Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers
Vol. 27, No. 4, pp. 337-344, December 2001.

신기술의 경제성 평가를 위한 다세대 확산모형 연구

손소영† · 안병주

연세대학교 컴퓨터과학산업시스템공학과

Multi-Generation Diffusion Model for Economic Assessment of New Technology

So Young Sohn · Byung Joo Ahn

Department of Computer Science and Industrial Systems Engineering, Yonsei University, Sudaemoon-ku, Seoul, 120-749

As cost invested in developing the specified technology is increasing, investors are paying more attention to cost to benefit analysis (CBA). One of the basic elements of CBA for new technological development is the diffusion pattern of demand of such technology. Many studies of technology evaluation have adopted a single generation model to simulate the diffusion pattern of demand. This approach, however, considers the diffusion of the new technology itself, not taking into account a newer generation that can replace the one just invented. In this paper, we show how a multi-generation technology diffusion model can be applied for more accurate CBA for information technology. Monte Carlo simulation is performed to find influential factors on the CBA of a Cybernetic Building System.

Keywords: technology forecasting, cybernetic building system, cost benefit analysis, diffusion model, Monte-Carlo simulation, Taguchi design

1. 서 론

정보기술시대가 대두되고 특정 기술개발에 투자되는 비용이 과거에 비하여 늘어남에 따라 투자 결과에 대한 효과 측정을 위해 투자대비 이윤산출 분석(Cost Benefit Analysis: CBA)에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 이를 위해 기본적으로 투자 결과 출시될 신제품이나 신기술의 정확한 수요확산 및 시장수명 예측이 필수적이며 이윤을 어떻게 측정할 것인가 하는 이슈가 부각되고 있다.

관련 연구로 Kayal(1999)은 반도체 기술을 평가하기 위해 각 국가에서 출원되는 특허를 수집하여 기술의 사이클 타임(Technology Cycle Time)을 추출하였으며 Powell and Lellock (2000)은 경제적인 이윤을 위한 공공 투자를 지원하는 미국의 ATP(Advanced Technology Program)에 의해 투자지원을 받은 프로젝트의 성공여부에 대해 연구를 하였다.

Brown and Rizy(1997)의 연구에서는 ERIP(에너지 관련 투자 프로그램: Energy-Related Inventions Program)의 수행 능력을 평가하기 위한 4가지 지표로서 해당 프로그램의 상용화(Commercial progress), 판매량(Sales), 고용자수(Employment), 고용자들의 세금(Taxes)을 제시하고 있다. CBS(Cybernetic Building Systems) 기술 평가를 위한 Chapman(1999)의 연구에서도 신기술 도입에 의한 이윤 산출을 위해 해당 기술 단일세대 수요확산을 가정한 Mansfield(1961) 모형을 바탕으로 불확실한 모수에 대한 Monte-Carlo 시뮬레이션을 이용하여 이윤을 BCR(benefit-to-cost ratio), SIR(savings-to-investment ratio), AIRR(adjusted internal rate of return) 지표 관점에서 추정하였다.

그러나 이러한 기존연구에서는 해당기술의 수요확산이 시장 특성, 제품 혹은 기술의 성능, 가격, 광고, 소비자 특성, 경쟁기술, 보안 기술, 대체 기술의 출현 등에 영향을 받고 있다는

† 연락저자 : 손소영 교수, 120-749 서울시 서대문구 신촌동 134 연세대학교 컴퓨터과학산업시스템공학과, Fax : 02-364-7807, e-mail : sohns@yonsei.ac.kr
2001년 1월 접수, 2회 수정 후 2001년 7월 게재 확정.

점을 묵과하고 있다.

IT 기술의 경우 시장에 확산된 후 곧바로 기존 기술의 단점을 보완한 보다 새로운 기술이 출현하여 해당기술을 대체하는 현상이 자주 발생하게 된다. 즉 초기는 단일세대로 시장에 확산되지만 대체기술의 발표 이후 다세대 형태로 확산되므로 기존에 적용하고 있는 단일세대 모형으로는 이러한 경쟁 현상을 고려한 확산을 추정하기가 어렵다(Fisher and Pry, 1971; Norton and Bass, 1987; Speece and Maclachlan, 1995; Mahajan and Muller, 1996).

본 논문에서는 이러한 단일세대 모형을 이용한 기술예측의 단점을 보안하고자 다세대 수요 확산 모형에 가격, 성능, 대체기술을 고려하여 CBA의 기초를 마련하고자 한다. 또한 미래 예측시 불확실성을 고려한 Monte-Carlo 시뮬레이션을 실시하였으며 실험계획법을 응용하여 CBA에 유의한 영향을 미치는 요소를 검출하고자 하였다. 본 연구에서 제시하는 방법론이 효과적으로 운영될 때 적절한 기술 투자 대안을 선택할 수 있어 부실(blind) 투자로 인한 막대한 경제적 손실을 예방하는 데 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 본 논문에서 평가하고자 하는 CBS 기술의 CBA로 Chapman(1999)의 연구에 대해서 살펴보았고 기술 수요를 예측하고자 개발된 기존의 확산모형에 대해 살펴보았다. 제3장에서는 기존연구를 확장하여 본 연구에서 사용될 시뮬레이션 가정과 기술확산을 추정할 다세대 모형에 대해서 기술하였다. 제4장에서는 실험디자인 및 시뮬레이션 결과를 분석하였고, 제5장에서는 본 연구의 결과에 대해 정리하였다.

2. CBA & 기술확산 모형

Chapman(1999)의 연구에서는 1991년부터 시작된 CBS (Cybernetic Building Systems)라는 IT 신기술 개발에 따라 투자 대비 기대 이윤을 산출하기 위해 기술이 시장에 발표될 시기인 2003년까지의 투자비용을 가정하였으며 확산유형을 찾기 위해 Mansfield(1961) 모형을 이용하여 CBS 기술의 경제성을 평가하였다.

또한 기술 확산의 유형에 대한 불확실성을 고려한 이윤을 산출하고자 Mansfield(1961) 모형의 모수에 분포가정을 하여 Monte-Carlo 시뮬레이션을 이용한 가상적인 수요예측 자료를 이용하였고 투자 대비 가치평가 산출을 위해 BCR(benefit-to-cost ratio), SIR(savings-to-investment ratio), AIRR(adjusted internal rate of return) 지표를 이용하였다. 경제성 평가를 위한 확산모형으로 Chapman(1999)이 채택한 Mansfield(1961) 이외에 좀 더 발전적인 모형을 살펴보자면 다음과 같다.

Bass(1969)는 단일세대의 기술확산 혹은 제품의 수요확산 예측모형으로 제품의 초기 구매를 설명하기 위해 t시점 이전까지 구매되지 않았던 제품이 시점 t에 구매될 확률을 위험함수를 이용하여 설명하고 있다.

Mansfield(1961), Bass(1969)가 제시하고 있는 단일세대 모형은 초기의 확산정도를 잘 설명하고 있으나 후기의 새로운 기술 및 제품의 출시에 의한 업그레이드 혹은 구매 가능성 있는 잠재 구매자들이 새로운 기술 및 제품을 구매하게 되는 대체현상을 설명하기에 부족하였다. 이러한 후기의 대체 현상을 고려하기 위해 Norton and Bass(1987)의 연구에서는 기존의 연구가설을 바탕으로 Bass(1969) 모형을 개선하여 다세대 제품의 확산형태를 모형화하였으며 다음과 같은 가정하에 일반적인 다세대 모형을 제안하였다.

Bass(1969), Fisher(1979), Norton and Bass(1987), Mahajan and Muller(1996) 등의 연구는 판매 자료만을 이용하여 확산형태를 설명하고자 하였으나 Speece and Maclachlan(1995)은 Norton and Bass(1987)의 모형에 가격효과를 반영하여 3세대 우유 패키지 기술에 따른 시장예측에 적용하였으며 가격 함수를 이용하여 기존 다세대 모형의 선택 함수를 변형하였다.

Tam and Hui(1999)의 연구에서는 Gompertz, Logistic 함수에 가격함수를 도입하였다. 이와 같이 가격함수를 고려한 연구는 제품 혹은 기술의 확산에 있어 가격변동 영향을 고려하여 보다 정확한 예측 결과를 제시하고 있다. 실질적으로 수요에 영향을 줄 수 있는 요인으로 가격 이외에 광고, 판촉, 디자인 등의 환경변수 등이 고려될 수 있으며 기존연구에서는 이러한 가격요인과 함께 기술 및 제품의 성능을 고려할 것을 제안하고 있다.

3. 연구모형

임의의 기술에 대해서 연구가 활발히 진행됨에 따라 특정 기술이 성숙하게 되면서 발견되는 문제점과 기술이 가지고 있는 한계성 때문에 새로운 기술이 개발된다. 이와 같이 기존 기술의 한계성을 극복한 새로운 기술은 기존의 기술의 장점을 받아들이면서 기존 기술이 가지고 있는 단점과 한계점을 보완함으로 대체 확산을 하게 된다. 과거에는 기술 개발이 느리거나 기술 혁신 주기가 길었던 반면 최근 이러한 기술 개발 주기가 짧아지면서 대체 기술의 잠식 현상이 빨리 진행된다. 따라서 특정 기술의 확산을 고려할 경우는 대체 기술에 대해 고려하는 것이 특정 기술의 확산에 대한 예측을 보다 정확히 할 수 있다.

기존 연구에서 기술의 이윤산출을 위해 적용하고 있는 수요예측 모형은 단순히 해당기술에 따른 예측만을 하고 있다. 본 논문에서는 Chapman(1999)의 연구 자료를 기초하여 대체 기술의 출현에 대한 가정을 하였고 기술평가 모형으로 다세대 모형을 적용하였다.

Speece and Maclachlan(1995)과 Tam and Hui(1999)의 연구에 따르면 확산 모형에 가격 함수를 반영하는 것이 보다 더 나은 예측 결과를 보여주고 있으며 가격과 함께 성능을 고려할 것을 제안하고 있다. 이러한 기존 연구의 가격 함수를 도입하여

기술 혹은 제품의 성능을 고려할 수 있는 가격 대비 성능 함수를 이용하여 기술 평가의 정확성을 높이고자 하였다.

실제적으로 평가하기 어려운 성능은 Chapman(1999)의 연구자료에서 비용절감(Cost Saving)으로 고려하였으며 이는 비용절감 효과가 큰 기술은 기술성능이 우수한 것이고 비용절감 효과가 적은 것은 기술성능이 열등한 것으로 판단할 수 있기 때문이다.

위와 같이 구상된 가격성능 다세대 확산 모형을 통해 이윤평가를 할 경우 모형의 각 계수가 미치는 영향을 분석하고자 시장에 투입되지 않은 기술의 확산 불확실성을 고려하여 모형계수에 분포 가정을 하여 시뮬레이션하였으며 다구찌 방법을 이용한 실험을 하였다.

3.1 가격 대비 성능 함수를 고려한 다세대 모형의 변형

본 논문에서 제시하는 모형은 Norton and Bass의 다세대모형에 기초하였으며 Speece and Maclachlan(1995)의 가격함수를 변형하여 성능을 고려하였으며 두 세대에 해한 가격 대비 성능 함수를 고려한 다세대 모형은 다음과 같다.

$$
\begin{aligned}
&S_1(t) = F_1(t)m_1 && \text{for } t \le \tau_2\\
&S_2(t) = 0 && \text{for } t \le \tau_2\\
&S_1(t) = F_1'(t)m_1 - F_2'(t-\tau_2)F_1'(t)m_1\\
&\quad = F_1'(t)m_1[1-F_2'(t-\tau_2)] && \text{for } t \le \tau_2 \quad (1)\\
&S_2(t) = F_2'(t-\tau_2)[m_2 + F_1'(t)m_1] && \text{for } t \le \tau_2
\end{aligned}
$$

여기서

$$
F(t) = \frac{1-e^{-bt}}{1+ae^{-bt}}
$$

$$
(a = q/p,\ b = p+q)
$$

$$
F_i'(t) = G_i(t) \times F_i(t)
$$

m: 최대 시장의 규모(와 동일)

$S(t)$: t시점까지의 누적 구매자수

$F(t)$: t시점까지의 누적 선택함수($=S(t)/m$), 즉 $S(t)=mF(t)$

p: (기술혁신계수) 초기 구매확률

q: (모방계수) 구매자와 잠재 구매자의 접촉계수

각 세대별 가격 대비 성능 함수는 Speece and Maclachlan (1995)의 가격함수를 변형하여 성능을 고려할 수 있도록 다음과 같이 변형하였다.

$$
G_i(t) = \left[\frac{P_i(t)/C_i(t)}{\overline{P(t)/C(t)}} \right]^{\rho}
$$

ρ : 가격 대비 성능 민감계수

P/C: Performance/Cost(= Cost Saving / Installation Cost)

$P_i(t)/C_i(t)$: t시점에서의 i세대의 가격 대비 성능

$\overline{P(t)/C(t)}$: t시점에서의 모든 세대의 가격 대비 성능 평균

높은 성능수치는 가격 대비 성능 함수 값을 높여 선택확률 $F(t)$를 높이며 높은 가격 수치는 가격 대비 성능 함수 값을 낮추어 선택확률 $F(t)$를 낮추는 효과를 보인다. 제2세대가 출시되지 않은 제1세대만이 시장에 있는 시점에서의 가격 대비 성능 함수의 값을 1로서 고려하였다.

가격 대비 성능 함수의 고려는 각 세대의 구매확률에 영향을 주며 실질적으로 세대별 가격 대비 성능이 같은 경우에 있어서 이 함수는 확산 모형에 영향을 주지 않는다는 가정하에 민감계수(ρ)의 기준값을 1로 하여 1.2, 0.8(+, −) 두 수준을 실험에 사용하였다. 현실적인 면에서 가격 대비 성능은 시간이 지남에 따라 변화하며 초기값에 비해 증가할 것이나 본 논문의 실험에서는 시간에 따른 성능 가격 변동은 없는 것으로 가정하였다. 따라서 Chapman(1999)의 연구에 기초하여 제1세대의 $P/C_1=0.6827$에 대하여 제2세대의 $P/C_2 = 0.7$을 기준값으로 가정하였으며 0.9, 0.5(+, −)의 두 수준을 고려하였다.

3.2 모수에 대한 가정

본 논문에서는 다세대 확산 모형을 기술 평가에 적용하기 위해 기존의 Chapman(1999)의 연구에서 사용한 가정을 모형(1)의 시뮬레이션 기초로 사용하였다. Chapman(1999) 자료에서는 기술 확산 모형으로서 Mansfield(1961) 모형을 적용하여 $\eta = 0.172$, $\alpha = 6$, $\beta = 0.6$, $\tau_1 = 2003$를 기준 값으로 시뮬레이션을 통한 계수의 변화가 이윤에 어느 정도 영향을 주는지를 산출하였으나 본 논문에서는 제2세대의 신기술이 출현함에 의해 발생되는 대체 효과를 고려할 수 있는 다세대 모형을 적용함으로써 좀 더 장기적인 시점의 기술평가를 하고자 Norton and Bass(1987)의 모형을 적용하였다. 따라서 Chapman(1999)의 연구 가설에 기초하여 Mansfield(1961) 모형의 계수를 Norton and Bass(1987) 모형의 제1세대 계수로 변환하기 위하여 Mansfield(1961) 모형의 자료를 바탕으로 다시 회귀분석을 하였다.

계수 변환을 통하여 다세대 모형에 적용될 수치는 $p_0 = 0.002834$, $q_0 = 0.59326$, $M_1 = 0.172$ 임을 구할 수 있었으며 이를 시뮬레이션의 기준 값으로 p_1, q_1은 각기 p_0, q_0와 동일한 값으로 고정하였으며 p_2, q_2는 베타분포로 가정하였으며 평균을 p_0, q_0에 대비하여 높은 값과 낮은 값의 두 수준을 고려하였다. 본 논문에서는 시뮬레이션의 편의상 위 계수치를 $p_0 = 0.003$, $q_0 = 0.6$으로 수정하였다.

실질적으로 Chapman(1999)의 보고서에 의하면 설치가능 면적은 973 million 평방미터로 추정하고 있다. 따라서 최대 시장규모, 즉 m_1, m_2 ($=\eta$)를 실제 최대 시장 확산 값(평방 미터)으로 환산하였다.

m_1 = 0.172*973 million square meter = 167.356 million square meter

m_2 값의 변화에 따른 제1세대 확산정도에도 영향이 있기 때

문에 m_2의 기대치를 77.84(= 0.08×973)에 기준하여 삼각분포로 가정하였으며 분포의 평균을 두 수준으로 고려하였다. 본 논문에서는 기존의 가격 함수를 변형한 가격 성능 함수를 고려하였다. 이와 같이 확산 모형에 비용을 고려하는 것은 기술 적용시 발생되는 높은 설치비용은 기술의 확산을 늦출 수 있기 때문에 확산에 대한 예측을 정확히 하고자 추가적으로 발생되는 비용을 모형에 적용하였다.

기술의 시장 출시이후 발생되는 가격은 설치비용(Installation Cost)으로 간주하였으며 기술의 성능은 기술적용에 의해 얻어지는 비용절감(Cost Saving)으로 가정하였다.

모형에 적용될 가격 대비 성능비(P/C)는 비용 절감/설치 비용(Cost Saving/Installation cost)이 될 것이며, 이러한 제2세대의 성능 가격비 변화에 따른 확산추이를 확인하고자 제1세대를 기준으로 하여 제2세대의 가격 대비 성능비를 베타분포로 가정하였고 분포의 평균을 두 수준으로 고려하였다. 이러한 가격변화에 따른 시장 내의 확산정도는 특정 시장 혹은 특정 제품에 대하여 가격변동이 크게 영향을 주는 경우가 있기도 하지만 그렇지 못하는 경우도 있다. 따라서 가격 모형에서 고려하고 있는 민감계수(ρ)에 대해서는 삼각분포를 가정하여 분포의 평균을 두 수준으로 고려하였다. 이렇듯 제1세대의 확산 추이의 변화에 영향을 주는 변수로서 제2세대가 시장에 발표되어 확산하게 되는 출하시점을 고려해야 하기 때문에 이 또한 두 수준으로 고려하였다.

제2세대의 출현 시기(τ_2)에 따라 제1세대의 확산에 영향을 줄 수 있기 때문에 이를 이산분포로 가정하여 두 수준을 고려하였다.

추가적으로 제1세대의 경제성 평가를 위해서 할인율(d)을 삼각분포로 가정하여 평균을 두 수준으로 고려하였다.

각 모수의 수준에 대한 가정을 정리하면 <표 1>과 같다. <표 2>는 Chapman(1999)의 연구에서 사용된 변수들의 가설을 바탕으로 하여 본 논문의 실험에 고정되어 사용될 변수들을 나타내었다.

Chapman(1999)의 보고서에서 연구된 주 변수(α, β, η, 최초 확산년도, 비용절감, 할인율) 이외의 가격 대비 성능 함수를 고려한 다세대 모형의 민감계수(ρ), 가격 대비 성능비를 추가하여 각 변수들의 수준을 두 수준으로 실험하였다. Chapman (1999)의 연구와는 다르게 가격 대비 성능 함수를 고려한 다세대 모형을 고려하였기 때문에 기존연구에서 사용된 변수(α, β, η)를 제2세대의 혁신계수(p_2), 제2세대의 모방계수(q_2), 제2세대의 최대 시장규모(m_2)로서 변형을 하였으며 이와 같은 가정하에 실험해야 할 실험 디자인은 2^7 (=128)의 구조를 가지어 100회의 시뮬레이션을 하면 12800번의 많은 실험 횟수를 취하므로 실험의 편이를 위해 제2세대의 혁신계수(p_2), 제2세대의 모방계수(q_2), 제2세대의 최대 시장규모(m_2), 제2세대의 시장도입시기(τ_2), 성능 가격비(P/C), 민감계수(ρ)는 특정 수준으로 조정할 수 있는 제어인자로서 간주하고 할인율의 경우 사회적인 현상으로 조정될 수 없는 비제어 인자로서 가정하여 다음과 같은 다구찌 디자인을 설계하여 실험하였다.

표 2. 분석에 사용될 주 변수의 수준값

	Baseline
m_1	167.356
τ_1	2003
(1) Energy Cost Savings	$1.71
(2) Maintenance Cost Savings	$1.60
(3) Productivity Cost Savings	$4.20
Total Savings (per unit)= (1) + (2) + (3)	$7.51
Installation Cost(제1세대)	$11
P/C_0(제1세대)	0.6827

4. 실험디자인 및 시뮬레이션 결과 분석

4.1 다구찌 디자인

본 논문의 실험에서는 제어 인자로서 제2세대의 혁신계수

표 1. 주변수의 시뮬레이션 가정

Variable	Probability Distribution	Mean	Variable	Probability Distribution	Mean(Min, Max)
q_1	Beta(150, 100)	0.6	$M_2(-)$	Triangular	66(46,86)
$q_2(-)$	Beta(130, 130)	0.5	$M_2(+)$	Triangular	90(70,110)
$q_2(+)$	Beta(154, 66)	0.7	$P/C(+)$	Triangular	0.9(0.6,1.2)
p_1	Beta(30, 10000)	0.003	$P/C(-)$	Triangular	0.5(0.2,0.8)
$p_2(-)$	Beta(14, 7000)	0.002	$\rho(+)$	Triangular	1.2(0.9,1.5)
$p_2(+)$	Beta(56.2, 14000)	0.004	$\rho(-)$	Triangular	0.8(0.5,1.1)
			$d(+)$	Triangular	0.1(0.08,0.12)
			$d(-)$	Triangular	0.04(0.02,0.06)
			$\tau_2(+)$	Discrete	2010
			$\tau_2(-)$	Discrete	2006

표 3. 비제어 인자를 고려한 실험설계

	p_2	q_2	M_2	τ_2	P/C_2	ρ	SN_5		SN_{10}	
LEVEL(+)	0.004	0.7	65	2010	0.9	1.2				
LEVEL(−)	0.002	0.5	90	2006	0.5	0.8				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	Mean	Var	Mean	Var
1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	69.00	17.34	128.89	18.09
2	1	−1	−1	−1	1	−1	68.54	17.60	123.83	18.20
3	−1	1	−1	−1	1	1	68.37	17.28	122.81	18.20
4	1	1	−1	−1	−1	1	69.31	18.21	129.26	24.11
5	−1	−1	1	−1	1	1	67.52	17.79	122.36	21.30
6	1	−1	1	−1	−1	1	68.42	18.69	129.00	29.30
7	−1	1	1	−1	−1	−1	68.20	17.80	127.84	20.19
8	1	1	1	−1	1	−1	67.76	18.18	121.68	19.76
9	−1	−1	−1	1	−1	1	67.83	17.92	129.50	19.87
10	1	−1	−1	1	1	1	67.83	17.92	126.64	20.74
11	−1	1	−1	1	1	−1	67.83	17.92	122.72	21.51
12	1	1	−1	1	−1	−1	67.83	17.92	125.69	21.98
13	−1	−1	1	1	1	−1	67.83	17.92	122.71	21.51
14	1	−1	1	1	−1	−1	67.83	17.92	125.65	22.22
15	−1	1	1	1	−1	1	67.83	17.92	129.52	19.86
16	1	1	1	1	1	1	67.83	17.92	126.70	20.54

(p_2), 모방계수(q_2), 최대 시장규모(m_2), 시장도입시기(τ_2)와 성능 가격비(P/C), 민감계수(ρ)를 고려하였고, 비제어 인자로서 할인율을 고려하여 다구찌 디자인을 이용한 망대특성 실험설계를 하였다. 부분 실험계획법을 기초로 하여 제어인자 2^6 디자인을 2^4 디자인으로 구성하였으며 이는 <표 3>과 같다.

다구찌 디자인 측면에 있어서 제품의 특성에 의해서 영향받는 변수를 제어 인자, 시장에 의해서 영향받는 변수를 비제어 인자라고 가정할 수 있다. 실상 p_2, q_2, M_2, 가격민감도 계수는 시장의 특성에 의해서도 결정될 수 있겠지만 제품의 특성에 의해서 영향 받을 수도 있으므로 시뮬레이션에서는 제품의 특성에 의해서만 결정되어 제어될 수 있는 제어 인자로서 가정하였다. 비제어 인자로서는 기술 개발 및 설계에 의해서 결정될 수 없는 할인율로서 가정하였다.

주어진 투자 환경하에 얻어질 이윤 산출을 위해서 SIR (Saving-to-Investment Ratio)은 식 (3)과 같이 구했다.

$$SIR_T = \frac{\sum_{t=t_b}^{T_b} \{(SCPU) \times S(t) - (ICPU \times \Delta S(t))\}/(1+d)^t}{\sum_{t=t_a}^{T_a} I_t/(1+d)^t} \quad (3)$$

I_t: 투자비용 d: 할인율

$SCPU$: 단위 유닛당 이윤(비용절감), Saving Cost per Unit

$ICPU$: 단위 유닛당 설치비용, Installation Cost per Unit

t_a, T_a: 초기 투자 시점, 마지막 투자 시점

t_b, T_b: 상용화 시점(기술 출시 시점), 기술 평가 시점

실제 SIR 산출에 있어서 투자비용을 나누어 주었으나 투자는 제품확산 이전에 이루어지며 확산 이후에는 투자가 없다는 가정과 제1세대의 출하시기가 고정되어져 있기 때문에 이윤 평가 지표에 적용될 투자 비용은 일정한 값을 나타낸다고 볼 수 있다. 따라서 이를 고려하지 않았다. 분석에 사용된 평가시기는 제품 출시 이후 향후 5년과 10년을 분석하였다.

SIR 수준이 클수록 많은 이윤을 얻을 수 있기 때문에 망대특성을 고려하여 실험하였으며 망대특성 함수는 식 (4)와 같다.

y_{1j} = 할인율 0.1 수준에서 j 번째 시뮬레이션의 SIR

y_{2j} = 할인율 0.04 수준에서 j 번째 시뮬레이션의 SIR

$$SN = -10 \log\left[\frac{1}{100}\sum_{j=1}^{100}\left(\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{2}\frac{1}{y_{ij}^2}\right)\right] \quad (4)$$

실제 실험에서 시뮬레이션 횟수를 100회를 실행하였다.

4.2 결과 분석

제2세대의 혁신계수(P_2), 모방계수(Q_2), 최대 시장규모(M_2), 시장도입시기(τ_2)와 가격 대비 성능비(p/c), 민감계수(ρ)가 SIR 값에 유의한 영향을 주는지를 확인하기 위해 할인율을 비제어 인자로 하여 얻어진 SN비를 이용하여 분산분석을 수행하였으며 각 평가기간(5년, 10년)에 대한 유의한 결과는 <표 4>, <표 5>와 같다. 본 실험에서는 교락되는 항목은 제외하였다. 또한 각 유의한 항목에 대하여 던칸검정 결과는 <표 6>, <표 7>과 같다.

표 4. ANOVA for SN(SIR_5)

	DF	SS	MS	$F-$Value	$P-$Value
m_2	1	68.9333	68.9333	3.81	0.0510
τ_2	1	125.7216	125.7216	6.98	0.0084
$q_2 \times \rho$	1	68.9333	68.9333	3.81	0.0510

표 5. ANOVA for SN(SIR_{10})

	DF	SS	MS	$F-$Value	$P-$Value
Q_2	1	1731.8852	1731.8852	1.63	0.0001
m_2	1	147.1887	147.1887	4.43	0.0102
τ_2	1	122.5361	122.5361	3.52	0.0191
P/C	1	7645.2278	7645.2278	378.09	0.0001
ρ	1	6031.9383	6031.9383	82.58	0.0001
$p_2 \times \rho$	1	869.5466	869.5466	47.45	0.0001
$q_2 \times \tau_2$	1	1787.6346	1787.6346	2.02	0.0001
$q_2 \times \rho$	1	149.9342	149.9342	4.54	0.0095

표 6. SN(SIR_5) 항목의 던칸검정 결과

	Duncan Grouping	Mean	Value
τ_2	A	68.3896	2006
	B	67.8289	2010
$q_2 \times \rho$	A	68.3342	0.84
	A	68.2994	0.4
	A	67.9041	0.56
	A	67.8993	0.6

표 7. SN(SIR_{10}) 항목의 던칸검정 결과

	Duncan Grouping	Mean	Value
q_2	A	126.9043	0.5
	B	124.8235	0.7
m_2	A	126.1672	90
	B	125.5606	65
τ_2	A	126.1407	2010
	B	125.5872	2006
P/C	A	128.0499	0.5
	B	123.6780	0.9
ρ	A	127.8056	1.2
	B	123.6780	0.8
$p_2 \times \rho$	A	128.5926	0.0048
	B	127.0185	0.0024
	C	124.6096	0.0016
	D	123.2350	0.0032
$q_2 \times \tau_2$	A	127.6846	1003
	B	126.1573	1407
	B	126.1241	1005
	C	123.4898	1404.2
$q_2 \times \rho$	A	128.5398	0.6
	B	127.0713	0.84
	C	125.2688	0.4
	D	122.5758	0.56

5년차와 10년차의 SIR값을 분석한 결과 각 시기의 SIR값에 영향을 주는 항목에 차이가 있었다 5년차에는 τ_2 항목만이 유의하게 분석되었으며 10년차에는 M_2, P/C, $p_2 \times \rho$, $q_2 \times \tau_2$, $q_2 \times \rho$ 항목이 유의하게 분석이 되었다. 5년차의 결과는 다음과 같다.

τ_2, 즉 제2세대의 출현시기가 빠를수록 SIR값이 높게 산출됨을 알 수 있으며 실제로 $\tau_2(+)$ 수준은 5년차의 평가기간을 넘어가기 때문에 이때에는 제1세대만이 시장에 존재하는 경우를 나타낸다. 즉 5년차의 τ_2의 분석은 각 수준에 따라서 제2세대가 제1세대와 시장에서 대체되는 경우와 제1세대만이 존재하는 경우의 SIR 분석이다. 분석결과에서 단일세대만이 존재하는 것보다 다세대가 존재하는 경우의 경제성평가 지표인 SIR값이 높게 산출되는 이유는 제2세대의 시장 확산 초기 가격과 성능에 의해 제1세대의 확산이 제2세대의 출현에 의해 단일세대만이 존재하는 경우보다 크게 발생되기 때문이라고 분석된다. 10년차의 결과에 비해 q_2, m_2 등의 항목에 대해 유의한 결과를 보이지 않은 것은 5년차에 제2세대의 확산이 초기 시점이기 때문으로 분석된다.

10년차의 결과를 살펴보면 제2세대의 혁신계수와 민감계수의 교호작용 ($p_2 \times \rho$)에 대해서 던칸검정 결과는 혁신계수의 각 수준에 대해서 민감계수가 클경우 민감계수가 적은 경우에 비해 평가지표 SIR값을 높게 산출하고 있음을 알 수 있으며 민감계수가 높은 경우 혁신계수가 높을 때 SIR값이 높게 산출되는 반면 민감계수가 낮은 경우는 혁신계수가 낮을 때 SIR값이 높게 산출되었다. 일반적으로 제2세대의 혁신계수가 높을 경우 제2세대의 확산이 큰 경우 제1세대를 잠식하는 양이 많다는 것을 의미하나 민감계수가 적은 경우 도리어 혁신계수가 적을수록 SIR값이 높게 산출되었다. 본 논문에서 사용한 민감계수는 0.8, 1.2를 선택하였으며 제2세대와 제1세대의 가격 성능비 함수는 제2세대의 가격 성능이 낮을 경우는 0~1 사이의

값을 취하며 높은 경우는 1~2 사이의 값을 취하고 있다. 즉 민감계수가 적은 경우 가격성능의 차이에 대한 영향을 받지 않기 때문에 다른 모수의 영향을 받아 이와 같은 결과를 도출한 것으로 분석된다.

제2세대의 모방계수와 제2세대의 출현시기의 교호작용($q_2 \times \tau_2$)에 대한 던칸검정 결과는 제2세대의 출현시기가 늦을 경우 혁신계수의 각 수준에 따른 SIR값에 차이는 없지만 제2세대의 출현시기가 빠른 경우 혁신계수가 낮을수록 SIR값이 높게 산출되었다. 이러한 결과는 제2세대의 출현이 빠르고 제2세대의 확산이 빨리 발생되는 경우 제1세대에서 제2세대로의 업그레이드를 통한 대체현상이 빠르게 진행되기 때문으로 분석된다.

제2세대의 모방계수와 민감계수의 교호작용($q_2 \times \rho$)에 대한 던칸검정 결과는 민감계수의 각 수준에 대해 모방계수가 클수록 SIR값이 높게 산출되었으며 민감계수가 적은 경우 모방계수의 영향력이 크게 작용함을 알 수 있고 민감계수가 클수록 SIR값이 높게 산출되었다. 즉 시장의 가격 대비 성능의 영향이 크고 제2세대의 확산속도가 느린 경우 제1세대에서 제2세대로의 대체현상이 느리게 진행되기 때문에 SIR값이 높게 산출됨을 알 수 있다.

$m_2(+)$의 경우 $m_2(-)$ 수준에 비해 SIR값이 높게 산출되었다. 실제 다세대 확산 모형에서 제1세대의 시장규모는 m_1, 제2세대의 시장규모는 m_1+m_2로서 산출된다. m_2는 새로운 제품 혹은 서비스로 인해 확장되는 시장규모를 설명하고 있으나 실질적으로 제2세대의 시장규모가 크다는 것은 제1세대의 제품과 접촉할 구매자들이 많다는 것을 설명한다. 실제 시장에서 새로운 제품의 확산으로 인하여 기존의 시장이 확대됨을 의미하며 새로운 세대로 인하여 구세대의 제품을 접촉할 확률이 높아지기 때문으로 분석된다.

가격 대비 성능(P/C)의 수준에 있어서 $P/C(+)$ 수준에 비해 $P/C(-)$ 수준의 경우 SIR값이 높게 산출되며 이는 제2세대의 가격 대비 성능이 낮은 수준의 경우 제1세대에서 제2세대로의 대체현상이 느리게 진행되기 때문으로 분석된다.

5. 결 론

본 연구는 기존의 Chapman(1999)의 기술가치평가를 확장하여 기술의 수요 예측시 다세대 대체현상을 고려하였다. 기술에 대한 개발이 빨라지고 기술의 시장 출현 이후 이를 대체하게 되는 대체기술 혹은 경쟁기술 들이 잇따라 발표되는 시점에 기존의 연구에서 평가하고 있는 Mansfield 모형으로는 이러한 경쟁 현상을 반영하지 못하고 있다. 따라서 다세대 모형을 적용하여 후기의 대체 기술 출현을 가정하여 기술확산을 예측하고 이를 바탕으로 한 기술평가의 다세대 수요예측 방법을 제시하였다. 이와 같은 다세대 모형을 적용하였을 경우 수요정도를 측정하기 위한 확산모형에 있어서 모수를 결정하는 것은 기술평가에 있어 중요한 과정이다. 본 논문에서는 실험계획법을 이용하여 기술평가 항목에 유의한 영향을 미치는 요인을 찾고자 하였다. 크게 기술평가 항목에 영향을 주는 요인은 2세대로 인한 추가 시장규모와 2세대의 출현시기가 큰 영향을 주었으며 장기적 예측(기술확산 이후 10년 후)에 있어서 제2세대의 혁신계수와 민감계수의 교호작용($p_2 \times \rho$), 제2세대의 모방계수와 제2세대의 출현시기의 교호작용($q_2 \times \tau_2$), 제2세대의 모방계수와 민감계수의 교호작용 ($q_2 \times \rho$)이 유의한 영향을 주는 것으로 분석되었다. 이와 같은 실험결과는 기술의 경제성 평가를 하고자 할 때 제2세대의 출현을 고려하는 것이 평가하고자 하는 기술의 이윤산출의 정확성에 영향을 주고 있음을 알 수 있었다.

이러한 평가 방법은 기술의 투자에 따라 확산이후 얻게 되는 이윤을 추정하여 기술 투자에 대한 효과를 산출하고 시장에 도입될 기술의 수요 정도를 보다 더 정확히 예측하여 투자자와 개발자들에게 기대수익을 제시하고 기술을 도입할 수요자에게 도입시기와 호환성 등을 제시할 수 있는 지표로 이용될 수 있어 그 기대효과가 크다고 본다.

참고문헌

Bass, Frank M. (1969), A New Product Growth Model for Consumer Durables, *Management Science*, **15**, 215-227.

Brown, Marilyn A. and Rizy, Colleen G. (1997), Evaluating the economic, energy, and environmental impacts of a technology commercialization program, *International Journal of Technology Management*, **13**, 229-244.

Chapman, Robert E. (1999), Benefits and Costs of Research: A Case Study of Cybernetic Building Systems. NISTIR 6303; 167, March. NIST, MD, USA.

Fisher, J. C. and Pry, R. H. (1971), A Simple Substitution Model of Technological Change, *Technological Forecasting and Social Change*, **3**, 75-88.

Islam, Towhidul and Meade, Nigel. (1997), The Diffusion of Successive Generations of a Technology: A More General Model, *Technological Forecasting and Social Change*, **56**, 49-60.

Islam, Towhidul and Meade, Nigel. (2000). Modelling Diffusion and Replacement, *European Journal of Operation Research*, **125**, 551-570.

Kayal, Aymen. (1999). Measuring the Pace of Technological Progress: Implication for Technological Forecasting, *Technological Forecasting and Social Change*, **60**, 237-245.

Kumar, V., Ganesh, J. and Echambadi, R. (1998), Cross-National Diffusion Research: What Do We Know and How Certain Are We?, *Journal of Production Innovating Management*, **15**, 225-268.

Mahajan, Vijay and Muller, Eitan. (1996), Timing, Diffusion of Successive Generations of a Generations of Technological Innovations: The IBM Mainframe Case, *Technological Forecasting and Social Change*. **51**, 109-132.

Mahajan, Vijay and Sharma, Subhash and Buzzell, Robert D.

(1993), Assessing the Impact of Competitive Entry on Market Expansion and Incumbent Sales. *Journal of Marketing*, **57**, 39-52.

Mansfield, Edwin. (1961). Technical Change and the Rate of Imitation. *Econometrica*, Oct. **29**, 741-766.

Norton, J. A. and Bass, F. M. (1987), A Diffusion Theory Model of Adoption and Substitution for Successive Generations of High-Technology Products, *Management Science*, **33**, 1069-1086.

Powell, Jeanne W. and Lellock, Karen L. (2000), Development, Commercialization, and Diffusion of Enabling Technologies: Progress Report., NIST.

Speece, Mark. W. and Maclachlan, Douglas L. (1995), Application of a Multi-Generation Diffusion Model to Milk Container Technology, *Technological Forecasting and Social Change*, **49**, 281-295.

Takada, Hirokazu and Jain, Dipak. (1991), Cross-National Analysis of Diffusion of Consumer Durable Goods in Pacific Rim Countries, *Journal of Marketing*, **55**, 48-54.

Tam, Kar Yan and Hui, Kai Lung. (1999), Price Elasticity and the Growth of Computer Spending, *IEEE Transactions on Engineering Management*, **46**, 190-200.