신유형에 제대로 반영되지 못하고 있다. 이에, 본 논문에서는 첨단재료기술에 한정하여 기술혁신에 대한 이해를 증진하고 연구개발 및 정책수립의 기본 틀로 활용하는데 목적을 둔 4가지의 기술혁신 유형(공급재료혁신, 수요재료혁신, 공급공정혁신 및 수요공정혁신)을 제안하였다. 혁신유형의 도출과정은 첨단재료기술혁신의 특성, 원천, 과정 분석과 함께 사용자 산업과의 상호작용 분석에 근거하고 있다. 4가지 혁신 유형별로 특징과 사례분석을 통하여 연구개발 혹은 정책수립 등의 도구로서 활용가능성과 관련 시사점을 살펴보았다.

핵심어: 혁신유형, 재료기술, 사용자 수요, 재료혁신, 공정혁신

Abstract

This paper is to categorize the innovation patterns of advanced materials technologies. Many existing taxonomies of innovation pattern consider the whole of industries and the system sector rather than a specific sector. On the basis of the interactions between materials sector and user sectors, this paper suggests four innovation patterns, push-type material innovation, needs-type materials innovation, push-type process innovation and needs-type process innovation. This categorization of innovation pattern not only provides a new approach to the analysis of materials technology innovation processes but also has many useful implications for policymaking. Suggestions for policymakers of the materials technology are presented.

Key words: Innovation Pattern, Materials Technology, Users' Needs, Materials Innovation, Process Innovation

* 한국기계연구원 선임연구원, jaewoo@kmail.kimm.re.kr 055-280-3782

** 부산대학교 산업공학과 교수, kkcho@pusan.ac.kr 051-510-2418

*** 과학기술연합대학원대학교 교수, kimjh@ust.ac.kr 042-865-3975

**** 한국기계연구원 책임연구원, ytleee@kmail.kimm.re.kr 055-280-3401

I. 서론

기술혁신유형(Innovation pattern)은 기술혁신 과정에서 나타나는 다양한 기술혁신 형태를 현상과 본질 차원에서 유사성 혹은 차이점으로 특징화하여 분류한 것이다. 급진적 혁신(Radical innovation)과 점진적 혁신(Incremental innovation)이 대표적인 분류이다. 이처럼 혁신의 변화를 파악할 수 있고 이러한 변화들의 속성을 특징화 시킬 수 있을 때의 전략적 이득은 상당하다(Saviotti, 1995). 혁신패턴, 기술궤적 등과 같이 기술혁신 유형의 분류는 전략 형성에 통찰을 제공하는 은유와 같다. 이러한 은유를 통해서 기술혁신 과정의 복잡한 현상을 보다 더 명료하게 분별할 수 있으며, 명시적이건 암묵적이건 인간 상호간에 새로운 방법으로 공유할 수 있어 의사소통을 원활하게 한다(Kash & Rycroft, 2000). 또한 기술혁신 유형은 프로젝트 관리, 제품기획, 연구방향 설정, 연구조직 설계, 전략 및 공공정책 수립 등에 있어서 유용한 도구로 활용될 수 있다.

일반적으로 혁신유형의 분류기준으로 혁신 강도, 불확실성, 혁신의 대상, 수명주기 등이 다양하게 사용되고 있지만, 기술혁신을 분류하는 초기의 방법론은 이분법적 분류가 주류를 이루고 있다. 점진적 혁신과 급진적 혁신, 연속적 혁신(Continuous innovation)과 비연속적 혁신(Discontinuous innovation), 지속성 혁신(Sustaining innovation)과 와해성 혁신(Disruptive innovation), 제고형 혁신(Enhancing innovation)과 파괴형 혁신(Destroying innovation) 등이 이분법적 사고에 의한 분류 사례이다¹⁾. 이와 같은 이분법적 혁신분류는 불완전하고 작은 개선이 산업에 큰 영향력을 미치는 경우를 제대로 설명하지 못하고 있다(Henderson & Clark 1990). 또한, 이분법적인 유형학은 개념적으로 제품기획 혹은 의사결정에 비효율적이라는 것이 발견되고 있다(Pinto & Covin, 1989). 이러한 이유로, 많은 혁신학자들이 이분법적 기술혁신 분류를 세분화할 필요가 있음을 지적하고 있다(Mansfield, 1968; Dewar & Dutton, 1986; Pennings, 1992; Shenhar et al., 1995). 그리고 이분법적인 기술혁신을 세분화하기 위해 다차원 혹은 계층적 방법 등을 이용한 다양한 시도가 있어 왔다(Abernathy & Clark, 1985; Pearson, 1990; Shenhar et al., 1995; Molina, 1999; Kash & Rycroft, 2000; Cantner & Pyka, 2001).

산업별로 기술혁신의 전개방향과 양상이 그 산업이 지니고 있는 기술적 속성이나 환경적 조건에 따라 상당한 차이를 보이고 있다(송위진, 1994). 하지만, 지금까지 대부분의 기술혁신 유형에 관한 논의는 전 기술 혹은 전 산업에 포괄 적용하는 개념에서 접근하고 있어 산

1) 연속적 혁신과 비연속적 혁신, 지속성 혁신과 와해성 혁신에 관한 개념은 Miller & Morris(1998)을 참조바란다.

업기술별 혁신의 고유한 특수성이 기술혁신 유형에 제대로 반영되지 못하고 있다. 이처럼 전 기술의 유사성, 일반성에 의존한 혁신유형은 구체적인 사안의 프로젝트관리, 전략수립 등의 적용에 있어서 어려움을 야기 시킬 수 있다. 기술혁신유형이 실제로 기술경영정책의 도구로 활용되기 위해서는, 특정 산업기술의 고유한 특성과 차이점을 감안해서 산업별로 기술혁신 유형을 분류하는 접근이 필요하다.

모든 제조업의 기반이 되는 “재료기술”은 인류 문명발전에 놀랄만한 영향력을 미쳤음에도 불구하고 기술혁신이론가 사이에서는 재료기술 혁신과 관련하여 나타난 변화의 본질, 중요성, 원인과 결과에 대한 합의가 부족했다(Lastres, 1994). 여기에 더해, 오늘 날의 전략 및 혁신연구는 정보통신기술, 생명공학기술 등 소위 유망기술에 집중되고 있다. 이러한 편향성은 재료산업을 비롯한 성숙기 산업의 기술개발 정보와 관심 부족으로 이어지고 있다(Janszen *et al.*, 1997).

본 논문의 목적은 첨단재료기술을 대상으로 기술혁신과정의 유형을 분류하고 유형별 특징 분석을 통해서 기술정책적 활용방안을 모색하는데 있다. 첫째 기술혁신 유형을 분류한 기존 연구결과를 고찰하고, 둘째 첨단재료기술혁신의 특징과 산업적 특수성을 분석하여 혁신유형을 분류하기 위한 기본개념을 정립하고자한다. 셋째 이러한 개념에 부합하는 첨단재료기술의 혁신유형을 분류하고, 넷째 유형별 특징, 사례분석 및 정책적 시사점을 모색하고자 한다.

II. 기술혁신 유형에 관한 문헌고찰

1. 기존의 기술혁신 유형 분류

Abernathy & Clark(1985)는 시장의 경쟁 관점에서 기술혁신을 분석하는 기본 틀을 제 공하였다. 이 기본 틀은 기업의 기존 자원, 기술, 지식에 영향을 미치는 역량(Transilience)을 기반으로 하고 있다. 구체적으로 기존기술의 유지와 신기술의 도입이라는 기술관점과 기존시장의 유지와 신시장 창출이라는 시장관점에서 경쟁역량 지도(Transilience map)를 만들고, 구조적 혁신(Architectural innovation), 틈새창출 혁신(Niche creation), 일상적 혁신(Regular innovation), 혁명적 혁신(Revolutionary innovation) 등 4가지의 혁신유형을 제안하고 있다. 구조적 혁신은 신기술로 신시장을 개척하는 혁신유형이며, 혁명적 혁신은 신기술로 기존시장의 고객을 대상으로 한다. 틈새창출 혁신은 기존기술을 활용하여 새로운 시

장을 개척하는 것이며, 일상적 혁신은 기존기술과 생산역량의 변화만으로 기존의 시장과 고객에게 적용하는 혁신이다.

Freeman & Perez(1988)는 점진적 혁신, 급진적 혁신, 기술시스템의 변화, 기술경제패러다임의 변화로 혁신을 유형화 하였다. 첫째, 점진적 혁신은 의도적인 R&D의 결과라기보다는 생산과정의 엔지니어 혹은 사용자에 의한 개선을 지칭한다. 둘째, 급진적 혁신은 기존의 시스템이 다른 시스템으로 전환되는 불연속적이며 근본적인 큰 변화이다. 의도적인 R&D 행위의 결과로서 신산업, 신시장, 신기술 창출의 기초를 이룬다. 셋째, 기술시스템의 변화는 다수의 기업과 소수의 경제 분야에 영향을 미치며, 나아가 완전히 새로운 섹터를 창출하는 조직혁신과 병행하면서 급진적 혁신과 점진적 혁신의 결합으로 이루어진다. 1920-1950년대 합성재료의 등장으로 석유화학기술, 사출금형압출 기계기술 등 수 많은 응용기술의 혁신을 가져왔으며, 이를 기술시스템 변화의 사례로 들 수 있다. 넷째, 기술경제 패러다임의 변화는 경제 전반의 행위에 중대한 영향력을 가지는 광범위한 변화로서 엄청난 창조적 파괴와 양립한다. 기술경제 패러다임이 형성되기 위해서는 시스템 전반으로 파급확산하는데 상대적으로 장기간의 시간을 필요로 한다. 이러한 확산은 기술, 경제, 정치적 요인간의 복잡한 상호작용을 내포하고 있다.

Tushman & Anderson(1986)은 급진적 혁신을 세분화하여 역량파괴형 기술불연속 혹은 역량제고형 기술 불연속으로 나누어 특징지었다. 기업의 역량을 파괴하는 불연속은 새로운 기술을 숙달하기 위해 기존의 전문성을 못 쓰게 만들어 버린다. 예를 들어 트랜지스터의 경우 진공관 생산 기업에게는 역량파괴형 기술불연속이다. 반면, 역량을 향상시키는 불연속은 대체되는 기술에 포함된 노하우를 바탕으로 이루어지며, 컴퓨터 생산기업에게는 트랜지스터가 역량제고형 기술불연속에 해당한다.

Teece(1988)는 자율적 혁신(Autonomous innovation)과 체계적 혁신(Systemic innovation)을 제안하였다. 자율적 혁신은 시스템내 다른 구성요소들의 수정·개량 없이 도입될 수 있는 혁신을 말하며, 체계적 혁신은 시스템내 다른 부분들의 심각한 재조정을 수반하는 혁신을 말한다. 이러한 두 혁신은 기업이 개발 및 상업화에 요구되는 설계 협력의 양과 관련 있다.

Henderson & Clark(1990)는 점진적 혁신이 때로는 급진적 혁신에 못지않은 엄청난 혁신 성과를 나타내는 사례²⁾를 제시하면서 이분법적인 분류법에 대한 불완전성을 지적하고 있다. 그래서 점진적 혁신과 급진적 혁신이외에 구성혁신(Architectural innovation)과 모듈 혁신(Modular innovation)을 추가로 제안하고 있다. 분류기준은 제품(시스템)을 구성하고

2) 1970년대 중반, 제록스는 신기술이 첨가되지 않는 경쟁업체의 소형복사기(점진적 혁신에 해당)의 출현으로 제록스 시장점유율의 반을 잃고 심각한 재정난을 겪었다.

있는 부품간 연결의 변화와 핵심 설계개념(새로운 부품의 채용 등)의 변화 여부이다. 모듈 혁신은 제품의 구조 변화 없이 핵심 설계 개념이 변화하는 혁신으로서 아날로그 전화기가 디지털 전화기로의 변경이 한 사례이다. 반면, 구성혁신은 새로운 부품의 채용과 같은 핵심 설계개념의 변경 없이 기존 부품들간의 상호작용과 연결을 새로이 재구성하는 혁신이다. Pearson(1990)에 의하면, 기존의 많은 혁신과정 이론들은 혁신을 단계별로 구분하는 비슷한 특징을 가지고 있으며 이러한 혁신과정이 어떻게 관리되어야 하는가에 대한 논의가 부족했음을 지적하고 있다. 이에 그는 기술과 시장의 불확실성이 높고 낮음에 따라 4개의 카테고리로 유형화한 불확실성 지도를 작성하여, 각 유형별 특징과 성공적인 혁신활동에 영향을 미치는 요소들을 설명하고 있다.

Kleninschmidt & Cooper(1991)는 신제품 개발유형을 혁신의 정도에 따라 3가지로 분류하였다. 고혁신제품은 시장에 최초로 출시되면서 기업의 생산라인이 새로이 구축되는 제품을 말한다. 중간혁신제품은 생산기업에게는 최초의 제품이지만, 이미 시장에는 존재하는 것으로 기업의 기존라인에서 생산이 가능한 제품으로 정의하고 있다. 마지막으로 저혁신제품은 비용 절감형 제품 재설계, 생산라인 재장비 등의 기존제품을 보완하는 것을 말하고 있다. 이들은 이후에 Booz et al.(1982)의 모델에 근거해서 신제품에 대해 7가지 종류로 유형화하기도 하였다.

Shenhar et al.(1995)는 제품개발과 프로젝트 관리를 목적으로 2차원 매트릭스(4×3)의 제품혁신 유형을 제안하였다. 기본 틀은 기존의 이분법적인 혁신 분류를 기술 불확실성의 초기 수준에 따라 4가지 타입(Low-tech, Medium-tech, High-tech, Super-high tech)으로 세분화하고, 제품을 시스템과 하위시스템의 계층적 수준에 따라 3가지(Assembly, System, Array³⁾)로 분류하였다.

Molina(1999)는 혁신 및 기술개발에서 기술의 역할에 대한 체계적인 분석을 위해 기술 유전체(Technology genotypes) -개별기술의 본질과 개발현황을 정의하는데 도움이 되는 특징-를 활용한 분석기법을 소개하였다. 이러한 분석도구는 혁신과 기술개발의 전략에 대한 보다 더 체계적인 사고를 용이하게 하고 기술적인 함의를 이끌어내는데 도움을 준다. Cantner & Pyka(2001)은 진화론적 시각에서 기술정책을 분류하는 기본 틀을 제안하였다. 이 기본 틀은 Ergas(1987)⁴⁾의 기술정책 분류 모형을 시장의 근접성(기술의 공유)과 정책의

3) 공통된 하나의 목적을 달성하기 위해서 상호 기능하는 상이한 시스템들의 광범위한 집합(Super System). 사례) 국가방위시스템 : 조경정보레이더, 명령통제센터, 전투가, 지대공미사일 등의 시스템으로 구성

4) Ergas(1987)가 제안한 임무지향 정책은 소수의 기술과 대기업에 집중하는 것으로, 국가 주권(국방, 핵, 항공 등)관련 목표를 둔 기술정책으로 분명한 목표를 설정하고 특정기술에 대한 자금을 지원한다. 반면에 확산지향 정책은 상이한 주체들간의 공식/비공식적 관계와 협력, 과학적 기반, 기술이전에 집중함으로써 노하우의 확산·활용촉진, 기술이전을 촉진하는 정책이다.

구체성(연구대상의 명확성/개방성) 관점에서 4가지 기술정책으로 확장한 것이다. 기초 I 정책은 비상업화를 지향하는 좁은 범위의 기초연구의 특징을 가진다. 기초 II 정책은 여전히 시장과는 거리가 멀지만, 몇 가지의 특정기술을 대상으로 하는 정책으로 열핵융합 연구에 대한 공공자금 지원이 해당되는 사례이다. 일반적으로 공공자금 등의 정책적 지원은 대규모의 잠재력(기술적 비전, 전도성, 기대)을 나타내는 기술적 구체성에 따라 지원이 결정된다. 확산지향 정책은 광의의 이질적 기술들의 확산을 이끌고, 이들 기술은 경제적 응용관점에서 구체적인 언급이 없는 특징을 가진다. 임무지향 정책의 특성은 상대적으로 높은 구체성을 가지면서 어떤 기술 혹은 기술 분야의 목표와 경제적 응용이 매우 분명하게 언급되고 정책 대안이 설계된다.

이상의 정태적 관점에서의 기술혁신유형과 달리 기술의 동태적 관점에서 기술혁신의 유형을 분류한 이론은 다음과 같다. Utterback & Abernathy(1975)은 제품의 수명주기(유동기-과도기-경화기) 관점에서 제품혁신과 공정혁신의 유형을 제안하였다. 제품혁신은 유동기 단계에서 신기술 혹은 다양한 기술의 결합을 통해서 시장에 지배제품이 나타나기까지 활동을 의미한다. 과도기에 접어들면서 지배제품의 기술이 안정화되고 표준적인 설계가 확립되면, 제품혁신보다는 공정혁신이 증가한다. 공정혁신은 제품 혹은 서비스를 창출하기 위해서 투입되는 공정장비, 인력, 직무, 재료, 정보 등의 개선과 관련 있다. 제품혁신은 공정혁신보다 더 급진적이며 혁신의 강도가 강하다. 이 분류 모형은 산업의 성숙도가 증가하면서 혁신의 패턴도 변화함을 주장하고 있다.

Kash & Rycroft(2000, 2002)은 복잡한 기술과 네트워크가 기술궤적을 따라 공진화(Coevolution)하는 3가지 패턴-정규패턴(Normal pattern), 전이패턴(Transition pattern), 전환패턴(Transformation pattern)-을 기술수명주기 관점에서 제안하고 있다. 정규패턴은 기존의 기술궤적을 따라 공진화하는 기존 네트워크와 기술에 의해서 상대적으로 예측가능한 점진적 향상을 말한다. 전이패턴은 정규패턴에서 축적된 기존의 네트워크와 기술을 바탕으로 새로운 궤적으로 이동하는 것이다. 예를 들면, 프로펠러 엔진의 기술궤적에서 가스터빈 엔진으로 혁신과 같다. 마지막으로 전환패턴은 새로운 기술과 네트워크의 공진화에 의해서 새로운 궤적을 만드는 일종의 급진적 혁신에 해당한다.

한편, 국내에서는 '기술혁신패턴⁵⁾'이라는 용어를 사용하여 철강산업, 생명공학, 제약산업을 대상으로 산업별 현황 및 특징, 기술동향, 발전과정, 발전전략 등에 관한 실증 연구가

5) 송위진(1994)은 기술혁신패턴을 다음과 같이 정의하고 있음. : 특정산업에서 i)현상적으로 나타나는 기술 혁신 과정의 규칙성과, ii)그러한 규칙성을 나타내게 하는 기술혁신 결정요인의 산업별 특수성, iii)그리고 이러한 기술혁신을 추진하는 기술혁신 주체들이 조직적 특성들을 포괄하는 것이라고 할 수 있다. 한편 이러한 요소들은 서로 일정정도의 정합성(整合性)을 지니면서 각 요소들이 각각 재생산될 수 있도록 상호작용을 하고 있다. 이러한 정합성으로 인해 일정기간동안 '패턴'으로 나타내게 된다.

주로 수행되었다(송성수, 1999; 안두현 외, 2001; 김석관, 2004).

2. 문헌 분석결과

기술혁신을 유형화하는 분류기준(변수)으로 혁신강도, 혁신영향력, 수명주기, 시장(창출, 유지, 불확실성, 근접성), 기술(창출, 유지, 불확실성, 첨단성), 설계내용(변화여부, 부품간 관계), 적용대상의 명확성, 시스템계층, 성능 등이 다양하게 사용되고 있다(〈표 1〉 참조). 단일 변수에 의한 1차원 기술혁신 분류(이분법 등)에서 2개의 변수를 활용한 2차원 기술혁신 유형($n \times n$ 행렬)으로 세분화되고 있다. 이는 기술의 본질과 현상에 대한 유효한 영향을 미치는 요인에 대한 분석이 다양하게 이루어지고 있음을 의미한다.

기술혁신 유형연구의 목적이 블랙박스로 여겨졌던 기술혁신 자체를 이해하고 경제·사회적 파급력을 분석하기 위한 과거의 이론적 연구에서, 점차 기술개발 전략도출(Pearson, 1990), 프로젝트 관리(Shenhar et al., 1995), 정부정책 수립(Cantner & Pyka, 2001) 등 기술경영에 직접 활용하기 위한 실용적 도구 개발로 바뀌고 있다.

〈표 1〉 기술혁신 유형에 관한 기존 연구

연구자	분류 관점	기술혁신 유형	비고
Abermathy & Clark(1985)	기술과 시장의 역량 (2x2 Matrix)	- Architectural innovation - Niche creation - Regular innovation - Revolutionary innovation	4분면의 Transilience Map으로 표현
Freeman & Perez (1988)	기업, 산업, 경제에 대한 변환 영향력의 정도	- Incremental innovation - Radical innovation - Changes of technology system - Changes of in techno-economic paradigm	techno-economic paradigm은 Perez(1985)에 의해서 처음 발표.
Tushman & Anderson(1986)	기술 불연속성의 급진적 혁신을 분류	- Competence-enhancing - Competence-destroying	
Teece(1988)	제품 구성요소의 자율성	- Autonomous innovation - Systemic innovation	
Henderson & Clark(1990)	제품의 설계핵심과 구성품간의 연계변화여부	- Incremental Innovation - Radical Innovation - Architectural innovation - Modular innovation	
Pearson(1990)	시장과 기술의 불확실성 정도	- Uncertainty about Technical approach (Means : Low, High)	각 유형별 기술전략을 소개

	(2x2 Matrix)	- Uncertainty about Market focus (Ends : Low, High)	
Kleninschmidt & Cooper(1991)	제품의 혁신성 정도	- Highly innovative products - Moderately innovative products - Low innovative products	1993년에 신제품에 대해 7개의 혁신을 분류
Shenhar et al. (1995)	기술적 불확실성과 시스템 범위 (4x3 Matrix)	- Technological Uncertainty Dimension (Low-, Medium-, High-, Super High-Tech.) - System Scope Dimension (Assembly, System, Array)	제품을 시스템과 서브시스템의 계층적 분류
Molina(1999)	특정기술의 사회기술적 특성분석	- 1st Categories : Products, Processes and Methods - 2nd Categories : H/W, S/W, Materials, Energy, Components, Subsystem, system, Network - 3rd Categories : Mature, Adolescent, Emerging - 4th Categories : 22 Characteristics - 5th Categories : Aim of Instrument	유전자 분해를 모방
Cantner & Pyka(2001)	진화론적 관점에서 기술정책을 기술과 경제측면에서 분류 (2x2 Matrix)	- Basic I - Basic II - Diffusion-orientation - Mission- orientation	Ergas(1987)의 모형을 확장.
Utterback & Abernathy(1975)	지배제품의 수명주기	- Product innovation - Process innovation	수명주기를 유동기-과도기-경화기로 구분함.
Kash & Rycroft(2000)	기술과 네트워크가 기술계에서 공진화하는 혁신패턴을 유형화	- Normal pattern - Transition pattern - Transformation pattern	

기존의 혁신유형 이론들이 다루고 있는 기술대상을 재료-부품-시스템-기술군-기술경제 등 5가지의 수준⁶⁾으로 구분한 후 살펴본 바에 의하며, 거의 대부분의 이론이 시스템 수준에 집중되어 있다. 일부 연구에서는 시스템 이외의 수준을 고려하고 있지만, 재료수준에서의 기술혁신 유형에 관한 연구는 거의 없는 실정이다(〈표 2〉 참조). Freeman & Perez(1988)는 제품, 기술계 및 기술경제 수준까지 확장하여 기술혁신 유형을 분류하였고, Henderson & Clark(1990)은 시스템을 이루고 있는 부품수준에서 혁신유형을 분류하였다. Shenhar et al.(1995)는 프로젝트 관리를 위한 실용적인 사고에 입각해서 부품(Assembly), 시스템(System), 시스템군(Array)으로 나누어 분석의 대상을 확장하였다. Utterback(1994)은 조립

6) 기존의 혁신유형 문헌에서 다루고 있는 연구대상들을 계층화하여 분류하였다.

제품을 대상으로 한 제품혁신과 공정혁신 모델이 유리, 레이온, 철강 등의 비조립제품에 적용될 수 있음을 주장⁷⁾하고 있으나, 이 모형도 재료의 기술적 특성을 고려한 혁신유형이라기 보다는 기존의 혁신유형이 비조립제품 분야에 적용 가능함을 주장하는 모형이다

시스템 수준의 기술혁신 유형 분류법을 일반화하여 여타 수준에 적용할 수 있지만, 특정 수준이 가지는 고유한 특성이 반영되지 못한다는 점에서 실질적인 기술경영과 기술전략 활용에는 한계가 있다. 즉, 기존의 기술혁신 유형은 전 산업 혹은 전 기술분야의 포괄적인 기술혁신 유형화에 집중되어 있으며 자동차산업, 전자산업과 같은 특정산업에 적용하여 기술전략과 경영의 도구로 활용하기에는 상당히 일반화되어 있다. 이에, 본 연구에서는 첨단재료기술을 대상으로 동 기술이 가지는 고유한 특징을 바탕으로 기술혁신 유형을 분류하고자 한다.

〈표 2〉 기존 기술혁신 유형 분류의 수준

기존 연구	재료	부품	시스템	기술군	기술경제
Utterback & Abernathy(1975)			○		
Abernathy & Clark(1985)			○		
Tushman & Anderson(1986)			○		
Kleninschmidt & Cooper(1991)			○		
Kash & Rycroft(2000)			○		
Freeman & Perez(1985, 1988)			○	○	○
Teece(1988)		○	○		
Henderson & Clark(1990)		○	○		
Shenhar <i>et al.</i> (1995)		○	○	○	

7) 비조립제품은 조립제품에 비해 높은 공정혁신과 빠른 공정혁신을 요구하고 있으며 이러한 공정혁신은 간헐적인 도약과 점진적인 개선에 관심이 집중되고 있는 차이가 있지만, 결과적으로 제품혁신과 공정혁신이 비조립제품에도 적용될 수 있음을 주장하고 있다.

Ⅲ. 첨단재료기술의 특징과 혁신유형

1. 첨단재료기술의 특징

1) 재료과학지식과 재료혁신

전후 10여년 동안 급속히 증가한 기초연구 과정에서 물질의 마이크로 레벨(원자, 분자, 결정체)에서 미세구조(Microstructure)의 과학적인 이해와 제어능력이 축적되었고, 이러한 재료과학지식은 현대 재료혁명의 주요 촉발요인이 되었다. 물질의 미세구조를 어떻게 제어하고, 미세구조가 재료특성(Property)⁸⁾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). 또한 물리·화학과 같은 기초과학분야에서 발견한 과학적 발견이 재료의 합성과 공정기술 혁신에 직접적인 단초로 제공되고 있다. 예로, 1911년 영하 273℃에서 전기의 저항이 갑자기 없어지는 초전도 현상은 ‘초전도 재료’ 개발의 직접적인 불씨가 되었다.

이러한 재료과학 지식의 축적은 기존에 볼 수 없었던 새로운 특성과 기능을 가진 신물질, 신합금의 합성과 기존재료의 성능과 특성을 향상시킨 이른바 “첨단재료”의 등장을 가능하게 하였다. 또한 새로운 응용이 가능한 수많은 재료의 분열을 가져왔다(Marcum, 1990). 예를 들어 자동차 1대당 1900년대에는 100종 이하의 재료가 사용된 반면에 현재는 적어도 4,000종 이상의 재료가 사용되고 있다(Clausner, 1975). 전통적인 금속재료를 대체하기 위한 고분자재료, 세라믹재료, 복합재료 등의 신소재가 출현하여 재료간 경쟁을 일으켰다. 또한 기존의 알루미늄 금속 내에서도 더 우수한 특성을 가지는 수백 가지의 알루미늄합금이 개발되면서 재료내 경쟁도 벌어지고 있다. 이와 같이 재료과학 지식의 팽창은 재료의 종류 다양화, 재료의 성능향상, 재료 대체로 일컬어지는 “재료혁신”을 낳았다.

2) 재료성능창출과 공정혁신

재료공정기술은 물질의 원자, 분자, 결정을 제어하여 재료의 새로운 특성을 발휘하거나 대량생산을 가능하게 하는 기술로서, 신소재 혁명의 중요한 요인 중의 하나이다(OECD, 1990; Janszen *et al.*, 1997). 재료기술은 구조-특성-성능-공정이 상호 밀접하게 연계되어

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

있으며, 특히 공정은 재료 성능을 결정하는 중요한 요소로 인식되고 있다(Antón et al., 2001). 오늘 날의 수많은 재료 증식은 재료의 합금설계를 가능하게 하는 공정기술의 발전에서 기인하고 있다.

재료공정기술은 재료의 합금화 혹은 합성을 위한 소재화 공정⁹⁾과 재료를 사용하여 형상과 기능을 가지는 부품으로 만들기 위한 부품화 공정¹⁰⁾기술로 나누어진다. 재료의 용도, 특성, 생산규모에 따라 다양한 재료공정기술이 재료별로 개발되고 있다. 뿐만 아니라, 특정 공정에 가장 적합한 맞춤형 재료가 개발되는 사례를 볼 수 있다. 예를 들어 제트엔진에 사용되는 초내열합금의 경우에는 다결정 공정, 단결정 공정, 일방향 응고 등 다양한 특수 공정별로 우수한 특성을 나타내는 티타늄베이스합금, 금속간화합물 등이 각각 개발되고 있다. 이와 같이 재료공정기술은 재료혁신과 더불어 재료기술혁신의 주요한 혁신 원천이다. 최근에는 소재의 기능적 측면을 요구하는 사용자 수요의 증가로 과거의 구조적 기능의 벌크재료에서 박막, 필름 형태의 신제조공정 개발이 중요한 혁신 이슈로 되고 있다. 재료공정기술의 혁신활동은 소재 및 부품제조와 관련되는 “공정혁신”의 한 유형을 만들어 왔다.

3) 사용자 주도 기술혁신의 부각

사용자가 기술혁신의 촉발과정에서 매우 중요한 역할을 수행하는 것으로 밝혀지면서 이른바 사용자 주도 혁신이론이 등장했다(von Hippel, 1988; Foxall, 1989; Franke & Shah, 2003). 재료기술혁신에서도 사용자 수요는 재료혁신 및 공정혁신을 유도하는 매우 중요한 역할을 하고 있다. 특히 선도고객(전자, 자동차, 항공우주 조립업체 등)은 새로운 재료의 요구 성능을 제공하고 있어 재료개발의 중요한 주체 중의 하나가 되고 있다(Wield & Roy, 1995; Hansen & Serin, 1994).

사용자의 필요와 무관하게 탄생된 재료도 시간이 지날수록 사용자 수요에 의한 연구개발이 점점 증가하고 있다(채재우 외, 2005a). 일례로 초소성재료와 형상기억합금의 사례분석에서 사용자 수요를 고려하여 작성된 논문의 연도별 비중이 시간이 경과할수록 증가하고 있다(〈그림 1, 2〉 참조). 전체 논문건수 대비 사용자 수요논문의 연도별 논문비중을 회귀분석한 결과에서 얻은 선형기울기 값에서 초소성재료 0.9112, 형상기억합금 1.026으로 모두 양수의 기울기를 보여주고 있다. 이는 재료별로 속도 차이는 있지만, 시간이 지날수록 사용

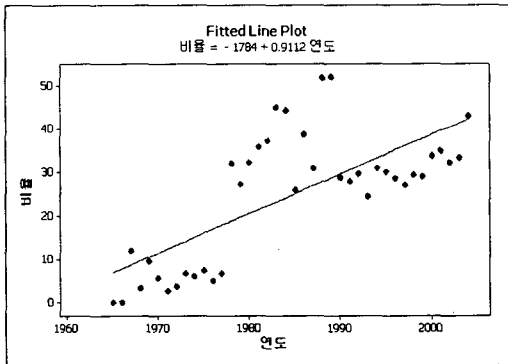
9) ‘소재화 공정’은 광물 등의 원료로부터 추출·정련·용해 등의 공정을 거쳐 기초 소재를 만드는 공정을 말한다.

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

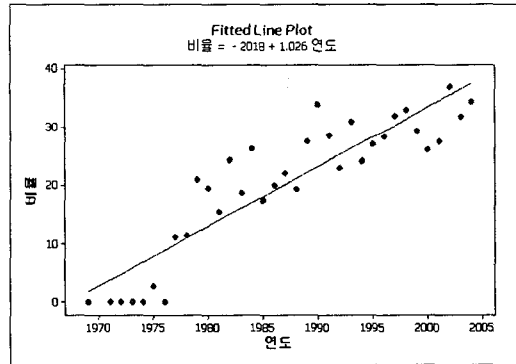
자 수요가 첨단재료기술혁신 과정에 미치는 영향력이 증가하고 있음을 보여 주고 있다.

또한, 재료시장의 주도권이 생산자에서 사용자로 뒤바뀌는 현상을 낳고 있다(Turner et al., 1990). 재료공급자는 사용자의 세분화된 재료 특성 요구에 대응할 수 있는 합금설계 및 공정기술을 보유함으로써 재료의 분할을 증대시켜 왔다. 이로 인해 사용자는 과거와 달리 수많은 재료 중에서 설계 요구조건에 가장 적합한 재료를 선택할 수 있게 되었고, 시스템의 기술적 애로사항을 우수한 재료를 채택함으로써 해결하기도 한다. 이처럼 재료 종류의 다양화는 사용자의 재료 구매 선택권을 넓혀 사용자의 구매 협상력을 높여 주고 있다.

이와 같은 현상을 종합해 보면 공급자와 사용자간의 연구, 설계, 생산, 그리고 시장연계가 점점 더 의존적인 관계로 발전하고 있으며 사용자가 첨단재료기술 혁신촉발에 있어 매우 중요한 요인임을 알 수 있다. 이는 기술혁신과정, 기술개발전략, 기술정책 수립의 과정에서 사용자의 역할을 무시할 수 없음을 시사한다. 재료기술혁신 유형분류의 개념에서에서도 전술한 재료혁신, 공정혁신과 더불어 사용자 수요는 중요한 고려 요소로 다루어져야 한다.



〈그림 1〉 초소성재료의 전체논문건수 대비 사용자 수요논문의 증가추이 (선형기울기 0.9112)



〈그림 2〉 형상기억합금의 전체논문건수 대비 사용자 수요논문의 증가추이 (선형기울기 1.026)

4) 시스템산업과의 상호작용

특정 산업에서 기술의 사용과 혁신 유발은 전후방 산업의 기술과 밀접한 연관성 및 방향성을 가진다.¹¹⁾ 전후방 산업의 기술수준, 문제해결능력 혹은 요구 성능조건 등이 기술혁신

11) 기술의 "연관성"은 특정기술이 전후방산업에 직·간접적으로 공급·활용되는 관계를 말하며, 기술의 "방향성"은 특정 섹터의 기술이 타 섹터의 기술혁신을 유발시키는 방향을 의미함.

활동에 매우 중요한 혁신의 원동력으로 작용할 수 있음을 의미한다. 따라서 특정 산업의 기술혁신 유형은 전방 및 후방 연관 산업과의 계층적 구조에서 상대적 위치를 분석하고, 기술공급자 및 사용자와의 관련 영역을 확장하여 기술혁신 과정을 고려해야 한다.

재료 기술혁신의 유형 분류에서도 재료산업만을 한정할 것이 아니라, 상호 연관성 있는 산업들과의 종합적인 관점에서 분석할 필요가 있다. 재료산업은 전방산업과 밀접한 영향력을 주고받는 분야로서, 전후방산업 관계는 <표 3>에서 보는 바와 같이 기초소재-단위부품-모듈부품-완제품산업으로 구성된다. 기초소재와 단위부품산업은 재료산업으로 분류되며, 모듈부품 및 완제품은 시스템산업으로 분류될 수 있다. 재료산업은 시스템산업에 소재와 단위부품을 생산공급하는 “공급자”에 해당하며, 시스템산업은 기초소재와 단위부품을 구매하여 가공조립하는 “사용자” 역할을 수행한다.

<표 3> 재료와 시스템의 구분

산업	기초소재 (Material)	단위부품 (Single Part)	모듈부품 (Component)	완제품 (Finished Product)
설계 형상	×	○	○	○
조립 상태	×	×	○	○
기능 작동	×	×	×	○
섹터구분	재료산업 (공급자)		시스템산업 (사용자)	

기존의 재료보다 우수한 물성을 가진 재료의 공급은 시스템산업의 제품설계(Product design)에 큰 영향을 미친다. 새로운 재료는 기존 재료의 단순한 대체재로 활용되는 수준을 넘어서, 부품과 제품의 혁신을 도모하는 새로운 아이디어를 제공하기도 한다(Turner et al., 1990). 즉, 재료가 혁신적인 제품의 창출에 영감을 가져다 줄 수 있다. 이와 같이 재료에 의한 혁신(Materials-inspired innovation) 사례로 세라믹 가스터빈엔진, 유리섬유, 플라스틱 포장재 등을 들 수 있다. 대표적으로 1960년대에 처음 출현한 복합재료는 경량성과 내식성 등의 우수한 특성을 가지고 있어 연료절약형 항공기 시스템의 혁신에 기술적 해결책을 제공하고 있다. 최근 개발되고 있는 보잉사의 신형 B787 드림라이너 민항기에서는 금속재료인 알루미늄 합금으로 제작되었던 동체 및 날개구조물을 탄소섬유, 에폭시, 티타늄 그라파이트 등 가벼운 복합재료¹²⁾로 완전 대체함으로써 20% 이상의 연료절약형 시스템으

12) 비중(단위 부피당 무게 g/cm³) : 알루미늄 2.7 탄소섬유복합재료 1.5

로의 대체혁신을 가능하게 하였다¹³⁾.

역으로 사용자측 제품 설계자가 요구하는 재료물성과 경제적 부담 수준은 재료기술 혁신의 방향과 목표를 결정하는 중요한 원동력이 되고 있다. 일례로 항공기용 가스터빈 엔진의 성능은 고온에서 견디는 터빈블레이드용 초내열합금의 성능과 직접적인 관련이 있다. 현재 상용화 되고 있는 가스터빈 엔진의 내부 연소온도는 1,100°C 급이며 이러한 초고온의 극한 환경을 견디는 터빈블레이드 재료로 2세대¹⁴⁾ 단결정 초내열합금이 주종을 이루고 있다. 그러나 향후 1,300°C 이상의 가스터빈 엔진을 개발하기 위해서는 3, 4, 5세대 단결정 초내열합금, 알루미늄아이드(NiAl, TiAl), 세라믹(Silicon nitride), 백금족금속베이스 초내열합금(PGM based superalloy) 등 터빈블레이드용 재료대체 혁신이 선행되어야 한다.

이와 같이 재료는 시스템의 혁신활동(신제품 개발, 신기능 구현 등)에 아이디어와 기술적 가능성을 직접적으로 제공할 뿐만 아니라, 역으로 시스템의 성능목표, 설계요구조건 등이 새로운 재료 특성 창출과 기능 향상의 혁신 목표를 제공하고 있어 전방산업과 양방향의 밀접한 혁신유발 관계를 가지고 있다.

이러한 공급자와 사용자간의 상호작용 관계는 보다 더 구체적으로 <표 4>와 같이 5단계로 구분할 수 있다. <표 4>의 1, 2, 3 단계는 사용자의 요구사항이 혁신의 원천으로 중요한 역할을 수행하고 있어 사용자 수요가 기술혁신을 견인하는 '수요견인형' 관계로 볼 수 있다. 4, 5단계는 공급자와 사용자간의 직접적인 대면 없이 기술공급자가 기술혁신을 주도하는 '기술공급형' 관계로 볼 수 있다.

<표 4> 사용자와 공급자의 상호작용 단계

단계	사용자-공급자 상호작용 내용	구분
1단계	사용자가 공급자에게 요구사항을 제공하며 혁신과정에 참여한다.	수요견인형
2단계	사용자가 공급자에게 요구사항을 제공하며 혁신과정에 참여하지 않는다	
3단계	공급자가 사용자의 요구사항을 조사 수렴해서 혁신활동에 반영 한다.	
4단계	공급자가 사용자의 요구사항을 예측해서 혁신활동에 반영한다.	기술공급형
5단계	공급자가 사용자의 요구사항을 고려하지 않고 혁신활동을 한다.	

13) http://www.reinforcedplastics.com/market_focus/aircraft_aerospace/boeing.html

14) 세대별 단결정 초내열합금은 레늄(Rhenium: Re)의 첨가량에 따라 결정됨 : 1세대(0%), 2세대(3 wt%), 3세대(6 wt%)

2. 첨단재료기술의 혁신 유형

첨단재료기술의 혁신 특징에서 살펴본 바와 같이 재료과학 지식의 발전을 기반으로 다양한 재료의 창출을 가져온 “재료혁신”과 재료의 성능을 구현하고 형상을 만드는 “공정혁신”은 중요한 혁신활동이다. 아울러, 첨단재료 기술혁신은 공급자 중심의 내생적인 혁신만으로 완결되는 것이 아니라, 사용자에게 해당하는 시스템산업과 밀접한 상호작용을 하고 있다.

따라서 첨단재료기술의 혁신 유형은 기술적인 측면에서 ‘재료혁신’과 ‘공정혁신’으로 크게 구분된다¹⁵⁾. 그리고 첨단재료기술의 혁신을 유발시키는 원천적인 측면에서 ‘기술공급형’과 ‘수요견인형’으로 나눌 수 있다. 이러한 분류기준에 의거해 4개의 첨단재료기술 혁신유형을 도출할 수 있다.

첨단재료기술의 혁신유형은 연구자, 엔지니어 등 기술공급자의 관심사가 중심이 되는 「공급재료혁신(Push-type Material Innovation)」과 「공급공정혁신(Push-type Process Innovation)」으로 분류할 수 있다. 또한 사용자의 수요를 기반으로 하는 「수요재료혁신(Needs-type Material Innovation)」과 「수요공정혁신(Needs-type Process Innovation)」유형으로 분류할 수 있다. 재료혁신을 기반으로 하면서 기술공급자가 혁신을 주도하는 유형은 공급재료혁신이며, 사용자 수요가 혁신을 견인하는 직접적인 원천일 경우에는 수요재료혁신이라고 정의한다. 마찬가지로, 공정혁신도 기술공급자 중심의 공급공정혁신과 사용자 수요에 의한 수요공정혁신으로 유형화 될 수 있다(〈그림 3〉 참조).

	재료혁신	공정혁신
수요견인형	수요재료혁신	수요공정혁신
기술공급형	공급재료혁신	공급공정혁신

〈그림 3〉 첨단재료기술의 혁신유형

15) 일반적으로 ‘재료기술혁신’은 제품으로서의 ‘재료혁신’과 공정으로서의 ‘공정혁신’을 모두 포함하는 광의의 개념으로 사용된다. 따라서 본 논문에서는 사용된 ‘재료혁신’은 ‘재료기술혁신’중 ‘공정혁신’을 제외한 재료 자체의 성능향상, 신재료 창출, 신재료 설계 등과 같은 혁신들만을 의미한다.

3. 첨단재료기술의 혁신유형별 특성

전술한 4가지의 첨단재료기술혁신 유형별 특성과 차이점을 연구형태, 혁신의 원천, 성과물의 특징, 혁신강도 등의 측면에서 다음과 같이 설명할 수 있다.

1) 공급재료혁신

공급재료혁신은 연구자 혹은 엔지니어 등 기술공급자의 연구 활동이 중심이 되어 새로운 특성의 신소재 발견, 합금설계, 물질합성 등 재료 자체의 혁신이다. 공급재료혁신은 과학의 우연성(새로운 현상의 우연적 발견 등)에 의해서 의해 혁신이 촉발되기도 한다. 재료과학 지식을 기반으로 하는 기초적, 탐색적 연구에 우선함으로써 재료의 새로운 지식 확보를 위한 것이다. 공급재료혁신은 기술의 태동기에 새로운 특성의 재료발견과 함께 미세구조와 특성간의 관계를 이론적 혹은 실험적으로 규명하여 관련 기술을 시장에 공급하는 기술주도형 혁신(Technology Push)으로 분류될 수 있다. 이 과정에서는 실험실적으로 우수한 특성을 발휘하는 재료의 합금을 찾아가는 단계라고 할 수 있으며 이러한 혁신은 연구현장에서 원천기술 확보를 위한 노력과 직결된다.

2) 수요재료혁신

수요재료혁신은 시장에서 요구하는 문제해결을 위한 재료합금의 재설계, 물성향상 등의 점진적 혁신과 재료의 산업화를 목표로 하는 재료 엔지니어링과 관련 있다. 이러한 재료혁신은 시장에서 생존하기 위한 재료 간, 재료 내 경쟁이 가열되며, 경쟁의 기반은 재료의 성능향상, 가공성, 경제성이 된다. 또한 기존재료의 틈새시장 개척을 위한 '용도혁신'을 포함한다. 시스템 산업의 혁신 방향은 재료의 새로운 특성과 성능 혁신을 유발시킬 뿐만 아니라 혁신의 지표가 된다. 또한 새로운 재료의 출현과 성능향상이 새로운 제품설계, 공정설계 등 시스템산업의 혁신에 아이디어를 제공하기도 한다. 따라서 수요재료혁신은 사용자와 공급자간의 높은 상호작용을 가지는 수요견인형 혁신이라고 할 수 있다.

3) 공급공정혁신

공급재료혁신은 재료공정 기술을 기반으로 하면서 사용자 수요보다는 연구자의 신기술

개발에 집중하는 혁신으로서 소재 및 부품의 신제조 공정 개발을 의미한다. 공급재료혁신과 마찬가지로 기술의 태동기에 주로 발생하면서 신공정 개발의 기초적, 탐색적 연구활동을 수반한다. 시장에서의 경제적 반응을 고려하기 보다는 새로운 이론을 가시적으로 구현하는 방법에 집중함으로써 급진적 혁신을 기대할 수 있다. 즉, 새로이 발견된 특성과 물성을 가진 재료를 반복적으로 생산할 수 있는 재현성 연구와 안정화 연구가 초점이 된다. 희망하는 물성에 도달한 소재 및 부품의 재현성이 증가하고 불량률이 줄어들면, 점차 전용 생산장비의 설계 및 공정의 안정화를 위한 노력을 집중한다. 결국 공급공정혁신은 생산장비의 발전과 연결되며, 대학 및 연구소 중심의 기초 및 응용연구가 주류를 이룬다.

4) 수요공정혁신

수요공정혁신은 사용자 측에서 요구하는 생산성 향상, 에너지 절감, 대량생산 등의 수요에 대응하기 위한 소재 및 부품의 공정개선, 공정단축 등의 혁신활동을 말한다. 또한 현장에서 발생하는 문제 해결형 혁신이라고 할 수 있다. 사용자와 공급자간의 상호작용은 매우 높은 수준에 있으며, 더 경제적이고 안정적인 제품 제조를 위한 노력이 수요공정혁신에서 이루어진다. 이와 같이 수요공정혁신은 시스템섹터의 성능과 효율성 증대 요구에 의해서 혁신의 동기를 부여받을 수 있다. 역으로 공정혁신의 결과가 가공조립공정 단축, 제품 재설계와 같은 시스템 대체 혁신을 유발시킬 수 있다.

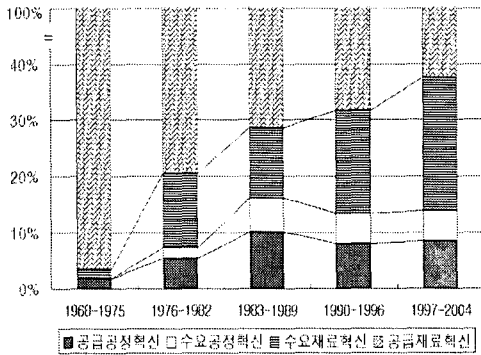
〈표 5〉 재료기술혁신 유형별 특성

	공급재료혁신	수요재료혁신	공급공정혁신	수요공정혁신
연구개발	불확실 기초연구 응용 탐색연구	구체적 문제해결 목적지향 응용연구	기초연구 응용연구	현장의 문제해결 목적지향 응용연구
혁신의 원천	재료과학 지식	사용자 수요	재료공정 기술	사용자 수요
혁신의 산물	재료특성 규명 신소재	기존소재 개량 재료 용도혁신	신공정 신생산장비	기존공정 개선 공정단계 단축
혁신의 강도	높은 수준	보통 수준	높은 수준	낮은 수준
연구주체	학·연 주도	산·연·학	학·연 주도	산·연·학
사용자-공급자 상호작용	낮은 수준	높은 수준	낮은 수준	높은 수준
재료경쟁	낮은 수준	높은 수준	낮은 수준	높은 수준
경쟁기반	재료의 기능성, 물성	재료의 경제성, 가공성 고성능화	공정의 신규성, 재현성	공정의 진보성, 경제성
시장창출	신시장 창출	기존시장 틈새시장	신시장 기존시장	기존시장

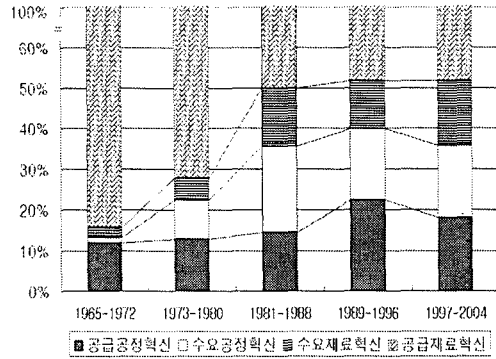
IV. 첨단재료기술 혁신유형의 사례 적용

첨단재료기술의 4가지 혁신유형이 동태적 혁신과정에서 나타나는 특성을 알아보기 위해 본 논문에서는 형상기억합금, 초소성재료, 비정질금속, 알루미늄-리튬합금 등 4가지 첨단금속재료의 학술논문정보¹⁶⁾를 사용하여 시계열 분석하였다. 시계열분석은 학술정보 데이터베이스에 등록되어 있는 각 재료별 논문 중에서 최초 발표연도부터 2004년까지를 5개의 구간으로 일정하게 나눈 후 구간별로 혁신유형별 관련논문의 건수를 비교하였다. 그 결과, 〈그림 4~7〉에서 보는 바와 같이 재료연구의 초창기에는 재료혁신관련 논문이 거의 대부분을 차지하고 있으며, 공급재료혁신의 논문 비중이 가장 크다. 공정혁신과 관련한 연구논문은 시간이 경과할수록 점점 증가하고 있다. 또한 사용자 수요를 기반으로 하는 수요공정혁신과 수요재료혁신 논문 비중도 함께 증가하는 추세를 4개의 재료에서 공통적으로 볼 수 있다. 이상의 학술논문정보 분석결과를 통해서 첨단재료기술의 혁신유형별 동태적 특성을 다음과 같이 유추해 볼 수 있다. 첨단재료기술의 초기에는 재료혁신이 여타 혁신유형에 비해 상대적으로 가장 큰 활동이 이루어진다. 재료혁신 중에서도 공급재료혁신이 재료기술 개발을 선도하는 것으로 볼 수 있다. 공급재료혁신이 기술혁신과정의 초창기에 큰 영향력을 발휘하며, 재료가 시장에 알려지거나 공급되면서 수요재료혁신이 발생하기 시작한다. 공정혁신은 재료혁신보다는 늦게 연구개발 활동이 본격화하며, 수요공정혁신도 시간이 경과하면서 그 활동이 증가하기 시작한다.

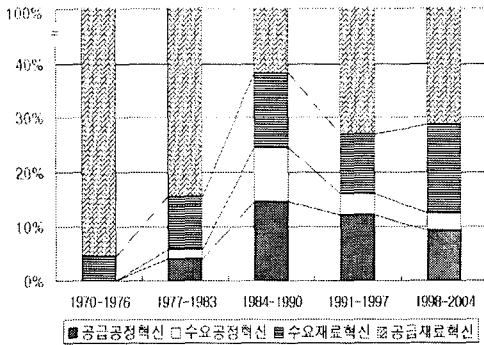
16) 학술논문정보는 메타덱스(METADEX) 데이터베이스에 수록되어 있는 자료를 활용하였다. 메타덱스의 학술논문 중에서 재료과학에 해당하는 논문은 재료혁신논문으로 분류하였으며, 공정기술에 해당하는 논문은 공정혁신 논문으로 분류하였다. 재료혁신, 공정혁신 논문 중에서 사용자 수요와 관련한 요구특성, 요구성능, 응용분야 등의 핵심단어를 포함하고 있는 논문은 사용자 수요논문으로 분류하였다(채재우 외, 2005b 참조).



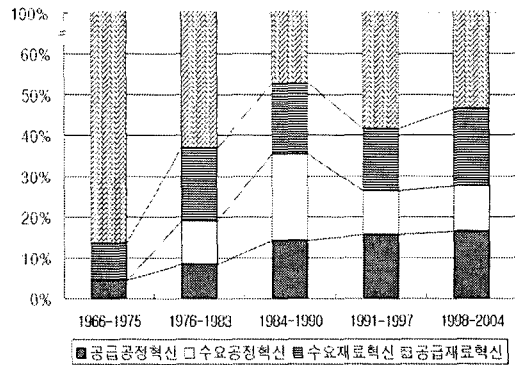
〈그림 4〉형상기억합금의 혁신유형별 논문비율 추이



〈그림 5〉초소성재료의 혁신유형별 논문비율 추이



〈그림 6〉비정질합금의 혁신유형별 논문비율 추이



〈그림 7〉알루미늄-리튬합금의 혁신유형별 논문비율 추이

또한, 본 논문에서는 제안한 첨단재료기술 혁신유형의 유용성과 분석 도구로서의 활용가능성을 살펴보기 위해서, 첨단재료 중의 하나이며 산업적으로 활용되고 있는 형상기억합금¹⁷⁾의 기술발전 과정을 4가지 혁신유형 관점에서 사례 분석하였다.

[공급재료혁신] 금속에 형상기억효과가 있다는 것이 처음 알려진 것은 1938년 미국 하버드대학의 O. Grananger와 V. Muradien 교수에 의해서였다. 그 후 1950년대 미국 일리노이 대학의 L. C. Chang와 T. A. Read가 금과 카드뮴의 합금에서 발견하였으나 별로 주목을 받지 못하였다. 1965년 미국 해군무기연구소(Naval Ordnance Laboratory)의 연구원

17) 형상기억합금은 여러 가지 형상으로 찌그러지는 등의 변형이 가해져도 적당한 온도로 가열해 주면 변형전의 형상으로 되돌아오는 성질을 가진 재료이다.

W. J. Buehler가 니켈(Ni)과 티타늄(Ti) 합금에서 형상기억 반응을 나타내는 것을 우연히 발견하면서 본격적으로 주목을 받기 시작했다. 니켈과 티타늄 합금의 형상기억합금은 각 금속과 해군무기연구소의 첫 글자를 따서 니티놀(Nitinol)이라고 명명되었다. 이후 많은 연구자들에 의해 금속이 형상을 기억하는 원리가 차츰 밝혀지면서 Ni-Ti계를 필두로 32여종 이상의 형상기억합금이 개발되었다(이정무, 2005; 사와오카, 1992; <http://en.wikipedia.org>). 이와 같이, 형상기억합금은 재료과학적인 현상과 원리를 규명하면서 신개념의 재료가 탄생되는 공급재료혁신의 과정을 보여 주고 있다.

[수요재료혁신] Ni-Ti 합금은 강도, 연성, 내식성, 내구성이 좋고 원래의 형상으로 되돌아갈 때의 힘도 강한 우수한 합금이지만, 가격이 비싼 티타늄(Ti)을 50%나 함유하고 있기 때문에 각 기업에서는 가격에 걸맞은 용도의 개발이 이루어졌다. 즉, Ni-Ti 합금은 원가절감을 중요하게 고려하는 자동차산업의 부품 용도보다는 항공기 및 우주선용 재료로 최초 사용되기 시작하였다. 형상기억합금의 본격적인 상용개발은 니티놀이 발견된 지 10년이 지난 1975년 미국의 Reychem사가 파이프 이음장치용 합금을 제조하여 시판한 것을 시작으로 세계 각국에서 응용개발이 활발하게 진행되었다(이호성, 2002). 한편 Ni-Ti계 합금보다 가격이 저렴한 새로운 합금 개발이 이루어지기 시작하면서 재료간 경쟁이 본격화 되었다. 1970년대 후반부터 벨기에 Delaey 회사 등이 개발한 Cu-Zn-Al합금, Cu-Al-Ni 합금, Fe-Mn-Si합금 등이 수요재료혁신 차원에서 연구되어 실용화되고 있다(서영섭 외, 2004). Cu계에서는 28여종, Fe계에서는 16여종, 기타 15여종의 형상기억합금이 지금까지 개발되고 있다(이정무, 2005). Cu-Zn-Al합금은 가격이 저렴하지만 강도가 낮고 취성과파괴가 쉽게 일어나는 단점을 가지고 있기 때문에 대량 사용으로 원가적인 경제성이 우선되는 응용분야에서 활용되고 있다. 최근에는 형상기억합금을 미세전자기계시스템(MEMS)¹⁸⁾용 소재로 사용하기 위해 Ni-Ti계에 제 3의 원소를 첨가하거나 새로운 합금계를 개발하는 고온용 형상기억합금의 연구개발이 진행되고 있다. 이와 같이 산업 적용단계 혹은 준비단계에서 사용자의 요구조건(경제성 등)에 맞추어 재료개발, 성능향상, 용도혁신 등의 수요재료혁신이 수행되고 있다.

[공급공정혁신] 형상기억합금의 제조공정은 일반적인 티타늄합금과 동합금의 제조공정과 유사하다. 성분원소의 조성별로 배합한 원료를 용해하고 주조하여 합금 주괴로 만든 다음 열간가공, 냉간가공, 형상기억처리후 제품으로 제조된다. 이처럼 기존에 없었던 신공정 개발보다는 기존의 공정을 활용하여 형상기억합금을 제조하였다. 기존 공정을 활용할지라도

18) MEMS (Micro-Electro-Mechanical System; 미세전자기계시스템) : 반도체 제작공정을 사용하여 입체적인 미세구조와 회로, 센서와 액추에이터를 실리콘 기판 위에 집적화 시킨 것으로 소형이면서도 복잡하여 고도의 동작을 하는 시스템이다(예; 마이크로시스템, 마이크로머신 등).

합금별 공정 조건은 상이하므로 합금별 특성과 제조공정간의 관계를 규명하는 공정혁신은 활발히 진행되었다. 특히 금속의 형상기억은 열처리과정을 거쳐 이루어지는데 합금별 열처리조건에 대한 공정연구가 주요했다. 1990년대를 기점으로서는 기존의 제조공정 이외의 분말 제조공정, 고온연소합성(SHS) 공정 등의 새로운 공정이 다양하게 시도되면서 재료공정의 혁신활동이 증가하였다. 또한 순수한 Ni, Ti 등의 박판이나 판재를 적층하여 반복굽힘 압연을 통하여 양소재를 접합시키고 확산열처리를 실시하여 형상기억합금 박판재를 제조하는 연구도 수행되고 있다. 이처럼, 형상기억합금에서도 신개념의 재료를 제조하기 위한 기존 제조방법의 활용조건 탐색, 제조공정과 재료물성의 상관관계 분석 혹은 신공정의 개발과 같은 공급공정혁신이 수행되었음을 알 수 있다.

[수요공정혁신] 최근에는 미세전자기계시스템(MEMS)의 발달과 더불어 박막(Thin film) 형상의 형상기억합금 수요가 빠른 속도로 증가하고 있다. 이에 따라 형상기억합금 박막공정에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 1990년대 물리적 증기 증착법(Physical vapor deposition ; PVD) 공정기술로 박막이 제조된 이래 8개 이상의 박막공정¹⁹⁾으로 형상기억합금 박막에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 미세전자기계시스템(MEMS)에 박막 형상기억합금을 적용하기 위해서는 증착(Deposition)방법, 후처리기술, 에칭 및 패터닝 기술, 합금조성제어, 실리콘칩 기판과의 열팽창계수 차이 등이 해결되어야 한다. 이러한 사용자의 요구사항을 해결하기 위한 수요공정혁신활동이 진행되고 있다. 이상의 공정 이외에도 급냉응고법(냉각속도 : 초당 106℃)을 이용하여 리본 형태의 제품을 만드는 공정이 개발되어 있다. 생체재료분야에서도 형상기억합금의 응용이 시도되면서 분말야금법을 이용하여 다공질의 형상기억합금 제조에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다(이정무, 2005).

V. 특징 및 정책적 시사점

본 논문에서 제안한 혁신유형은 기존의 혁신유형과 비교하여 다음과 같이 몇 가지 특징과 시사점을 갖는다.

첫째, 본 논문의 기술혁신 유형은 첨단재료기술에 한정함으로써 혁신의 사후적 상태보다는 합금개발, 공정개발과 같은 구체적인 혁신 행위를 다루고 있다. 기존의 혁신 유형론은 점진적, 급진적, 정규적, 혁명적, 구조적 혁신 등과 같은 표현으로 추상적이고 개념적으로 혁신을 유형화 하고 있다. 이러한 표현은 전 산업의 공통적인 혁신 특성을 포괄적으로 표현하

19) 형상기억합금의 주요 박막공정기술 : Magnetron sputtering, Ion beam sputtering, ECR sputtering, Laser ablation, Pulsed laser deposition, Flash evaporation, Electron beam deposition, Vacuum plasma spraying

기 위함이다. 또한 점진적, 급진적, 역량-향상적, 역량-파괴적 혁신과 같은 분류법은 혁신활동의 사후적인 상태(영향력 등)를 나타낸다. 이처럼 개념적 혹은 추상적 유형 분류는 기술혁신의 특성을 전반적으로 이해하는데 유리한 점이 있지만, 현실적인 연구전략 혹은 정책 수립에 필요한 구체적인 혁신 행위를 파악하는 데는 부족한 점이 있다. 이러한 구체적인 혁신 행위는 산업기술별로 차이가 있을 수도 있다. 결과적으로 혁신유형이 기술 정책적 활용 측면에서는 혁신행위에 관한 유형화가 더욱 유용하며, 이는 특정 기술 수준에서 혁신연구가 수행될 필요가 있음을 의미한다. 본 논문에서는 첨단재료기술이라는 특정분야의 기술혁신 원천과 특성 연구를 바탕으로 혁신활동을 재료혁신과 공정혁신으로 유형화 하고 있다.

둘째, 본 논문의 유형 분류 기준은 혁신사례를 보다 더 객관적으로 혁신 유형별로 분류할 수 있게 한다. 대다수 기존 혁신유형의 분류기준은 혁신의 강도, 시장의 불확실성, 기술의 불확실성 등 정도의 차이에 근거하고 있다. 이러한 분류기준은 분류자의 성향에 따라 하나의 혁신사례가 서로 다른 혁신의 강도로 평가될 소지가 있다. 정도의 차이를 명확히 산정하는데 어려움이 있으며 그 구분의 기준을 일관성 있게 유지하기가 쉽지 않다. 작은 개선이라고 생각했던 것이 산업에 큰 영향력을 미치는 사례도 있다(Henderson & Clark 1990). 이러한 정도의 차이에 근거한 분류기준은 기술 특성분석의 기본적인 도구로 활용하는데 있어 현실적으로 적용상의 문제가 발생할 수 있다. 결국, 혁신사례를 유형별로 분류하는 것 자체가 큰 어려움일 수 있다. 반면에, 본 논문에서 제안한 혁신 유형은 재료혁신, 공정혁신, 기술공급형, 수요견인형과 같이 단어의 의미에서 차이를 구별하는 명시적 분류 개념을 가진다. 이는 기술혁신사례를 유형별로 분류하는데 있어 수월성과 정확성을 제공하고 있으며, 아울러 현실적인 혁신 전략수립에 적용 가능성을 높일 수 있다.

셋째, 본 논문의 유형은 기술혁신과 시장 수요와의 연관관계를 설명할 수 있는 특징이 있다. 문헌고찰에서 살펴 본 바와 같이 기존의 연구에서는 기술과 시장간의 상호작용 관계를 직접적으로 고려하지 않고 있다. 본 논문에서는 첨단재료 산업 내의 기술혁신활동에 국한하지 않고 연관산업에 해당하는 사용자 수요와의 관계를 고려하여 유형을 제안하였다. 본 논문은 사용자 수요와 결합한 혁신유형(수요견인형 혁신)과 기술공급자 중심의 혁신유형(기술공급형 혁신)을 구분함으로써, 연관산업(사용자) 혹은 시장을 기술혁신과 성공의 중요한 원천으로 보고 있다. 이러한 개념의 도입은 학술적 혁신활동과 산업적 혁신활동의 차이에 대한 설명을 가능케 한다. 예를 들어, 한국 재료분야의 학술활동(SCI논문 발표율)은 세계 5-7위권에 이르고 있으나(소민호 외 2004), 한국의 재료산업은 무역수지 악화의 주요 원인이 되고 있다. 이처럼 '학술적 혁신활동'이 '산업적 성과창출'로 이어지지 못하는 사례를 본 논문이 제안한 혁신유형에 대입하여 설명해 보면 다음과 같다. 한국의 재료기술혁신 활동은

대학 및 연구소 중심의 학술적인 공급재료혁신, 공급공정혁신에 집중됨으로써, 산업 활성화와 연계되는 수요재료혁신 및 수요공정혁신 활동이 상대적으로 부족함을 지적할 수 있다. 결국 대학과 연구소의 혁신 성과가 산업계로 제대로 연계되지 못하는 결과를 낳고 있다. 이러한 학술적 혁신활동과 산업적 성과와의 부적합을 해소하는 정책적 방안이 필요함을 본 논문의 혁신 유형에 적용하여 분석해 볼 수 있다.

마지막으로, 본 혁신유형은 혁신과정을 4개의 활동으로 세분화하여 분석할 수 있는 기본틀을 제공한다. 또한 기술개발 전략도 세분화하여 보다 더 정교한 정책개발에 활용될 수 있다. 기술수명 및 산업적 환경이 혁신유형 중 어디에 해당되는가에 따라 연구개발의 목표 혹은 정책방향 수립을 다음과 같이 모색할 수 있다.

공급재료혁신에서는 장기적인 안목을 가지고 대학 및 연구소를 중심으로 지식재산권 창출과 산업전반의 기술 확산에 초점을 두어야 할 것이다. 4장의 사례분석에서 살펴본 바와 같이 첨단재료의 기술 태동기에 공급재료혁신이 4가지 혁신유형 중에서 가장 영향력 있는 혁신활동을 보여주고 있다. 따라서 무엇보다 창의적인 아이디어가 대접받을 수 있는 환경조성과 관리가 필요하다. 산업적 경쟁 환경이 강하지 않으므로 연구회, 기술교류회, 연구조합과 같은 커뮤니티 조직을 통해 지적 역량배양과 공유는 기술저변 확대차원에서 효율적인 정책수단이 될 수 있다. 특히 인프라 측면에서 연구 및 시험설비의 확충과 연구 인력의 배양은 재료기술의 보조 혁신으로 중요한 요소가 될 것이다. 또한, 연구결과와 실패에 대한 위험관리(공동연구 및 공동투자 등)와 기술의 미래 수요예측 등 사업화 가능성에 대한 선행 정책연구가 병행될 필요가 있다.

수요재료혁신에서는 재료의 응용을 통한 대중적인 산업 성과 창출이 목표가 될 것이다. 따라서 재료공급자와 재료사용자와의 협력을 우선하는 정책을 강구할 필요가 있다. 사용자와의 협력은 <표 4>의 3단계 이상에서 협력을 의미한다. 기술적 측면에서는 재료의 가공성, 신뢰성, 수명예측 가능성 및 제조공정의 안전성이 중요한 요소가 된다. 이러한 요소들에 대한 해답을 찾는 것이 연구과제 및 정부자원 투자의 정책적 목표가 될 수 있다. 재료 간 및 재료내 경쟁이 점증하는 만큼 정부의 정책(환경보존, 에너지 절약, 건강 등)은 재료 간의 경쟁을 조율할 수 있으며 산업육성을 가속화할 수 있다. 대량 생산설비에 대한 투자 부담이 산업화의 장벽으로 부상할 수 있기 때문에 이에 대한 정부의 지원이 산업화의 중요한 역할을 할 수 있다.

공급공정혁신에서는 기존공정으로 신재료의 제조가 어렵거나 효율성이 떨어지는 경우에 주로 발생하며, 특정재료에 종속적이기 보다는 공통기반적인 특성의 혁신이 강하다. 특히 공정혁신의 산물은 제조장비의 혁신과 직결된다. 따라서 공급공정혁신에서는 재료분야와 제

조장비 섹터와의 협조 관계를 긴밀하게 유지할 필요가 있다. 최근 극한환경, 초미세 환경을 이용한 신공정개발이 증가하면서 물리, 정보기술, 전기전자기술, 기계기술 등이 융합된 다학제적 혁신활동이 필요하다. 공급재료혁신과 마찬가지로 창의성 및 위험 관리가 중요하다. 공급공정혁신은 생산시스템 전반의 혁신적인 변화를 필요로 하기 때문에 산업 적용에 있어 기업들은 상당한 비용 및 위험에 대한 부담감을 느낄 수 있다. 연구개발, 신축공장 및 시설투자에 막대한 투자는 혁신 장벽으로 이어질 수 있어 기술공급자의 공정신뢰성 제공 및 정부의 설비 자금지원 프로그램이 수반될 필요가 있다.

수요공정혁신은 비용절감과 성능향상을 위한 규모의 경제 혹은 소재부품의 다양성 확보를 위한 범위의 경제가 중요하다. 성과의 지표는 품질향상, 제품특성향상, 생산병목 해소, 생산성 향상 등의 점진적 혁신과 관련 있다. 따라서 정책적 목표는 기술생산자와 사용자간의 협력을 기반으로 하는 고부가가치화, 고품질화와 관련한 지원프로그램을 수행할 필요가 있다. 사용자의 수요조사와 정보교류를 위해 박람회, 전시회 등의 개최 등은 효과적인 지원책이 될 수 있다. 또한 사용자 기업내 소재부품 벤처기업 육성도 수요공정혁신을 활성화하는 방안이 될 수 있다.

VI. 결 론

기술혁신 유형은 기존 연구결과의 고찰에서 살펴본 바와 같이 혁신 자체에 대한 이해, 제품의 혁신성 분류, 연구과제의 불확실성 분류, 기술정책의 분류 등 목적과 용도에 따라 다양한 분류법이 도출될 수 있다. 본 논문에서는 첨단재료기술에 한정하여 기술혁신에 대한 이해를 증진하고 연구개발 및 정책수립의 기본 틀로 활용하는데 목적을 둔 기술혁신 유형-공급재료혁신, 수요재료혁신, 공급공정혁신 및 수요공정혁신-을 제안한다. 본 4가지의 혁신 유형은 첨단재료기술의 중요한 혁신 행위인 재료혁신과 공정혁신을 사용자 산업의 수요가 고려된 수요유발형 활동인지, 기술공급자 중심의 기술공급형 활동인지에 따라 나누어진다. 4가지 혁신유형의 도출과정은 첨단재료기술혁신의 특성, 원천, 과정, 분석과 함께 사용자 산업과의 상호작용 분석에 근거하고 있다. 4가지 혁신 유형별로 특징과 사례분석을 통하여 연구개발 혹은 정책수립 등의 도구로서 활용가능성과 시사점을 살펴보았다. 본 논문의 기술 혁신 유형분류법은 전 기술을 대상으로 하는 기존의 혁신유형과 달리 특정 기술 분야에 집중함으로써 구체적인 기술혁신 행위를 다루고 있다. 이 때문에 본 혁신 유형은 사례를 유형별로 구분하는데 용이성을 제공하며, 혁신 활동을 세분화하여 체계적으로 설명할 수 있게 한다. 기술 정책 수립에서도 유형별로 세분화하여 고찰 할 수 있는 틀을 제공하고 있다.

향후 연구내용으로는 기술혁신의 활성화를 위한 정부정책이나 제도적 요인들이 혁신유형별로 기술혁신에 미치는 효과에 대한 분석과 정책적 활용방안에 대한 연구가 필요하다. 또한, 4가지 혁신유형별 혁신의 강도에 대한 비교분석과 유형별 상호작용 관계를 동태적 관점에서 세분화하여 연구가 진행될 필요가 있다.

참고문헌

- 김석관 (2004), 「제약산업의 기술혁신 패턴과 발전전략」, 과학기술정책연구원
- 사와오카 아키라(澤岡 昭) (1992), 「신소재 이야기」 번역판, 한국경제신문사.
- 서영섭, 백승호, 이철영 (2004), 「신소재 공학」, 기전연구소
- 소민호 외 (2004), 「SCI DB 분석을 통한 과학기술분야 연구실적 분석 연구」 대전: 한국과학기술원
- 송성수 (1999), 「철강산업의 기술혁신패턴과 전개방향」, 과학기술정책연구원.
- 송위진 (1994), “산업별 기술혁신 패턴의 개념 : 기존 연구의 검토”, 「과학기술정책동향」, Vol. 4, No. 5, 과학기술정책관리소
- 안두현, 정교민(2001), “생물산업의 기술혁신 패턴 : 특허 분석을 중심으로”, 「기술혁신연구」 제9권 1호.
- 이정무 외 (2005), 「복합기능 형상기억합금의 연구개발조사 연구기획보고서」, 한국기계연구원.
- 이호성 (2002), 「신소재」, 보성각
- 채재우, 조규갑, 김정흠 (2005a), “재료기술혁신의 원천에 관한 연구”, 「기술혁신학회지」, 제8권 2호.
- 채재우, 조규갑, 김정흠, 이용태 (2005b), “논문정보를 활용한 첨단고속재료기술 혁신원천의 동태적 특성분석 연구”, 「기술혁신학회지」, 제8권 3호.
- Abernathy, W. J. and K. B. Clark (1985), “Innovation: mapping the winds of creative destruction”, *Research Policy*, Vol. 14, pp.3-22.
- 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.
- Booz, Allen and Hamilton (1982), *New Product Management for the 1980s*, Booz,

- Allen & Hamilton Inc., New York.
- Cantner, U. and A. Pyka (2001), "Classifying technology policy from an evolutionary perspective", *Research Policy*, Vol. 30, pp. 759-775.
- Clauser, H. R. (1975), *Industrials and Engineering Materials*, New York : McGraw-Hill.
- Dewar, R. D and J. E. Dutton (1986), "The adoption of radical and incremental innovations : An empirical analysis", *Management Science*, Vol. 32, pp. 1422-1433.
- Ergas, H. (1987), The Importance of Technology Policy, In: Dasgupta, P., Stoneman,(Eds.), *Economic Policy and Technological Performance*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- 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.
- Freeman, C., and C. Perez (1988), "Structural crises of adjustment, business cycles and investment behaviour", in Dosi et al., (eds), *Technical Change and Economic Theory* (London: Printer).
- Hansen, P. A. and G. Serin (1994), "Materials development and adaptability of industrial structure", *Technological Forecasting and Social Change*, 46.
- Henderson, R. M. and K. B. Clark (1990), "Architectural innovation: The reconfiguration of existing production technologies and the failure of established firms", *Administrative Science Quarterly*, Vol. 31, pp. 9-30.
- Janszen, F. and M. Vloemans (1997), "Innovation and the materials revolution", *Technovation*, Vol. 17, No. 10.
- Kash, D. E. and R. W. Rycraft (2000), "Patterns of innovating complex technologies : a framework for adaptive network strategies", *Research Policy*, Vol. 29, pp. 819-831.
- Kash, D. E. and R. W. Rycraft (2002), "Emerging patterns of complex technological innovation", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 69, pp 581-606
- Kleinshmidt, E. and R. Cooper (1991), "The impact of product innovativeness on performance", *The Journal of Product Innovation Management*, 8(4), pp. 240-251.

- Lastres, H. (1994), *The Advanced Materials Revolution and Japanese System of Innovation*, St. Martin's Press.
- Marcum, J. M. (1990), "Technical Note: Materials: the economics implication", *International Journal of Materials and Product Technology*, 5(2).
- Mansfield, E. (1968), *Industrial Research and Technical Innovation*, Norton, NY.
- Miller, W., L. and L. Morris (1998), *Fourth Generation R&D*, John Wiley & Sons, Inc.
- Molina, A. H. (1999), "Understanding the role of the technical in the build-up of sociotechnical constituencies", *Technovation*, Vol. 19, pp.1-29.
- OECD (1990), *Advanced Materials : Policies and Technological Challenges*, Paris.
- Pearson, A. W. (1990), "Innovation strategy", *Technovation*, Vol. 10, No., 3, pp. 185-192
- Pennings, J. M. (1992), "Structural contingency theory: A reappraisal", *Research in Organizational Behavior*, 14, pp. 267-309.
- Pinto, J. K. and J. G. Covin (1989), "Critical factors in project implementation: a comparison of construction and R and D projects", *Technovation*, 9, pp.49-62.
- Saviotti, P. P. (1995), "Technology mapping and the evaluation of technical change", *International Journal of Technology Management*, 10(4/5/6), 423
- Shenhar, A. J., D. Dvir and Y. Shulman (1995), "A two-dimensional taxonomy of products and innovations", *Journal of Engineering and Technology Management*, Vol. 12, pp. 175-200.
- Teece, D. (1988), "Technological change and the nature of the firm". In *Technological Change and Economic Theory*, eds G. Dosi et al., pp.256-281. Printer, London.
- 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.
- Tushman, M. and P. Anderson (1986), "Technological discontinuities and organization environments", *Administrative Science Quarterly*, 31, pp. 439-465.
- Utterback, J. and W. Abernathy (1975), "A dynamic model of process and product innovation", *Omega*, Vol. 3.
- Utterback, J. (1994), *Mastering the Dynamics of Innovation*, Harvard Business

School Press.

von Hippel, E. (1988), *The Source of Innovation*, Oxford University Press.

Wield, D. and R. Roy (1995), "R&D and corporate strategies in UK materials-innovating companies", *Technovation*, 15(4).

http://en.wikipedia.org/http://www.reinforcedplastics.com/market_focus/aircraft_aerospace/boeing.html

채재우

부산대학교 산업공학과 박사과정에 재학 중이며, 현재 한국기계연구원 재료기술연구소의 선임연구원으로 근무 중이다. 주요 저서로는 재료기술의 혁신에 관한 다수의 논문이 있다. 연구분야는 소재부품산업과 관련한 기술혁신과 연구개발 정책 등이다.

조규갑

미국 펜실베이니아주립대에서 "다단계 제조시스템에서 납기를 고려한 그룹 스케줄링에 대한 연구"로 박사학위를 취득하고 현재 부산대학교 산업공학과 교수로 근무 중이다. 주요 저서로는 산업공학개론과 3권의 역서, "A Method Selecting The Optimal Portfolio of Performance Improvement Projects in a Manufacturing System" 등 국내외 학술지에 다수의 논문을 발표하였다. 현재 International Journal of Industrial Engineering의 논문 편집위원이며, 연구분야는 생산시스템공학, 그룹 테크놀러지, 기술경영 등이다.

김정흠

미국 펜실베이니아주립대에서 "광산통기네트워크의 분석방법론개발"로 박사학위를 취득하고 현재 과학기술연합대학원대학교 기술경영정책전공의 책임교수로 근무 중이다. "Application of MAUT/AHP Hybrid Method to Priority Setting of R&D Project Selection" 외 국내외 학술지에 다수의 논문을 발표하였다. 연구분야는 기술경제, 기술개발의 경제성분석, 기술경영 등이다.

이용태

미국 Case Western Reserve University에서 "Deformation Behavior and Oxygen Effect on Ti-6Al-4V Alloy" 로 박사학위를 취득하고, 현재 한국기계연구원에서 책임연구원으로 근무 중이다. 주요 저서로는 타이타늄 분말성형 등 국내외 논문 71편, 학술회보 161편 외에 특허 7편, 저서 5권이 있다. 주요 연구분야는 타이타늄의 성형기술과 고온재료개발, 관련 특성분석 등이다.