

공공연구기관에서의 복합제품개발을 위한 기술혁신시스템

The Technology Innovation System for Complex System
Product Development of Public Research Institutes

조 황 희*

〈目 次〉

- I. 서 론
- II. 복합제품개발에서의 기술혁신시스템과 지식창조
- III. 위성개발에서의 지식획득과 프로젝트와의 관계
- IV. 결 론

〈Abstract〉

Government-Supported Research Institutes(GSRI) have done complex product(CP) development with national needs. The products to be developed have very limited demand. The most important things at CP development are technology innovation through knowledge creation and acquisition. Then, this paper suggests the technology innovation system for CP development. In CP development like satellite, government must do strategic management at national level and technology management at program level. Two managements are tools to achieve the strategic goals. The key points in CP are integration and interface among subsystems and person.

From these factors and innovation system, R&D planning and practice are based on sharing and creation of knowledge. CP development projects ought to overlap and parallel for sustainable acquisition and creation of knowledge.

Key Words : complex product, satellite, public research institutes, integration

I. 서 론

지금까지 제품 개발에서의 기술 혁신 연구는 주로 기업을 대상으로 이루어져 왔다. 하지만 위성과 같은 복잡한 시스템은 공공 연구 기관에서 연구용, 학습용, 국가적 활용을 위해 개발 및 제작이 되고 있다. 많은 연구자들이 기업에서의 신제품개발을

주로 특정시점에서 이루어진 하나의 제품개발로 대부분 국한하고, 이를 중심으로 조직적인 측면이나 프로세스적인 측면을 연구하였다 (Allen, 1970, 1977, pp.99-125; Ancona and Caldwell, 1992; Katz and Allen, 1985; Clark and Fujimoto, 1991; Hendewson and Cockburn, 1994, pp.117-138; Larson and Gobeli, 1988:

* 과학기술정책관리연구소 선임연구원, 공학박사(E-mail : hhcho@stepimail.stepi.re.kr)

Eisenhaedt and Tabrizi, 1995). 이들 연구들은 민간기업에서의 신제품 개발의 핵심성공요인(Key Successful Factor)이나 개발과 시장과의 연계 등을 중심으로 분석되어 있고, 프로젝트들 간의 연계를 통한 지식 창조는 다루지 않고 있다.

최근에 지속적인 경쟁력을 갖추기 위한 제품 개발력 확보와 어느 시점에서의 고객을 위한 제품과 미래의 제품개발에 이용이 가능하게 될 기술이나 새로운 지식을 산출하게 해주는 신제품 개발의 복수 프로젝트(multi-project)나 프로젝트간 관계가 분석 대상이 되고 있다(Uzumeri and Sanderson, 1995; Meyer and Utterback, 1993; 靑島, 1997). 또한 복잡한 시스템 제품에서의 통합이나 복잡한 제품의 특징(Iansity, 1998, pp.7-25; Hobday, 1998)들이 분석되고 있다. 지식 창조를 위한 프로젝트간 연계와 복잡한 시스템 제품의 통합은 공공연구기관 주도로 진행되는 제품개발에도 적용할 수 있다. 특히 위성과 같이 복잡한 시스템에서는 위성 자체의 시스템통합(system integration)과 위성들 간의 기술적 연계에 의한 개발이 지식의 체계적인 축적과 활용 및 비용의 절감을 초래 할 수 있다.

본 연구에서는 공공연구기관이 기술수준이 매우 낮고 복잡한 시스템인 위성을 국내에서 체계적으로 지식을 습득하고 창출할 수 있도록 하기 위한 기술혁신시스템의 제안과 이를 운영하기 위한 기술경영에 대해서 논한다. 그리고 국내에서 수행중인 두 개의 위성, 다목적 실용위성과 우리별 위성을 통해 지식의 획득과 창출이 어떻게 이루어졌고, 또한 이들 지식이 프로젝트간에 어떻게 연계되어 있는가를 살펴본다.

II. 복합제품개발에서의 기술혁신시스템과 지식창조

지식(knowledge)은 오늘날 지구 경제에서 가장 중요한 자원으로 인식이 되고 있어 많은 기업들이 지식, 특히 전문화된 지식을 성공을 위한 필수적인 요소로 보고 있다. 이와 같이 지식을 자산과 경쟁우위의 기반으로 인식함에 따라 조직에서의 지식경영(knowledge management)이 중요해지고 있다.

(Hamel and Prahalad, 1994, pp.117-138). 그런데 혁신은 새로운 지식보다는 주로 기존의 지식에 의해 이루어지고 있다(Alic, 1991). 따라서 기존의 지식을 획득하고, 그것을 확산시켜 관련된 모든 사람들이 공유할 수 있도록 하는 것이 중요하다. 또한 시스템을 위한 서브시스템이나 부품의 통합뿐만 아니라 조직이 보유하고 있는 지식과 외부에서 획득한 지식의 통합도 이루어져야 한다. 지식은 개인에게 내재화 되어 있는 암묵지(tacit knowledge)와 쉽게 공유할 수 있는 명목지(explicit knowledge)로 크게 대별되지만 이러한 지식들이 조직 속에서 조직의 구성원들 간에 융합되어 새로운 지식을 창출하는 조직문화가 조직의 경쟁력을 위해 필수적이다. 이러한 조직문화도 메타지식(meta knowledge)으로 지식의 한 종류이다(James Fleck, 1997).

특히 복잡한 시스템을 개발 및 제작하는 데에는 여러 조직들이 참여하게 되므로 각 조직이 보유하고 있는 지식과 그 기관들이 제작한 부품이나 서브시스템의 통합이 중요하다. 그런데 이러한 지식의 통합과 창출의 장은 개발프로젝트를 통해서 이루어진다.

우주제품개발 프로젝트는 많은 나라에서 공공연구기관을 중심으로 개발이 이루어지고 있다. 그런데 위성과 같은 우주제품은 자동차, 컴퓨터 등의 대량생산 제품과는 다른 많은 특징을 가지고 있고, 또한 우주제품 자체의 고유한 특성도 있다.

따라서 우주제품개발 프로젝트에서는 이러한 특징들이 반영되어야 하고, 이에 맞는 기술혁신시스템이 갖추어져야 한다.

먼저 우주제품의 특징을 살펴보면, 첫째 우주제품(발사체, 위성)들은 다양하고 많은 첨단기술과 기존기술이 복합화되어 개발되고 있으며, 이의 확보를 위해서는 막대한 장기적 투자와 첨단 시스템기술 개발이 필요하여 정부에의 의존도가 매우 높다. 위성은 지상이 아닌 우주공간에 떠있는 시스템이고, 발사체는 발사 후 재사용이 불가능하므로 고장 수리 및 유지관리가 불가능하다. 우주의 혹독한 환경에서 작동할 수 있는가에 대한 많은 시험이 필요하기 때문에 고가의 대형시험설비와 시스템 제작을 위한 특수한 치공구 그리고 관련 전문기술인력들을 필요로 한다.

둘째, 우주제품은 아주 많은 수의 부품으로 구성

〈표 1〉 우주시스템제품과 대량생산제품과의 차이점

특성	시스템	우주시스템	대량생산시스템
제품특성		부품 인터페이스가 복잡 다기능적 높은 단위비용 제품싸이클이 장기간 유지 많은 지식과 기능이 필요 특수사양의 많은 부품 상류, 자본재 계층적/시스템적	인터페이스가 단순 단기능 낮은 단위비용 짧은 수명주기 적은 지식과 기능이 필요 표준화된 부품 하류의 소비재 단순 구조
생산특성		프로젝트/소규모 배치 시스템 통합 규모(scale) 집약	대량생산 제조를 위한 디자인 비용통제 중심
혁신과정		사용자-생산자 주도 높은 유연성과 숙련에 의존 혁신과 확산이 어렵다 혁신경로는 공급자와 사용자들 간의	공급자 주도 정형화되고 성문화 혁신과 확산이 분리 혁신경로는
기업의 참여형태		사전협의 사람에 체화된 지식 정교한 네트워크 프로젝트 중심의 다기업 동맹 혁신과 생산을 위한 임시적인 다기업	시장 선택에 의해 조정됨 기계에 체화된 지식 대기업/공급체인구조 대량생산자로서 하나의 기업 R&D와 자산교환을 위한
시장특성		동맹 통합자 레벨에서 장기적 안정 과점구조 소수의 대형거래 비즈니스 : 비지니스 통제된 시장 제도화/정치화 심한 규제와 통제 협약가격 부분적인 경쟁	동맹 지배적 디자인이 산업합리화 많은 판매자와 구매자 많은 거래 비즈니스 : 소비자 규칙적인 시장메카니즘 교역적 최소한의 규제 시장가격 높은 경쟁

자료: M. Hobday, "Product complexity, innovation and industrial organization",
Research Policy 26, 1998, p.699를 일부수정

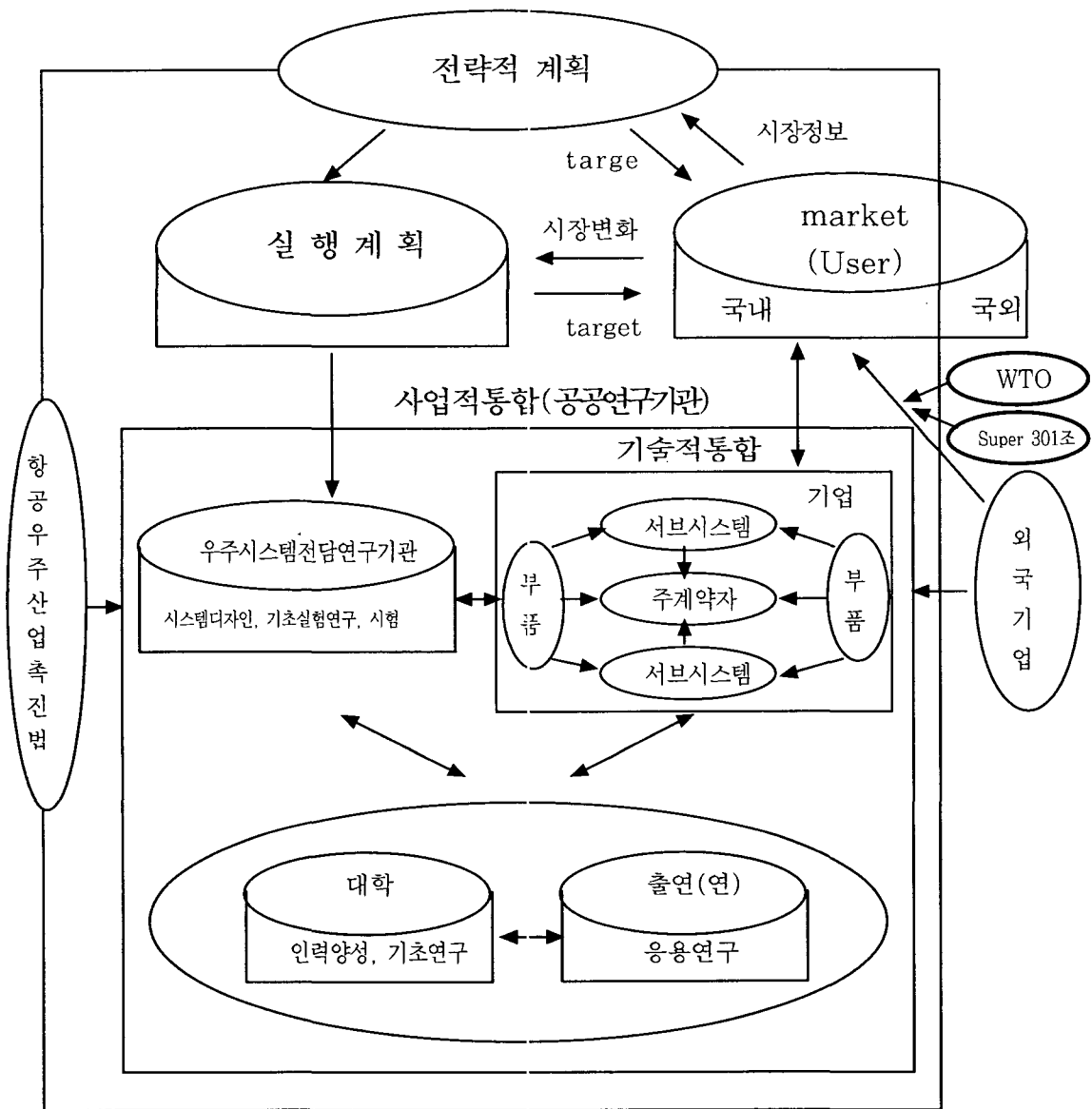
되고 부품의 개발·공급원은 모든 산업에 걸쳐있는 제품시스템(product-system)인 대규모의 기술시스템이다. 제품시스템은 다른 기술분야에 속한 많은 부품과 서브시스템이 함께 구성되는 것으로 다중기술적(multitechnological)이고, 부품, 서브시스템 그리고 시스템들이 총시스템 속에서 서로간에 많은

상호작용을 하는 특성 갖는다. 이러한 특성을 갖는 제품시스템에서의 기술변화는 3가지 레벨에서 발생하고, 그것은 부품레벨에서의 구성단위의 혁신(modular innovation), 인터페이스와 링키지 기술에서의 기술혁신(architectural innovation) 그리고 전체시스템에서의 기술혁신(radical innovation)이

있을 수 있다(Handerson and Clark, 1990). 부품 수에서 간단하게 살펴보면 오토바이가 수천 점, 자동차가 수만 점인 것에 비해 항공기가 수십만 점, 인공위성이 수만에서 수십만 점, 로켓나 셔틀이 수십만에서 수백만 점의 순서이다. 시스템의 조장율은 거의 부품 수에 비례하지만 우주에 수리공장은 없기 때문에 우주시스템의 개발에는 많은 수의 부품에 대한 신뢰성·품질관리가 불가피하다.

셋째, 항공기는 하나의 설계로 수십 기에서 수백 기의 규모로 양산을 하지만 우주 제품은 하나의 설

계, 하나의 로트로 많아야 2-3기 규모의 생산을 한다. 최근의 저궤도 이동 통신과 같이 전세계적인 이동 통신 시스템을 구축하기 위해 70-100개 정도의 위성이 필요한 경우는 예외이다. 발사체인 로켓도 위성의 발사 수요에 맞추어 제작된다. 이 점에서 우주제품개발은 수주생산 방식으로 수요자(주문자)의 요구에 의해 제품혁신과 기능혁신이 일어난다. 위성은 하나의 설계로 비행용 1기, 제작시험용 1기(예비로서 비행용으로 개수 가능한 것)의 규모로 제작되고, 이것을 위한 발사 로켓도 1기만 제작된다. 그



<그림 1> 우주제품 개발에서의 기술혁신시스템

리고 위성의 수명은 정지궤도용의 15년에서부터 저궤도용의 2-3년으로 크게 나누어진다. 우리가 개발하는 위성은 모두 저궤도용이다. 따라서 2-3년 이후에도 동일한 임무를 지속시키고자 할 때에는 대체 위성을 제작하여 올려야한다. 그런데 일회성의 임무를 떠난 위성에서는 동일 임무의 대체위성 보다는 다른 임무의 대체위성으로 운영이 된다. 따라서 위성은 시리즈 형태로 점진적 진화를 하고 임무에 따라 혁신적으로 진화를 한다. 결국 진화할 때마다 지식의 진보에 의해 일부분씩 혹은 전체 시스템이 변화하는 형태를 띄게 되어 각 위성의 제작 프로젝트마다 지식의 진보가 이루어진다. 따라서 위성을 제작하는 각 프로젝트간의 연계와 하나의 프로젝트 내에서의 지식 융합에 의한 지식창출과 기술혁신이 중요하다.

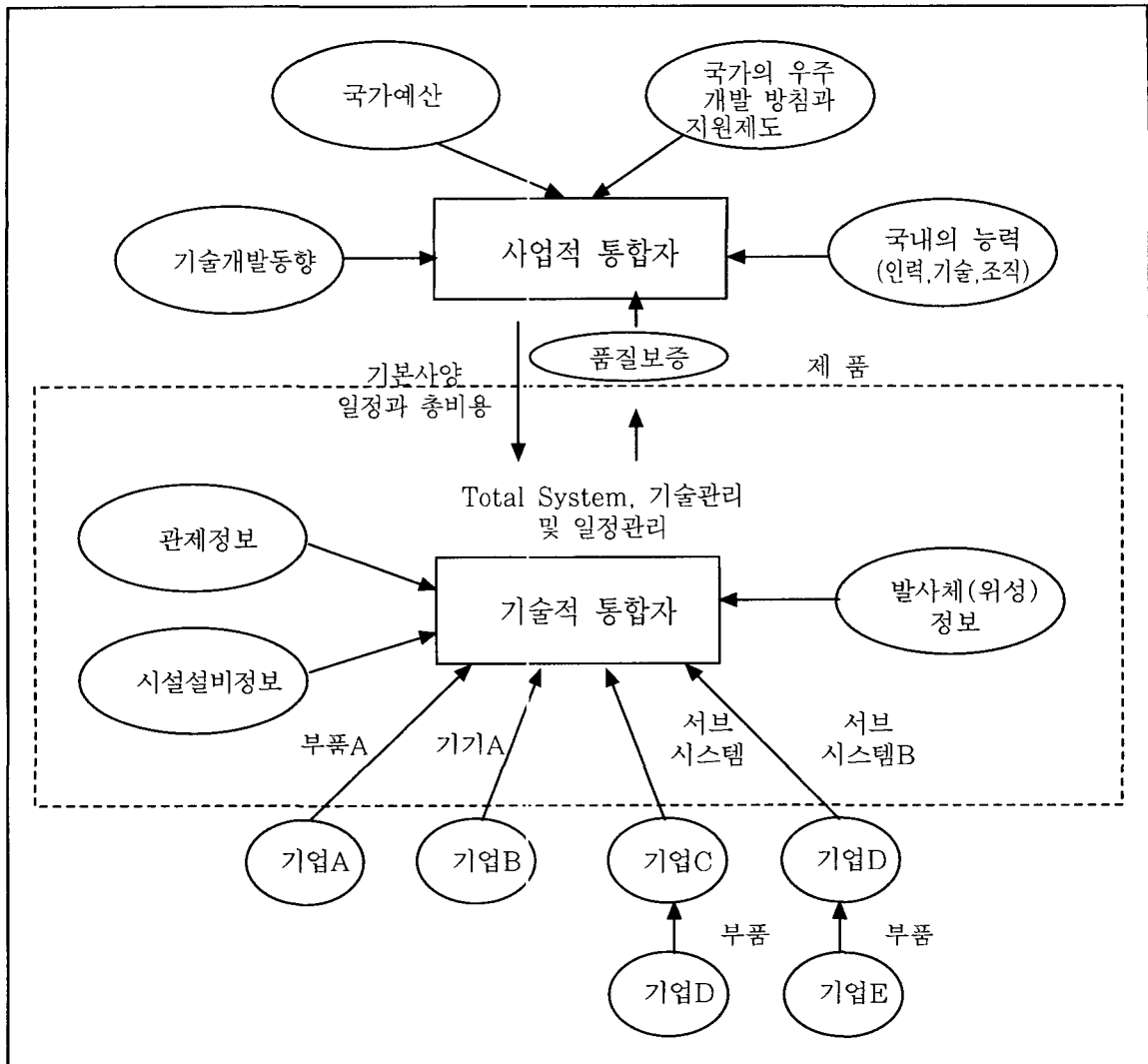
이와 같은 특성을 갖는 위성을 개발하기 위해서는 국가의 전략적 계획과 이를 실행하기 위한 사업적 통합과 기술적 통합을 연계하는 <그림1>과 같은 기술혁신시스템이 필요하다. <그림1>에서 위성개발은 국가의 항공우주산업촉진법에 의해서 지원과 규제가 되고, 실행이 된다. 위성 시장에서 통신방송위성과 같은 상용위성제작은 WTO나 슈퍼301조의 영향을 받을 수 있어 국제적 입찰을 통해 이루어지지만, 연구 및 교육용은 자체개발이 이루어진다. 위성을 개발하는데 있어서 지금까지 우리는 기술적 통합에 치우쳐 왔다. 그래서 개발에 참여한 조직들간의 지식의 공유화를 통한 국가적 학습조직이 형성되지 못하고 공공연구기관 중심으로 기술적 통합이 이루어졌다. 기술혁신에서 핵심 주체는 기업이고, 시장에 진출하는 주체도 기업이므로 현재의 출연(연) 중심의 기술적 통합과 사업적 통합으로부터 기업의 역량이 강화되기 위해서는 기술적 통합은 기업, 사업적 통합은 공공연구기관이 담당하는 체제가 바람직하다. 여기에서 문제는 기술적 통합을 하는 주 계약자를 선정하는 것이다.

사업적 통합과 기술적 통합의 관계는 <그림2>와 같고, 제품개발의 궁극적인 성공은 기술적 통합으로 나타나지만 그것이 이루어지도록 하는 것이 사업적 통합이다. 복잡한 제품의 개발 및 제작에는 <그림2>와 같은 서브시스템간의 인터페이스를 고려한 기술

적 통합과 국가의 전략, 참여 조직과 인력, 그리고 지식을 통합하는 사업적 통합이 필요하다. 위성과 같이 지상이 아닌 우주에 올려지는 제품은 어느 한 부품이나 서브시스템이 고장나면 전체 시스템이 작동하지 않게 된다. 따라서 모든 부품과 서브시스템은 운명공동체이다.

사업적 통합은 제품의 기본구상, 목표 일정, 총비용을 설정하는 것이고 특히 실현단계에서의 거시적 기술관리, 상위레벨에서의 조직간 조정, 사용자와의 조정을 실시하고 필요하다면 계획을 수정해 가는 프로그램 전체를 통괄하는 작업이다. 기술적 통합은 사업적 통합에서 주어진 제품의 기본구상, 일정, 비용 중에서 제품을 기술적으로 집대성하는 것이다(中山, 1993). 우주프로젝트에는 복수의 기업에 의해 각 부분이 분담 개발되고, 설계, 시험, 제작의 과정을 거쳐 기술통합이 이루어진다. 기술적 통합은 사업적 통합의 일부이지만 복잡한 제품개발에서는 가장 중요한 제품 통합성을 추구하는 작업이다. 결국 제품으로 만드는 기술적 통합이 개발의 성패를 나타내지만 사업적 통합 이후에 기술적 통합이 이루어지는 것이 돈과 시간을 절약할 수 있다. 이와 같은 기술혁신시스템을 통해 지식의 획득 및 창조 그리고 기업의 역량을 키우기 위해서는 사업간의 연계가 필요하다.

프로젝트간의 연계를 통해 지속적으로 지식을 습득하고 창조하기 위해서는 프로젝트간의 부분중첩과 제품군 접근법이 필요하다. 위성이나 로켓에서도 위크맨이나 자동차와 같이 하나의 플랫폼에 여러 가지 기능들이 추가되면서 진화하다가 새로운 플랫폼이 개발되는 제품군(product family)형태의 진화를 한다. 제품군은 조직의 핵심 능력의 역동성 평가를 위한 기준으로 사용되고, 그 의미는 같은 기능을 하는 여러 제품들이 설계나 부품을 공유하는 것이다(Sanderson and Uzumeri, 1995; Meyer and Lehnerd, 1997, pp.23-51). <그림3>에서 제품 A의 플랫폼(Bus)를 이용한 위성 1, 2, 3이 발사되고 그 과정에서 제품 A의 새로운 플랫폼을 개발하여 그것을 이용한 위성 4, 5, 6을 발사하고 한편으로는 새로운 제품 B의 플랫폼을 개발하고 그것을 이용한 위성 7, 8을 발사해 나가는 것이 제품군접



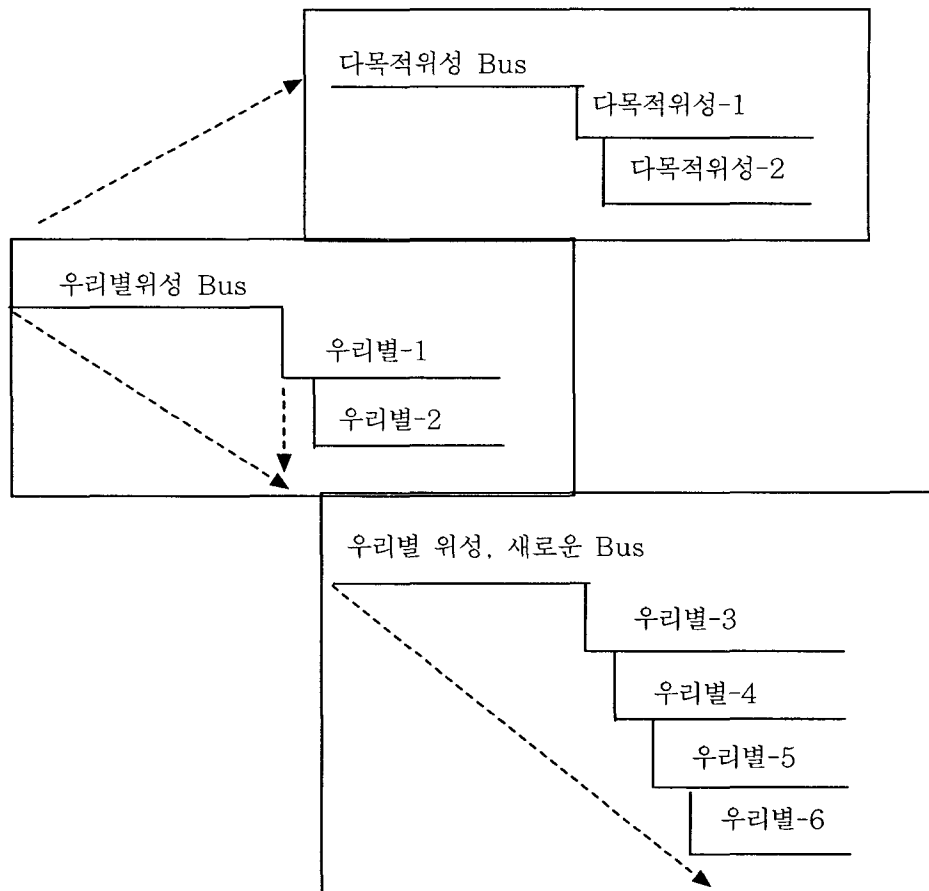
〈그림 2〉 기술적 통합과 사업적 통합의 관계

근법이다. 여기서 2, 3, 5, 6, 8은 같은 플랫폼을 사용하고, 부분적인 혁신이 일어나는 기능혁신으로 지식의 내재화를 하는 과정이다. 1, 4, 7은 플랫폼 자체가 혁신하는 제품혁신으로 지식이 창조되는 과정이다.

제품군 접근법에서 중요한 것은 제품군의 핵심(core)을 점차 늘려가면서 제품의 활용도를 높여나가는 것이다. 즉 국가적으로 중요하다고 판단된 전략기술과 핵심 기술을 분류하고 그것을 단계적으로 확보해 나가면서 나머지 기술들은 외부조달(outsourcing) 전략을 취하는 것이다.

Ⅲ. 위성개발에서의 지식 획득과 프로젝트와의 관계

현재 국내에는 무궁화위성, 다목적 실용위성, 우리별 위성이 있다. 이들 위성은 〈그림1〉의 실행계획에 해당된다. 실행계획을 수행하기 위해서는 사업적 통합자와 기술적 통합자 혹은 사업적·기술적 통합자가 필요하고, 통합을 위해서는 많은 경험과 지식이 필요하다. 그런데 지식과 경험이 축적되어 있지 않



자료 : Marc H. Meyer and Alvin P. Lehnerd, *The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership*, The Free Press, 1997. p.36을 일부 수정

〈그림 3〉 위성간 연계를 위한 플랫폼 접근법

는 경우는 지식을 외부로부터 획득하거나 스스로 창출하여야 하지만 아직 우리의 수준이 창출의 단계에 이르지 못하고 있어 많은 경험과 지식을 갖추고 있는 외국의 기관으로부터 지식을 획득해야만 한다. 현재 국내서 운용 또는 개발 중에 있는 3개의 위성은 각각 지식획득의 방법이 위성의 목적에 따라 다르다. 통신방송인 무궁화위성은 통신과 방송을 서비스하기 위해 외국으로부터 위성을 구입하기 때문에 타 위성과는 차별화 된다. 다목적 실용위성은 미국의 TRW사에게 위탁개발을 맡기고 국내의 인력들을 파견하여 지식을 습득시키는 전략을 취하였고, 우리

별 위성은 인력양성과 지식습득을 위해 영국의 서레이(Surrey) 대학에 인력을 파견하여 석사과정과 OJT 교육을 하는 대학간 협력전략을 사용하였다.

1. 다목적 실용위성 1호 사업에서의 지식 습득

다목적 실용위성 1호 사업은 1994년부터 1999년까지 약 5년간 총 1,650억원(정부 1,415억원)을 투자하는 사업이다. 다목적 실용위성사업의 운영은 총괄주관기관으로 항공우주연구소가 선정되어 운영

하고 있고, 시스템의 사양설정과 시스템 제작의 진도관리 및 사후관리 그리고 지상수신소의 건설은 항공우주연구소, 위성 시스템의 조립 및 실험은 미국의 TRW사 그리고 위성의 서브시스템 제작에 국내 7개 기업이 참여하고 있다. 관제는 전자통신연구소에서 정보통신부의 자급에 의해 자체 개발되고 있다. 이 사업에는 국내의 기업이 참여하여 일부 기술 개발을 담당하고 있다.

다목적 실용위성은 우리 나라에서 시작된 최초의 소형위성이지만 이것을 개발 및 제작할 기술기반이 없기 때문에 해외의 제작업체에 의존하지 않을 수가 없다. 따라서 대형사업의 초기에 참여하는 기업과 정부출연연구기관은 해외의 선진기술의 습득을 요망하게 된다. 국내 기업은 위성의 서브시스템을 제작해 본 경험이 없기 때문에 제작된 서브시스템의 신뢰성에는 문제가 있을 수 있어서 TRW와 함께 동시 병행적으로 제작하는 시스템을 취하고 있다. 대형시스템의 제작에는 일정도 중요하기 때문에 이 일정을 준수하는데 있어 하나의 서브시스템도 제작 과정에서 문제가 발생하면 안되기 때문에 취해진 예방책이라 할 수 있다. 이 사업을 위해 항공우주연구소와 참여기업에서는 관련 기술인력 약 120여명을 job-sharing 형태로 TRW에 파견하여 기술연수를 하도록 하였다. job-sharing이란 국내에서 파견되는 인력들의 인건비를 부담하여 TRW직원과 공동으로 작업을 수행하게 하는 것이다. 이 기술연수는 TRW의 Mentoring 방법에 따라 각 서브시스템별로 TRW의 1인과 항공우주연구소와 관련참여기업의 기술자가 한 팀이 되어 지식이전이 이루어졌다. 지식이전의 방법은 공동수행에 의한 학습(learning by jointly doing)이었다.

기술연수를 통해 습득한 지식은 기관별 인력에 따라 다르다. 대개 1년의 파견기간 동안에 특정분야의 지식습득과 관련 자료 수집을 담당하였는데, 출연연구소 인력들은 시스템 전반에 대한 설계 중심의 지식습득에 노력한 반면에 기업들은 특정 서브시스템 제작 중심의 지식습득을 하였다. 모든 기업은 아니지만 일부 기업들에게는 시스템 전반에 대한 지식이전이 이루어져야 후속 사업에서 국내 기업을 주 계약자로 선정할 수가 있다. 하지만 지식의 양분화로 기업이 주 계약자가 되기 위해서는 다시 한 번의 학

습기회가 필요하다.

명문화된 명목지인 모든 자료는 정부출연연구소가 보관하고 있고, 기업은 담당 서브시스템 분야만의 자료를 보관하고 있다. 인력 역시 시스템 엔지니어나 설계엔지니어는 출연연구소에 주로 있고 제작엔지니어는 기업에 있다. 이와 같이 현재는 두 개의 조직이 분리된 형태로 존재하고 있으나 이것이 하나가 되는 유기적인 시스템이 구축되어야 한다.

2. 우리별 위성시리즈에서의 지식습득 및 창조

한국과학기술원(KAIST) 인공위성연구센터는 1989년 교수들의 소규모 연구모임으로 시작된 연구개발 활동이 1990년 과학재단으로부터 우수연구센터로 지정됨과 동시에 정부로부터 추가연구비를 지원 받음으로써 출발하였다. 이 센터가 제작한 KITSat 1, 2호는 마이크로위성으로 주로 대학에서 인력양성과 위성의 전반적인 점을 이해하기 위해 개발이 된 것이다.

인공위성연구센터는 국내 기술수준의 열악 때문에 외국 기관들과의 협력을 통한 기술습득과 인력양성 전략을 채택하였다. 그래서 센터는 위성제작과 학위 프로그램을 운영하고 있는 영국의 Surrey대학과 1990년 MOU를 맺고 12명을 선발하여 파견하였다. 그들 각각에게는 위성의 서브시스템에 대한 분야가 지정되어 있어서 파견은 목적 지향적이었다. 그런데 한정된 인력으로 위성의 모든 시스템을 커버하기란 어려워서 한 사람이 두 가지 서브시스템을 담당하는 형태를 취하였다. 특히 전자공학을 배운 학생이 기계공학 관련 서브시스템을 담당하게 됨으로써 많은 어려움을 겪게 되었다. 이들은 course work과 석사학위논문을 1년 반만에 마치고 Surrey 대학에서 제작 중인 위성에 투입되어 OJT교육을 받았다. 그 위성의 제작 과정에서 전수 받은 지식을 갖고서 우리별1호 제작에 모두 참여하였다.

위성과 같은 시스템은 시스템 내의 서브시스템이나 부품의 변경이 있으면 반드시 전체시스템의 변경이 뒤따라야 한다. 다시 말해서 위성은 기술을 통합한 제품이므로 서브시스템간, 부품간의 인터페이스가 아주 중요하다. 물론 자동차나 컴퓨터와 같은 시스템에서도 마찬가지로이지만 위성은 자동차와는 달리

우주 공간으로 보내지는 시스템이기 때문에 수리가 불가능하고, 우주의 혹독한 환경을 접하게 되므로 서브시스템간의 인터페이스가 대단히 중요하다.

따라서 위성에서는 기술통합이 무엇보다도 중요하다. 영국에 파견된 12인은 바로 복수의 서브시스템과 시스템 통합과정을 습득하였다. 우리별 2호를 통해 지식의 체득이 잘 되었음을 증명하였다. 우리별 2호는 우리별 1호의 후속위성으로 우리별 1호 발사 후 바로 제작에 들어간 위성이다. 우리별 1호 제작은 영국의 Surrey 대학에서 수행되었고, 이때 한국 내에는 그림자 팀(shadow team)이 구성되어 영국에 파견된 그들과 수시로 연락을 취하면서 학습을 진행하였다. 우리별 2호는 원래 우리별 1호를 다시 한 번 재현해보려고 한 것이었으나 한국과학기술원의 타 학과 교수와 학생들의 여러 가지 제안으로 인해 일부 시스템 변경이 불가피하게 되었다.

우리별 3호는 우리별 1, 2호와 다른 새로운 시스템으로 혁신적인 제품이다. 우리별 2호는 우리별 1호를 바탕으로 국내에서 개발된 첫 번째 위성이다.

2호 시스템의 규모는 우리별 1호와 비슷하지만 국내에서 개발된 실험장치와 부품의 사용으로 기능혁신이 이루어졌다. <표2>와 같이 우리별 3호는 1, 2호와는 아주 다른 시스템으로 근원적 혁신(radical innovation)에 의해 새롭게 개발된 위성이다. 위성의 무게가 1, 2호에 비해 2배정도 증가하였고, 위성의 기능도 10배 이상 향상되었다. 같은 버스(Bus)를 사용한 1, 2호의 위성에서는 주 탑재체를 바꾸는 기술의 진화가 이루어졌고, 3호에서는 새로운 버스와 새로운 주 탑재체 및 위성의 자세제어 등에 의해 혁신이 이루어지고 있다.

그런데 3호 위성에서는 새로운 인력들의 지식습득을 위한 학습과 제품의 혁신을 위한 지식창조의 어려움으로 개발기간이 1, 2호에 비해 2배 이상 소요되고 있다. 새로운 인력들은 전체시스템을 보지 못하고 자신이 전공한 분야의 서브시스템 최적화만 고려를 하여 시스템 통합에서 여러 번의 시행착오가 일어났다. 이와 같이 복잡한 시스템(complex system)의 개발에서 엔지니어들은 항상 자기가 담당하고 있는 시스템

<표 2> 우리별위성의 성능향상과 임무

시스템 규격	우리별 1호	우리별 2호	우리별 3호
크기(mm)	352×356×670	352×356×670	495×604×852
무게(Kg)	48.6	47.5	110
전력(W)	30	30	150
자세제어	중력경사 및 토크제어	중력경사 및 토크제어	3축안정화 방식
지향정밀도	< 5°	< 5°	< 0.5°
주컴퓨터	OBC186(80C186)	OBC186(80C186)	Intel I960(KASCOM)
임무(mission)	<ul style="list-style-type: none"> · 개발기술의 습득 · 전문인력 양성 · 교육프로그램활성화 · 우주환경연구 	<ul style="list-style-type: none"> · 1호의 개선 및 발전 · 국산 부품으로의 대체 · 국내개발 실험장치의 발사 및 실험 	<ul style="list-style-type: none"> · 3축제어방식의 마이크로 위성개발 · 저가 원격탐사 위성 시스템 개발 · 태양활동에 따른 우주 환경변화관측 · 인력교육 프로그램으로 활용

자료 : 인공위성연구센터, 1998.

의 최적화 뿐만아니라 전체시스템과 인터페이스를 고려하면서 설계하고 제작하여야 한다. 그런데 이것은 그냥 키워지는 것이 아니라 체험을 통해서 만이 가능하다.

우리별 위성의 진화는 개발기술의 습득, 전문인력 양성을 위한 우리별 1호에서 학습을 한 후 시험제작을 해 본 우리별 2호 그리고 시스템의 근원적 혁신을 추구하는 우리별 3호로 이어지고 있다. 교육용의 미니위성에서 실용성을 가미한 마이크로위성으로의 진화가 전개되고 있다.

3. 지식창출과 위성간 연계

현재 인공위성연구센터가 추진 중에 있는 우리별 위성시리즈는 마이크로위성(100kg이하)으로부터 소형위성으로 발전해 가는 단계별(step-by-step) 전략으로 발전을 하고 있다. 한편 항공우주연구소가 추진 중인 다목적 위성사업은 마이크로위성 단계를 뛰어넘어 소형위성분야로 바로 진입하는 점프전략(jump strategy)을 취하고 있다. 즉, 위성기술의 발전궤적(trajjectory)을 따라가는 기술습득(path-dependent catch-up)을 하지 않고 초기단계를 뛰어넘어 도약을 하고 있다. 단계를 뛰어넘는 전략을 구사하기 위해서는 내부 능력(internal capability)과 내부의 핵심역량(internal core competence)이 어느 정도 축적이 된 이후에 가능한 전략이다.

그런데 축적된 지식이 거의 없는 상태에서는 단계적 전략이나 점프전략과 관계없이 외부로부터 지식 획득이 이루어져야 한다. 우리별 위성은 대학으로부터, 다목적 실용위성은 미국의 기업으로부터 위성에 대한 지식을 습득하였다. 두 위성에서 지식습득은 부품과 서브시스템을 모두 구입하여 시스템을 구성하는 것이었다. 두 위성의 구성은 유사하지만 규모와 성능에서 커다란 차이가 있다. 지식습득의 측면에서 살펴보면 우리별의 경우 시스템 통합의 모든 과정을 연수자 모두가 체험을 통해 습득한 반면 다목적 실용위성에서는 참여자들이 부분적인 지식체험을 하고 있다.

현재의 지식 축적 정도를 갖고 과점적인 위성시장에의 진입은 매우 어렵다. 미국의 절대적인 우위가

있는 분야이기 때문에 앞으로도 그러한 진입기회가 오기란 어려워 보인다. 결국 우리가 할 수 있는 것은 위성에 들어가는 부품이나 서브시스템 중에서 우리에게 경쟁력이 있는 품목을 선정하여 집중적으로 개발해 나가는 집중화 전략이 필요하다. 선정된 품목의 품질보증을 위해서는 시험용 위성이 필요하다. 따라서 이들 품목들의 기술개발과 품질보증을 위한 위성개발프로젝트가 기획되는 것이 바람직하다. 그리고 투자된 비용의 일부라도 회수하기 위해서는 기업의 역량이 배양되어야만 한다. 연구기관이나 대학은 자금을 소모하는 조직이지 직접적으로 돈을 버는 조직은 아니기 때문에 축적하고 있는 지식이 생산적으로 활용되도록 활용기업에게 유통이 되어야 한다.

두 위성 사업은 수행 주체가 다르다. 그런데 지식의 창조와 시행착오를 줄이기 위해서는 두 위성에서 습득된 지식들이 융합되어야 한다. 이를 위해서는 <그림1>에서의 전략적 계획이 잘 수립되어 있어야 한다. 전략적 계획은 국가(혹은 기업)가 설정한 전략적 목표를 달성하기 위해서 내부의 역량과 외부환경을 분석하여 우리의 여건에 맞는 계획을 수립하는 것으로서 프로그램의 형태로 나타나게 된다. 이 계획에는 각 프로그램간의 연계성을 고려한 지식과 자원의 공유가 포함되어 자원의 효율적인 사용과 효과적인 활용이 도모되어야 한다. 지식의 공유화는 상호간 지식의 융합에 의해 새로운 지식을 창출할 수 있는 기반을 마련해 주고, 조직간의 학습이 이루어지게 한다. 두 위성은 모두 관측위성으로 위성에 사용되는 서브시스템의 기능의 차이에 따라 학습연구용과 실용으로 나누어지지만 상호보완적으로 협력하면서 경쟁력 있는 부품이나 서브시스템의 개발을 추구하여야 한다. 이때 항상 자신의 역량 제고가 아니라 기업의 역량을 제고시킨다는 관점에서 바라보는 것이 중요하다.

대량생산과 달리 하나의 제품 제작만으로는 그 제품에 대한 완전한 기술 습득이 내재화되기 어렵다. 우리별 1, 2호는 1호에서의 학습, 2호에서 지식의 내재화, 3호에서 창조를 하고 있다. 이는 <그림3>에서 플랫폼을 구축한 후 몇 번의 기능혁신 그리고 그 후 시스템혁신을 이룩하는 플랫폼의 접근법을 따르고 있다. 이러한 방식이 복합제품개발을 개발하는데

있어서 지속적인 혁신을 일으키게 한다. 기능혁신 없이 시스템혁신 만을 추구한다면 항상 많은 부분을 외국에 의존하게 된다. 위성이 소형에서 점차 대형화 해감에 따라 시스템개발의 비용과 시간은 더욱 많이 소요되게 되고, 시스템 자체의 최적화에도 많은 노력이 필요하게 된다. 특히 위성의 대형화가 반드시 좋은 것이 아니다. 왜냐하면 현재 우리 나라에는 위성에 대한 수요자가 많지도 않을뿐더러 세계시장에서 많은 수요가 창출되고 있는 분야는 이동 통신을 위한 소형위성이다. 이들 위성은 수명이 3-4년이므로 설계수명에 이르기 전에 항상 대체위성을 준비하므로 커다란 대체수요가 존재한다. 우리가 들어갈 수 있는 시장은 소형위성 그 자체가 아니라 소형위성용의 부품이나 서브시스템이다.

두 위성을 주관하는 조직에서의 주 관심사는 기술적 통합이다. 하지만 국가적 입장에서 보면 사업적 통합이 보다 중요하다. 지식의 통합을 통한 시행착오의 축소, 지식의 연계를 바탕으로 한 위성간 연계, 그리고 기업과 공공기관 그리고 대학간의 연계 등에 크게 기여하기 때문이다. 사업적 통합과 기술적 통합을 연계시키기 위해서는 연구관리 보다는 기술경영이 이루어져야 한다. 연구관리는 기술개발 그 자체를 대상으로 하지만 기술경영은 기술혁신을 목표로 하고, 사업적 통합을 포함한다(Betz, 1998, pp.1-18).

실용 위성은 우주에서 그 성능이 입증되지 않은 부품은 위험 때문에 사용하지를 않는다. 하지만 과학실험용은 가장 최신의 첨단 부품이나 서브시스템을 이용하여 각종 실험을 수행한다. 관측위성과 같은 실용위성을 목표로 한다하더라도 개발된 장치에 대한 파이로트(pilot) 실험이 필요하다. 그렇지 않고 본 위성에 장착하여 작동하지 않을 때는 본 위성의 개발에 투자된 비용은 손실로 되어 버릴 것이고 위성에 부여된 임무는 연기되지 않으면 안되게 된다. 따라서 개발된 서브시스템의 파이로트 실험을 위한 시험용 위성이 필요하므로 우리의 위성개발전략은 실용 위성과 시험 및 연구용 위성이 함께 하는 연계 전략이 필요하다.

IV. 결 론

위성이나 로켓과 같은 복잡한 시스템 개발은 대부분 국가의 공공기관에서 이루어지고 있다. 공공기관은 제품개발에서 시장과는 관계없이 제품개발 그 자체에 목적을 두고 추진되게 되므로 기술적 통합에 주목을 하게 된다. 그런데 우주제품을 보다 효율적으로 개발하고 지식을 체계적으로 관리 및 활용하기 위해서는 <그림2>에서의 사업적 통합이 중요하다. 공공연구기관이 복합제품의 제작 기능까지 갖추는 것은 기술혁신을 유발하지 않을 확률이 크고, 연구기관의 거대화를 초래하여 운영의 효율성이 떨어진다. 그리고 오늘날 대부분의 조직들은 경쟁력을 유지하고 확보하기 위해서 자신의 핵심역량을 키우는 것을 제외하고는 모두 아웃소싱을 하고 있듯이 제작은 아웃소싱이 바람직하다. 이는 <그림2>에서 기술적 통합을 기업에게 일임하고 공공연구기관은 사업적 통합자로서 초기단계의 개념설계, 상세설계 그리고 제작된 부품이나 서브시스템의 품질인증, 제작이 완료된 시스템의 품질보증 등에 보다 많은 노력을 기울여야 함을 의미한다. 따라서 공공연구기관이나 기업이나 제품개발 기간 중에서 공백 기간이 발생한다. 현재 시스템간의 연계는 한 시스템 개발이 끝나면 다음 단계로 넘어가는 인적이전형이라 할 수 있다. 이것은 지식의 지속적인 축적과 창조과정에서 공백기간을 유발한다. 따라서 <그림3>과 같이 위성들이 중첩되어 개발되도록 상세설계가 끝난 다음에 바로 다음 시스템에 대한 준비가 이루어지는 체제가 지식의 연계와 창조를 위해서도 바람직하다. 이러한 중간병행방식이 이루어지면 공공연구기관과 기업은 공백기간 없이 지식을 창조할 수 있을 것이다. 또한 개발 중인 2개의 위성은 제품군 접근법에 의해서 기능혁신과 제품혁신을 반복해 나가고, 위성에는 위성의 임무와 기술 개발의 임무까지 부여하는 것이 바람직하다. 위성에서 기능혁신이나 제품혁신은 축적된 기초실험 데이터가 없으면 이루어지기 어려우므로 제품 개발과 병행하여 기초 실험 연구도 이루어지는 체제가 되어야 한다.

결국 복잡한 시스템을 개발하는 공공연구기관에서도 지식을 기반으로 한 제품개발과 혁신을 일으키기 위해서는 기술개발을 중심으로 하는 연구관리를 벗어나 국가적인 차원에서의 전략경영과 제품개발 차원에서의 기술경영이 이루어지는 기술혁신시스템이 갖추어져야 한다.

參 考 文 獻

- 中山 隆志, "わが國の巨大技術開發と組織間統合メカニズム", 「組織科學」, Vol.27, 1993, pp.61-72.
- 青島 失一, "新製品開發研究の視點", 「ビジネレビュー」, Vol.45, No.1, 1997, pp.161-179.
- Alic, J. A., "Policy Issues in Collaborative Research and Development," *The International Trade Journal*, Vol.6, No.1, Fall 1991, pp.63-88.
- Allen, T.J., "Communication Networks in R & D Laboratories", *R&D Management*, Vol. 1, No.1, 1970, pp.14-21.
- Allen, T.J. (1977), *Managing the Flow of Technology*, MIT Press.
- Ancona, D. and D. Caldwell(1992), "Emography and Design: Predictors of New Product Team Performance," *Organization Science*, 3, 3, pp.321-341.
- Betz F., *Managing Technological Innovation: Competitive Advantage From Change*, New York : John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- Clark K.B. and T. Fujimoto, *Product Development Performance: Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry*, Harvard Business School, 1991.
- Eisenhardt K.M. and B.N. Tabrizi, "Accelerating Adaptive Processes: Product Innovation in the Global Computer Industry," *Administrative Science Quarterly*, Vol.40, 1995, pp.84-110.
- Fleck J., "Contingent Knowledge and Technology Development," *Technology Analysis & Strategic Management*, Vol.9, No.4, 1997, pp.383-397.
- Hamel, G. and C.K. Prahalad, *Competing for the Future*, Cambridge, MA: Harvard Business Press, 1994.
- Handerson, R.M. and K.B. Clark, "Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technology and the Failure of Established Firms," *Administrative Science Quarterly*, Vol.35, 1990.
- Handerson R. and I. Cockburn(1994), "Measuring Competence? Exploring Firm Effects in Pharmaceutical Study," *Strategic Management Journal*, Vol.15, Special Issues, pp.63-84.
- Hobday M., "Product Complexity, Innovation and Industrial Organization," *Research Policy*, Vol.26, 1998, pp.689-710.
- Iansiti, M., *Technology Integration: Making Critical Choices in a Dynamic World*, MA: Harvard Business School Press, 1998.
- Katz R. and T.J. Allen, "Project Performance and the Locus of Influence in the R&D Matrix," *Academy of Management Journal*, Vol.28, No.1, 1985, pp.67-87.
- Larson E.W. and D.H. Gobeli, "Organizing for Product Development Projects," *Journal of Product Innovation Management*, Vol.5, 1998, pp.180-190.
- Meyer M.H. and A.P. Lehnerd, *The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership*, The Free Press, 1997.
- Meyer M.H. and James M. Utterback, "The Product Family and the Dynamics of Core Capability," *Sloan Management Review*, Spring, 1993, pp.29-47.
- Sanderson S. and M. Uzumeri, "Managing

Product Families: The Case of the Sony Walkman," *Research Policy*, Vol.24, No.5, 1995, pp.761-782.

Uzumeri M. and S. sanderson, "A Framework for Model and Product Family Competition," *Research Policy*, Vol.24, 1995, pp.583-607.