

시스템 다이내믹스를 이용한 기술혁신의 동태성 분석*

최강화** · 광수일*** · 김수욱***

A Dynamic Analysis of Technological Innovation Using System Dynamics*

Kanghwa Choi** · Soo-il Kwak*** · Soo Wook Kim***

■ Abstract ■

This paper describes a comprehensive approach to examine how technological innovation contributes to the renewal of the firm's competences through its dynamic and reciprocal relationship with R&D and product commercialization. Three theories of technology and innovation (R&D and technological knowledge concept, product-process concept, technological interdependence concept) are used to relate technology and innovation to strategic management. Based on those theories, this paper attempts to identify dynamic relationship between product innovation and process innovation by system dynamics, by investigating the aspect of the dynamic changes of the closed feedback circulation structure in which R&D investments drive technological knowledge accumulation, and such knowledge accumulation actualizes product innovation and process innovation, subsequently resulting in the increase of productivity, customer satisfaction, profit generation, and re-investment on R&D from the created profits. This provides the ability to assess the advantages and disadvantages of different technological innovation strategies and commitments, and the opportunity to explore equilibrium point and suggest a generalized technological innovation model under different industry environment parameters and time-strategies.

Keyword : Technological Innovation, Product Innovation, Process Innovation, New Product Development, System Dynamics

논문접수일 : 2005년 8월 29일 논문게재확정일 : 2006년 4월 11일

* 본 연구는 서울대학교 경영대학 경영연구소의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

** 서울대학교 경영연구소

*** 서울대학교 경영대학

1. 서 론

연구 개발 활동과 기술 혁신 그리고 신기술의 확산이 기업의 생산성 향상과 고객 만족, 그리고 기업의 성장에 핵심적 역할을 수행하게 됨에 따라 기술 혁신은 기업 경영 활동에 있어 기업의 중요한 정책적 의사 결정 변수로 대두되고 있다[2, 18]. 또한 산업별로 다르게 나타나는 기술 혁신의 특성 및 경제적 영향을 분석하기 위한 혁신 활동의 측정과 기업 성과와의 상호 연관 관계도 기업 경영의 중요한 정책적 이슈로 자리 잡고 있다. 따라서 연구 개발 활동과 기술 혁신을 기업의 경영 목적에 맞게 적절히 관리하고 올바른 정책적 방향을 바로잡기 위해서는 기술 혁신의 성격과 그 동태적 과정, 그리고 기술 혁신을 유발시키는 사회·경제적 동인을 알아야 한다[1, 6].

기술 변화와 기업 경영은 상호 긴밀한 관계를 갖고 상호 순환적인 영향을 미친다[19]. 즉 일정 시점에 기업에 투입되는 연구 개발 자원은 현재 기업의 기술 수준을 변화시키고, 신기술을 이용한 신제품의 확산을 조장하며 기업뿐만 아니라 관련 산업 전체에 영향을 주게 된다. 또한 신제품이나 새로운 서비스의 판매를 통해 얻은 기업의 이익은 다시 연구 개발 활동에 투자되는 상호 순환적 연결 고리를 갖게 된다. Lundvall[46]은 기술 혁신에 의한 기업 성장 확대는 연구 개발 투자의 인센티브로 작용하는 한편, 기업 이익의 일정 부분만큼 기업의 연구 개발 투자 자금을 확보할 수 있도록 하여 또 다른 기술 혁신을 이룰 수 있는 원동력으로 작용한다고 한다. 따라서 기술 변화를 위한 출발점은 연구 개발 투자이고, 연구 개발을 통한 기술 혁신을 이룬 기업은 생산성의 향상을 통한 제품 가격 인하와 신제품 개발을 통한 시장 점유율 확대를 얻은 초과 이익을 기술 혁신에 재투자하는 순환적 매커니즘을 가질 것이다. 결국 기술 혁신은 연구 개발 투자 → 기술 지식 축적 → 제품(기술) 혁신 → 공정(기술) 혁신 → 신제품/서비스 생산 → 기업 이익 증대 → 기술 혁신 재투자로 연결되는 환류 관계를

가진다[12]. 따라서 이와 같이 기술 혁신을 설명하기 위한 과정은 단순히 선형적인 과정으로 이해하는 것은 불가능하며 설명 변수 간에 존재하는 복잡한 인과 순환 관계를 파악해야만 기술 혁신의 과정에 관한 올바른 이해를 할 수 있다[2].

기술 혁신과 관련한 기존의 연구들은 기업 차원에서 수익 극대화를 제공하는 연구 개발 투자의 효과 분석이나 기업의 자본/노동 생산성에 중요한 영향을 미치는 변수는 무엇인지를 실증적 분석을 통해 밝혀 내는 연구들을 주로 해왔다[3, 7]. 그러나 이러한 연구들은 정태적이고 부분적이며 단기적인 사고로 문제를 접근하는 방법으로써, 전체적인 사고에서 기술 혁신 시스템의 각 부분의 연관성과 의존성을 이해하는 데에는 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 기존의 단선적인 사고에서 벗어나 내부 순환적 피드백 구조를 강조하는 동태적이고 시스템적인 사고 체계에 기반을 둔 시스템 다이내믹스(system dynamics) 방법론을 이용으로 구조 중심의 동태적 행태 분석과 다변수들 간의 순환 관계를 파악하고자 한다. 또한 기술 혁신 과정의 각 부문 간 인지 모델의 개별적인 루프를 통합하여 이를 전체적인 관점에서 의사 결정을 지원할 수 있는 방법을 사용함으로써 보다 장기적인 미래 상황을 예측할 수 있는 정책적 수단을 제시하고자 하는 것이다.

본 연구의 목적은 연구 개발 투자가 새로운 기술 지식의 축적을 거쳐 기술 혁신으로 이어지고 이는 구체적으로 제품 혁신(product innovation)과 공정 혁신(process innovation)으로 구현되어 기업에 이익을 가져오고 또한 증대된 이익이 다시 연구 개발에 투자되는 일련의 동태적 호순환 관계를 살펴보고자 한다. 또한 기술 혁신에 대한 기존 이론들을 분석하고 재평가하여 기업 성과와의 상관 관계를 살펴봄으로써 그들의 결점을 수정, 보완하려 한다. 이를 위해 시스템 다이내믹스 접근법을 통한 기술 혁신의 동태적 과정을 재조명하고 동태적 기술 혁신 이론의 경험적 분석을 시도해 보고자 한다. 또한 동태적 기술 혁신 모형의 각 조절 변수를 통제함으로써 기업의 수익 극대화를 위한 기술 혁신

〈표 1〉 기술 혁신에 대한 기존의 연구방법과 시스템 다이내믹스 연구방법의 차이

	기존의 접근 방법	System Dynamics적 접근법
사고체계	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 단선적인 사고 체계 ◦ 정태적, 부분적, 단기적 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 전체론적 사고 체계 ◦ 동태적, 전체적, 장기적 분석
연구방법론	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 회귀방정식(Regression Analysis) ◦ 계량경제 분석(Econometric Analysis) 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 인과 지도(Causal Loop Diagram) ◦ 시스템 다이내믹스(System Dynamics)
Research Question	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 기업의 수익 극대화에 영향을 미치는 기술 혁신 변수는 무엇인가? ◦ R&D 투자증가는 기업의 요소 생산성이나 수익에 어떤 영향을 미치나? 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 기술 혁신 기업의 수익 극대화를 위한 최적의 자원배분 의사결정은 무엇인가? ◦ 정책 변수 변화에 따른 의사 결정은 시간의 변화에 따라 어떻게 달라지는가?

의 정책적 시사점을 제언하고자 한다.

또한 본 연구는 기술 혁신의 각 단계에서 다음 단계로 진행되는 과정에서 요구되는 기술 혁신 전략의 특성을 분석, 검토해 보고자 한다. 기술 혁신 과정이 동태적이며 매우 유동적인 이상 기술 혁신 역시 급변하는 시대적, 사회적 환경에 따라 독특한 처방과 전략을 요구한다. 기술 혁신은 동태적이며 개방적 체제를 전제로 하고 있으므로 기술 혁신 전략의 검토는 기술 변화의 대내적 기술 능력의 상호 작용에 대한 분석이 중요한 위치를 차지하게 된다. 즉 기술 변화의 대내적인 기술 능력을 대변하는 연구 개발 투자와의 신제품 개발 그리고 제품 생산의 상호 작용을 분석함으로써 기술 혁신의 효율성을 분석·평가하고자 한다.

2. 기술 혁신 과정의 이론적 고찰

2.1 연구 개발 투자와 기술혁신 지식 축적

연구 개발 투자는 생산 과정에 투입되는 생산 요소로서 연구 개발 활동에 포함되는 모든 인적·물적 요소 및 정보·지식 등을 포함한다. 여기에는 생산 활동에 이용되는 특정 기술뿐 아니라 과거의 연구 개발 활동을 통해 얻어진 다양한 경험, 노하우 등의 과학적 지식이 총체적으로 포함된다[47, 68]. Kline and Rosenberg(1986)는 연구 개발 투자에 의한 기술 지식 축적을 유량(flow)으로서의 연구 개발 투자와 저장(stock)으로서의 지식을 구분하여 설명한다[8]. 연구 개발 투자는 기술 지식을

생산하는 핵심적인 활동이며 연구 개발 활동을 통해서 조직은 기술 지식의 축적량을 늘려나갈 수 있다[44]. 즉 기술 지식은 상당히 광범위한 개념으로 연구 개발을 통해 기술을 습득하고, 소화하고, 사용하고, 변용하고, 변화시키고, 창조하는데 필요한 다양한 지식과 숙련을 의미한다. 특히 연구 개발 활동 중에서도 조직화된 연구 개발 활동은 지식 생산의 핵심인 것으로 인식하고 있다.

Stamboulis, Adamides and Malakis[67]는 연구 개발에 대한 투자는 연구 개발의 집약도(R&D intensity)를 증가시키고 누적된 연구 개발 능력은 기술 혁신을 가능하게 하는 원동력이 된다고 한다. 연구 개발은 실행 전 사전 학습을 통한 지식의 축적을 통해 혁신으로 이어지도록 하는 의도적 활동으로서, 기술 지식은 공학적 노하우뿐만 아니라 조직의 구조와 절차에 대한 지식 및 노동자나 소비자의 행동 패턴에 대한 지식까지도 포함한다. 이와 같은 기술 지식은 제품이나 서비스의 기능 및 품질을 향상시키고 수요 변화에 대응하는 새로운 제품과 서비스를 개발하거나, 새로운 공정으로 구체화되어 생산성을 증대시킴으로써 경쟁력을 강화하게 된다[33, 34].

Griliches[37]의 연구에서 기업의 기술 능력과 잠재력은 연구 개발과 같은 지식 생산 활동에 의해서가 아니라, 기업이 과거로부터 보유하고 있는 지식의 누적 보유량에 의해 표현한다. 즉 기업이 생산 활동을 수행하는 과정에서 일어나는 기술 혁신은 대부분 과거에 산출된 기술에 대한 지식 및 경험이 계속 축적되어온 결과로 파악된다. 그런데 지

〈표 2〉 제품혁신과 공정혁신의 특징 비교

	제품 혁신(Product Innovation)	공정 혁신(Process Innovation)
초점	신제품 개발(new product development)	신공정 개발(new process development)
기술의 내용	제품 창출(product creation)	공정 개량 및 개선(process improvement)
혁신의 속도	점진적(incremental), 급진적(radical)	점진적(incremental)
혁신의 목적	신기능성 창조(functionality)	생산성 향상(productivity)
핵심 기술	구조·기능 설계(structure·function design)	공정 개발 및 설계(process development & design)
기술 체화 대상	제품 자체 및 인력(product itself & human)	주로 설비(mainly facilities)
주요 동인	정보 기술(information technology)	통계적 통제(statistical control)
위험	고(high)	중(moderate)
참여 형태	Top-down	Bottom-up
소요 기간	장기(long)	단기(short)
출발점	백지 상태(clean slate)	현존 프로세스(existing process)

자료 : 이공래, 기술혁신이론 개관, 과학기술정책연구원 p.53와 Thomas H. Davenport, "Process Innovation : Reengineering Work Through Information Technology," Harvard Business School Press, p. 11 참조.

식 축적이 형성될 때 연구 개발 과정 그 자체, 그리고 실제로 생산성 증가에 영향을 미칠 때까지 일정한 시간이 필요하기 때문에 이른바 연구 개발 시차를 고려해야 한다. 동시에 자본 스톱과 마찬가지로 시간의 흐름과 새로운 연구 개발이 진행됨에 따라 기존의 연구 개발 지식과 경험의 가치를 감소하는 진부화가 이루어진다는 점을 감안해야 한다. 이 경우 다음과 같이 연구 개발 지식 축적을 공식화할 수 있다[7, 19, 37].

$$K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + R_{t-n}^{1)}$$

(단, K_t 는 t 시점의 연구 개발 지식 스톱, δ 는 연구 개발 지식의 진부화율(감가 상각률), R_t 는 t 시점에 새로운 연구 개발 투자(경상 기준 연구 개발 투자/GDP 디플레이터), n 은 연구 개발 시차)

1) 여기서 연구개발투자가 매년 일정비율(g)로 증가한다면 t 기의 연구개발지식스톡(K_t)은 연구개발투자의 누적 합으로 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} K_t &= R_{t-n} + (1-\delta)K_{t-n-1} + (1-\delta)^2K_{t-n-2} + \dots \\ &= R_{t-n} + ((1-\delta)(1+g)^{-1}K_{t-n} + (1-\delta)^2(1+g)^{-2}K_{t-n} + \dots \\ &= R_{t-n} \cdot (1+g)/(g+\delta) \end{aligned}$$

따라서 기초연도의 연구개발지식스톡(K_0)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$K_0 = R_{-n} \cdot (1+g)/(g+\delta)$$

2.2 선형 및 단계적 접근(제품 및 공정 혁신 가설)

기술 혁신은 일정 기간에 걸친 일련의 행위로 구성된 동태적인 연속적 과정의 산물이다. 즉 모든 것이 일정 시점에서 나타나는 정태적 현상이 아니라 시간이 변화함에 따라 나타나는 동태적 현상이라는 것이다. Utterback and Abernathy[70]는 기술 혁신이 시제품 개발 → 제품 혁신 → 공정 혁신의 연속적인 과정임을 보였다. 또한 기술 혁신을 가져오는 연구 개발의 과정도 기초 연구 → 응용 연구 → 개발 연구 → 상업화라는 연속적인 과정을 거치는 것으로 나타내고 있다.

Hall[39]은 연구 개발 투자에 의해 달성되는 기술 혁신은 광의의 기술 혁신과 협의의 기술 혁신으로 구분한다. 광의의 기술 혁신은 신제품, 새로운 서비스 및 새로운 생산 방식을 만들어 내는데 기여하는 모든 활동이며, 협의의 기술 혁신은 신제품, 새로운 서비스 및 새로운 생산 방법이 상업적 목적으로 처음 도입되는 것을 의미한다.

기술 혁신은 혁신의 변화 대상에 따라 제품 혁신의 형태로 일어나기도 하고 공정 혁신의 형태로 일어나기도 한다. 제품 혁신은 '무엇을 만드느냐'에 관한 것으로, 새로운 제품을 개발하거나 기존 제품

의 고유 성능, 기능, 품질 또는 특성 등에 개선이 이루어지는 경우를 말한다. 즉 기술적 신제품 혁신은 관련된 제품의 핵심 기술을 활용하여 여러 관련 제품의 가치를 높이고 상대적으로 적은 비용으로 제품을 개발하는 범위의 경제를 통해 대체 제품, 후속 제품 및 개선된 제품으로 새로운 시장을 창출하는 것뿐만 아니라, 기업의 시장에서의 경쟁적 위치를 구축하는 것이다[6, 53, 54].

공정 혁신은 '어떻게 만드느냐'에 관한 것으로 제품과 서비스를 생산하는 각 단계별 공정에서 비용을 감소시킬 수 있는 신공정을 채택하거나 제품 품질의 변화 없이 공정의 수를 감소하거나 동일한 공정 하에서도 제품의 품질을 개선할 수 있는 새로운 기법을 채용하는 등 생산성 및 품질 향상이나

생산비용 절감을 위해 기술적으로 확연히 새로운 생산 방식의 창출 또는 개선을 의미한다[6]. 특히 생산량이 늘어남에 따라 생산 원가가 오히려 줄어드는 규모의 경제를 달성할 수 있다. 공정 혁신은 특별히 생산 기술 또는 생산 공정과 관련되어 있으며, 그 목표는 생산 공정에서의 효율성 증대 및 품질 향상, 원가 절감, 원재료 및 에너지 절약, 수리 보수 비용의 절감, 생산 소요 시간의 단축 등이다[25].

2.3 상호 작용설(체인 링크 모델)

제품 개발과 관련된 기술 혁신의 과정은 각 프로젝트의 기능 부문 간에 이루어지는 지식, 정보의 흐름을 어떻게 설계하느냐가 관건이며 프로젝트를

〈표 3〉 기술 혁신의 동태성에 대한 선행 연구

기술 혁신 관리론	산업 동태론 (Industry Dynamics)	Abernathy, William J. and Kim Clark(1985), Arthur, W.B.(1988), Carroll, G., and Hannan, M.(2000), Geroski, P.A.(2001), Hall(1994), Klepper, S.(1997), Pavitt, Keith.(1984), Tushman, Michael L. and Philip Anderson (1986), Walsh, Vivien.(1984)
	기술의 확산 (Diffusion of Technologies)	Bresnahan, T. and M. Trajtenberg(1995), David, Paul(1990), Griliches, Z(1998), Kline & Rosenberg(1986), Nelson, R. R. and Phelps, E. S., (1966), Rogers, Everett M.(1983)
기술 혁신의 조직 능력, 학습	R&D 집약도(Intensity) → 조직의 혁신 (지식) 수준 (Organizational Innovation -Knowledge Level)	Armelle Godener and Klas Eric Soderquist(2004), Boer(1999), Jaffe, A. B., M. Trajtenberg, et al.(2000), Griliches, Z.(1998), Jonathan D. Moizer and Mike J. Towler(2001), Kogut, Bruce, and Udo Zander. (1992), Nonaka, I. (1994), Pisano, Gary.(1996), Tyre, M. J. and E. von Hippel (1997), Van de Ven, Andrew H., and Douglas Polley. (1992)
혁신 과정	조직의 혁신 (지식) 수준 (Organizational Innovation -Knowledge Level) → 제품/공정 혁신 (Product Innovation or Process Innovation)	Alden S. Bean, Alexander, Christopher.(1964), Baldwin, Carliss, and Kim Clark.(2000), Clark, Kim B.(1985), Fariborz Damanpour and Shanthi Gopalakrishnan(1997), Keith Linard and Lubomir Dvorsky (2001), Meyer, Marc, and Arthur DeTore.(1999), Meyer, Marc(1996), Peter Tertzakian, and James Utterback.(1997), Nelson P. Repenning and John D. Sterman(1998), Pisano, Gary.(1996), Robert G. Cooper and Elko J. Kleinschmidt(1998), Rosenberg & Kline(1986), Simon, Herbert A.(1981), Ulrich, Karl.(1995), Utterback & Abernathy(1978), Wheelwright, S. C. and K. B. Clark(1992), Yeoryios A. Stamboulis, Emmanuel D. Adamides and Thomas E. Malakis(2000)
	제품 혁신과 공정 혁신의 상호 의존성 (Interdependency of Product and Process Innovation)	John E. Ettlie and Ernesto M. Reza(1998), Peter M. Milling and Joachim Stumpfe(2000), Suresh Kotha and Daniel Orne(1988), Kim, Ritzman, Benton and Synder(1992), John E. Ettlie(1998), Stamboulis, Adamides and Malakis(2002), Steven D. Eppinger, Paul S. Adler(1999), Kotha and Orne(1989)
	제품/공정 혁신 (Product or Process Innovation) → 상업화 (Commercialization)	Marvin L. Patterson(1985), Andreas Glöblier(1996),Rafael Llorca Vivero(1997), Frank H. Maier(1998), Craig W. Kirkwood(1999), Andreas Glöblier and Peter M. Milling(2000), Peter M. Milling, Jörn-Henrik Thun(2001), Nile W. Hatch and David C. Mowery(2002)

수행하거나 관리하는 사람의 능력이나 인식에 따라 다르게 설계될 수 있다. Boer[18]는 연구 개발 프로세스를 최초로 기초 연구가 있고, 그것이 응용, 개발 연구로 이어지며, 또한 이들 연구 성과를 바탕으로 제품이 개발, 제조, 판매된다는 것으로 구획하고 있다. 또한 연구 개발, 생산, 판매를 담당하는 각각의 기능 부문은 전문화의 이점을 살리도록 완전한 분업 체제로 구성되어 있다. 이는 제품 개발과 관련한 연구 개발을 분업의 개념, 즉 선형 모델(linear model)을 기반으로 논의한 것으로, 이와 같은 과정은 추상적인 구획일 뿐, 실제로는 전체의 과정이 하나의 흐름으로 이어지는 연속적인 과정이다.

Kline and Rosenberg[44]은 연구 개발에 있어서 이러한 선형 모델의 선형적 사고를 비판하면서 체인 링크(chain-linked) 모델을 제시했다. 즉 연구 개발 단계는 여러 방향으로부터의 피드백을 포함한 복선적인 과정이라는 것을 모델화한 것이다[44]. 이는 각 부문간의 정보의 흐름은 일방 통행적인 것이 아니라, 양 부문이 상호 작용을 가진 쌍방향적이라는 것으로 연구 개발 부문에서 얻어진 기술적 지식이나 노하우는 생산 부문에 전파됨과 동시에 생산이나 판매 부문에서 발생한 문제의 해결이 역으로 연구 개발 능력의 향상에 연결된다는 점이다.

OECD(1992)의 상호 작용 모델은 Kline and Rosenberg[44]의 연쇄 링크 모델을 일부 변형한 것으로, 이 모델은 지속적인 상호 작용과 피드백 과정을 기술 혁신 과정의 주된 특징으로 규명하고 있다는 점에서 많은 공헌을 하고 있다[53, 54]. 이 모델은 설계의 중심적인 역할, 하류 부문(downstream)과 상류 부문(upstream) 간의 상호작용, 혁신 과정의 각 단계에서 이루어지는 기술 및 혁신 활동 간의 상호작용을 강조하고 있다는 점이 과거의 선형 모델과는 다른 점이다.

3. 연구 모형 및 방법

기술 혁신 연구는 기술 혁신이 기본적으로 기술

을 대상으로 하는 만큼 기술 자체의 변화 속성을 파악하는 것이 주요 영역이 된다. 지금까지의 기술 혁신 연구는 기술이 변화하는 양상과 유형, 속성을 발견하는 주제들로 전개되어 왔다. 특히 기술 분야 별로 특성이 너무 다양하다는 사실과 기술 변화의 과정과 그 특성을 몇 개의 패턴으로 구분하여 모형을 구성하는 정도의 수준까지 연구가 진행되었다. 그러나 최근에는 기술 변화의 과정을 시스템 개념을 도입하여 동태적으로 이해하려는 연구가 활발하게 전개되고 있다.

본 연구에서는 시스템 다이내믹스라는 동태적 방법론을 이용하여 기술 혁신의 변화 패턴을 분석한다. 시스템 다이내믹스는 기존의 사고방식을 대체하는 사고 틀로서 동태적 사고(dynamic thinking)를 제안하고 있다. 동태적 사고란 어느 한 시점에서 문제가 되는 행태의 요인을 찾기 보다는 시간의 흐름에 따른 문제 형태의 변화 추이를 찾으려는 사고이다. 기술 변화 추이는 연속적이고 장기간에 걸쳐 나타나기 때문에 어느 일정 시점에서 기술 혁신을 평가하는 것은 불가능하며, 특정 시점에서의 사건 보다는 시간의 흐름에 따른 행태 유형에 초점을 맞추어 분석한다.

3.1 연구 모형 및 연구 가설

본 연구에서 제시하는 동태적 기술 혁신의 연구 모형은 기존의 Utterback과 Abernathy의 제품 및 공정 혁신 가설과 Kline과 Rosenberg 그리고 OECD의 체인 링크 가설을 기반으로 한 연구 모형[44, 53, 70]으로, 복잡한 양상을 보이는 기술 혁신의 동태적 흐름을 평가하기 위한 모델이다. 기술 혁신은 개별 기업 내부의 부문 간의 상호 피드백 작용에 의해 이루어지는 데, 기업의 연구 조직, 개발 조직 그리고 생산 조직 등의 유기적인 관계 속에서 기술 혁신이 진행된다.

3.1.1 연구 개발 투자와 기업의 수익성 관계 지식 창출의 주체인 연구 조직과 기업과의 상호

관계를 살펴 보면, 이 단계에서는 기업이나 산업 내부의 혁신 과정과 과학 기술적 지식 기반 및 연구 부문이 연계되어 새로운 잠재 시장과 과학 기술적 지식을 통한 시장 기회를 포착하게 된다[19, 34]. 기업의 연구개발 투자가 이루어지면, 연구 개발 지식이 축적되어 기술 혁신을 초래하거나 혹은 점진적인 생산성 향상을 가져와, 기업의 성장으로 이어진다[7, 41]. 이와 같은 지식의 축적은 한편으로는 기술 진보화를 가져와 노동, 자본과 함께 성장에 직접적인 효과를 가져다 주기도 하고, 다른 한편으로는 지식 축적과 이에 의한 기술 진보는 인적, 물적 자본 등 다른 생산 요소의 효율성 증대를 통해 성장에 간접적인 효과를 줄 수 있다[1, 36].

Branch[19]는 연구 개발 투자의 성공 척도로 특허 건수를 사용한 연구에서 성공적인 연구 개발 투자가 판매 및 이윤 증대를 가져오는지, 판매 및 이윤 증가가 추가적인 연구 개발 투자를 가져오는지에 대한 쌍방향 인과관계를 검증하였다. 이 연구에서, 성공적인 연구 개발 투자는 이윤 증가와 급격한 판매 증가를 초래한다는 결론 짓고 있다. 또한 Grabowski[36]는 연구 개발 투자의 성공이 기술 혁신을 통해 시장 지배력을 강화시키며, 이것은 이윤 증가를 통해 또 다시 더 큰 연구 개발 투자를 가져 온다는 결론을 도출하였다. Carlton and Perloff[2]의 구조-행동-성과 패러다임 분석에서 연구 개발 투자를 시장 행동의 한 요소로 보면, 연구 개발 투자는 지식 축적, 신제품, 신공정 등의 기술 혁신에 영향을 미치며, 이를 통해 시장 성과인 이윤, 매출, 생산성 등에 영향을 증가시키는 수단이 된다고 분석하고 있다.

Lundvall[46]은 기술과 기업 성장간의 누적적 인과관계를 설명하면서, 연구 개발과 기술 혁신이 기업의 기술 능력을 제고시켜 자본 축적을 통한 성장을 가져오고, 성장은 다시 선진 기술에 대한 투자 자원이 되는 동시에 인센티브가 된다고 주장하였다. Moizer and Towler[52]의 연구에서도 연구 개발에 대한 투자 예산 증가가 연구 개발 활동을 증가시키고, 이를 통해 기술적 지식을 축적하며, 축

적된 지식은 기업에 이익을 창출하는 인과 관계를 제시하고 있다.

연구 개발 투자와 기업의 수익성과의 관계를 규명하는 기존의 연구 문헌을 종합해 보면, 대체적으로 연구 개발이나 기술 혁신에 대한 투자 증대 즉 연구개발 집약도의 증대는 기업의 수익성과 성장성에 정(+의 영향을 미치는 것으로 나타나고 있다 [26, 29]. 그러나 기업의 입장에서 연구 개발이나 기술 혁신에 대한 투자는 그 상관 관계가 명확히 밝혀지지 않아, 어느 정도의 투자가 최적이며, 투자가 어떤 프로세스를 거쳐 수익으로 환원되는 지에 대해서는 여전히 의문을 가지고 있다[40]. 또한 투자 자원의 배분과 관련하여 제품 혁신과 공정 혁신 중 어느 부문에 어느 정도의 투자를 하여야 기업의 최적 수익성 증대에 기여하는지에 대해서 아직도 연구의 필요성이 제기되고 있다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같은 가설을 설정하고 연구 개발의 투자 포트폴리오 변화에 따른 기업의 수익 구조를 살펴 보고자 한다.

가설 1 : 제품 혁신에 대한 투자 비율의 확대는 공정 혁신에 대한 투자 비율 확대 보다 기업의 수익성 증대에 더 큰 정(+의 영향을 미친다.

3.1.2 연구 개발 시차와 수익성과의 관계

연구 개발 자원의 투입이 성과로 연결되기까지 시간적 지연이 발생됨은 필연적이다. 연구개발 투자의 산출물인 새로운 지식은 신제품이나 새로운 시설과 장비에 체화되어 일정한 시차가 경과한 후에 성과를 나타낸다[19, 55].

Branch[19]의 연구에서는 연구 개발 투자와 지식 특허권 획득, 수익성 간에 존재하는 시간적 시차를 조사하고 있다. 구체적으로 기업의 이익과 연구 개발비 지출액 간의 관계에 대하여 연구 개발비 지출과 기업의 이익은 서로 유의한 영향을 미치며, 이들 두 변수는 제 3의 외부 요인에 의해 동시에 영향을 받을 수 있다는 점을 고려하여 특허권 보유

수가 기업의 회계 이익률에 유의한 영향을 미치는지를 분석하였다. 그 결과, 특허권 보유수로 대체된 연구 개발 활동은 기업의 수익성에 평균적으로 몇 년의 시차를 두고 관계가 있는 것으로 나타났다. Pakes and Schankerman[55]은 미국의 기업을 대상으로 특허 건수와 연구 개발 투입간에 존재하는 시간차를 규명하기 위해 투입 당해 년도부터 5년 전까지의 기간을 설정하여 놓고 연구 개발 투자와 지식 간에 존재하는 시차를 분석하였다. Pakes and griliches[55]는 연구 개발 투자와 지식 축적의 관계를 지식 생산 함수(knowledge production function)의 형태로 제시하고 있다. 현재 지식의 증가치로, 특허를 대리 변수로 사용하였으며, 현재 및 과거 연구 개발 투자의 시차 변수로 시차 분포 함수(distribute lag model)의 형태를 이용하여 시간의 흐름에 따른 변화를 고려하여 연구 개발 투자가 특허로 전환된다고 보고 지식 생산 함수를 도출하였다[2].

국내의 연구로서 이상만(1994)의 연구에서는 1988년부터 1991년까지 자료 분석을 통해 연구 개발비가 기업 이익 증대에 얼마나 기여하는가를 전 업종 111개 기업의 표본을 중심으로 시차 분석을 하였다. 분석 결과, 연구 개발비는 단기 순이익에 부(-)의 영향을 미치고 있으나, 시차 변수를 도입한 시차 모형의 분석 결과, 연구 개발비의 경우 그 효과가 1년 및 2년 후의 순이익에 대체적으로 긍정적인 영향(+)을 미치는 것으로 나타났다. 즉 연구 개발 투자가 기업의 성장성과 수익성에 영향을 주기까지는 일정 기간 소요된다는 것이다. 따라서 이들 간의 명료한 관계를 분석하기 위해서는 이러한 시차를 고려해야 할 필요가 있다고 주장한다. 또한 산업기술진흥협회(1989)의 연구에서는 Saito의 연구 모형을 국내 제조업만을 대상으로 적용시킨 연구에서 연구 개발 투입과 특허 등록간에 존재하는 시간 지연의 폭을 4년으로 채택하여 분석하고 있고, 신태영[5]은 연구 개발 투자와 지식 축적량의 국제 비교에서 연구개발 시차를 3년으로 가정하고 분석을 시도하였다.

지금까지의 연구를 종합해 보면 연구 개발 자원의 투입과 연구 개발 지식의 창출 또한 이를 통한 기업의 성과간에는 일정 부분 시간차(time-lag)가 존재함을 확인할 수 있다[41, 55]. 그러나 기존의 연구들은 시간차의 존재에 대해서는 대체적으로 동의하나 시간차의 대상 기간 즉 투입 시점과 산출 시점을 어느 기간으로 설정하여야 기업에 최대의 수익성을 가져다 주는 지에 대해서는 공통된 견해가 없다. 따라서 본 연구에서는 연구 개발 시차가 기업의 수익성에 미치는 영향 정도를 정량화하려고 하며, 다음과 같은 가설을 통해 연구개발 시차와 기업의 수익성에 대한 상관 관계를 파악하려 하고 있다.

가설 2 : 연구개발 시차가 길어질수록 기업의 수익성에 부(-)의 영향을 미친다.

3.1.3 기술 혁신과 제품 개발 기간과의 관계

기술 혁신의 동태성을 파악하기 위해서는 혁신 주기 상의 제품 혁신과 그와 관련된 공정 혁신 사이의 상호 연결 관계를 이해해야 한다. Utterback and Abernathy[70]의 제품 및 공정 혁신 과정 모델에서는 새로운 기술적 패러다임의 도입기인 유동기(fluid phase)에는 주로 다양하고 새로운 제품의 특징을 요구(need for new features of product line)하는 고객의 니즈(needs)나 필요에 의해 기업이 제품을 혁신하도록 유도되고 자극 받아 매우 급격한 양상으로 제품 혁신이 야기된다고 분석한다[69, 70]. 급진적 혁신은 기존의 기술 시스템이 다른 시스템으로 전환되는 근본적인 변화를 의미하는 것으로, 연구 개발 투자의 증가를 통해 기술 지식 스톡에 바탕을 두면서 주로 불연속적인 기술 주도에 의해 혁신된다. 따라서 급진적 혁신은 기업의 조직적인 연구 개발에 의해 추진되며, 불확실성이 높고 기술적 불연속성이 발생한다. 연구 개발 투자를 통한 제품 혁신의 지식 축적(product innovation knowledge)과 구체적인 제품 혁신을 통해 달성된 신제품의 다양성과 차별성(differentiation of

product features)은 기업의 신제품에 대한 기술적 지위를 향상시키며 소비자들이 느끼는 제품에 대한 매력도를 증가시키고 이는 상업화 단계에서 소비자들의 제품 구매(commercial product sales)를 높여 준다. 또한 판매의 증가로 인한 수익의 증가는 다시 연구 개발에 대한 재투자로 연결된다(<그림 1>, R1 루프).

또한 제품 혁신 지식의 누적과 더불어 신제품 개발 프로젝트(new product development project)에 대한 투자 증가는 신제품 개발과 관련한 프로젝트의 수를 늘리게 된다[14, 27, 62]. 이와 같은 신규 프로젝트의 증가와 새로운 생산 설비 확장(new product production capacity)에 대한 기업의 투자 증가는 신제품의 생산을 가속화시켜 기업에 이익을 창출하게 된다(<그림 1>, R3 루프). 신제품의 개발과 관련하여 시장에서 신제품의 수명 주기가 짧아질수록 기업의 입장에서는 보다 많은 수익을 창출하기 위해 그들의 혁신적 신제품을 단기간 내에 출하하여야 하는 압력에 시달린다[32]. 이에 따라 기업의 제품 개발에 대한 시간적 위험은 높아지고, 제품 출하의 시간 지연은 제품의 손익에 상당한 영향을 미친다. 따라서 기업에서 기술이 폭넓게 활용되어 성숙되어 가는 기간, 즉 기술의 수명주기에서 성숙기는 점점 짧아지고 있다. 이에 따라 기업은 관련 제품이나 공정 관련 기술이 이론적으로 발전할 수 있는 최대 한계치(superior point of product S-curve)인 S자 형태의 로지스틱 회귀함수의 변곡점, 즉 성숙기에 도달하여 있는가를 적시에 알고 있어야 한다[23]. 또한 제품 개발 주기에 상관없이 시장은 언제나 제품 개발 기간의 단축을 요구한다[49]. 시장 경쟁의 격화로 고객은 신제품을 선호하게 되어 기업 입장에서는 신속한 제품 개발이 중요한 경쟁력의 요소가 된다. 더 많은 제품을 더 빨리 개발하려면 개발 자원이 계속적으로 늘어나게 되고, 이는 제품 설계의 복잡성을 증가시키고 표준화를 저해하여 도리어 제조 생산성과 경영 수익성에 좋지 않은 영향을 미치게 된다. 따라서 제조업체들은 혁신 주기를 단축하는 동시에 더 많

은 수익을 창출할 수 있는 방법을 강구해야 한다.

가설 3 : 제품 혁신의 수명 주기 단축은 신제품 개발 기간을 단축시킨다.

3.1.4 제품 혁신과 공정 혁신의 상호 조정적 관계

유동기의 제품 혁신을 통해 높아진 기술적 지위는 지배 제품의 출현을 통해 제품이나 서비스의 표준화에 대한 압력이 증가한다. 즉 새로운 제품 혁신에 대한 요구를 감소시켜 급진적 혁신에 대한 요구는 점차 감소되며 점진적이면서 부분적인 혁신을 유도하게 된다. 이것은 제품 혁신과 관련한 전체적인 루프 시스템을 일정한 목표치로 이동시키는 음(-)의 피드백(negative feedback) 관계를 갖게 하는 데, 이러한 음(-)의 피드백 루프는 시간이 지남에 따라 일정한 목표치로 안정화되는 경향을 보여 주는 것이 특징이다(<그림 1>, B1 루프). 급진적 제품 혁신이 나타나는 유동기에서는 제품이 만들어지는 공정에 대한 혁신은 그리 중요하게 생각되지 않으며 따라서 공정 혁신은 매우 낮게 나타난다. 따라서 이 시기는 범용 설비와 숙련공에 의해 유연하고 비효율적이면서 커다란 변화를 쉽게 수용하는 공정을 유지하게 된다[70].

유동기 이후 주요한 제품 혁신이 감소하기 시작하는 동시에 공정 혁신이 증가하는 과도기(transitional phase)가 나타나고 이 시기는 특정한 지배 제품에 의해 기존에 존재하던 다양한 제품들이 사라진다. 제품 혁신 주기상의 성숙기에 도달하면 제품이 특정의 표준 형태로 정착됨에 따라 기존의 생산 공정과의 불일치가 발생하고 공정상의 변화를 요구하게 된다. 따라서 제품 혁신이 진행됨에 따라 제품과 관련한 새로운 생산 공정의 조정(product specific process adjustment)은 계속적으로 발생하게 된다[11, 29, 65, 67]. 이와 같은 조정은 공정 혁신을 유발하는 하나의 요인이 된다. 그러나 제품 혁신의 결과 새롭게 생산되는 신제품의 다양성과 복잡성(complexity)은 공정의 표준화를 저해하고 이

를 통해 공정 혁신율이 부정적인 영향을 미친다. 즉, 제품 복잡도의 증가는 제품의 대량 생산에 많은 초기 투자를 요하고, 과거의 생산체제로는 감당하기 어려울 정도로 폭 넓은 분업 생산체제를 필요로 한다. 따라서 새로운 제품에 요구되는 사양이 복잡하여 기존의 제품과 차별화를 할 수 있는 새로운 아이디어에 대해 공정상의 기술적인 해결책을 찾을 수 없을 때는 공정 혁신은 감소한다[43].

가설 4-1 : 제품의 복잡성에 대한 요구 증가는 공정 혁신을 감소시키는 요인이 된다.

반면에 공정 혁신에 대한 투자와 생산 공정에 대한 지식의 축적(process innovation knowledge)은 공정 혁신을 가속화시키는 또 다른 요인이 되는데, 공정 혁신이 발생함에 따라 동질적인 제품을 생산하는 기업은 노동/자본 생산성(labor/capital productivity)의 향상을 통해 단위당 평균 생산 원가(average production cost)를 인하시키게 된다. 생산 부문의 부분적인 하위 공정 자동화로 인해 생산 원가를 절감하게 되며, 낮은 한계 비용으로 더 많은 생산(new product production)이 가능해 짐에 따라 소비자들에게 보다 낮은 가격으로 제품이나 서비스를 제공해 줄 수 있다[29]. 이와 같은 가격 인하는 기업의 제품에 대한 가격 경쟁력을 강화시켜 소비자들이 느끼는 제품에 대한 매력을 증가시키며 이를 통해 제품 판매가 늘어나고, 매출이 증가하며 증가된 이익은 다시 연구 개발 투자로 연결된다(<그림 1>, R2 루프).

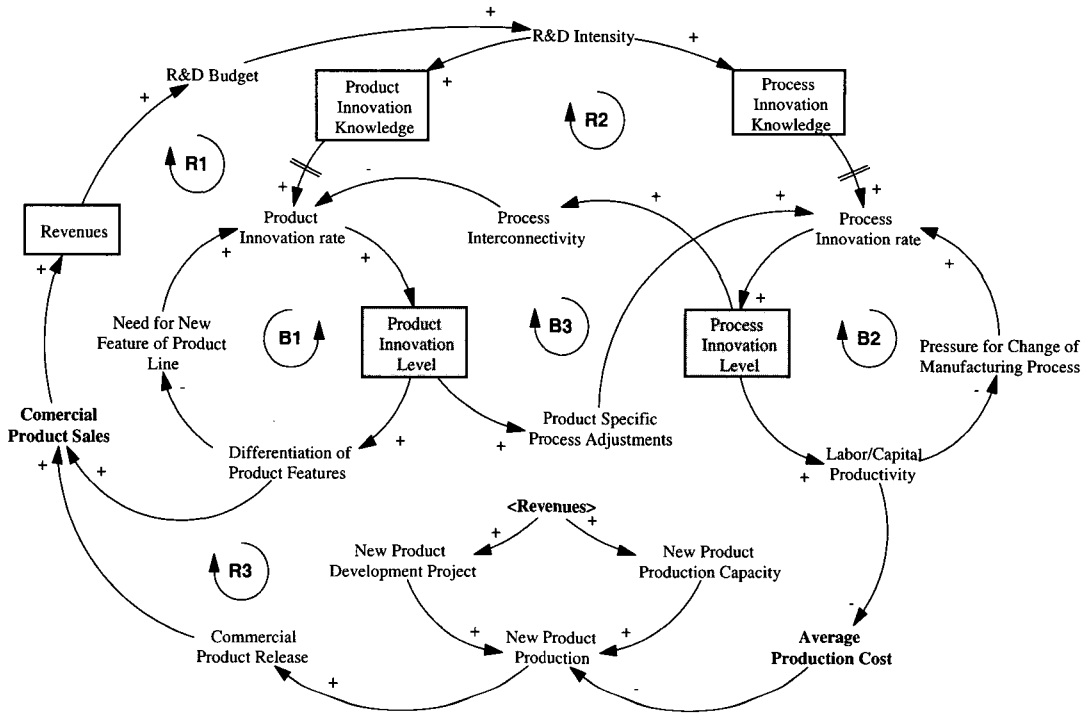
제품 혁신과의 조정을 통해서 그리고 공정 혁신에 대한 연구 개발 투자와 지식 축적을 통해 공정 혁신 주기상의 성숙기에 도달한 높아진 생산성은 고정된 설비와 생산 공정상의 자동화로 인해 생산 공정의 새로운 변화를 꺼리는 경향을 가지고 있다[17]. 이는 또 다른 제조 공정상의 변화의 압력(pressure for change of manufacturing process)을 저하시키며 이로 인해 공정 혁신율이 감소하게 된다. 즉 공정 혁신의 발생 요인인 공정 합리화에

대한 요구가 감소되어 공정 혁신율이 점진적으로 감소되는 것이다[65, 67]. 이것은 전체적으로 생산 공정과 관련한 혁신 프로세스도 일정 시점이 지나게 되면 공정 혁신율이 감소하게 되는 음(-)의 피드백 관계를 유지하게 됨을 의미한다(<그림 1>, B2 루프).

한편 제품 혁신이 공정 혁신을 저해하는 음(-)의 효과를 가졌던 것과 마찬가지로, 공정 혁신의 증가는 제품 혁신을 감소시키는 제약 조건으로서의 역할을 한다[43]. 공정 혁신이 어느 정도 성숙기에 접어들면 생산 공정상의 유연성 결여로 인해 제품 혁신과 관련한 제품의 선택에 영향을 주게 된다. 즉 공정 혁신의 성숙기에는 대부분 전용 설비 및 자동화된 공정을 유지하므로 공정 변화의 비용이 매우 높아 생산 공정이 고정된다. 따라서 기업들은 기존의 생산 공정에서 생산 가능했던 제품만을 생산하려는 경향이 발생하며 이로 인해 제품의 새로운 변화에 대한 요구는 감소한다. 이는 생산 공정 측면에서의 공정과 제품간 상호 연결성(process interconnectivity)의 불일치를 증폭시키는 것으로서 이를 통해 제품 혁신율을 감소시키는 요인으로 작용한다. 생산 공정을 안정된 상태로 유지하려는 공정의 조정 노력이 크면 클수록 제품 혁신율은 감소하게 되며, 이는 궁극적으로 제품 혁신을 감소시키는 요인이 된다[67]. 전체적으로는 제품 혁신과 공정 혁신 사이에 음(-)의 피드백 관계를 갖게 하여 기술 혁신의 균형 상태를 유지한다(<그림 1>, B3 루프).

가설 4-2 : 공정과 제품의 상호 연결성에 의한 공정의 특징은 제품 혁신을 감소시키는 요인이 된다.

어떤 사업들은 더 나아가 주요한 제품 혁신과 공정 혁신이 모두 감소하게 되는 경화기(specific phase)상태로 나아가게 된다. 이러한 산업들은 비용, 생산 규모, 생산 능력 면에서 매우 고정적이 되며 제품 혁신과 공정 혁신은 매우 작고도 점진적인



〈그림 1〉 동태적 기술혁신의 인과 관계 개념화

형태로 나타난다. 이 시기의 혁신은 비차별적이고 표준화된 제품을 생산하므로 점진적인 제품 개선 및 생산성과 품질 면에서 지속적인 개선에 초점이 맞추어져 있다[70].

4. 시뮬레이션 분석 모형 및 가설 검증

4.1 시뮬레이션 분석 모형

본 연구에서는 기술 혁신의 동태성을 분석하기 위해 시스템 다이내믹스 모형을 이용하는 데, 이는 기존 연구의 한계점인 부분적 시각을 지양하고 보다 장기적인 의사 결정을 지원하기 위한 방법을 제시하기 위해서이다. 즉 기술 혁신과 관련한 문제를 해결하기 위해서 어떤 정책을 사용할 경우, 정책 사용의 결과로서 문제가 되는 부문에서는 어느 정도 효과를 가져오지만, 그러나 여타의 예기치 못한

다른 부문에서 문제를 초래하거나 오히려 전체 시스템을 악화시키는 부문 간의 상충 문제를 유발하기도 하고, 또한 어떤 정책의 결과로 단기적으로는 어느 정도 효과를 가져 오지만 장기적으로는 오히려 문제를 악화시키는 시간 간 상충의 문제도 존재한다. 따라서 시스템 다이내믹스 분석의 시스템 사고는 기존의 단선적 사고 방식을 대체하는 사고의 틀로서 전체를 이해하면서 부분의 역할을 강조하고 부분 간의 상호 연관성 및 의존성을 강조하는 사고의 틀이다. 또한 시스템 사고는 시간과 상황의 변화에 따라 지배하는 피드백 루프(dominant feedback loop)의 상대적 중요성이 변하는 것으로 본다. 따라서 문제를 정태적으로 파악하려 하지 않고 지속적으로 상호 영향을 주고 받는 동태적 관계로 이해하려 한다.

따라서 본 연구에서 사용되는 시스템 다이내믹스 방법론은 기술 혁신의 자원 배분 의사 결정을 지원하기 위한 동태적 행태 분석에 초점을 맞추고

있다. 즉 시간의 경과에 따른 기술 혁신의 자원 배분 행태 변화에 관심을 두고 기술 혁신 기업의 전체 시스템의 변화와 발전을 시간적 흐름에 따라 다양한 측면에서 연구하고자 한다. 더 나아가 이와 같은 전체적인 다이나믹 구조 분석을 통해 기업에 최적의 이익 구조를 가져다 줄 수 있는 투자 정책과 정책 변수들을 선정하여 기업의 정책 운영자에게 의미 있는 정보를 제공해 주려 한다.

인과 모델에 바탕을 둔 동태적 기술 혁신 모형은 의사 결정을 위해 현재 및 미래의 성과에 대해 시뮬레이션 테스트가 필요하다. 이를 위해 <그림 1>의 개념적인 동태적 기술 혁신 모델을 <그림 2>와 같이 시뮬레이션 모형화할 수 있다.

기업은 축적된 이익을 기반으로 연구 개발 집약도에 따라 연구 개발 투자와 관련한 예산(budget for R&D)을 확보하는 데, 사례 기업의 경우에는 평균적으로 매출액 대비 6.8% 정도를 연구 개발 예산으로 책정하고 있다. 기업은 이와 같이 책정된 예산으로 기술 혁신을 주도할 인적 자원과 물적 자원 등의 다양한 연구 개발 자원(R&D resources)을 증가시킨다. 연구 개발 자원은 제품 개발이나 공정 혁신과 관련한 혁신 투자 비율(fractional split to innovation)에 의해 분배되고, 이를 통해 제품 혁신이나 공정 혁신을 주도할 연구 개발 지식 스톡(innovation knowledge stock)이 증가하게 된다.

연구 개발 지식은 구체적으로 제품이나 공정과 관련한 산업 재산권으로서 양적 지표인 특허(patent)나 실용 신안권 건수를, 특허의 질적 지표인 특허 영향력 지수(current impact index : CII)를 정량화한 개념이다. 본 연구에서는 사례 기업의 자료를 분석하여, 특허 등록 건수를 파악하고, 이를 기반으로 투입된 자원당 창출되는 지식의 수(generating inno. per resource)를 유추하였으며, 이를 연구 개발 지식의 특허 성공 확률의 대응치로 사용하였다. 또한 본 연구에서는 연구 개발 산출물의 대표적인 형태인 기술 지식의 외부 판매 형태는 고려하지 않고, 기술 지식의 기업 내 체화 활용인 제품 혁신과 공정 혁신에 초점을 맞추어 분석한다.

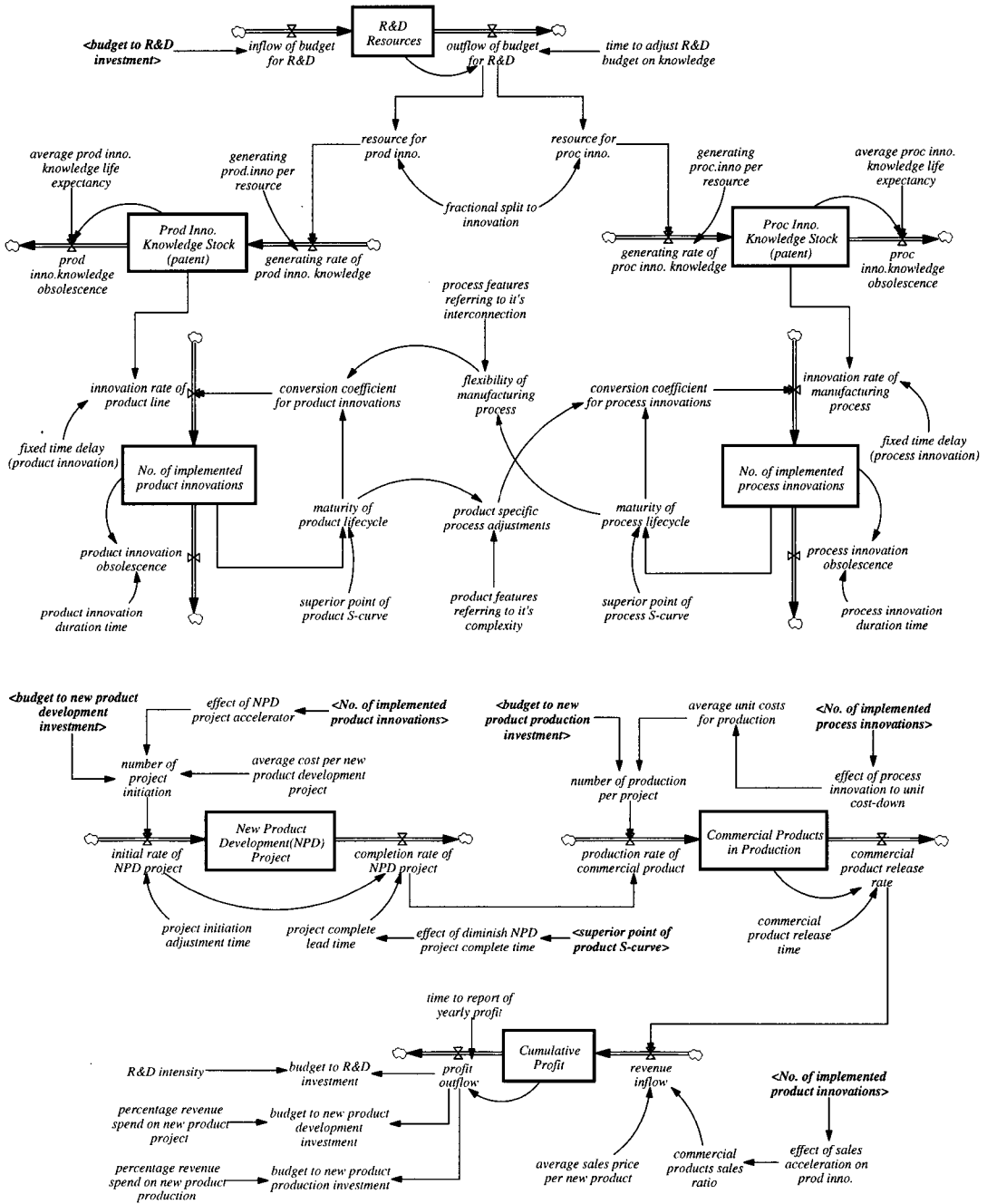
연구 개발 지식 스톡과 관련한 진부화율(knowledge obsolescence)은 시간이 지남에 따라 과거에 축적된 지식 스톡 중에서 더 이상 사용할 수 없게 된 부분으로, 본 연구에서는 한국 산업기술진흥협회(KOITA)에서 조사한 기술 수명 주기[9]와 과학 기술정책연구원(KISDI)이 조사한 기술 지식의 내용연수[10]를 기반으로 사례 기업의 특허 상각 기간(knowledge life expectancy)을 산출하였다. 한편 연구 개발 지식 스톡을 구하기 위해서는 우선 기초연도의 연구 개발 지식 스톡이 계산되어야 하는데 이는 분석 기간 중 연구 개발 투자의 연평균 실질 증가율과 진부화율을 감안하여 산출하였다. 또한 연구 개발 시차(fixed time delay)는 연구 개발 투자가 실행된 시점부터 지식의 축적을 거쳐 제품이 생산되고 상업화의 과정을 통해 그 성과가 나타나기까지 소요되는 시간을 나타내며 본 연구에서는 한국 산업기술진흥협회의 조사 결과를 이용하여 Delay Fixed 함수로 분석하였다.

기업은 시장에서 고객의 수요를 인식하고 그 수요를 충족시킬 수 있는 기술적 지식이 축적되었다고 판단되면 시장 수요를 충족시킬 수 있는 신제품을 개발하기 위한 구체적인 혁신들이 발생한다. 제품 혁신은 기존 제품과 달리 제품의 특징이나 품질 그리고 기능 면에서 차별화된 신제품을 개발하여 시장에 내놓음으로써 새로운 시장을 열고 매출을 늘려 이윤을 창출하는 경로를 갖게 된다. 사례 기업의 경우에는 시장에서의 고객의 니즈와 혁신 지식 축적의 신규 제품 개발 프로젝트 가속화 효과(effect of NPD project accelerator)를 통해 다양한 제품 군의 신제품 개발 프로젝트(new product development project)들을 진행하게 되는 데, 평균적으로 매출액 대비 37.2% 수준의 예산으로 제품 개발 프로젝트들을 수행한다. 프로젝트 수행 횟수와 관련해서는 Pulse Train 함수를 이용하여 시뮬레이션 수행 기간인 60개월 동안 매 3개월에 1회씩 발생하는 것으로 가정하고 모형을 도출하였다.

보다 정확한 예산 비율을 계산하기 위해서는 신제품들이 시장에 출시되어 단종될 때까지의 다년

간의 누적 수익을 계산하여야 하나, 본 연구에서는 신제품이 출시되어 창출하는 수익의 규모를 회계 연도 상의 1년 단위를 기준으로 신제품 개발 프로

젝트의 예산을 계산하였다. 신제품 개발 기간과 관련해서는 프로젝트의 수행기간은 평균적으로 약 5.6개월이 걸리며, 신제품의 수명 주기에 따른 개



<그림 2> 동태적 기술혁신의 시뮬레이션 모형

발 완료 시간의 단축 효과(effect of diminish NPD project complete time)를 반영하여 프로젝트 개발 완료 기간(project complete lead time)을 설정하였다.

신제품 개발 프로젝트의 완료를 통해 개발된 신제품은 양산을 위한 생산 단계로 넘어가게 되며, 생산 단계를 거쳐 출시된다. 제품 생산 단계에서는 공정 혁신을 통한 다양한 원가 절감 효과(effect of process innovation to unit costs)들을 통해 제품 생산 원가(average unit costs for production)를 낮추게 된다. 생산된 신제품들은 전체 생산된 제품 중 일정 판매 비율(commercial products sales ratio)을 통해 판매되며 단위당 판매 가격(average sales price per new product)을 곱하여 수익을 창출하게 된다.

제품 혁신을 통해 신제품 개발 프로젝트의 설계형상이나 제품 원형(prototype)이 완성되고 본격적인 생산에 착수되는 시점(superior point of product s-curve)에서는 생산 공정 상의 금형이나 지그(jig) 설계 상의 비효율적인 기술 문제들이 야기되고 기존 생산 설비의 변경이 필요하게 된다. 따라서 혁신적인 신제품을 생산하는 공정과의 조정(product specific process adjustment)이 필요하게 된다. 새로운 제품이 소비자에게 판매된 이후에는 고객의 불만이 제기되고, 이를 해소하기 위하여 부분적인 제품 사양이 변경되기 때문에 전반적으로 유동적인 상황에서 부분적인 제품의 개선이 활발히 일어난다. 제품 S-곡선의 변곡점 즉, 제품 관련 기술이 발전할 수 있는 이론적 한계치는 0시점부터 24개월까지는 일정한 기울기로 증가하며, 24개월 시점 이후에는 계속해서 수평인 상태를 유지하는 함수 형태로 가정하며 이는 RAMP 함수를 이용하여 분석하였다.

과도기적 상황이 어느 정도 지나게 되면 제품의 표준화가 진전되고 제품 사양이 안정되면서 제조공정의 시제품의 제작이 완료된다. 동시에 양산 공정 단계에서는 생산 비용을 절감하여 이윤을 확대하려는 공정 혁신이 활발(superior point of process s-curve)하게 일어난다.

공정 혁신은 생산 공정을 합리화하고 재료비와 인건비를 절감하며 단시간에 설계 상에서 지시하는 품질의 제품을 생산 함으로서 생산성을 극대화하여 이윤을 높인다. 고도의 생산 기술이 체화된 전용 설비와 자본 집약적인 생산 설비의 채택이 늘어나고 원자재를 체계적으로 조달하기 위해 수직통합이 일어나거나 계열화를 도모한다. 따라서 공정 혁신은 제품이 안정화되었거나 표준화된 이후에 대량 생산 단계에서 많이 나타나게 되는 데, 표준화된 제품이 시장에서 잘 팔리기 위해서는 가격 경쟁력이 핵심인데 이를 확보하기 위해서는 공정 혁신이 중요한 역할을 하게 된다. 이 단계는 생산 비용을 절감하는 과정에서 기술 혁신이 주로 일어나는 특정한 상황이다. 공정 혁신과 관련하여 표준화된 대량 생산 체제를 가지는 경우, 생산 설비의 유연성(flexibility of manufacturing process)이 떨어져서, 이것이 제품 혁신을 가로 막는 제약 조건으로 작용하게 된다. 따라서 공정의 특징과 제품의 속성간 상호 관계(process features referring to it's interconnection)에서 또 다른 조정이 필요하게 된다. 생산 단계를 거쳐 판매된 제품은 이익을 창출하며 이익은 다시 연구 개발에 투자되는 순환 관계를 갖게 된다.

4.2 기술 혁신 모델의 연구 가설 검증 및

의사 결정 지원

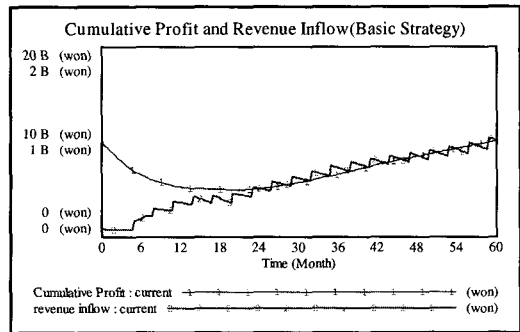
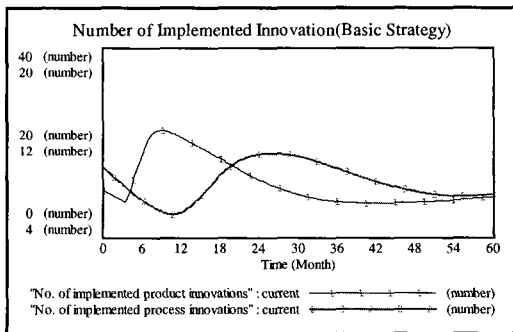
동태적 기술 혁신 모형의 테스트를 위해 우선 모델의 타당성을 확인해야 한다. Barlas[16]의 연구에 의하면, 모델의 타당성을 평가하는 방법은 크게 '모델 구조(structure)의 타당성', '모델 행태(behavior)의 타당성'의 두 가지 범주로 구분하여 평가한다. 모델 구조의 타당성은 직접적인 구조의 테스트(direct structure tests)와 구조에 기초한 행태의 테스트(structure-oriented behavior tests)를 수행한다. 우선 기술혁신과 관련한 모델 구조의 타당성 측면에서는 기존의 기술 혁신과 관련한 다양한 이론과 연구 결과들을 기반으로 개념적으로 모델

링화 하였다. 이와 같이 개념화된 시스템 다이내믹스 모형의 구조상의 타당성과 경계 적절성(boundary adequacy)을 검증하기 위해 K전자의 디지털 가전 사업부의 데이터를 활용하여 모형의 적합(calibration) 과정을 거쳤다. 모형의 구조화 단계에서는 사례 기업의 실무 담당자들과 연구자들이 기업의 구조 분석을 거쳐 모형의 구조를 수립하였고, 본 연구에서 사용된 연구 모형의 정확성을 위해서 K전자의 디지털 가전 사업부의 과거 데이터를 이용하여 행태의 패턴을 검증하였다. 또한 본 연구에서는 월 단위로 60개월에 걸쳐 시뮬레이션을 수행함으로써 각 변수들의 측정 단위 일관성(dimensional consistency)을 이루었다.

모형의 행태와 관련된 타당성 평가에서는 현실적으로 기업의 기술 혁신의 프로세스에서 보여지는 문제들의 증상, 행태의 패턴, 단계적 행태의 변화, 파동 등의 요소들이 모형에 반영될 수 있도록 K전자의 데이터를 이용하여 각각의 부분적인 루프들의 사전 테스트 작업을 거쳤으며, 각각의 부분적인 루프들을 전체적으로 연결하여 시뮬레이션의 상태가 불안정한 단계를 지나 안정된 단계에 도달하는 일정 시점 즉 균형(equilibrium) 상태가 나타날 수 있도록 모형을 조정하였다. 이와 같은 안정된 시점을 시작점으로 하여 시뮬레이션 결과를 분석함으로써 모형 행태의 재현성(behavior reproduction)과 행태의 비정상성(anomaly) 그리고 숨은 행태(surprise behavior) 발견성의 조건을 만족시

켰다. 또한 각 LOOKUP 함수들과 보조 변수(auxiliary variables)들에 대한 민감도 분석을 수행하여 각 LOOKUP 함수들과 보조 변수들의 변화에 따른 결과 변수들의 타당성 조사도 동시에 실시하였다. 이와 같은 시스템 다이내믹스 시뮬레이션을 위해서 본 연구에서는 Vensim DSS 5.12의 프로그램을 통해 시뮬레이션 모형을 구현화하였다.

본 연구는 기술 혁신과 관련된 다양한 동적 프로세스를 기업의 기술 혁신 문제와 연결하여 정책적 시사점을 제시해 주는 것을 목적으로 하고 있다. 따라서 연구 가설에서 제기한 다양한 내용을 기반으로 시뮬레이션 결과를 통해 검증하는 것을 기본으로 하고 있다. 기본적으로 혁신 투자 비율을 제품 혁신과 공정 혁신에 동일하게 유지시키는 전략을 기본 전략(basic strategy)으로, 시뮬레이션 초기에는 연구 개발 투자의 증가에 따라 연구 개발 자원이 증가하며, 증가된 연구 자원은 혁신을 유발하기 위한 지식을 급격히 증가시키며, 이를 통해 구체적으로 제품 또는 공정과 관련한 혁신들이 발생한다. 수행된 제품 혁신의 수(No. of implemented product innovation)는 초기에 연구 개발 시차로 인하여 다소 감소하는 행태를 보이다가, 이후 급격한 양상으로 증가하며 일정 시점 이후 점진적으로 감소하며 부분적인 제품 개선으로 발전하게 된다. 공정 혁신은 연구 개발 투자와 지식 축적 사이의 상대적으로 긴 연구 개발 시차로 인하여 초기에 급격한 감소를 보이다가, 제품 혁신이 감소하게



<그림 3> 기존 전략의 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 결과

되는 시점을 기점으로 수행된 공정 혁신의 수(No. of implemented process innovation)는 증가하게 된다. 증가하는 공정 혁신은 일정 시점 이후 다시 감소하게 되며, 제품 혁신과 공정 혁신은 완만한 정체 상태가 지속된다. 제품 혁신과 관련한 신제품 개발 프로젝트는 지속적으로 증감을 반복하면서 신제품 개발 이후 신제품 생산을 지속적으로 증가시키는 요인이 된다. 또한 재무적 측면에서는 초기 투자 비용의 증가로 인해 초기의 누적 이익(cumulative profit)은 감소하나, 일정 시점 이후 수익이 투자 금액을 보정하는 시점 이후부터는 이익이 지속적으로 증가하게 된다.

본 시뮬레이션에서 보여지는 기본 전략과 관련한 결과는 Utterback and Abernathy[70]의 제품 및 공정 혁신 가설에서 보여지는 혁신 가설과 유사한 결과임을 알 수 있다. 즉 기술혁신 과정은 소비자의 필요나 기술적 가능성에 의해 제품 혁신이 먼저 활발히 일어나고, 제품의 양산 단계에 이르러 공정 혁신이 뒤따르게 된다는 것이다. 또한 제품 혁신의 첫 단계는 매우 혁신적인 급격한 변화이고, 이를 뒤따르는 공정 혁신이 진행함에 따라 제품의 변화는 점차 완만해진다. 제품 혁신이 표준화되고 공정 혁신이 대량 생산됨에 따라 이 두 가지의 기술 혁신은 모두 완만해지고 점증적인 변화를 하게 된다[12, 69, 60].

4.2.1 투자 비율 조정에 의한 시뮬레이션 결과 분석(가설 1 검증)

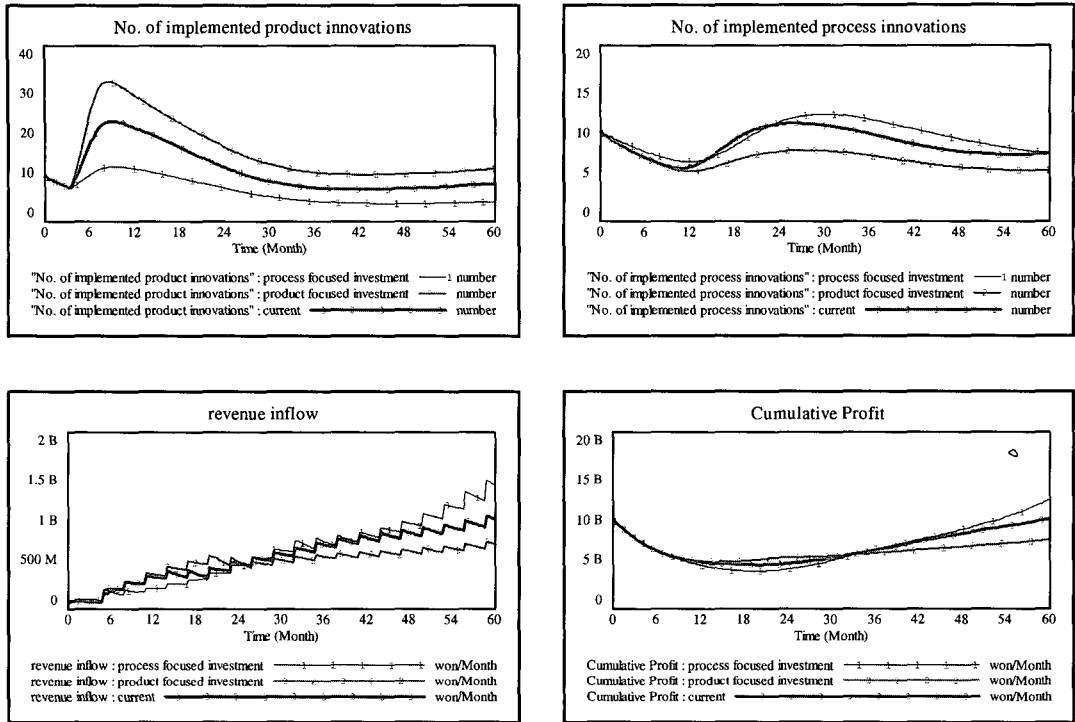
본 연구에서는 기업의 기술 혁신과 관련한 투자 정책을 제품 혁신과 공정 혁신에 초점을 맞추어 혁신 투자 비율(fractional split to innovation)을 조정함으로써 기업의 수익성에 어떤 결과들이 도출되는지를 살펴 보고자 한다. 기본적으로 혁신 투자 비율을 제품 혁신과 공정 혁신에 동일하게 유지시키는 기본 전략(current)을 기반으로 하여 제품 혁신에 중점을 두는 혁신 프로세스(product focused investment)와 공정 혁신에 중점을 두는 혁신 프로세스(process focused investment)의 두 가

지 시나리오를 구성하여 비교한다. 기본 전략을 바탕으로 각 전략에 따른 시뮬레이션의 성과를 테스트한 결과는 다음의 <그림 4>과 같다.

기업의 기술 혁신과 관련한 정책 중의 하나는 기업이 혁신에 대한 투자 비율을 다양하게 변화시키면서 기업에 최대의 이익을 가져다 주는 혁신 투자 비율이 무엇인지를 파악하는 것이다. <그림 4>의 투자 비율 조정에 의한 시뮬레이션 결과에서 보는 바와 같이 제품 혁신 투자에 중점을 두는 기술 혁신 프로세스(product focused investment)는 기본 전략(current)하의 기술 혁신에 비해, 제품 혁신에 대한 연구 개발 투자의 증가로 인해 기본 전략보다는 더 많은 비율로 제품 혁신이 유발되고, 반대로 수행된 공정 혁신의 수는 기본 전략에 비해 더 적은 공정 혁신이 발생된다. 이는 연구 개발 자원을 제품 혁신에 집중하는 것이 더 많은 제품 혁신을 유발하는 것이며, 초기의 제품 개발에 대한 투자 확대는 상대적으로 공정 혁신에 대한 투자 감소로 인해 공정 혁신에 대한 증가 비율을 줄이는 요인이 된 것으로 분석된다.

반면에 공정 혁신에 중점을 두는 혁신 프로세스(process focused investment)는 초기에는 기본 전략에 비해 상대적으로 공정 혁신의 증가 비율이 크나 상대적으로 수행된 공정 혁신의 수의 증가 폭은 작다. 이는 공정 혁신에 대한 투자 증가가 초기의 공정 혁신율을 증가시키기는 하나 제품 혁신과의 상호 제약 관계로 인해 일정 시점 이후에는 공정 혁신의 증가율을 감소시키는 요인이 된 것으로 분석된다. 다시 말하면 제품 혁신과 공정 혁신의 상호 의존 관계 속에서 공정 혁신이 제품 혁신을 유발하는 효과는 제품 혁신이 공정 혁신을 유발하는 효과보다 상대적으로 더 작은 것을 의미한다. 또한 초기 공정 혁신에 대한 투자 집중은 상대적으로 제품 혁신에 대한 투자 감소로 인해 제품 혁신 비율을 낮추는 결과이기도 하다.

또한 제품 혁신에 대한 투자비율 증가로 인한 창출된 이익 규모를 살펴 보면, 초기에 다양하게 개발된 혁신 제품을 시장에 출시함으로써 기본 전



주 : Product focused investment의 제품 혁신과 공정 혁신에의 투자 비율은 80% : 20%이고, Process focused investment의 제품 혁신과 공정 혁신에의 투자 비율은 20% : 80%임.

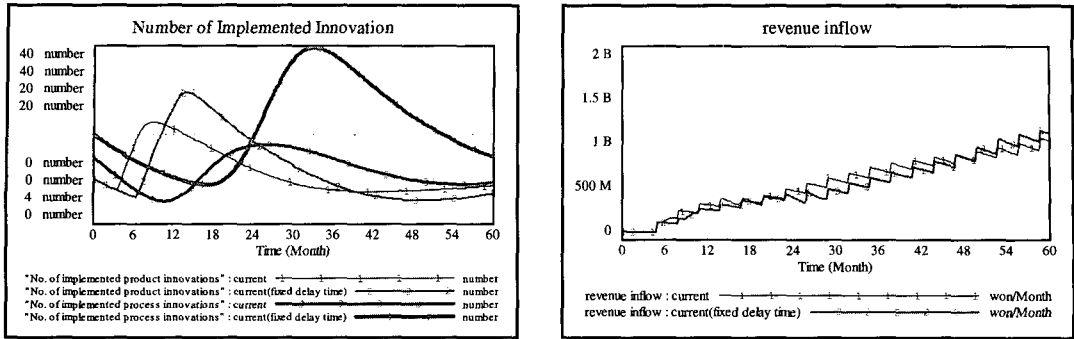
<그림 4> 투자 비율 조정에 의한 시뮬레이션 결과 분석(가설 1 검증)

락에 비해 초기 수익 창출이 빠르고 크나, 시간이 지남에 따라 상대적으로 기본 전략에 비해 창출되는 이익의 규모가 작아 진다. 반면에 공정 혁신에 초점을 둔 투자 전략은 수익 창출과 관련해서 신제품이 시장에 출시되어 수익이 발생하는 시점은 여타 전략들에 비해 늦으나, 시간이 지남에 따라 얻게 되는 수익의 규모가 훨씬 크다. 이는 보다 빠르게 고객에게 즉시 수용되는 다양한 제품을 제공하는 제품 혁신보다는 생산성이나 원가 절감 목적의 공정 혁신에 투자를 증가시킴으로 인해 제품 혁신에 비해 보다 빠르게 시장의 요구에 대응하지 못하기 때문인 것으로 분석된다. 그러나 일정 시점 이후, 여타 전략에 비해 이익 규모가 확대되는 것은 생산 효율성으로 인한 생산 증대 효과로 분석된다. 따라서 연구 가설에서 제시한 바처럼, 제품 혁신에 대한 투자 증가는 초기 시장의 고객 확보를 통한

수익성 증대에는 어느 정도 유의한 정(+)의 영향을 미치나 장기적 관점에서는 제품 혁신에 대한 투자 증대 보다는 공정 혁신에 대한 투자 비율 증가가 기업의 전체적인 수익 규모에 보다 유의한 정(+)의 효과가 있음을 알 수 있다.

4.2.2 연구 개발 시차와 수익성과의 관계 분석
시뮬레이션 결과(가설 2 검증)

연구 개발 시차와 수익성의 관계를 분석하는 시뮬레이션 결과에서는 기본 전략(current)과 1.5배의 추가적인 연구 개발 시차를 고려한 경우(current-fixed delay time)의 결과를 비교한다. 즉 연구 개발 시차가 증가함에 따른 수익성과의 관계를 분석하고자 한다. 시뮬레이션 분석 결과, 추가적인 연구 개발 시차를 고려한 경우의 제품 혁신은 초기에 연구 개발 자원 투입과 지식의 축적 그리고 제품



〈그림 5〉 연구 개발 시차와 수익성과의 관계 분석 시뮬레이션 결과(가설 2 검증)

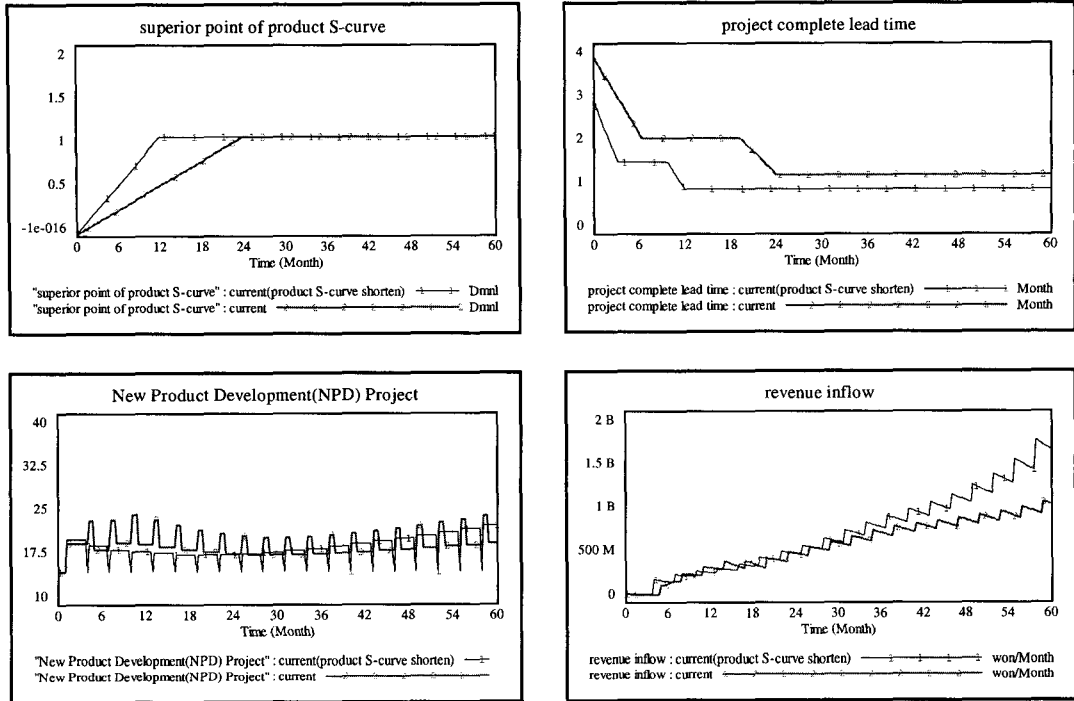
혁신으로 연결되는 고리에서의 시간 지연으로 인해 초기 제품 혁신의 감소 기간은 기본 전략보다 더 오래 지속되나, 일정 시점 이후의 증가폭은 기본 전략보다 훨씬 큰 비율로 증가한다. 또한 정점 이후 감소 추세도 기본 전략에 비해 상당히 급격하게 감소하고 있다. 공정 혁신의 경우에도 마찬가지로 기본 전략에 비해 급격한 증감을 보이고 있는 데, 추가적인 연구 개발 시차를 고려한 경우의 공정 혁신의 증감 비율은 제품 혁신의 증감 비율보다 훨씬 크게 나타났다. 이는 연구 개발 시간 지연의 효과는 제품 혁신 보다는 상대적으로 공정 혁신에 더 많은 영향을 미치기 때문인 것으로 분석된다.

수익의 규모에 있어서도, 기본 전략의 초기 수익 규모가 추가적인 연구 개발 시간 지연을 고려한 경우보다 상당히 크며, 그 차이가 점점 증가하고 있다. 그러나 일정 시점(48개월) 이후에는 오히려 추가적인 연구 개발 시간 지연을 고려한 경우의 수익 규모가 기본 전략의 수익 규모 보다 더 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 연구 개발 시차의 고려가 단순히 시간 지연을 통한 수익의 실현 시점의 지연을 의미하는 것이지, 수익의 규모가 작아짐을 의미하지는 않는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구의 가설에서 제시하고 있는 연구 개발 시차가 길어짐에 따른 수익성에의 부의 영향은 초기의 수익 규모에서는 어느 정도 부(-)의 영향을 미치나, 일정 시점 이후에는 오히려 정(+)의 효과를 보이는

것으로 나타났다.

4.2.3 제품 혁신의 수명 주기와 신제품 개발 기간과의 관계에 대한 시뮬레이션 결과 분석(가설 3 검증)

다음의 〈그림 6〉은 제품 혁신의 수명 주기와 신제품 개발 기간과의 관계에 대한 시뮬레이션 결과를 분석하기 위해, 초기의 제품 혁신 관련 수명 주기를 24개월로 가정하였던 것을 12개월로 줄여 분석한 시뮬레이션 결과이다. 분석 결과에 의하면, 제품 혁신의 수명 주기 단축(superior point of product S-curve)은 신제품 개발 프로젝트의 완료 리드 타임(project complete lead time)을 줄이는 효과를 가져 오는 것으로 밝혀 졌다. 또한 제품 개발 리드 타임의 단축을 통해서 수행된 신제품 개발 프로젝트(new product development project)의 횟수와 초기 리드타임이 작아, 기본 전략보다 상대적으로 많은 프로젝트가 수행되는 것으로 나타났다. 따라서 창출된 수익의 시기나 규모도 기본 전략에 비해 상대적으로 빠르고 크며, 장기적으로도 보다 큰 수익을 가져다 주는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구 가설 중의 하나인 제품 혁신의 수명 주기 단축과 신제품 개발 기간과의 관계에 대해서는 제품 혁신의 수명 주기 단축이 신제품 개발 기간과 정(+)의 효과가 있는 것으로 분석되었으며, 제품 혁신의 수명 주기 단축을 통해 보다 많은 수익의 증가도 기대할 수 있는 것으로 분석되었다.



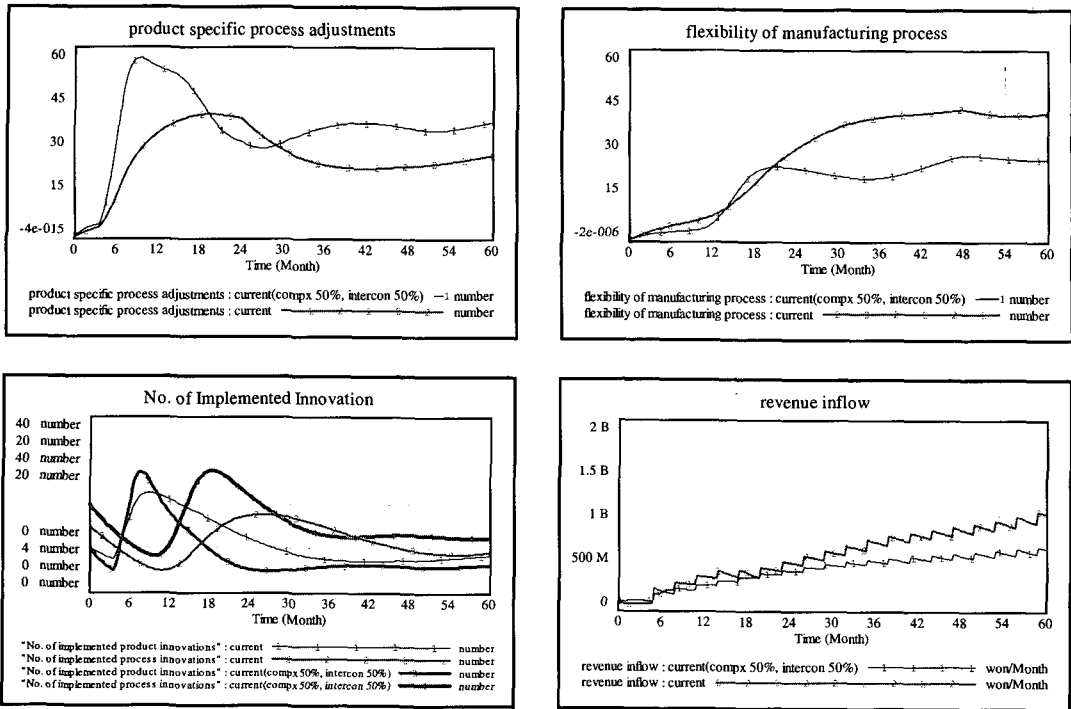
〈그림 6〉 제품 혁신의 수명 주기와 신제품 개발 기간과의 관계에 대한 시뮬레이션 결과 분석(가설 3 검증)

4.2.4 제품 혁신과 공정 혁신의 상호 조정적 관계에 대한 시뮬레이션 결과 분석(가설 4 검증)

제품 혁신과 공정 혁신의 상호 조정적 관계에 대한 시뮬레이션 결과 분석에서는 제품의 복잡성 증가(compx 50%↑)로 인한 따른 공정 혁신과의 관계와 공정과 제품의 상호 연결성(intercon 50%↑)으로 인한 제품 혁신에의 제약 관계를 분석한다. 시뮬레이션 분석 결과에 의하면, 제품 개발 측면에서의 신제품과 관련한 복잡성(product features referring to it's complexity) 증가는 초기에 제품과 관련한 보다 많은 생산 공정과의 조정(product specific process adjustment)을 요구하며, 장기적으로도 기본 전략보다 더 많은 제품 개발과 생산 공정의 조정을 요구한다. 따라서 연구 가설인 제품의 복잡성에 대한 요구 증가는 공정 혁신을 감소시킨다는 가설은 기각된다. 그러나 제품 생산 측면에서의 공정과 제품 간의 상호 조정을 위한 공정

상의 특징(process features referring to it's inter-connection)의 증가는, 즉 생산 공정이 정형화되어 공정상의 변화의 여지가 작은 경우에는 생산 공정상의 유연성(flexibility of manufacturing process)은 초기에 다소 감소와 증가를 반복하고 있으나, 전체적으로 기본 전략에 비해 상당히 작게 나타났다. 이와 같은 생산 공정상의 유연성 감소는 규모의 경제에 의한 전용 설비 및 자동화된 생산 공정을 유지함으로써 공정 변화의 비용이 매우 높아 생산 공정이 고정됨을 의미한다. 이는 공정과 제품 간의 상호 조정을 위한 공정의 특징이 제품 혁신을 유발하는 관계 사이에는 부(-)의 관계가 있음을 의미하는 것이다. 즉 공정과 제품의 상호 조정을 위한 공정의 특징이 많아지면 제품 혁신은 감소하게 된다. 따라서 연구 가설인 공정과 제품의 상호 연결성에 의한 공정의 특징은 제품 혁신을 감소시킨다는 가설은 채택된다.

또한 수행된 제품 혁신이나 공정 혁신의 수를



〈그림 7〉 제품 혁신과 공정 혁신의 상호 조정적 관계에 대한 시뮬레이션 결과 분석(가설 4 검증)

보면, 제품의 복잡성 증가는 수행된 공정 혁신의 수의 증가를 유인하며, 공정과 제품의 상호 조정성은 수행된 제품 혁신의 수를 감소시키는 것으로 분석되었다. 기업의 수익 측면을 살펴 보면, 제품의 복잡성 증가와 공정과 제품의 상호 조정성 증가는 기업의 수익 창출에 부정적인 것으로 분석되었다. 이는 공정과 제품 간의 상호 조정성과 제품 혁신에 대한 음의 피드백 루프가 제품의 복잡성과 공정 혁신에 대한 양의 피드백 루프보다 지배적인 것으로부터 나타난 효과로서, 공정과 제품의 상호 조정성에 의한 제품 혁신 감소 그리고 제품 혁신에 대한 판매를 가속 효과(effect of sales acceleration on prod inno.)의 부진 때문에 수익이 감소된 것으로 분석할 수 있다.

5. 결론 및 시사점

기업이 경쟁 우위를 갖기 위해서는 시장에 제공

하는 다양한 제품 포트폴리오(portfolio) 구성과 시간적 대응성을 가져야 한다. 기업은 가능하면 빠른 시간에 새로운 기능의 신제품을 시장에 출시하여야 하고, 대량의 제품을 생산할 수 있는 생산 능력을 갖추는 확산 능력이어야 말로 성공을 위한 지름길이다[32, 41]. 따라서 성공하려는 기업에게 있어 제품의 다양한 구성과 그와 관련된 생산 공정의 혁신은 중요한 성공 요소 중의 하나이다[40].

기존의 기술 혁신과 관련한 다양한 연구들은 기업의 기술 혁신 과정에 내제되어 있는 각 혁신들 사이의 상호 연결 관계에 대해서는 그다지 관심을 두지 않고, 다만 연구 개발 투자가 기술 혁신을 야기하며 기술적 혁신이 경제적 성과를 유발하는 직접적이며 일방적인 관계에 대해서만 논의해왔다. 이에 반해 본 연구에서는 기술 혁신을 기반으로 한 의사 결정 및 정책적 대안 제시를 목표로 기술 혁신의 내제적 관계들을 동태적으로 파악함으로써 기업의 정책 의사 결정자들에게 올바른 의사 결정

을 지원할 수 있는 방법을 제시한다.

연구의 의의는 첫째, 기존의 기술 혁신과 관련한 다양한 정태적 관계들을 분석하여 그것들을 동태적으로 모델링화하고 정량화하여 기술 혁신의 동태적 프로세스를 보여주었다는 것이다. 상호 작용 모델을 기반으로 하여 기술 혁신의 상호 작용들의 구성 요소를 보다 구체화시키고 그 구성 요소들 사이의 상호 연관 관계를 피드백 구조로 파악함으로써 선형적 모델이 갖는 한계를 극복하였다. 둘째, 기업의 연구 개발 투자와 관련하여 연구 개발 투자와 기술 혁신, 그리고 기업의 이익 창출과 재투자의 순환적인 프로세스를 보여 주었다는 점이다. 기존의 연구들은 연구 개발 투자와 기업의 성장 내지는 기술 혁신과 기업의 이익 창출 등의 단편적인 관계들만을 파악하였으나[12, 59], 본 연구에서는 기술 혁신과 관련하여 전체적인 시각에서 연구 개발, 기술 혁신, 신제품 개발, 기업의 이익 창출을 살펴 봄으로써 기존 연구의 단편적 사고를 극복하고 전체론적 사고관에 기초하여 분석을 진행하였다. 셋째, 기업들의 기술 혁신 정책과 관련하여 그간 기업들이 가지고 있는 근시안적인 제품 혁신에 대한 투자 일변도의 정책에 대해 장기적으로 제품 혁신 보다는 공정 혁신에 대한 투자를 제안함으로써 기업들의 정책적 의사 결정을 지원했다는 점이다. 그러나 본 연구에서 제안하는 방법은 그 동안 기업의 의사 결정자들이 단기간의 이익 극대화를 위해 맹목적으로 제품 혁신과 관련한 투자 일변도의 정책 집행에 대해 하나의 제언을 두는 연구이다. 기술 혁신에 있어 제품 혁신과 공정 혁신은 어느 하나도 놓쳐서는 안 되는 중요한 정책적 변수들이다. 따라서 본 연구에서 제안하는 바는 기업이 처한 상황과 시장 구조 그리고 기업의 시장에서의 지배적 위치에 따라 중장기적으로 동적인 측면에서 투자 의사 결정을 내릴 수 있는 메커니즘을 제공한다. 넷째, 본 연구에서는 그 동안 경험적으로 분석되지 않았던 연구 개발 시차나 제품 개발 수명주기 등을 정량화하려는 분석을 시도하였다는 것이다. 이를 통해 정책 운영자에게 올바른 정책적

판단을 제공할 수 있는 방안을 제시하고 있다.

그러나 본 연구는 여러 한계점을 가지고 있으므로 이에 따른 향후 연구 방향은 다음과 같이 제시하고자 한다. 본 연구에서 제시하는 방법론인 시스템 다이내믹스 연구 모형은 기본적으로 임의로 기간을 산정하여 모델링을 수행했기에 기간 설정의 임의성으로 인해 각 변수들의 정확한 측정이 어려울 수도 있다는 점이다. 또한 본 연구에서 각 보조 변수들에 대해서 다변량 민감도 분석(multivariate sensitivity analysis)을 수행하였다 하더라도 각 보조 변수들의 민감도 입력 조작(sensitivity simulation setup)에 오류가 있을 수 있다는 점이다. 이에 따라 각각의 개별 사례 기업에 대한 모델의 타당성을 검증하는 데에는 보다 객관적이고 구체적인 데이터 분석이 부가적으로 요구되고 있다.

또한 본 연구에서 제시하는 모형은 사례 기업을 대상으로 한 모형으로 여타의 다른 산업이나 프로세스가 다른 기업의 경우에는 본 연구에서 제시하는 결과와 다른 결론이 나올 수 있음을 유의해야 한다. 따라서 차후의 연구에서는 기술 혁신에 대한 이론을 기반으로 여타의 산업으로 확장된 추가적인 접근을 해야 한다.

또 다른 한계점으로는 본 연구에서 제시하는 연구 모형에서 기술 혁신을 통한 신제품이 시장에 출시되어 고객들의 구매로 이어지고 창출된 수익이 연구 개발 투자로 이어지는 프로세스에서 고객의 구매 의사 결정과 같은 소비자 행동론에 대한 연구가 일정 부분 미진하다. 기술 혁신을 통해 생산된 제품이 기존의 제품보다 기능이나 품질에서 우수하고 보다 저렴한 제품이라 할지라도 고객의 입장에서 그와 같은 제품을 받아들이는 과정에 대한 부분은 또 다른 연구 분야 중의 하나이다. 따라서 본 향후 연구에서는 시장에서 고객이 신제품의 수용에 관련한 부분까지 보완하여 연구를 진행할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김인철 외, "연구개발투자의 효율성 분석", 산

- 업연구원, 2003.
- [2] 김정홍, "기술혁신의 경제학", 시그마프레스, 2003.
- [3] 신태영, "연구개발투자의 경제성장에 대한 기여도", 과학기술정책연구원, 2004.
- [4] 신태영 외, "2003년도 한국의 기술혁신조사 : 서비스", 과학기술정책연구원, 2003.
- [5] 신태영 외, "2002년도 한국의 기술혁신조사 : 제조업", 과학기술정책연구원, 2002.
- [6] 이공래, "기술혁신이론 개관", 과학기술정책연구원, 2000.
- [7] 조사국 동향분석팀, "연구개발투자의 생산성 파급효과 분석", 한국은행, 2003.
- [8] 조운애, "산업경쟁력 제고를 위한 기술정책의 방향", 산업연구원, 2003.
- [9] 한국산업기술진흥협회, "2004년 R&D 통계요람," http://www.koita.or.kr/archive/r&d/r&d_2004.htm.
- [10] IT산업시장환경 연구시리즈, "IT기업의 기술혁신 특성분석", 정보통신정책연구원, 2003.
- [11] Abadi, C.D. and B. Terry, "The Difficulty in Distinguishing Product from Process," *System Engineering*, Vol.6, No.2(2003), pp. 106-115.
- [12] Abernathy, W.J. and J.M. Utterback, "Patterns of Industrial Innovation," *Technology Review*, Vol.80(1978), pp.41-47.
- [13] Adler, P.S., "Interdepartmental Interdependence and Coordination : The Case of the Design/Manufacturing Interface," *Organization Science*, Vol.6, No.2(1995), pp. 147-167.
- [14] Ahmadi, R., T.A. Roemer, and R.H. Wang, "Structuring Product Development Processes," *European Journal of Operational Research*, Vol.130(2001), pp.539-558.
- [15] Athey, S. and A. Schmutzler, "Product and Process Flexibility in an Innovative Environment," *RAND Journal of Economics*, Vol.26, No.4(1995), pp.557-574.
- [16] Barlas, Y., "Multiple Tests for Validations of System Dynamics Type of Simulation Models," *European Journal of Operational Research*, Vol.42, No.1(1989), pp.57-87.
- [17] Bhoovaraghaven, S., A. Vasudevan, and R. Chandran, "Resolving the Process vs. Product Innovation Dilemma : A Consumer Choice Theoretic Approach," *Management Science*, Vol.42, No.2(1996), pp.232-246.
- [18] Boer, F.P., *The Valuation of Technology : business and financial issues in R&D*, John Wiley & Sons Inc., 1999.
- [19] Branch, B.S., "Research and Development Activity and Profitability : A Distributed Lag Analysis," *Journal of Political Economy*, Vol.82, No.5(1974), pp.999-1011.
- [20] Brentani, U. de, "Innovative Versus Incremental new Business Services : Different keys for Achieving Success," *The Journal of Product Innovation Management*, Vol. 18(2001), pp.169-187.
- [21] Butler, J.E., "Theories of Technological Innovation as Useful Tools for Corporate Strategy," *Strategic Management Journal*, Vol.9(1988), pp.15-29.
- [22] Callton, D.W. and J.M. Perloff, *Modern Industrial Organization*, Harper Collins Publishers, 1990.
- [23] Christensen, C.M., "Exploring the Limits of the Technology S-Curve. Part I : Component Technologies," *Production and Operations Management*, Vol.11, No.2(1994), pp. 334-357.
- [24] Cloutier, L.M. and Michael D. Boehlje, "Strategic Options and Value Decay in Technology Introduction under Uncer-

- tainty : A System dynamics Perspective on Dynamic Product Competition," *The Forum of the International Food and Agribusiness Management Association*, Chicago, IL, 2000.
- [25] Davenport, Thomas H., *Process Innovation : Reengineering Work through Information Technology*, Harvard Business School Press, 1992.
- [26] Danneels, E., "The Dynamics of Product Innovation and Firm Competences," *Strategic Management Journal*, Vol.23(2002), pp.1095-1121.
- [27] Eppinger, S.D., "Patterns of Product Development Interactions," *Working Paper Series (ESD-WP-2003-01.05)*, Massachusetts Institute of Technology Engineering Systems Division, 2002.
- [28] Ettl, J.E., "R&D and Global Manufacturing Performance," *Management Science*, Vol.44, No.1(1998), pp.1-11.
- [29] Ettl, J.E., "Product-process Development Integration in Manufacturing," *Management Science*, Vol.41, No.7(1995), pp.1224-1237.
- [30] Ettl, J.E. and E.M. Reza, "Organizational Integration and Process Innovation," *Academy of Management Journal*, Vol.35, No.4 (1992), pp.795-827.
- [31] Forbes, N. and D. Wield, "Managing R&D in Technology-followers," *Research Policy*, Vol.29(2000), pp.1095-1109.
- [32] Ford, D.N. and J.D. Sterman, "Dynamic Modeling of Product Development Processes," *System Dynamics Review*, Vol.14, No.1(1998), pp.31-69.
- [33] Garcia, R. and R. Calantone, "A Critical Look at Technological Innovation Typology and Innovativeness Terminology : A Literature Review," *The Journal of Product Innovation Management*, Vol.19(2002), pp. 110-132.
- [34] Garcia, R., R. Calantone, and R. Levine, "The Role of Knowledge in Resource Allocation to Exploration versus Exploitation in Technologically Oriented Organizations," *Decision Sciences*, Vol.34, No.2(2003), pp. 323-349.
- [35] Godener, A. and K.E. Söderquist, "Use and Impact of Performance Measurement Results in R&D and NPD : An Exploratory Study," *R&D Management*, Vol.34, No.2 (2004), pp.191-219.
- [36] Grabowski, H.G. and D.C. Mueller, "Industrial Research and Development, Intangible Capital Stock, and Firm Profit Rates," *Bell Journal of Economics*, Vol.9, No.2(1978), pp.328-343.
- [37] Griliches, Z., "R&D and Productivity," *The Econometric Evidence*, University of Chicago Press, 1998.
- [38] Griliches, Z., "Issues in Assessing the Contribution of Research and Development to Productivity Growth," *The Bell Journal of Economics*, Vol.10(1979), pp.92-116.
- [39] Hall, P., *Innovation, Economics and Evolution : Theoretical Perspectives on Changing Technology in Economic System*, Harvester Wheatsheaf, 1994.
- [40] Hansen, K.F., M.A. Weiss, and S. Kwak, "Allocating R&D Resources : A Quantitative Aid to Management Insight," *Research-Technology Management*, Vol.42, No.4(1999), pp.44-50.
- [41] Hartmann, G.C., "Linking R&D Spending to Revenue Growth," *Research-Technology Management*, Vol.46, No.1(2003), pp.39-

- 46(8).
- [42] Kim, B.C. and S.C. Wheelwright, *Managing New Product and Process Development*, The Free Press, 1993.
- [43] Kim, J.S., L.P. Ritzman, W.C. Benton, and D.L. Snyder, "Linking Product Planning and Process Design Decisions," *Decision Sciences*, Vol.23, No.1(1992), pp.44-60.
- [44] Kline, S.J. and N. Rosenberg, "An Overview of Innovation. In *The Positive Sum Strategy*," eds. Landau, R. & Rosenberg, N., pp.275-305. Washington, National Academy Press, 1986.
- [45] Krishnan, V. and K.T. Ulrich, "Product Development Decisions : A Review of the Literature," *Management Science*, Vol.47, No.1(2001), pp.1-21.
- [46] Lundvall, B.A., "Innovation, Growth, and Social Cohesion : The Danish Model," Cheltenham, Elgar, 2002.
- [47] Madique, M.A. and P. Patch, "Corporate Strategy and Technological Policy," *Readings in the Management of Innovation*, Tushman, M. L. and W. L. Moore(eds), Ballinger, Cambridge, Second Edition, 1998, pp.273-285.
- [48] Maier, F.H., "New Product Diffusion Models in Innovation Management—a System Dynamics Perspective," *System Dynamics Review*, Vol.14, No.4(1998), pp.285-308.
- [49] Meyer, M.H. and J.M. Utterback., "Product Development Cycle Time and Commercial Success," *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol.42, No.4(1995), pp.297-304.
- [50] Milling, P.M., "Understanding and Managing Innovation Processes," *System Dynamics Review*, Vol.18, No.1(2002), pp.73-86.
- [51] Milling, P.M. and J. Stumpfe, "Product and Process Innovation : A System Dynamics-Based Analysis of the Interdependencies," *Proceedings of the 18th International Conference of the System Dynamics Society*, 2000.
- [52] Moizer. J.D. and M. Towler, "The Dynamics of Research and Development Resourcing Approach," *Proceedings of the 22th International Conference of the System Dynamics Society*, 2004.
- [53] OECD, *Oslo Manual : Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data (2nd Edition)*, OECD, Paris, 1997.
- [54] OECD, *Technology and Economy : The Key Relationships*, OECD, Paris, 1992.
- [55] Pakes, A. and M. Schankerman, "The Rate of Obsolescence of Patents, Research Gestation Lags, and the Private Rate of Return to Research Resources," In *Zvi Griliches (eds), R&D Patents and Productivity*, ch. 4, The Univ. of Chicago Press, 1984, pp. 73-88.
- [56] Pardue, J.H., T.D. Clark Jr., and G.W. Winch, "Modeling Short- and long-term Dynamics in the Commercialization of Technical Advances in IT Producing Industries," *System Dynamics Review*, Vol. 15, No.0(1999), pp.97-105.
- [57] Parthasarthy, R. and J. Hammond, "Product Innovation Input and Outcome : Moderating Effects of the Innovation Process," *Journal of Engineering and Technology Management*, Vol.19(2002), pp.75-91.
- [58] Patterson, M., "Linking Product Innovation to Business Growth," *Journal of Production Innovation Management*, No.15(1998),

- pp.390-402.
- [59] Patterson, M.L., "From Experience : Linking Product Innovation to Business Growth," *Journal of Production Innovation Management*, Vol.15(1998), pp.390-402.
- [60] Pisano, G.P., "*The Development Factory : Unlocking the Potential of Process Innovation*," Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, 1997.
- [61] Powell, J.H. and J.P. Bradford, "Targeting Intelligence Gathering in a Dynamic Competitive Environment," *International Journal of Information Management*, Vol.20 (2000), pp.181-195.
- [62] Repenning, N.P. and J.D. Sterman, "Nobody Ever Gets Credit for Fixing Problems that Never Happened : Creating and Sustaining Process Improvement," *California Management Review*, Vol.43, No.4(2001), pp.64-88.
- [63] Rothwell, R., "Successful Industrial Innovation : Critical Success Factors for the 1990s," *R&D Management*, Vol.22, No.3 (1992), pp.221-239.
- [64] Suarez, F.F., "Battles for Technological Dominance : An Integrative Framework," *Research Policy*, Vol.33, No.2(2004), pp. 271-286.
- [65] Stumpfe, J., "Product Design and Manufacturing Process : Dynamic Implications for Innovation Management," *Proceedings of the 19th International Conference of the System Dynamics Society*, Atlanta, 2001.
- [66] Schulz, A.P., D.P. Clausing, E. Fricke, and H. Negele, "Development and Integration of Winning Technologies as Key to Competitive Advantage," *System Engineering*, Vol. 3, No.4(2000), pp.180-210.
- [67] Stamboulis, Y., E.D. Adamides, and T. Malakis, "Modeling the Product-Process R&D Dynamics," *Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society*, 2002.
- [68] Teece, D.J., G. Pisano, and A. Shuen, "Dynamic Capabilities and Strategic Management," *Strategic Management Journal*, Vol.18(1997), pp.509-533.
- [69] Utterback, J.M., *Mastering the Dynamics of Innovation*, Harvard Business School Press, Massachusetts, 1994.
- [70] Utterback, J.M. and W.J. Abernathy, "A Dynamic Model of Product and Process Innovation," *Omega*, Vol.3, No.6(1975), pp. 639-656.

부 록

1. 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 모형의 기본 가정

가정 1 : 총 이익의 일정 규모의 R&D 투자가 매년 발생한다.

가정 2 : 생산된 제품의 일정 규모는 시장에서 항상 판매된다.

가정 3 : 기업의 여타 비용 요소를 배제하고 R&D 투자비, 프로젝트 수행 비용, 신제품 제조원가만을 모형에 반영한다.

가정 4 : 기술 특허의 외부 판매는 고려하지 않는다.

2. 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 모형의 보조 변수(parameter) 값

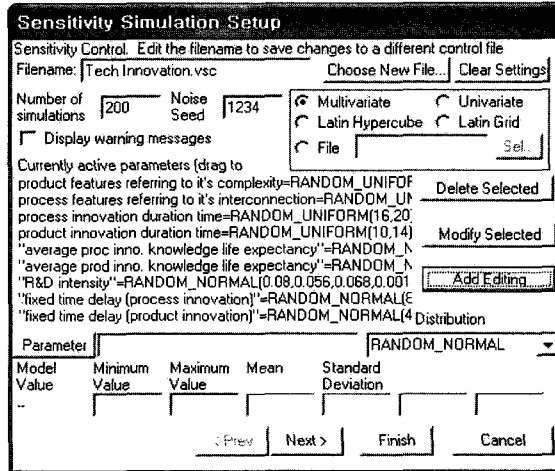
보조 변수	변수 설명	값(단위)
R&D intensity	매출액 대비 연구개발 투자금액 비율	6.8%
percentage revenue spend on new product project	신규 신제품 개발 프로젝트 투자 비율	37.2%
percentage revenue spend on new product production	신제품 생산 공정 투자 비율	38.6%
time to adjust R&D budget on knowledge	R&D 예산의 연구 자원으로서의 집행 시점	3 (month)
time to report of yearly profit	이익의 보고 시점과 투자 시점의 시간 차이	3 (month)
commercial product release time	신제품 출시부터 단종될 때까지의 평균 기간	36 (month)
average prod inno. knowledge life expectancy1	제품 혁신 지식의 평균 진부화 기간	4.40(year)
average proc inno. knowledge life expectancy1	공정 혁신 지식의 평균 진부화 기간	3.04(year)
product innovation duration time	제품 혁신의 생명 주기 시간	24 (month)
process innovation duration time	공정 혁신의 생명 주기 시간	36 (month)
commercial product release time	상업화 제품의 출시 시간	6 (month)
generating prod.inno per resource	투입 자원당 창출되는 제품 혁신 지식의 수	0.04%
generating proc.inno per resource	투입 자원당 창출되는 공정 혁신 지식의 수	0.03%
average sales price per new product	신제품 당 평균 판매 가격	440,000 (won)
average cost per new product development project	신제품 개발 프로젝트당 평균 비용	14M(won)
project initiation adjustment time2	신제품 개발 프로젝트 개시 주기	3 (month)

주)1. 제품(공정) 혁신 지식의 평균 진부화 기간은 제품(공정) 관련 특허의 상각 기간을 대응치로 사용하였으며, KISDI의 “IT기업의 기술혁신 특성분석”의 IT기업 전체 평균 자료를 인용하여 사용함.

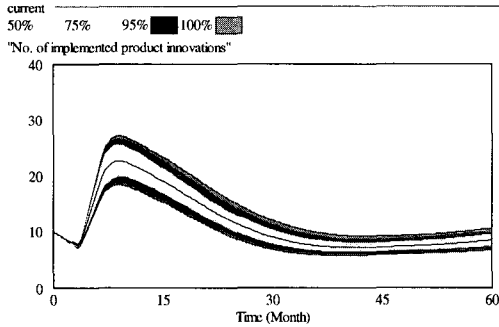
2. 신제품 개발 프로젝트의 주기 함수는 PULSE TRAIN(1, 0, 3, 60)로서, 60개월에 걸쳐 3개월에 1회씩 프로젝트가 진행되는 것으로 가정함.

3. 보조 변수(parameter)의 변화에 따른 결과 변수의 민감도 분석

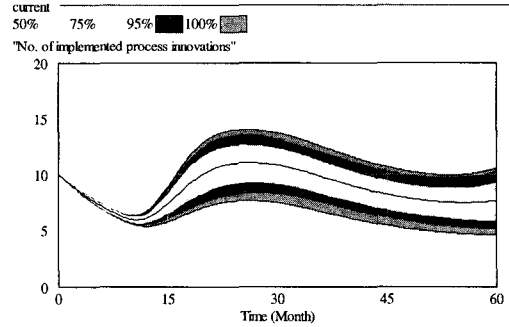
3.1 보조 변수 입력 조정(auxiliary variable input setup)



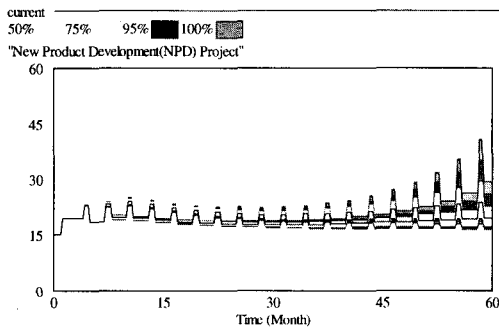
3.2 보조 변수의 변화에 따른 저장(stock) 변수들의 민감도 분석 결과



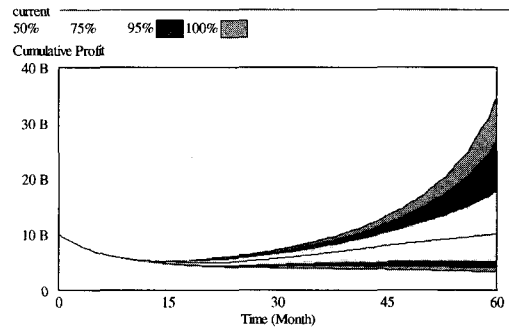
(A) 수행된 제품 혁신의 수 민감도 분석



(B) 수행된 공정 혁신의 수 민감도 분석



(C) 신제품 개발 프로젝트 민감도 분석



(D) 누적 이익의 민감도 분석