

기술적 진화재의 대체모형

임종인* · 오형식*

A Substitution Model of the Evolutionary Generations of Technological Products

Jong-In Lim* and Hyung-Sik Oh*

Abstract

In this study, a substitution model of the evolutionary generations of technological products is presented. The purpose of the model is to examine the demand side mechanisms which generate successive product life cycles along the path of technological improvements. In the model, the nature of substitution processes is summarized to the demand function which is derived from the consumer's utility maximization problem. To describe the nature of technological substitution processes, the concepts of the vertical differentiation and the consumption externalities are considered in the utility function. The former is used to characterize the result of technological improvement and the latter is used in explaining the inertia of demand. To show the validity of the model, an empirical study is carried out using the data of the world DRAM market.

1. 서론

새로운 기술이 등장하여 기존 기술의 역할을 대체하는 기술혁신 과정은 진화적인 '기술 세대(technological generations)'를 형성하면서 끊임없이 이어진다. 기술혁신은 제품의 성능향

상으로 이어지는 제품혁신(product innovation)과 생산 공정상의 효율성 제고에 기여하는 공정혁신(process innovation)으로 크게 나눌 수 있다. 예를 들어 반도체 기억 소자로서 컴퓨터의 주기억장치를 구성하는 DRAM(Dynamic Random Access Memory)의 기술 혁신 결과는 집적도의 향상이라는 형태로 제품

* 서울대학교 산업공학과

에 반영된다고 할 수 있고, 자동화 및 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System)의 도입 등 공정혁신은 보다 효율적인 생산을 위한 기술혁신이라 할 수 있다. 그러나 경제적 의미에서 성공적인 기술혁신이란 그 결과가 어디에 반영되건, 새로운 기술의 채택시 유발되는 비용보다 그것이 가져다 주는 편익이 큰 경우를 일컫는다. 여기서의 비용과 편익요인은 기술혁신이 파급할 수 있는 제반 사회적, 경제적 요인들을 모두 포함하기 때문에 쉽게 측정할 수 있는 성질의 것은 아니다. 또 일단 기술혁신이 성공적이라고 판명된 이후에도 소위 '차세대 기술'이 기존 기술을 순식간에 대체하지는 않는다[30]. 즉, 일상의 예에서 알 수 있듯이 대체로 차세대 기술은 기존 기술을 점진적으로 대체하면서 일반화되어가는 확산경로(diffusion path)를 따르기 마련이다. 본연구에서는 진화적 기술세대간의 점진적 확산 및 대체과정의 경제적 의미를 효용이론(utility theory)의 측면에서 설명하고, 이를 모형화한다. 또한 현실적 검증을 위해 세계 DRAM시장을 대상으로 본 연구에서 제시한 모형의 통계적 적합도 분석을 실시한다.

2. 연구 현황

기술혁신에 의해 탄생하는 새로운 기술(혹은 제품)이 'S'자 모양을 그리면서 확산되어 나간다는 사실은 이미 방대한 경험적 고찰에 의해 입증되었다고 할 수 있다[19]. 문제는 어떤 이유로 대부분의 확산 및 대체 경로가 이같이 유사한 형태를 보이는가 하는 것이다. 이를 설명하기 위하여 많은 연구가 진행되어 왔고, 그

결과 'S'자형 확산경로를 유도하기 위해 다양한 접근 방법이 시도되었다. 이들 접근 방법들은 크게 수요측면의 접근과 공급측면의 접근으로 나누어 볼 수 있다.

2.1 수요측면의 접근방법

일반적인 확산 및 대체과정을 설명하기 위한 수요측면의 접근으로는 첫째 구매자의 정보획득 지연을 반영하는 구전효과(word-of-mouth effect)에 의한 것을 들 수 있다. 이 요인은 Bass[2]에 의해서 처음 설명되었는데, 그는 잠재수요를 혁신적 수요계층과 모방적 수요계층으로 나누어 이들 사이의 정보 전달에 의해 새로운 기술(혹은 제품)이 시간을 두고 점진적으로 확산되어 간다고 보았다. 소위 '유행 모형(epidemic model)'이라고 알려진 이런 식의 접근은 이후 많은 개량을 거치면서 주로 마케팅 분야의 실증적 용도에 많이 사용되었다.(Bass 식의 확산모형에 대한 연구는 Mahajan et al. [24]의 노력에 의해 체계적으로 정리된 바 있다.) 신제품의 확산과는 약간 다른 각도로서 새로운 기술과 기존기술의 점유율 변화 과정을 설명하려는 대체 모형에 대해서도 많은 연구가 있었으나, 결과는 Bass식의 유행모형과 크게 다르지 않다([4][5][11][26][35][36][37]). 이 같은 유행모형적 접근은 실증적으로는 비교적 잘 맞는 것으로 알려져 있으나 확산 및 대체과정을 오직 구전효과라는 임의적인 요인으로 설명한다는 데 있어 이론적 한계를 가진다. 또 이 모형에서 구분하는 혁신적 수요계층과 모방적 수요계층은 경제적 의미를 부여하기 힘든 애매한 개념으로서, 모형의 이론적 엄밀성을 저해한다[32]. 결국 Bass에 의해 제기된 유행모형적 접근은 시간이라는 설명변수 하나로 확

산 및 대체과정을 표현한다는 간결성은 인정받을 수 있겠으나, 모형에 이론적 의미를 부여하기는 어렵다고 할 수 있다.

확산경로를 설명하기 위한 수요측면의 두번째 접근으로는 새로운 기술의 편익에 대해 소비자들이 가지는 불확실성이 시간적으로 해소되어 가는 과정에 대한 연구를 들 수 있다. 이 같은 접근방식은 Jensen[17][18]에 의해 시도되었는데, 그는 기업이 새로운 기술을 도입함에 있어 기대 이익상 불확실성이 Bayesian learning 방식에 의해 해소되어 간다고 보고, 기술도입 결정문제를 optimal stopping으로 풀어 기술확산 경로가 S자형을 그린다는 것을 보였다. 이후 Mamer & McCardle [25]에 의해 정보수집비용이 있는 경우의 확산과정에 대한 연구가 수행된 바 있다. 이 접근방식은 새로운 기술의 편익 자체에 불확실성을 부여함으로써 확산과정의 한 요인을 설명하고는 있으나, 모형의 복잡성으로 인해 실증적 적용에는 한계가 있다.

수요측면의 마지막 접근 방법으로는 소비자 효용의 이질적 분포에 의해 점진적 확산 및 대체과정을 설명하려는 시도이다. 이러한 접근은 효용이론에서 출발하며 합리적인 소비자의 효용극대화 행동으로부터 확산과정의 실마리를 찾는다. 즉 개개인의 다양한 경제적 변수가 이질적으로 분포한다는 가정하에, 시간에 따라 경제적 환경이 변화함으로써 분포의 모양에 따라 점진적 확산경로가 결정된다는 주장이다. 이질적 분포를 가정하는 경제적 변수는 여러가지가 사용되지만 소득(income)과 유보가격(reservation price)이 가장 일반적으로 사용되며 기대이익, 위험 성향등이 사용되기도 한다. 또한, 소비자가 직면하는 경제적 환경을 나타내는 변수로는 대표적으로 가격이 사용된다.

이와 유사하게 대표적 소비자의 효용함수 자체에 불확실성을 가정하는 접근으로 Probit, Logit 모형등이 있다([8][23][39]). 이러한 방식의 접근은 확산 및 대체과정에 경제적 의미를 부여하기 위한 노력이라 할 수 있는데, 소비자 효용 함수의 특징에 따라 다양한 의미를 함축할 수 있다는 장점이 있다. 실증적 측면에서도 적절한 분포의 선택으로 현실적인 적용이 가능하다. 다만 이같은 인과모형(causal estimation model)을 예측 용도로 사용하기 위해서는 제반 설명변수들을 추가로 예측해야 한다는 어려움이 따른다.

2.2 공급측면의 접근방법

새로운 기술의 확산 및 대체과정을 공급측면에서 설명하고자 하는 연구에서는 주로 주어진 수요함수하에서 신기술의 공급함수 변동에 의해 가격 및 공급량이 변화하는 것을 확산의 요인으로 본다[1]. 즉, 공급자 측의 원인으로 인해 신기술의 가격이 하락하게 되어 점진적인 확산이 일어나게 된다는 설명인데, 가격하락은 주로 다음의 두가지 요인으로부터 이루어진다고 본다. 첫째, 학습효과에 의한 비용절감 효과로서 누적생산량 증가에 따른 단위생산원가 절감분이 가격에 반영되어 가격 하락을 유도한다는 것이다([9][10][28][31][38]). 가격 하락을 설명하는 두번째 요인은 시장경쟁 측면이다. Jovanovic & Lach[19]는 기술진과(technology spillover)에 의해 시장의 장기공급곡선이 하락하는 것을 보임으로써 확산을 설명하였고, House & Rietz[15]는 기존기업과 진입기업의 비용구조가 동태적으로 변화함으로써 S자형 확산과정이 나타나는 것을 보였다. 이외에도 가격의 하락현상은 기업의 경쟁적 가격전략(한계

가격, 약탈가격전략 등)에 의해 경쟁도가 심해 질수록 가속화되는 경향을 보인다는 것이 대부분 연구자들의 견해이다. 결국 이러한 연구결과들을 종합해 볼 때 새로운 기술의 확산 및 대체과정은 수요측면의 요인과 공급 측면의 요인들을 복합적으로 반영하는 시장 다이내믹스의 산물이라고 볼 수 있는데, 확산 및 대체 과정을 수요와 공급 측면에서 동시에 파악한 연구는 Cameron & Metcalfe[6]에 의해 수행된 바 있다. 이들은 기존기술과 신기술의 궁극적 수요는 각 세대별 기술의 특성에 기인한다고 보고, 궁극적 수요를 달성하기까지의 과정을 수요와 공급의 동태적 균형 방정식으로 표현하였다. 그러나, 이 연구는 간단한 이론적인 모형의 제시에만 머물러 있다는 아쉬움이 있다.

3. 이론적 배경

본 연구에서는 기술혁신에 의해 순차적으로 등장하는 다세대 기술간의 확산 및 대체과정을 설명하기 위해 효용이론적 접근을 취한다. 여기서 사용되는 효용함수는 모든 종류의 재화에 대해 정의된 일반적 형태의 함수인데, 본 연구에서는 특정 재화에 대한 효용함수를 독립시키기 위해 2단계 소비결정과정(2-stage budgeting process)을 적용한다. 이 과정을 통해서 우리는 본 연구의 관심대상인 다세대 기술들에 대해서만 독립적으로 정의되는 부분효용함수(subutility function)를 분리할 수 있게 되는데, 부분효용함수는 Gabszewicz, Thisse, Shaked & Sutton (GTSS : [12][13][14][32][34])등에 의해 제안된 형태를 기본적으로 사용한다.

3.1 효용함수의 분리

모든 종류의 재화를 나타내는 벡터를 두개의 부분벡터 $x \in \mathbb{R}^n$ 와 $z \in \mathbb{R}^s$ 로 나누고 $p \in \mathbb{R}^n$ 와 $q \in \mathbb{R}^s$ 을 각각의 가격벡터라 정리하자. 이 때 우리가 소비행위에 대해서 관심을 가지고 있는 재화를 부분벡터 x 에 놓을 수 있다. 이 두개의 부분벡터 위에 정의된 직접효용함수를 $u \in \mathbb{R}^1$ 라 할 때, 일반적 효용극대화 문제는 다음 [P1]과 같다.

$$[P1] \quad \max_{x,z} \quad u(x,z) \\ \text{s.t.} \quad p^T x + q^T z = m$$

[가정 1](Hicksian separability)

가격벡터 q 는 항상 어떤 고정벡터 q^0 에 비례한다($q = t q^0$, $t \in \mathbb{R}^1$).

[가정 1]로부터 (z, q) 와 관계된 소비결정은 실변수량인 (Z, Q) 에 대한 소비결정으로 전환될 수 있다(단, $Z \in \mathbb{R}^1$, $Q \in \mathbb{R}^1$). 즉 $Q = t$, $Z = q^0 z$ 라 놓으면 원문제 [P1]은 다음 [P2]와 같이 변환될 수 있다.

$$[P2] \quad \max_{x,z} \quad U(x, Z) \\ \text{s.t.} \quad p^T x + QZ = m$$

이 경우 실수량으로 표시되는 지수 Z 는 x 를 제외한 모든 다른 재화(All Other Goods : AOG)로 생각할 수 있고, 이 때 가격지수 Q 는 소비자 물가지수(CPI)로 대체될 수 있다. 따라서 x 의 가격벡터 p 와 소득 m 을 물가지수에 의해 보정된 불변가치라 보면 $Q=1$ 로 놓을 수 있게 된다.

[가정 2] (Weak separability)

모든 재화량 x, x', Z 그리고 Z' 에 대해 다음 관계가 항상 성립한다.

$$(x, Z) \geq (x', Z) \Leftrightarrow (x, Z') \geq (x', Z')$$

위의 약분리성 가정은 소비집합 선택시의 독립성(independence)을 의미하는데, 이로부터 효용함수는 $U(x, Z) = V(v(x), Z)$ 와 같이 쓸 수 있다. 여기서 $v(x)$ 는 부분재화벡터 x 에 대한 독립적 부분효용함수이다. 따라서 $m_i = p^i x^*(p, m)$ 을 [P2]로 부터 도출된 x 의 최적지출수준(optimal expenditure level)이라고 놓을 때, x 에 대한 최적소비 결정문제는 [P3]과 같이 분리될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{[P3]} \quad & \max_x v(x) \\ \text{s.t.} \quad & p^i x = m_i \end{aligned}$$

또한 [P3]으로부터 도출된 지출함수를 $e(p, v)$ 라 놓을 때, 만약 부분효용함수 $v(x)$ 가 동조함수(homothetic function)라면 $e(p, v) = e(p) \cdot v$ 라 쓸 수 있다. 따라서 적절한 수량지수 $X = v(x)$ 를 정의하고, 가격지수를 $P = e(p)$ 라 놓으면, 전체 소비결정문제 [P2]는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{[P2']} \quad & \max_{X,Z} V(X, Z) \\ \text{s.t.} \quad & PX + Z = M \end{aligned}$$

결국 2단계 소비결정과정을 통해 일반적인 소비결정문제인 [P1]은 소비총량 결정문제인 [P2']와 부분 소비결정문제인 [P3]로 분리될 수 있다.

3.2 수직적 차별화

기술혁신에 의해 탄생하는 차세대 기술은 기존 기술과 전혀 다른 성질의 것이기보다는 기존 기술의 바탕위에 제품의 성능을 향상시키거나 생산의 효율을 높인 개선된 기술이라 보는 편이 합당할 것이다. 특히 제품혁신의 경우에는 신제품이 기존 제품과 같은 용도에 사용되면서 다만 성능(혹은 품질)이 향상된 대체재 관계에 놓인 경우가 대부분이다. 이같은 품질에 의한 차별화를 수직적 차별화(vertical differentiation)라 한다. 수직적 차별화에 대해서는 소비자의 기호차이에 근거하는 수평적 차별화에 비해 많이 연구되지는 않았으나, 이미 언급한 바와 같이 GTSS에 의해 체계적으로 연구된 바 있다. 본 연구에서는 다세대 기술간의 확산 및 대체과정을 설명하기 위해 이들이 제시한 효용함수와 수요체계를 기본적 틀로서 사용하기로 한다.

순차적으로 등장하는 기술의 세대를 $k = 1, 2, \dots, n$ 으로 표시하고 u_i 와 p_i 를 각각 기술세대별 성능지수와 가격으로 표시하자. 또 개별 소비자는 한단위 이상의 기술을 소비하지 않는다고 가정하고, 소비자 i 가 한단위의 기술을 소비할때 얻는 효용을 다음과 같이 정의하자.

$$u_i = (x_i - p_i) \cdot u_i \tag{1}$$

여기서 x_i 는 소비자 i 의 소득으로 볼 수도 있고, 좀 더 구체적으로는 한단위의 기술을 소비하기 위해 최대로 지불할 용의가 있는 유보가격(reservation price)이라 정의할 수 있다. 또 아무런 기술도 소비하지 않을 경우(물론 다른 재화의 소비는 허용)의 효용을 다음과 같이 놓

자.

$$u_i = u_0 \cdot x_i \quad (2)$$

그러면 개별소비자의 소비결정문제는 다음의 소비집합 중 하나를 선택하는 문제로 생각할 수 있다.

$$(u_n, p_n), (u_{n-1}, p_{n-1}) \dots (u_0, 0) \quad (3)$$

단, $u_n > \dots > u_0$

이 소비자 선택문제는 식 (1)에서 정의된 효용함수로부터 다음과 같은 특성을 가지게 된다. 즉 두 종류의 소비집합 $(u_1, p_1), (u_2, p_2)$, $(u_2 > u_1)$ 와 두 명의 소비자 x_1, x_2 , $(x_2 > x_1)$ 를 가정할 때,

- a. $p_1 > p_2$ 이면 x_1 과 x_2 모두 (u_2, p_2) 를 선택한다.
- b. 만약 x_1 이 (u_2, p_2) 를 선택하면 x_2 도 (u_2, p_2) 를 선택한다.
- c. 만약 x_2 가 (u_1, p_1) 을 선택하면 x_1 도 (u_1, p_1) 을 선택한다.

이같은 소비자선택문제의 특성은 수직적 차별화의 결과를 반영한 것으로서, 소비자 분포에 대한 소비선택의 강단조성(strong monotonicity)을 나타낸다. 역으로 기술세대 $k-1$ 과 k 에 대해 무차별적으로 느끼는 한계소비자의 유보가격을 계산하면 다음과 같다.

$$x_k = p_k \quad (4)$$

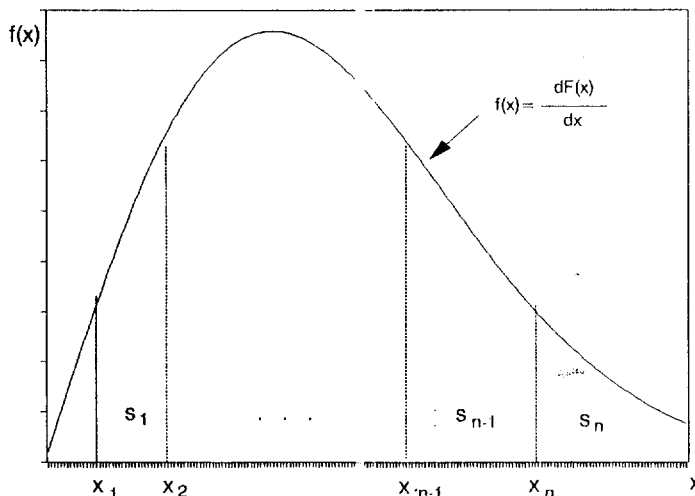
$$x_k = c_k p_k + (1 - c_k) p_{k-1} \quad (5)$$

$$\text{단, } c_k = \frac{u_k}{u_k - u_{k-1}} > 1, k=2, 3, \dots, n.$$

식 (5)로 부터 $x_k \leq x < x_{k+1}$ 의 유보가격을 가지는 소비자 x 는 k 번째 기술을 선택하게 됨을 알 수 있다. 따라서 전체 소비자들의 유보가격 x 가 확률분포 $F(x)$ 를 따른다고 가정하고 전체 수요를 M 이라고 놓으면, 각 세대별 기술의 수요함수는 다음과 같이 구할 수 있다([그림 1] 참조).

$$q_k = M \cdot s_k, \quad k=1, 2, 3, \dots, n. \quad (6)$$

$$\text{단, } s_k = \int_{x_k}^{x_{k+1}} dF(x), \quad x_{n+1} = \infty. \quad (7)$$



[그림 1] 수직적 차별화에 의한 수요의 분포

3.3 소비외부성

GTSS에 의해 제시된 효용체계에서는 오직 세대별 기술의 가격에 의해서만 수요가 결정된다고 보고 있다. 그러나 현실적으로 신기술의 확산 및 대체 과정이 기존기술과의 상대가격에 의해서만 완전히 결정된다고 보기는 힘들다. 현실적으로 신기술의 가격이 급격히 하락하는 시기와 신기술의 확산이 급격히 증가하는 시기가 일치하지 않는 경우를 종종 볼 수 있는데, 이는 신기술의 확산 및 대체 과정에 가격 이외의 변수가 작용하고 있다는 것을 암묵적으로 보여주는 예이다. 이처럼 가격 이외에 소비자의 구매효용에 영향을 미치는 요인을 소비외부성(consumption externality)이라 정의하며, 소비외부성의 크기는 구매자 집단의 크기(누적 구매자수)에 의해 결정된다. 소비외부성의 근원은 주로 전화망과 같은 공동사용의 물리적 효과, 지식공유나 일반성 확보의 잇점같은 간접적 효과, 그리고 구매후 가변비용 감소와 같은 경제적 효과 등에 기인한다(Katz & Shapiro [21]).

본 연구에서는 다세대 기술의 확산 및 대체 과정에 이같은 소비외부성이 작용한다는 가정하에 소비자 효용함수에 이를 반영하기로 한다. 즉 구매집단의 크기를 N 이라 할때 소비의 부성은 효용지표 u 에 다음과 같은 형태로 반영된다.

$$\frac{\partial u}{\partial N} > 0 \tag{8}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial N^2} < 0 \tag{9}$$

4. 모형화 및 검증

앞서 이론적으로 제시한 다세대 기술의 확산 및 대체과정에 대한 분석결과를 검증하기 위해 본 연구에서는 세계 DRAM 시장을 대상으로 모형을 구축하고 이에 대한 통계적 적합도를 살펴보기로 한다. DRAM(Dynamic Random Access Memory)은 CMOS형 기억소자 중의 하나로 컴퓨터나 통신기기의 주기억장치를 구성하는 주요 구성품이다. DRAM의 기술혁신 결과는 집적도(density)의 증가로 나타나는데, 집적도의 증가는 곧 기억용량의 증가를 의미한다. 따라서 DRAM의 기술적 세대는 기억용량의 단속적 증가로 구분될 수 있다. 본 연구에서는 1979년에 등장한 64KDRAM부터 1991년에 등장한 16MDRAM까지 총 5세대의 DRAM 수요(출하량) 및 가격자료를 이용하여 모형을 검증한다. 자료의 기간은 1년을 4분기로 나누어 1979년 1/4분기부터 1991년 4/4분기까지 총 52개의 분기로 구성된다.(자료출처 : Dataquest) 본 모형의 검증대상으로 DRAM을 선정한 이유는 각 세대별 성능차이가 뚜렷하여 기술혁신의 정도를 파악하기가 쉽고, 제품의 수명주기(PLC)가 확연하게 나타나므로 세대별 기술의 확산 및 대체과정을 설명한다는 연구의 취지에 합당하기 때문이다. 또한 이 자료는 Norton & Bass[27]가 그들의 확산/대체 모형을 검증하기 위해 사용한 바 있어, 본 모형과의 비교가 쉽다는 잇점이 있다.

4.1 모형화

이미 이론적 배경에서 유도한 효용함수의 분리과정과 GTSS에 의해 제시된 부분효용함수

의 틀, 그리고 소비외부성 요인을 반영한 DRAM의 세대별 확산 및 대체 모형은 다음과 같다.

[기호의 정의]

- k = DRAM의 세대별 구분(1 : 64KDRAM, 2 : 256KDRAM, 3 : 1MDRAM, 4 : 4MDRAM, 5 : 16MDRAM)
- t = 시간 변수 (단위 : 1/4분기), $t=1,2,\dots,52$.
- $q_k(t)$ = t 분기 k 세대 DRAM의 수요 (단위 : 갯수)
- $p_k(t)$ = t 분기 k 세대 DRAM의 가격 (단위 : 달러, 90년 불변가격)
- $N_k(t)$ = t 분기 k 세대 DRAM의 누적수요 (단위 : 갯수)
- $d_k(t)$ = k 세대 DRAM의 집적도 (단위 : bit)
- $M(P,t)$ = t 분기의 총 DRAM 기억용량 수요 (단위 : bit)
- $p_k(t)$ = t 분기 DRAM의 bit당 평균가격 (단위 : 달러, 90년 불변가격)

[총량수요 모형]

$$M(P,t) = AP^{\nu}t^{\delta} \tag{10}$$

[개별수요 모형]

$$q_k(t) = \frac{M(P,t) \cdot s_k(p)}{\sum_{k=1}^5 d_k \cdot s_k(p)} \tag{11}$$

$$s_k(p) = \exp(-\lambda \cdot x_k^{k+1}) - \exp(-\lambda \cdot x_k^k) \tag{12}$$

$$x_k(p) = c_k p_k + (1 - c_k) p_{k-1} \tag{13}$$

$$c_k = 1 + \exp[c + \nu \ln(N_k(t-1))], \tag{14}$$

$k=1,2,\dots,5$

식 (10)에서 DRAM의 총량수요는 bit당 평균가격과 시간의 함수로 표시된다. 식 (11)에서 분모는 bit단위의 총량수요를 갯수단위로 바꾸어주기 위한 것이다. 여기서 총량수요의 단위를 bit로 잡은 이유는 총량수요의 단위당 가격지표를 동일하게 적용하기 위함이다. 식 (12)는 DRAM의 전체 잠재수요 중 k 세대의 수요비율을 의미하는데, 잠재 수요자의 유보가격 분포는 비교적 형태의 자유도가 높은 Weibull분포를 사용하였다. 식 (13)은 DRAM의 각 세대별 수요를 구분짓는 유보가격의 구분점을 나타낸다. 마지막으로 식 (14)는 $c_k > 1$ 을 유지할 수 있도록 고안되었으며, 모수 ν 는 소비외부성이 효용함수에 미치는 효과를 의미한다. 또한 k 세대의 효용(성능)이 커질수록 c_k 는 1에 가까워지므로, ν 가 음의 값을 가지면 양의 소비외부성을 나타내는 것이다. 여기서 ν 를 0으로 놓으면 GTSS의 모형과 같게 된다. 결국 이 모형은 독립적인 두 개의 부분모형으로 구성되는데, 총량수요 모형은 1개의 피설명 변수 ($M(t)$), 2개의 설명변수($P(t), t$) 그리고 3개의 모수 (A, η, δ)로 구성되고 개별수요 모형은 5개의 피설명변수 ($q_k(t), k=1,\dots,5$) 11개의 설명변수 ($t, p_k(t), N_k(t-1), k=1,\dots,5$) 그리고 4개의 모수(α, λ, c, ν)를 가지는 비선형 연립방정식 체계(nonlinear simultaneous equations system)로 구성된다.

4.2 모형의 검증

본 연구에서 제시한 모형을 평가하기 위하여 원래의 GTSS모형 그리고 Norton & Bass의 모형을 같은 DRAM 자료에 적합시켰다. 세 모형 모두 비선형 연립방정식 체계를 갖기 때문에 자료의 통계적 적합을 위해서 SAS/ETS

(Ver 6. 04)에서 제공되는 MODEL procedure 를 이용하였다. <표 1>은 세 모형의 모수 추정 결과를 요약해 놓은 것이다. 추정결과 대부분의 모수 추정치가 통계적으로 유리한 것으로 판명되었으나, GTSS 모형의 c값은 90% 유의 수준에서도 받아들일 수 없는 결과를 보였다. 또한 Norton & Bass 모형에서 각 모수 값들의 통계적 유의성은 우수하나, 세대별 DRAM의 고유잠재시장(unique potential market)을 의미하는 $m_k(k=3,4,5)$ 값들이 음수로 추정되어 본래의 의미와 맞지 않는 것으로 나타났다. 즉,

그들은 기술혁신에 의해 보다 우수한 성능의 제품이 출현하면 신제품은 기존제품 시장을 모두 잠식하고 그 외에도 자신의 시장영역을 넓혀간다고 보았는데, 그 같은 가설이 일반적으로 적용되기는 힘들다는 것을 알 수 있다.

다음 <표 2>에서는 세 모형의 적합도 검정결과를 나타내었다. 엄밀한 의미에서 비선형 모형의 적합시 R²는 의미를 가지기 힘들지만 (Ratkowsky[29]), 근사적 의미에서 살펴 본 결과 본 모형의 적합도가 가장 우수한 것으로 나타났다.

<표 1> 모형별 모수의 추정 결과

모형	매개변수	추정치	t 값	$P > t $
총량모형	A	8.0104	18.54	0.0001
	η	-0.12218	-13.38	0.0001
	δ	4.29649	22.51	0.0001
본 연구의 모형	α	0.219241	13.78	0.0001
	λ	0.73277	10.05	0.0001
	c	14.32948	15.37	0.0001
	v	-0.93243	-15.72	0.0001
GTSS 모형	α	1.07740	30.67	0.0001
	λ	0.076822	6.28	0.0001
	c	-0.69165	-1.59	0.1181*
Norton & Bass(1987) 모형	a	92.13032	9.37	0.0001
	b	0.25339	40.04	0.0001
	m_1	190244.1	1782	0.0001
	m_2	199526.6	16.45	0.0001
	m_3	-77873.8	-11.08	0.0001
	m_4	-90357.6	-15.44	0.0001
	m_5	-38872.6	-38.62	0.0001

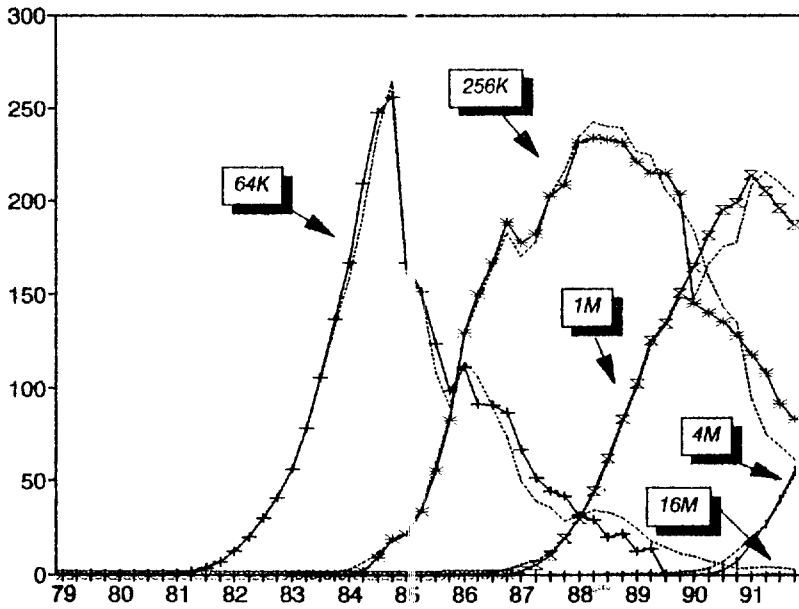
〈표 2〉 모형별 적합도 검정 결과

총량 모형		본연구의 모형		GTSS 모형		Norton & Bass(1987) 모형	
피설명 변수	적합도 (adj R ²)	피설명 변수	적합도 (adj R ²)	피설명 변수	적합도 (adj R ²)	피설명 변수	적합도 (adj R ²)
M(t)	0.9941	Q ₁	0.9854	Q	0.8368	Q ₁	0.7787
		Q ₂	0.9872	Q ₂	0.9339	Q ₂	0.9778
		Q ₃	0.9924	Q ₃	0.9855	Q ₃	0.9923
		Q ₄	0.9848	Q ₄	0.0790	Q ₄	0.9882
		Q ₅	*	Q ₅	*	Q ₅	*

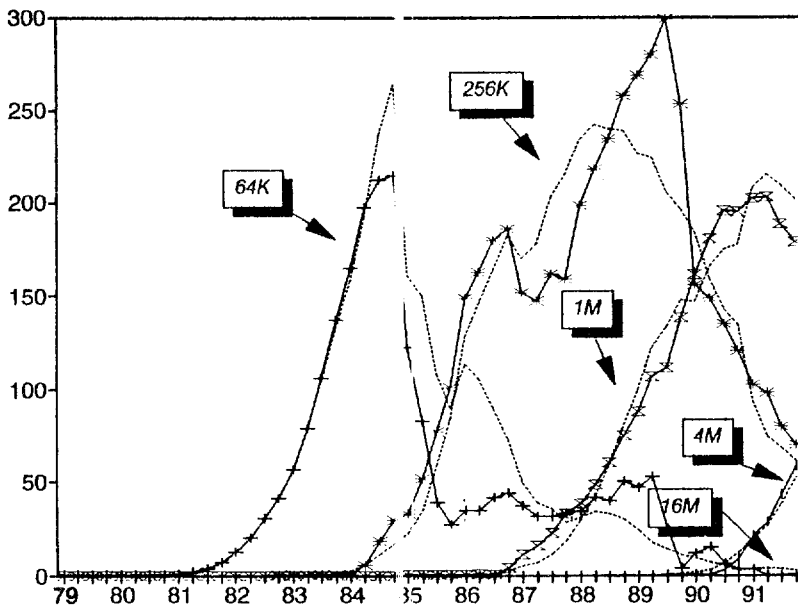
* 자료부족으로 의미있는 R²값의 계산이 불가능함

[그림 2], [그림 3] 그리고 [그림 4]는 본 모형, GTSS 모형 그리고 Norton & Bass 모형의 모수 추정 결과를 실측자료와 비교하여 각각 나타낸 것이다. 그림에서 실측치는 점선으로, 예측치는 기호가 있는 실선으로 표현되었다. 적합도 검정결과와 마찬가지로 본 모형의 예측선이 실제 자료와 가장 근접하고 있음을 알 수 있다. 여기서 본 모형과 다른 두 모형간의 특징적 차이를 살펴보면, 우선 본 모형과 GTSS모형은 모두 경제적 변수(특히 가격)에 의한 원인적 모형이기 때문에 세대별 DRAM의 상대가격 변동에 민감하게 반응하는 반면, [그림 4]에서 Norton & Bass의 모형은 설명변수를 오직 시간(t)에만 의존하기 때문에 경제적 변동량이 모형에 반영되지 않고 시간에 따라 완만한 예측선을 나타내고 있다. 또 Norton & Bass의 모형은 세대별 고유잠재 시장의 크기(m₀)를 추정함에 있어 그 자신의 과거자료 이외에는 아무런 정보를 사용하지 않기 때문에 등장한지 얼마되지 않은 세대의 모수

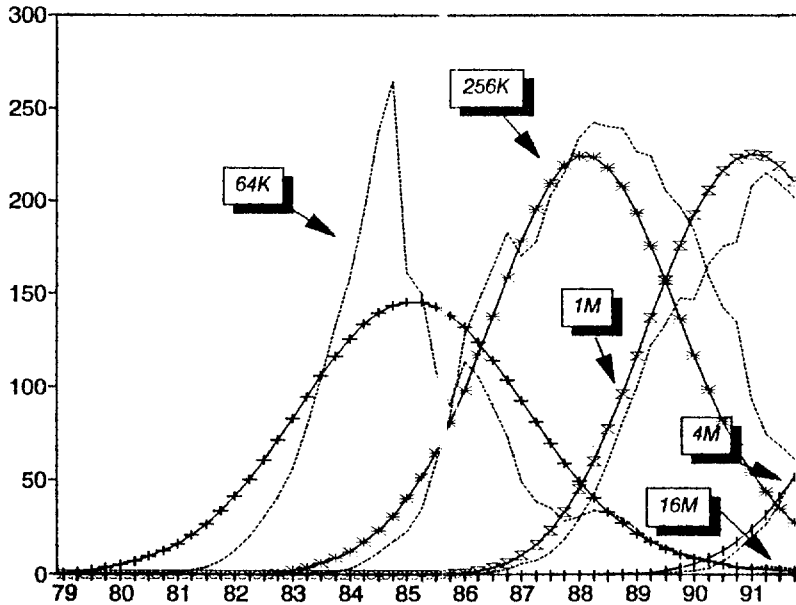
추정에 문제가 있다. 반면 본 모형과 GTSS 모형에서는 전체 모형을 총량수요모형과 개별수요모형으로 분리하여 추정하기 때문에 세대별 자료의 많고 적음에 제약을 받지 않고 장기적 예측에 유리하다는 장점이 있다. 한편 GTSS 모형은 상대가격의 변동에 의해서만 세대별 수요를 결정하기 때문에 [그림 3]에서 보이듯이 단기적 가격 불균형 효과가 실제보다 증폭되어 모형에 반영되는 경향이 있다. 현실적으로 보면 이같은 단기적 가격불균형은 여러가지 제약요인에 의해 그 효과가 삭감되어 수요에 반영되는 것이 보통이다. 이러한 삭감효과를 수요의 관성(inertia)이라 표현하기도 하는데 (Karnai[20]), Norton & Bass의 모형에서 사용한 신제품의 확산식 $(f(t)=[p+qF(t)] \cdot [I-F(t)])$ 을 다른 각도에서 조명한다면 이같은 수요관성의 변화관계를 미분방정식 형태로 표현한 것이라 볼 수 있다. 본 연구에서 제시한 모형은 수요의 관성을 소비외부성이란 형태로 효용함수에 반영하였다.



[그림 2] 본 모형의 추정 결과와 실측자료와의 비교



[그림 3] GTSS 모형의 추정결과와 실측자료와의 비교



[그림 4] Norton & Bass 모형의 추정결과와 실측자료와의 비교

5. 결 론

본 연구에서는 기술혁신에 의해 순차적으로 등장하는 다세대 기술의 확산 및 대체 과정을 설명하기 위해 이론적 체계를 세우고 이를 모형화 하였다. 본 모형의 이론적 특징은 첫째 소비자 효용함수에 몇가지 가정을 두어 수요함수를 총량수요함수와 개별수요함수로 분리하였고, 둘째 세대별 기술의 성능 진화를 수직적 차별화로 파악하여 세대별 성능지표와 상대가격에 의한 개별수요함수를 도출하였으며, 셋째 수요의 관성을 반영하기 위해 가격외 요인인 소비외부성 효과를 효용함수에 적용했다는 것이다. 모형의 실증적 검증을 위해 세계 DRAM시장의 자료를 이용하여 본 모형과 GTSS모형, 그리고 Norton & Bass(1987)에

의해 제시된 모형을 각각 비교하였다. 비교결과 대부분의 측면에서 본 연구에서 제시한 모형이 여타 모형들보다 우수한 특성을 보임을 알 수 있었다.

본 연구의 한계점으로는 첫째 개별 수요함수에 비해 총량수요함수에 대한 연구가 미진했다는 점을 들 수 있고, 둘째 이 모형을 예측용으로 사용하기 위해서는 모형의 설명변수인 세대별 가격예측이 선행되어야 하는데, 이에 대한 이론적 접근방법을 제시하지 못했다는 점을 들 수 있다. 셋째 본 연구에서 제시한 모형은 수요예측 용도의 현실적 모형이라기 보다는 진화재의 대체과정 메커니즘을 설명하기 위한 인과적 모형이기 때문에, 모형의 실용적인 예측력 검정을 위한 노력이 부족했다고 할 수 있다. 따라서 추후 연구방향으로는 우선 총량수요의 엄밀한 개념정립과 함께 모형의 실용적 응용방

안이 모색되어야 할 것이다. 또한 본 연구에서는 확산 및 대체과정의 수요측면만을 중점적으로 다루었는데, 각 세대별 기술의 가격 변동은 사실 공급측면의 문제이므로 이를 반영하기 위해서는 수요와 공급측면을 동시에 고려한 시장 균형모형에 대한 연구가 요구된다. 마지막으로 본 연구의 결과는 제반 경제적 변수의 관계에 의해 유도된 것이므로 규범적 측면의 분석에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] Ayres, R. U., "A Schumpeterian model of Technological Substitution," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 27(1985), pp. 375-383.
- [2] Bass, F. M., "A New Product Growth for Model Consumer Durables," *Management Science*, Vol. 15, No. 5(1969), pp. 215-227.
- [3] _____, "The Relationship between Diffusion Rates, Experience Curves, and Demand Elasticities for Consumer Durables Technological Innovations," *Journal of Business*, Vol. 53, No. 3 (1980), pp. S51-S67.
- [4] Blackman, A. W., "A Mathematical Model for Trend Forecasts," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 3(1972), pp. 441-452.
- [5] _____, "The Market Dynamics of Technological Substitutions," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 6(1974), pp. 41-63.
- [6] Cameron, H. M. and J. S. Metcalfe, "On the Economics of Technological Substitution," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 32(1987), pp. 147-162.
- [7] Chatterjee, R. and J. Eliashberg, "The Innovation Diffusion Process in a Heterogeneous Population: A Micromodeling Approach," *Management Science*, Vol. 36, No. 9(1990), pp. 1057-1079.
- [8] Corstjens, M. L. and D. A. Gautschi, "Formal Choice Models in Marketing," *Marketing Science*, Vol. 2(1983), pp. 19-56.
- [9] Dolan, R. J. and A. P. Jeuland, "Experience Curves and Dynamic Demand Models: Implications for Optimal Pricing Strategies," *Journal of Marketing*, Vol. 45(1981), pp. 52-62.
- [10] Eliashberg, J. and A. P. Jeuland, "The Impact of Competitive Entry in a Developing Market upon Dynamic Pricing Strategies," *Marketing Science*, Vol. 5(1986), pp. 20-36.
- [11] Fisher, J. C. and R. H. Pry, "A Simple Substitution Model of Technological Change," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 3, No. 1 (1971), pp. 75-88.
- [12] Gabszewicz, J. and J. F. Thisse, "Price Competition, Quality and Income Disparities," *Journal of Economic Theory*, Vol. 20(1979), pp. 340-359.
- [13] _____ and _____, "Product

- Differentiation with Income Disparities : An Illustrative Model," *Journal of Industrial Economics*. Vol. 31 (1982), pp. 115-129.
- [14] _____, A. Shaked, J. Sutton and J. F. Thisse, "International Trade in Differentiated Products," *International Economic Review*, Vol. 22 (1981), pp. 527-534.
- [15] House, J. C. and G. D. Rietz, "Entry, Industry Growth, and the Microdynamics of Industry Supply," *Journal of Political Economy*. Vol. 92, No. 4 (1984), pp. 733-757.
- [16] Ireland, N. J., *Product Differentiation and Non-Price Competition*, Basil Blackwell, 1987.
- [17] Jensen, R., "Adoption and Diffusion of an Innovation of Uncertain Profitability," *Journal of Economic Theory*. Vol. 27(1982), pp. 182-193.
- [18] _____, "Adoption of an Innovation of Uncertain Profitability with costly Information," Working Paper No. 84-8(1984), Ohio State Univ.
- [19] Jovanovic, B. and S. Lach, "Entry, Exit, and Diffusion with Learning by Doing," *American Economic Review*. Vol. 79, No. 4(1989), pp. 690-699.
- [20] Karnani, A., "The Value of Market Share and the Product Life Cycle - A Game Theoretic Models," *Management Science*, Vol. 30, No. 6(1984), pp. 696-712.
- [21] Katz, M. L. and C. Shapiro, "Network Externalities, Competition and Compatibility," *The American Economic Review*. Vol. 75, No. 3(1985), pp. 424-440.
- [22] _____ and _____, "Technology Adoption in the Presence of Network Externalities," *Journal of Political Economy*. Vol. 94, No. 4(1986), pp. 822-841.
- [23] McFadden, D., "The Choice Theory Approach to Market Research," *Marketing Science*. Vol. 5(1986), pp. 275-297.
- [24] Mahajan, V., E. Muller and F. M. Bass, "New Product Diffusion Models in Marketing : A Review and Directions for Research," *Journal of Marketing*. Vol. 54(1990), pp. 1-26.
- [25] Mamer, J. W. and K. F. McCardle, "Uncertainty, Competition and the Adoption of New Technology," *Management Science*. Vol. 33, No. 2 (1987), pp. 161-177.
- [26] Mansfield, E., "Technical Change and the Rate of Imitation," *Econometrica*, Vol. 29, No. 4(1961), pp. 741-765.
- [27] Norton, J. A. and F. M. Bass, "A Diffusion Theory Model of Adoption and Substitution for Successive Generations of High-Technology Products," *Management Science*. Vol. 33, No. 9 (1987), pp. 1069-1086.
- [28] Rao, R. C. and F. M. Bass, "Competition, Strategy, and Price Dynamics : A Theoretical and Empirical Investi-

- gation," *Journal of Marketing Research*, Vol. 22(1985), pp. 283-296.
- [29] Ratkowsky, D. A., *Handbook of Nonlinear Regression Models*, Marcel Dekker, Inc., 1990.
- [30] Reinganum, J. F., "The Timing of Innovation: Research, Development, and Diffusion," Ch. 14 in *Handbook of Industrial Organization*, Vol. I, Edited by R. Schmalensee et. al., Elsevier, 1989.
- [31] Robinson, B. and C. Lakhani, "Dynamic Price Models for New-Product Planning," *Management Science*, Vol. 21, No. 10(1975), pp. 1113-1122.
- [32] Russell, T., "Comments on 'The Relationship between Diffusion Rates, Experience Curves, and Demand Elasticities for Consumer Durable Technological Innovations,'" *Journal of Business*, Vol. 53, No. 3(1980), pp. S69-S73.
- [33] Shaked, A. and J. Sutton, "Relaxing Price Competition through Product Differentiation," *Review of Economic Studies*, Vol. 49(1982), pp. 3-13.
- [34] _____ and _____, "Natural Oligopolies," *Econometrica*, Vol. 41 (1983), pp. 1469-1484.
- [35] Sharif, M. N. and C. Kabir, "A Generalized Model for Forecasting Technological Substitution," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 8(1976a), pp. 353-364.
- [36] _____ and _____, "System Dynamics Modeling for Forecasting Multilevel Technological Substitution," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 9(1976b), pp. 89-112.
- [37] Skiadas, C., "Two Generalized Rational Models for Forecasting Innovation Diffusion," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 27(1985), pp. 39-61.
- [38] Spence, M. A., "The Learning Curve and Competition," *Bell Journal of Economics*, Vol. 12(1981), pp. 49-70.
- [39] Weerahandi, S. and S. R. Dalal, "A Choice-Based Approach to the Diffusion of a Service: Forecasting Fax Penetration by Market Segments," *Marketing Science*, Vol. 11(1992), pp. 39-53.
- [40] Varian, H. R., *Microeconomic Analysis*, 3rd ed., Norton, 1992.