신기술 제품의 확산에 관한 수요·공급의 균형확산모형과 실증분석

(An Equilibrium Diffusion Model of Demand and Supply of New Product and Empirical Analysis)

하태정*

〈 목 차 〉

1. 서론
2. 균형확산모형
3. 실증 분석
4. 결론

Summary : The purpose of this study is to analyse the diffusion process of personal computer (PC) in Korea during the 1990's. To achieve the goal, five research steps have been done such as the literature survey of diffusion theory, set-up of theoretic equilibrium model of supply and demand, derivation of an equilibrium path using Hamiltonian, and empirical analysis. The empirical analysis has been performed based on that equilibrium path. The results can be summarized as follows: First, technological attribute of diffusing product influences the diffusion speed of product. It has been proven that the size of the network has a significant effect on the diffusion of PC in empirical study. Second, supply factors have an important role in the diffusion process. According to the empirical analysis, decreasing cost of production as a result of technological advance promotes the speed of diffusion. This point seems to be manifest theoretically, but existing empirical models have not included supply factors explicitly. Third, it has been found out that expectation of decreasing cost would influence the speed of diffusion negatively as expected ex ante. Theoretically

* 과학기술정책연구원(STEPI) 부연구위원 (email : hhhtj@stepi.re.kr).

this result is supported by arbitrage condition of purchasing timing.

Keywords : Network Externality, Equilibrium Diffusion Model, Optimal Diffusion Path

Ⅰ. 서론

일반적으로 새로운 발명이나 혁신을 통한 신기술의 출현은 많을수록 좋을 것 같지만, 사회후생 측면에서 보다 의미를 갖는 것은 새롭게 출현한 신기술 제품이나 공정이 개별 경제주체들에 의해 채택되고 사용되어지는 속도 및 수준에 관한 내용이다. 대규모 연구개발(R&D)을 통해 혁신적인 신기술이 출현하였을지라도, 개별 경제주체들이 그것을 채택하지 않는다면 경제적인 관점에서 사회후생 증대는 거의 발생하지 않기 때문이다. 이 같은 현실에 기초하여 일찍이 Schumpeter (1942)는 기술의 동태적 변화과정을 발명-혁신-확산 등의 3단계로 구분하고, 새로운 기술의 출현 및 확산이 경제발전에 미치는 효과를 이론적으로 분석하였다. 국내에서도 기술이 지속가능한 경제발전의 핵심요소라는 것을 인식하고 기술의 발명이나 혁신을 촉진하기 위해 국가 차원의 다양한 정책적, 제도적 지원을 수행해 왔다. 그러나 개발된 기술이 실질적으로 사회후생 증대를 유발하는 단계인 신기술의 확산과정에 대한 분석이나 평가는 상대적으로 미흡했던 것 또한 사실이다. 예컨대, 사회적으로 최적인 신기술의 확산 속도 및 수준, 곧 최적 확산경로에 대한 이론 및 실증 연구는 찾아보기 쉽지 않다.

지금까지 신기술 확산현상과 관련하여 널리 받아들여지고 있는 정형화된 두 가지 사실은 신기술 확산속도는 기술의 종류에 따라 크게 다르다는 것과 대부분의 신기술 확산경로는 로지스틱(완만한 S자형) 형태를 따른다는 것이다. 이에 따라 기존의 기술확산 관련 연구들은 대부분 신기술이 체화된 제품이나 공정의 누적 확산량의 궤적을 얼마만큼 정확히 추정할 수 있는 모형을 구축하느냐에 관심이 집중되었다. Mansfield (1961), Chow (1967), Bass (1969) 등의 모형들이 대표적인 예라고 할 수 있다. 그러나 이들 모형들은 로지스틱 확산경로에 대한 높은 적합도를 보여주고 있음에도 불구하고 이론적인 측면에서 다음과 같은 몇 가지 결함을 가지고 있다. 우선, 신기술의 잠재적 수요자 집단이 동질적이라는 가정과 신기술 채택시점과 수요자 목적함수 사이에는 아무런 상관관계가 없다는 비현실적인 가정을 사용하고 있다. 다음으로, 신기술의 확산에 미치는 공급측 요인들의 효과가 반영되지 못하고 있다. 신기술을 공급시장 구조, 신기술 제품이나 공정의 원가 하락 등은 신기술 확산과정에 중요한 영향을 미치고 있는 것이 현실임에도 불구하고 이들 공급측 요인들이 모형에 반영되지 못하고 있다.

한편 신기술이 체화된 생산공정의 기업간 확산현상을 설명하기 위한 연구들도 꾸준히 수행

되어 왔는데, 이들 연구들은 무엇보다 기업들이 자신의 이윤함수를 극대화하는 시점에서 신기술을 채택한다는 가정 위에 서있다(Davies, 1979; Fudenberg and Tirole, 1985; Ireland and Stoneman, 1986). 소위 의사결정(decision-making) 모형으로 분류되는 이들 연구는 신기술 잠재수요자의 이질성, 시간에 따른 신기술 가격하락, 수요자 간 선점경쟁 등의 상황을 가정하여 앞서 지적한 로지스틱 모형의 한계를 상당 부분 극복하고 있다. 그럼에도 불구하고 의사결정 모형들 역시 공급측 요인들의 확산에 미치는 효과를 명시적으로 반영하고 있지 않다는 점은 분명하다.

그러나 현실적으로 신기술의 확산속도나 최종 확산수준은 정보, 시장가격, 기술변화에 대한 기대, 잠재적 수요자의 구매력 등의 수요측 요인뿐만 아니라 비용함수, 생산의 학습효과, 시장구조, 공급자의 전략적 행위 등과 같은 공급측 요인에 의해서도 영향을 받고 있는 것이 사실이다. 따라서 신기술 확산현상에 대한 보다 정합성이 높은 모형은 수요측 요인과 공급측 요인을 동시에 포함하는 형식이 되어야 할 것이다. 이 같은 문제의식은 Ireland and Stoneman (1986)의 연구에서 어느 정도 이론적 모형화 작업이 이루어졌는데, 이 모형은 이론적으로 보다 발전된 형태의 균형확산모형이라는 평가에도 불구하고 실증적인 뒷받침이 없는 이론모형 그 자체에 머물고 있다.

이러한 문제의식 하에서 본 연구는 기존의 대부분의 확산모형들이 안고 있는 수요중심 모형의 비대칭적 모형구조의 한계를 극복하기 위한 대안으로서 수요·공급의 균형개념에 기초한 Ireland and Stoneman (1986) 모형을 확장하여 경제주체들의 합리적 기대효과를 반영한 실증 가능한 균형확산모형을 구축하는 것을 연구의 핵심목표로 한다. 이와 함께 구축된 이론모형을 실증모형으로 전환하여 지난 1990년대 국내 PC 산업에서 나타난 PC의 급속한 확산과정을 실증분석하고, 분석결과를 바탕으로 정책적 시사점을 도출하기로 한다. 이에 따라 본 연구의 내용은 다음과 같이 구성된다. 먼저 제II절에서는 이론적으로 보다 확장된 균형확산모형을 구축하고 최적 확산경로와 확산수준을 도출한다. 제III절에서는 구축된 이론모형을 실증모형으로 전환하고 1990년대 국내 컴퓨터 산업에서의 PC의 확산현상을 실증분석 한다. 제IV절에서는 연구결과에 대한 결론 및 정책적 시사점을 제시하기로 한다.

Ⅱ. 균형확산모형

1. 모형의 구조

여기서는 1990년대 한국에서 PC의 확산현상을 분석하기 위한 수요공급의 균형확산모형을 구축하는 과정을 수요측 요인과 공급측 요인으로 나누어 차례로 모형화 하기로 한다. 먼저 PC의 잠재적 사용자의 기간당 수익성(혹은 효용) 함수의 성격에 대해 살펴보기로 한다. Dedrick and Kraemer (1997)에 의하면 컴퓨터 산업의 역사를 메인프레임 컴퓨터, 미니 컴퓨터 등이 주종을 이루었던 집중형 컴퓨터 시대, 마이크로프로세서 기술에 기반한 개인용 컴퓨터(PC) 시대, 그리고 1990년대 중반 이후 인터넷의 확산으로부터 시작된 네트워크 시대로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 이와 같은 컴퓨터 산업의 변천과정에서 잠재적 PC 사용자들의 수익성 함수에 대해 다음과 같은 가정을 설정하기로 한다. 첫째, PC는 모든 세대의 컴퓨터들이 제공하고 있는 컴퓨터의 기본기능에 해당하는 산술연산, 자료값들의 논리적 비교, 저장과 검색 등의 유용성을 PC 사용자에게 제공하며, PC 사용자가 속한 네트워크의 크기에 따라 PC가 제공할 수 있는 정보서비스 기능은 증가한다. 둘째, 동일한 신기술을 체화하고 있는 제품일지라도 제품 사용자의 특성에 따라 제품으로부터의 수익성은 달라질 수 있음을 고려하여 PC의 수익성은 PC 사용자의 개별적 특성에 의존한다. 이상의 두 가지 가정에 기초하여 t 시점에서 PC를 구입한 x 번째 수요자의 τ 시점에서의 기간당 수익성 함수는 다음과 같이 정의된다.[1)]

$$g_\tau = g(x_t, N_\tau; \Omega_t),\ \tau \geq t\ ,\ g_x < 0,\ g_N > 0 \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서 x_t: t 시점까지 PC를 구입한 수요자들의 수, N_τ: τ 시점에서의 x 번째 수요자가 속한 네트워크의 크기, Ω_t: t 시점에서 수익성 함수에 영향을 미치는 외생적인 요소들의 벡터

1) 본 연구에서는 모형의 단순화를 위하여 PC의 수요자 및 공급자를 위험 중립적이라고 가정하고 신기술의 수요자와 공급자의 의사결정을 모형화하기로 한다. 이러한 가정은 분석대상이 생산공정인 경우(process diffusion)인 경우에는 신기술의 수요자 및 공급자가 기업이 되기 때문에 별반 무리가 없는 가정이지만 제품확산(product diffusion)을 분석할 경우에는 수요자가 가계이기 때문에 통상적인 경우보다 강한 가정이 될 수 있다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서 PC의 수요자와 공급자 모두에 대해 위험 중립적 가정을 사용할 수 있는 근거는 PC의 수요자 집단에는 가계뿐만 아니라 기업이나 공공기관 등 모든 경제주체가 포함되기 때문이다.

등을 각각 나타낸다. 또한 위의 식 (1) 에서 $g_x < 0$ 가 성립하는 것은 PC 의 활용도나 사용에 따른 만족도를 더 크게 느끼는 수요자일수록 구입순서가 빨라진다는 속성에 근거한다. $g_N > 0$ 의 네트워크 외부효과를 반영한 가정이다. 이제 t 시점에서 PC 를 구입한 x 번째 수요자의 총수익은 다음과 같이 표현된다.

$$G_t = \int_t^{\infty} g(x_t, N_\tau; \Omega_t) \exp[-r(\tau - t)]\, d\tau \quad \cdots\cdots (2)$$

이 때 할인율 r 은 통상적인 할인율에 신기술이 폐기(obsolescence)될 가능성에 대한 주관적 위험률을 합한 것으로 정의한다.[2] 한편 PC 의 t 시점에서의 가격은 P(t) 이며 시간이 지남에 따라 하락한다고 가정한다. 또한 B_t 를 t 시점에서 PC 를 구입한 x 번째 수요자의 순수익이라고 정의하면 B_t 는 다음과 같은 수익성 조건식으로 나타낼 수 있다.

$$B_t = -P_t + G_t \geq 0 \quad \cdots\cdots (3)$$

위의 식 (3) 이 성립한다는 조건하에서 이제 x 번째 수요자가 t 시점에서 구입할 것인지 아니면 구입시점을 늦출 것인지를 결정하는 조건은 다음의 재정거래 조건식으로 표현된다.

$$y_t \equiv \frac{d[B_t \exp(-rt)]}{dt} \leq 0. \quad \cdots\cdots (4)$$

여기서 B_t 를 r 로써 할인하는 이유는 모든 변수들에 대해 동일한 기준시점을 적용하기 위해서이다. 이제 x 번째 수요자는 수익성 조건이 만족된다는 전제하에 식 (4) 가 등호로 성립하는 최초의 t 시점에서 PC 를 구입하게 된다. 만약 가격의 시간에 따라 감소하는 경로에 대한 완전한 예측(perfect foresight)을 가정하고 corner solution 인 경우를 무시하면 식 (4) 는 아래와 같이 전개된다.[3]

---

2) 위험률($h(t)$)에 대한 정의는 다음과 같다.
$h(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Pr(t \leq \tau \leq t + dt | \tau \geq t)}{\Delta t}$.

3) 신기술의 확산에 관한 기대의 역할에 관한 내용은 Rosenberg (1976), Ireland & Stoneman (1986) 등을 참조할 수 있다. 또한 식 (5) 의 도출과정은 <부록 A> 를 참조하시오.

$$y_t = rP_t - p_t + \int_t^{\infty} g_x[x_t, N_\tau; \Omega_t]\, \dot{x}_t \exp(-r(\tau - t))\, d\tau - g[x_t, N_t; \Omega_t] = 0 \quad \cdots\cdots (5)$$

단, $p_t \equiv \frac{dP_t}{dt}$, $\dot{x}_t \equiv \frac{dx_t}{dt}$.

모형의 단순화를 위하여 t 시점에서 구입순서의 변화에 따른 한계수익의 변동이 $\tau > t$ 의 시점의 네트워크 크기(N_τ)에 의해 영향을 받지 않는다고 가정하고 위의 식 (5) 를 정리하면 다음과 같다.

$$g[x_t, N_t; \Omega_t] - \frac{g_x[x_t, N_t; \Omega_t]\, \dot{x}_t}{r} = -p_t + rP_t \quad \cdots\cdots (6)$$

이제 식 (6) 이 표현하고 있는 x번째 PC 수요자의 구매의사결정 원리를 정리하면 다음과 같다. 즉 PC 의 모든 잠재적 사용자들 중에서 x 번째 수요자는, 기준 시점을 0 으로 하고 PC 의 가격은 시간이 지남에 하락하며 이 때의 가격경로에 대한 완전한 예측이 가능한 경우에, 위의 식 (6) 이 성립하는 시점 t 에서 PC 를 구입하게 된다. 결과적으로 여기서 x는 t 시점까지 PC 의 확산량(혹은 확산수준)을 나타내게 된다.

다음으로 PC 의 확산에 미치는 공급측 요인을 모형화 하기로 하자. 먼저 PC 를 공급하는 기업의 수는 n 개로 동질적이며, 각 기업들은 $(n-1)$ 개의 다른 기업들의 행동이 주어진 상황하에서 자신의 기대이윤을 극대화하는 의사결정을 한다고 가정한다. 이제 대표기업 i 의 기대이윤함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E\Pi_i = \int_0^{\infty} [P_t - C_t]\, q_t \exp(-rt)\, dt \quad \cdots\cdots (7)$$

여기서 C_t: t 시점에서 단위당 생산비용, q_t: t 시점에서 대표기업 i 의 생산량, r 는 할인율을 각각 의미한다. 이 때 C_t 에 대해서는 시간에 따른 생산비용의 하락을 가정하여 $\frac{dC_t}{dt} < 0$ 가 성립한다고 본다.[4] 또한 PC 의 확산이 멈추는 시점을 $\bar{t}$ 라고 가정하면 확산

4) 시간이 지남에 따라 단위당 생산비용은 하락은 일반적으로 생산에서의 누적적 학습효과(learning by doing) 에서 원인을 찾고 있다. 그러나 본 연구에서 시간에 따른 생산비의 하락은 주로 기술적인 요인, 예컨대 PC 의 핵심부품

포화점(saturation point)에서는 다음 식이 성립한다.

$$\frac{g[x_{\bar{t}}, N_{\bar{t}}; \Omega_{\bar{t}}]}{r} = P_{\bar{t}} \quad \cdots\cdots (8)$$

이제 시간에 따른 PC의 단위당 가격의 변동과 생산비용의 변동이 기업 i의 이윤함수에 미치는 효과를 보기 위해 식 (7)이 확산이 완료되는 시점($\bar{t}$)까지에 대해 아래와 같이 표현하기로 한다.[5]

$$E\Pi_i = [P_{\bar{t}} - C_{\bar{t}}](x_{\bar{t}} - z_{\bar{t}}) \exp(-r\bar{t}) + \int_0^{\bar{t}} (-p_t + rP_t + c_t - rC_t)(x_t - z_t) \exp(-rt)\, dt \quad \cdots\cdots (9)$$

여기서 $c_t \equiv \frac{dC_t}{dt}$이며, $z_t = \frac{(n-1)}{n} x_t$로서 z는 t시점까지 i기업을 제외한 $(n-1)$개 기업들의 생산량의 합을 나타낸다. 이제 모든 PC 공급기업들은 수요자들의 행동에 대한 완전한 정보를 가진다고 가정하면, 대표기업 i의 시간에 대한 생산량 경로는 식 (6)과 식 (8), 그리고 $(n-1)$개 기업들의 생산량 경로가 주어졌을 때 식 (9)를 극대화하는 의사결정으로부터 얻어지게 된다.

2. 균형 확산경로의 도출

이제 신기술의 잠재적 수요자들은 신기술의 단위당 구입비용의 동태적 경로에 대한 완전한 정보를 가지며 신기술의 공급자는 수요자들의 신기술의 구입행태에 대한 완전한 정보를 가진다는 가정 하에서, 각 경제주체들이 자신의 목적함수를 극대화하는 의사결정을 할 때 얻어지는 균형확산경로에 대해 살펴보기로 한다.

먼저 위의 식 (9)로 표현된 기업 i의 기대이윤을 극대화하는 생산경로는 다음의 동태적 최적화 문제를 푸는 것으로부터 얻어지게 된다.

산업들에서의 기술진보에 의한 부품가격의 하락에서 기인한다고 본다. 이에 대한 자세한 논의는 실증모형의 유도과정에서 이루어진다.

5) 식 (7)로부터 식 (9)의 유도는 <부록 B>를 참조하라.

$$Max\ E\Pi_i = K(x_{\bar{t}}) + \int_0^{\bar{t}} (-p_t + rP_t + c_t - rC_t)(x_t - z_t)\exp(-rt)\,dt,$$

$$\text{s. t. } \frac{dx_t}{dt} = Q_t = q_t + (n-1)\overline{q_t} \quad \cdots\cdots (10)$$

단, $K(x_{\bar{t}}) \equiv [P_{\bar{t}} - C_{\bar{t}}](x_{\bar{t}} - z_{\bar{t}})\exp(-r\bar{t})$ 이다. 이제 위의 식 (10)의 우변의 적분항과 앞에서 도출한 식 (6)을 결합하여 다음과 같은 Hamilton 함수를 정의한다.[6]

$$H = [g(\cdot) - \frac{g_x(\cdot)Q_t}{r} + c_t - rC_t](x_t - z_t)\exp(-rt) + \lambda_t Q_t \quad \cdots\cdots (11)$$

여기서 λ_t는 시간에 따른 x의 잠재가치 흐름을 나타내는 승수를 의미한다. 이제 위의 식 (11)의 Hamilton 함수를 이용하여 식 (10)으로 표현된 기업 i의 기대이윤을 극대화하는 1차 필요조건들을 구하면 다음과 같다.[7]

$$H_x = -\frac{d}{dt}\lambda_t \quad \text{(multiplier condition)} \quad \cdots\cdots (12)$$

$$H_q = 0 \quad \text{(optimality condition)} \quad \cdots\cdots (13)$$

$$\lambda_{\bar{t}} = K_x(x_{\bar{t}}) \quad \text{(transversality condition)} \quad \cdots\cdots (14)$$

이제 위에서 정의된 Hamilton 함수가 x에 대하여 강오목함수라고 가정하면, 우리는 식 (12)와 (13)을 연립하여 확산포화점까지의 균형확산경로 x_t^*를 얻게 된다. 또한 식 (13)과 (14)로부터 확산 포화시점인 $\bar{t}$에서의 확산량 $x_{\bar{t}}$를 얻게 되는데, 이들 결과를 정리하면 다음과 같다.[8]

$$g[x_t^*, N_t; \Omega_t] = rC_t - c_t + \frac{n-1}{n}\frac{g_x[x_t^*, N_t; \Omega_t]}{r}Q_t \quad \cdots\cdots (15)$$

$$g[x_{\bar{t}}, N_{\bar{t}}; \Omega_{\bar{t}}] = rC_{\bar{t}} \quad \cdots\cdots (16)$$

---

6) 표기의 단순화를 위해 $g[x(t), N(\tau)\ ;\ \Omega] \equiv g(\cdot)$로 나타낸다.

7) 1차 필요조건들의 유도과정은 Kamien & Schwartz (1981), ch. 7을 참조하라.

8) Hamilton 함수로부터 최적확산경로 및 최종 확산수준의 유도과정은 <부록 C>를 참조하시오.

이상의 논의를 요약하면 다음과 같다. 식 (15)에 의하면 미래의 PC 가격의 변동에 관한 완전한 기대를 갖는 수요자와 PC 수요자의 행동에 관한 완전한 정보를 갖는 공급자가 모든 시점에서 각자의 목적함수 - 수익성 함수와 이윤함수 - 를 극대화하는 의사결정으로부터 얻어진 균형생산량이 곧 PC의 최적확산경로 x_t^* 이다. 또한 식 (16)에 의해서 확산이 종결되는 $\bar{t}$ 시점에서 최종적인 확산수준은 $x_{\bar{t}}$ 로 결정되게 된다.[9]

Ⅲ. 실증 분석

여기서는 위의 제Ⅲ절에서 구축한 수요·공급의 균형확산모형을 실증모형으로 전환하여 1990년대 한국 PC 산업의 확산현상에 대한 실증분석을 수행한다. 기존의 신기술의 확산에 관한 실증분석 모형들은 크게 두 가지 유형으로 구분할 수 있는데, 하나는 종속변수가 신기술의 사용자수가 되는 시계열 및 횡단면 모형들이며, 다른 하나는 종속변수가 잠재적 사용자들의 신기술의 구입시기가 되는 기간모형(duration model)이다. 본 연구에서 설정하고 있는 균형확산모형은 종속변수가 x_t 로서 t 시점에서 PC를 구입한 사용자수가 되므로 시계열 모형에 해당한다고 볼 수 있다. 이제 본 연구의 실증분석 절차는 다음과 같다. 먼저 식 (15)와 (16)을 실증모형으로 전환하기 위해 PC 수요자들의 수익성 함수와 시간에 따른 비용함수를 이론모형에서 상정하고 있는 가정들에 기초하여 구체적인 함수형태로 정의하기로 한다. 다음으로 이들 함수들을 기반으로 각 경제변수들이 확산에 미치는 효과를 분석하기 위한 추정방정식을 유도하기로 한다.

1. 수익성 함수와 비용함수의 정의

식 (4)로 정의된 t 시점에서 PC를 구입한 x 번째 수요자의 τ시점에서의 기간당 수익성 함수에 대해 구체적인 함수형태는 다음과 같은 절차를 통해 정의한다. 먼저 수익성 함수에 관한 사전적 정보에 기초해 다음과 같은 가정을 채택한다. 첫째, 식 (1)의 기본가정과 수익성 함수

9) 식 (15) 및 (16)으로 요약된 확산경로는 Ireland & Stoneman (1986)의 근시안적(myopia) 기대를 가정한 경우의 균형확산경로와 동일한 결과가 된다. 이것은 수요자들의 미래의 가격변동에 대한 다소 비현실적인 근시안적 기대를 가정하지 않고, 단지 신기술 수요자들의 수익성 함수의 특성에 대한 가정만을 사용해서도 기대가 확산에 미치는 효과를 모형화할 수 있음을 시사하고 있다.

의 정의상 독립변수들의 모든 정의역에 대해 $g(\cdot) > 0$, $g_x < 0$, $g_N > 0$ 등이 성립한다. 둘째, 경험적 확산경로는 비선형의 로지스틱 형태를 나타낸다. 셋째, 수익성 함수는 둘 이상의 경제변수들의 함수이며 미분가능 하다.

이제 이상의 수익성 함수 $g(\cdot)$에 관한 사전적 정보를 기초로 구체적인 수익성 함수형태를 정의하기로 한다. 먼저 모든 $x \geq 0$의 정의역에 대해 $g(\cdot) > 0$과 $g_x < 0$ 의 조건을 만족시킬 수 있는 함수형태를 고려하면 지수함수와 양의 분수함수를 상정할 수 있다. 그러나 만약 식 (4)의 재정거래 조건식이 부등식으로 성립하는 경우를 감안하여 신기술이 경제내에 도입되는 즉시 일정한 구매가 존재하는 상황(initial jump)을 반영할 수 있는 함수형태를 고려하면, 지수함수보다는 양의 분수함수 형태가 보다 일반적인 수익성함수를 나타낸다고 볼 수 있다. 또한 식 (17)을 유도하는 과정에서 가정하고 있는 구입순서의 한계수익(g_x)의 네트워크 크기(N)에 대한 독립성 가정을 고려하면 아래와 같은 수익성 함수 형태를 상정할 수 있다.

$$g[x_t, N_\tau; \Omega_t] = \frac{J_\tau}{x_t} \quad \cdots\cdots (17)$$

단, $J_\tau = J[PRIDX_t, NW_\tau]$.

여기서 $PRIDX_t$는 제조업 생산지수로서 가계의 처분가능소득의 대리변수이고, NW_τ는 τ 시점에서의 네트워크의 크기를 나타낸다. 이제 위의 식 (17)이 의미하는 바는, t 시점에서 PC를 구입한 x번째 수요자의 τ 시점에서의 기간당 수익의 크기는 구입순서 x에 반비례하며 동시에 구입에 영향을 미치는 외생적인 힘들인 $PRIDX_t$ 및 NW_τ 등에 의해 영향을 받는다는 것이다.

다음으로 공급측 요인들의 확산에 미치는 효과를 분석하기 위해 시간에 따른 비용함수 형태를 정의하기로 하자. 먼저 PC 산업의 비용구조를 결정짓는 PC 산업의 대표적인 기술·경제적 특성들을 살펴보면, PC 산업은 핵심부품(CPU, RAM, HDD 등)을 기반으로 하는 조립산업이며, 핵심부품들의 기술혁신 속도가 빠르고, 학습효과에 의한 생산에서의 규모의 경제가 존재한다는 것이다. 따라서 이와 같은 PC 산업의 대표적 특성들을 기초로 해서 PC의 비용함수 구조에 대해 다음과 같은 가정들을 상정할 수 있다. 첫째, 핵심부품들의 빠른 기술혁신에 의해 동질적인(quality equivalent) PC의 시간에 따른 단위당 생산비용은 하락한다.[10] 둘째,

10) 현실적으로 각 시점에서 최신기종의 PC 공급가격, 즉 수요자의 구입가격은 일정한 수준을 유지하고 있다. 이것

PC 산업은 핵심부품들에 기반하는 단순 조립산업이므로 PC 의 단위당 가격변동은 핵심부품들의 단위당 가격변동에 강하게 의존되어 있다. 이 때 PC 의 주변 부품들의 가격변동 효과는 핵심부품들의 그것에 비해 상대적으로 무시할 수 있다고 가정한다. 셋째, 기술진보에 의해 PC 의 단위당 생산비용 C_t는 확산의 포화시점인 $\bar{t}$까지 단조감소 한다.

이제 위의 세 가지 가정에 기초하여 시간에 따른 PC 의 단위당 비용함수를 다음과 같이 정의하기로 한다.

$$C_t = e^{\rho_t} \quad \cdots\cdots (18)$$

$$\text{단, } \rho_t = \rho[CPU_t, RAM_t, HDD_t],\ \frac{d}{dt}\rho_t < 0,\ \frac{d^2}{dt^2}\rho_t > 0.$$

여기서 CPU_t, RAM_t, HDD_t 등은 각각 x 번째 수요자가 PC 를 구입하는 t 시점에서의 PC 를 구성하는 주요 부품들의 가격을 각각 의미한다.[11] 이제 위의 식 (18)이 의미하는 바는 시간에 따른 PC 의 단위당 비용함수의 기본적 속성으로는 PC 의 부품들의 가격경로에 의해 ρ_t의 경로가 결정된다는 점이다. 이 때 ρ_t 의 1차 미분값이 0 보다 작고, 2차 미분값이 0 보다 크다고 가정하는 이유는 PC 의 단위당 비용함수가 시간에 따라 체감적으로 감소하는 것을 상정하기 때문이다. 따라서 PC 산업의 핵심부품 분야에서의 빠른 기술진보와 그에 따른 부품가격의 하락을 가정한다면, $\frac{d}{dt}C_t < 0$이 성립하게 된다.

2. 추정방정식의 도출

이제 위에서 정의한 수익성 함수와 시간에 따른 단위당 비용함수를 이용하여 PC 의 확산에 미치는 수요측 요인과 공급측 요인들의 효과를 분석하기 위한 추정방정식을 유도하기로 한다.

은 도식적으로만 표현하면 PC 의 시간에 걸친 단위당 생산비용이 하락하지 않고 일정하게 유지되고 있다는 것을 의미한다. 그러나 실제적으로 동등한 성능(quality equivalent)의 PC 1 단위를 생산하는데 요구되는 비용은 급속하게 하락하고 있다는 것은 자명한 사실이다. 따라서 각 시점에서 최신 기종의 PC 의 성능을 일정하다고 가정하게 되면, 동등한 성능의 PC 1 단위를 생산하는 데 투입되는 생산비용은 시간이 지남에 따라 하락하는 것으로 가정할 수 있게 된다.

11) Chow (1967) 는 컴퓨터의 확산에 미치는 기술진보의 효과를 분석하는 데 있어 동일하게 이들 3가지 핵심기술을 주요 설명변수로 이용하고 있다.

먼저 식 (17)의 수익성 함수를 식 (15)의 균형확산경로에 대입하여 정리하면 다음 식이 된다.

$$\frac{J_t}{x_t} = rC_t - c_t - \frac{n-1}{rn}\frac{J_t}{x_t^2}\frac{dx_t}{dt} \quad \cdots\cdots (19)$$

이제 위의 균형확산경로 식 (19)는 x_t에 대한 1계 비선형 미분방정식이 된다. 위의 식을 다시 미분항을 중심으로 표현하면 아래와 같다.

$$x_t^{-2}\frac{dx_t}{dt} + \frac{rn}{n-1}x_t^{-1} = \frac{rn}{n-1}\frac{(rC_t - c_t)}{J_t} \quad \cdots\cdots (20)$$

위의 식 (20) 에서 분석의 단순화를 위하여 PC 제품을 공급하는 기업의 수(n) 와 할인율(r)은 상수로 일정하다고 가정하고 주어진 미분방정식을 풀면 다음의 결과를 얻는다.

$$x_t = \frac{1}{e^{kt+\phi} + \dfrac{k(rC_t - c_t)^2}{kJ_t(rC_t - c_t) + \dot{J}_t(rC_t - c_t) - J_t(rc_t - \dot{c}_t)}} \quad \cdots\cdots (21)$$

단, $J_t \equiv \frac{d}{dt}J_t$, $\dot{c}_t \equiv \frac{d}{dt}c_t$, $k = \frac{rn}{n-1}$, ϕ는 적분상수.

이제 식 (18)로 정의한 시간에 따른 단위당 비용함수 C_t와 그의 1계 미분함수 c_t 및 2계 미분함수 $\dot{c}_t$의 구체적인 함수를 위의 식 (21) 에 각각 대입하고 정리하면 다음의 식이 된다.

$$x_t = \frac{S_t}{1 + e^{-H(\cdot)}} \quad \cdots\cdots (22)$$

단, $S_t = e^{-kt-\phi}$

$$H(\cdot) = \ln\left[\frac{S_t k(r - \dot{\rho}_t)^2}{kJ_t(r - \dot{\rho}_t) + \dot{J}_t(r - \dot{\rho}_t) + J_t(\dot{\rho}_t^2 - r\dot{\rho}_t + \frac{d\dot{\rho}_t}{dt})}\right] + \rho_t$$

위의 식 (22)에서 $\dot{\rho} \equiv \frac{d\rho}{dt}$ 이며, t의 유효 범위는 $x_t \geq x_{t-1}$가 성립하는 구간이 된다.

이제 식 (22)의 양변에 자연로그를 취하고 정리하면 아래의 결과를 얻게 된다.

$$\ln \frac{x_t}{S_t - x_t} = H(\cdot) = H(J_t,\ \mathcal{J}_t,\ \rho_t,\ \hat{\rho}_t,\ \frac{d\hat{\rho}_t}{dt}) \quad \cdots\cdots (23)$$

여기서 위의 식 (23)에 대하여 다음과 같은 가정을 추가하기로 한다. i) $S_t = S^*$(포화 확산량)라고 가정한다.[12] ii) 함수 ρ(·)를 구성하는 변수들간에 강한 함수관계가 존재한다고 가정하고 ρ_t의 대리변수(proxy variable)로 현실적으로 접근 가능한 자료인 DRAM의 가격을 사용하기로 하며, 다시 C_t로 표기하기로 한다. iii) 함수 H(·)에 식 (17)과 (18)에서 정의한 구체적인 수요측 경제변수와 공급측 경제변수를 대입하여 정리하면 H(·)는 비선형함수가 되지만 테일러 전개를 실시하여 2차항 이상을 제거하기로 한다. 이상의 가정에 기초하여 위의 식 (23)으로부터 다음과 같은 선형의 추정방식을 도출할 수 있다.

$$\ln \frac{x_t}{S^* - x_t} = \beta_0 + \beta_1 PRIDX_t + \beta_2 C_t + \beta_3 NW_t + \beta_4 EPRIDX_t + \beta_5 EC_t + \beta_6 DEC_t + u_t \quad \cdots\cdots (24)$$

단, u_t 는 잔차항

따라서 위의 식 (24)는 PC의 수요측 요인과 공급측 요인이 상호작용 하여서 확산경로를 결정한다는 이론모형을 검증하는 회귀방정식이 된다.[13] 또한 식 (24)는 기술확산 문헌에서 정형화된 사실로 받아들여지고 있는 로지스틱 함수를 함수변환한 선형의 회귀방정식을 보여주고 있다. 따라서 우리는 로지스틱 함수를 비선형 추정법에 의해 굳이 추정하는 대신에 위와 같은 선형모형을 통해 확산량에 미치는 경제요인들의 효과를 분석할 수 있게 된다.

---

12) 여기서 $S(t) = S^*$라고 가정할 수 있는 근거는 다음과 같다. $S(t) = e^{-kt-\phi}$에서 지수함수 $S(t)$의 기울기는 t의 계수 k의 절대값 크기에 의존한다. 여기서 $k = \frac{rn}{n-1}$이며, PC산업의 특성상 완전경쟁시장을 가정함으로 PC 공급기업수 n의 값은 대단히 큰 값을 갖는다고 볼 수 있다. 결과적으로 $k \simeq r$ 이 성립하며, 실질할인율 r은 매우 작은 값을 갖게 됨으로 기울기 k 역시 매우 작은 값을 갖게 된다. 따라서 지수함수 $S(t)$는 제품의 확산이 이루어지는 유효기간 동안 일정하다고 가정할 수 있다.

13) 식 (24)의 회귀식에서 네트워크 크기에 대한 기대가 확산에 미치는 효과를 반영하는 ENWt의 설명변수가 나타나지 않는 이유는 식 (6)의 유도과정에서 선험적으로 0으로 규정하였기 때문이다. 그리고 실제로 이 변수를 포함시켜 회귀분석을 하였을 때도 대단히 높은 수준으로 비유적으로 나타났다.

3. 가설 설정

신기술(PC)의 확산과정에는 수요측 요인뿐만 아니라 공급측 요인들이 함께 작용하여 확산 경로를 결정한다는 지금까지의 이론적 논의를 바탕으로 다음과 같은 몇 가지 가설을 설정할 수 있다.

먼저 수요측 요인들을 고려하면, 가처분 소득의 대리변수인 제조업 생산지수($PRIDX_t$)와 PC 의 확산간에는 정의 관계가 존재한다고 볼 수 있다. 그 이유는 제조업 생산지수의 증가는 곧 가계 및 기업의 수익 증가를 의미하며 이것은 자본재의 성격을 갖는 PC 의 구입에 대한 화폐적 제약을 완화시킴으로써 확산속도를 증가시키는 방향으로 작용하기 때문이다. 또한 PC 를 구입하는 시점에서의 네트워크의 크기는 네트워크 외부효과를 유발하여 PC 구입에 따른 수익성을 증가시키게 될 것이므로, 네트워크의 크기를 반영하는 인터넷 호스트수(NW_t)가 증가할 수록 PC 의 구입속도는 증가하게 될 것이다.

[가설 1] : PC 의 확산에 미치는 수요측 요인들인 처분가능소득과 네트워크 크기의 대리변수인 제조업 생산지수와 인터넷 호스트수는 확산에 정(正)의 효과를 가진다.
즉, $\beta_1 > 0$, $\beta_3 > 0$.

공급측 요인들이 확산에 미치는 효과는 시간에 따른 단위당 비용함수의 구조가 확산에 미치는 효과를 통해서 살펴볼 수 있다. 즉, 시간이 지남에 따라 PC 의 단위당 생산비용이 하락한다면 이는 곧 PC 수요자들의 구입비용의 하락을 의미한다. 따라서 식 (3) 으로 표현된 수익성 조건을 만족하지 못하던 잠재적 수요자들은 단위당 생산비용(C_t) 이 하락함에 따라 동일한 수익성 함수를 가진 상황에서도 PC를 구입하는 의사결정을 하게 된다. 따라서 위의 식 (24) 의 실증모형에서 C_t 의 대리변수로 사용하고 있는 DRAM 의 가격과 확산량 간에는 부의 상관관계가 존재할 것으로 예상할 수 있다.

[가설 2] : PC 의 단위당 생산비용이 하락하면 PC 의 확산량은 증가하게 되므로 PC 의 단위당 생산비용의 대리변수인 DRAM 의 가격과 확산량 간에는 부(負)의 관계가 성립한다.
즉, $\beta_2 < 0$.

수요·공급측 요인들의 미래의 변동에 대한 기대(expectation)가 확산에 미치는 효과에 대해서는 다음과 같은 가설을 상정할 수 있다. 처분가능소득의 대리변수인 제조업 생산지수의 변화에 대한 기대는 확산량과 정의 관계에 있을 것이다. 이는 미래 처분가능소득의 증가를 예상하는 것은 소비자의 시제간 최적선택이론에 기초해 볼 때 현재의 소비를 증가시킬 것이기 때문이다. 그러나 미래의 네트워크의 크기에 대한 기대의 효과는 앞서 이론모형에서 가정하고 있는 것처럼 현재의 PC 의 구입의사결정에 미래의 네트워크의 크기에 대한 기대는 영향을 미치지는 않는다고 본다. 한편 PC 의 잠재적 수요자들은 PC 의 단위당 생산비용이 하락할 것으로 기대하는 경우 식 (4) 의 재정거래조건에 의해 PC 의 구입시점을 늦추려는 유인을 갖게 된다. 또한 PC 의 단위당 생산비용의 하락속도가 시간이 지남에 따라 더욱 증가할 것이라고 기대하는 경우 잠재적 수요자들의 구입시점을 더욱 늦추는 효과를 갖게 될 것이다.

[가설 3] : PC의 잠재적 수요자의 미래소득에 대한 기대는 확산에 정(正)의 효과를 미치고, PC 생산비용이 하락할 것이라는 기대는 확산에 부(負)의 영향을 미치게 된다.

즉, $\beta_4 > 0$, $\beta_5 < 0$, $\beta_6 < 0$.

4. 실증분석 및 결과

(1) 자료 출처 및 설명변수

실증분석 기간은 '93년 6월부터 '99년 6월까지 약 6년간의 시계열 자료를 대상으로 하였다. 분석기간을 이와 같이 선정한 이유는 앞서 도출한 이론 및 실증모형의 주요 변수에 해당하는 네트워크의 크기에 대한 자료가 사실상 '93년 이후부터 유효하기 때문이다. 한국인터넷정보센터 통계에 의하면 국내의 PC 사용자들이 인터넷을 활발히 이용하기 시작한 시기는 '94년 전후가 되고 있음을 알 수 있다. 또한 PC 가 사무용 차원을 넘어 가정용으로까지 보편화되기 시작한 것은 486 PC(32 비트) 등장 이후라는 점을 고려할 때, 분석기간을 486 PC 가 국내시장에 적극적으로 공급되기 시작한 '93년 이후로 설정하는 것이 보다 의미 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단되었기 때문이다.

실증분석에 사용된 자료들의 출처는 다음과 같다. 먼저 실증모형에서 종속변수에 해당하는 PC 의 월별 누적확산량은 한국전자산업진흥회의 「전자진흥」 각 월호에 발표된 통계를 이용하였다. 여기서 얻어지는 통계치들은 전수조사라기보다는 주요 공급자들의 월별 판매량을 집

계한 수치이기 때문에 실제 월별 누적확산량과는 약간의 편차가 있을 수 있다. 그러나 이러한 편차는 분석 목적 및 결과에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 간주할 수 있다.

설명변수들 중 수요측 요인에 해당하는 분류되는 제조업 생산지수와 인터넷 호스트수는 각각 통계청에서 제공하는 인터넷 DB(data base)와 한국인터넷정보센터에서 제공하는 인터넷 DB 로부터 다운로드하여 이용하였다. 이 때 인터넷 호스트수에 관한 일부 자료가 누락된 경우가 있었는데, 이에 대해서는 분석기간의 초기에 호스트수와 도메인 수간의 상관관계가 높게 나타나고 있음에 착안하여 선형회귀식을 이용하여 보간하였다. 한편 공급측 요인들의 확산에 미치는 효과를 검증하기 위한 대리변수로 사용하고 있는 DRAM의 가격동향은 Dataquest DB 자료이다. 여기서 DB 의 원자료는 DRAM의 1 메가당 평균 시장가격 동향을 US $ 단위로 표현되어 있기 때문에 원자료에 ₩/$ 환율을 곱하고 PPI 로 나누어 DRAM 의 1메가 단위 국내 실질시장가격으로 변환하여 사용하였다.

위와 같은 자료들을 기초로 하여 회귀방정식의 설명변수들을 산정한 방식과 이들 변수들이 갖는 성격을 정리하면 다음의 <표 1> 과 같다.

<표 1> 설명변수들의 정의

$PRIDX_t$	= t 시점에서의 제조업 월별생산지수. 처분가능소득의 대리변수
C_t	= DARM의 월별 가격(₩). 품질 대비 가격이 조정된(quality adjusted) PC의 단위당 생산비의 대리변수로서 기술진보효과 반영
NW_t	= 월별 인터넷 호스트(host) 수. 네트워크 외부효과를 반영함
$EPRIDX_t$	= Δt 기간 동안 예상되는 제조업 생산지수의 변동분
EC_t	= Δt 기간 동안 예상되는 DARM 가격의 변동분(₩)
DEC_t	= Δt 기간 동안 예상되는 DRAM 가격의 변동분의 차분값

위의 <표 1> 에서 $PRIDX_t$ 및 NW_t 은 [가설 1] 을 검정하는 변수가 되고, C_t 은 [가설 2] 를 검정하는 변수이며, 설명변수 $EPRIDX_t$, EC_t, DEC_t 등은 확산에 미치는 기대의 효과를 분석하기 위한 변수들이므로 [가설 3] 을 검정하게 된다.

(2) 추정방법 및 결과

여기서는 위에서 정의한 설명변수들로 구성된 식 (24)의 회귀모형을 이용하여 앞서 설정한 [가설 1, 2, 3] 에 대한 검정을 실시하였다. 먼저 식 (24)의 회귀모형에 대해 단순 OLS 을 적용하여 추정치들의 속성을 검토하였다. 추정결과 Dubbin-Watson(DW) 검정통계량 값이 0.249

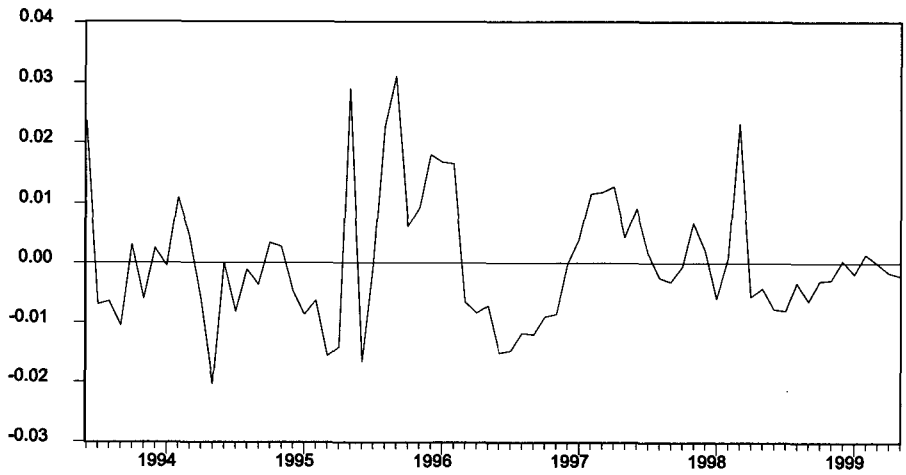
로 오차항에 높은 자기상관(autocorrelation)이 존재하는 것으로 나타났다. 또한 잔차항의 autocorrelogram 를 살펴본 결과 잔차항에 AR(1) 의 특성이 강하게 존재함을 확인할 수 있었다. 따라서 잔차항에 존재하는 AR(1) 의 특성을 회귀방정식에 반영하여 다음과 같은 FGLS(feasible generalized least square) 회귀방정식을 정의하였다.

$$\ln \frac{x_t}{S^* - x_t} = \beta_0 + \beta_1 PRIDX_t + \beta_2 C_t + \beta_3 NW_t + \beta_4 EPRIDX_t + \beta_5 EC_t + \beta_6 DEC_t + u_t .$$

$$u_t = \rho u_{t-1} + \varepsilon_t . \quad \cdots\cdots (25)$$

단, $|\rho| < 1, \varepsilon_t \sim iid(0, \sigma_\varepsilon^2)$.

이제 FGLS에 의한 회귀방법은 Cochrane-Ocutt 방법을 사용하여 자기상관을 제거한 후 OLS 를 실시하여 추정량들을 얻게 된다. FGLS를 이용한 추정결과 DW 검정 통계량은 1.299 ($d_L < d < d_U$임), 조정된 $\overline{R}^2$ 값은 0.999[14]를 각각 나타내었다. 이러한 통계량들이 시사하는 바는 오차항에 자기상관 현상은 상당 부분 개선되었으며, 아래의 <그림 1> 이 보여주는 것처럼 잔차항은 근소하나마 백색오차(white noise)에 가까운 모습을 가지게 되었다는 것이다.



<그림 1> FGLS 의 잔차항 그래프

14) $\overline{R}^2$ 의 값이 이렇게 크게 나타나는 이유는 추정방정식이 누적확산곡선에 대한 것이므로 AR(1)이 크게 나타나는 확산모형의 특성에서 기인한다.

위의 잔차항 그래프가 보여주고 있는 주요한 특징은 95년 초부터 95년 말까지의 기간에 급격한 변동이 있었던 것으로 나타나고 있다. 이러한 변동의 원인으로 94년부터 국내에 급속하게 보급되기 시작한 인터넷, 95년부터 본격적으로 출시되기 시작한 펜티엄 PC, 그리고 WINDOWS 95 로 대표되는 GUI (graphic user interface) PC 환경의 보편화 등의 전반적인 PC 산업의 구조변화를 지적할 수 있다. 따라서 동 기간('95.3 - '95.12)에 대해 가변수 ($PDUM_t$)를 추가하여 식 (25)의 회귀식을 분석하였는데, 그 결과 DW 통계량은 1.407 를 나타내었으며 잔차항은 거의 백색오차에 가까운 모습을 나타냈다.

한편 다음의 <표 2> 는 식 (24) 의 설명변수들에 대한 기본통계량과 상관관계를 보여주고 있다. 주요 설명변수들의 기본통계량 성격을 살펴보면 생산성 지수($PRIDX_t$)를 제외한 나머지 변수들의 표준편차가 상당히 크게 나타나고 있다. 이것은 C_t 및 NW_t 의 경우에는 설명변수들이 강한 추세를 갖는 시계열 자료라는 것을 시사하며, 그 외 변수들의 경우에 표준편차가 평균보다 크게 나타나는 이유는 이들 설명변수가 기대를 반영하는 변수들이기 때문이다.

<표 2> 설명변수들의 기본통계량 및 상관관계

	평 균	표준편차	$PRIDX_t$	C_t	NW_t	$EPRIDX_t$	EC_t	DEC_t
$PRIDX_t$	102.676	12.607	1.000					
C_t	1469.343	1194.428	-0.788	1.000				
NW_t	83058.180	75185.120	0.703	-0.843	1.000			
$EPRIDX_t$	0.700	17.905	-0.063	-0.011	0.021	1.000		
EC_t	-38.437	115.808	-0.106	-0.063	0.083	-0.030	1.000	
DEC_t	-1.522	135.067	0.027	-0.048	0.025	0.073	-0.592	1.000

설명변수들 중에서 $PRIDX_t$, C_t, NW_t 등의 상관관계(correlation)가 상당히 높은 것으로 나타나고 있는데, 이것이 설명변수들간에 다중공선성(multicollinearity) 문제를 야기할 수 있기 때문에 모든 설명변수에 대해 VIF(variation inflation factor)를 검토하였다. 그 결과는 모든 경우에 대해 판단기준치인 10 이하의 결과를 얻었다. 또한 시계열 자료의 분석에 있어서는 다중공선성 문제보다는 자기상관(autocorrelation) 문제가 더욱 중요하게 다루어지고 있는 점을 고려할 때 변수들간의 약간의 높은 상관계수 값은 별반 문제가 되지 않는다고 판단된다. 이상의 논의에 기초하여 수행한 회귀분석 결과는 다음의 <표 3>과 같다.

<표 3> FGLS 에 의한 회귀분석 결과

변수명	추정치	t-값
상 수	-0.029620	0.214
$PRIDX_t$	0.000157	0.910
C_t	-5.81E-05	-4.393 **
NW_t	3.75E-07	2.026 *
$EPRIDX_t$	-3.91E-06	-0.114
EC_t	-4.55E-05	-2.271 *
DEC_t	-1.30E-05	-1.322
$PDUM_t$	-2.416216	-2.416 *
AR(1)	0.973672	558.400 **
Log-likelihood	247.487	
$\overline{R}^2$	0.999	
DW	1.407	

주: * 및 ** 는 각각 95%, 99% 유의수준을 나타냄.

이제 위의 회귀분석 결과를 기초로 하여 앞에서 설정한 가설들을 차례로 검정하기로 한다. 먼저 [가설 1]에 관한 내용을 살펴보면 PC 수요측 요인에 해당하는 변수인 $PRIDX_t$ 와 NW_t 중에서 가처분소득의 대리변수인 $PRIDX_t$ 는 확산에 비유의적인 것으로 나타났다. 반면 네트워크 외부효과가 PC 의 확산에 미치는 효과를 검정하기 위한 NW_t 는 95% 신뢰수준하에서 유의적인 것으로 나타났다. 특히 가처분소득의 대리변수인 $PRIDX_t$ 가 상당히 높은 신뢰성을 가지고 비유의적으로 나타난 결과는 Zettelmeyer & Stoneman (1993) 의 확산모형들간의 비교실증분석에서 보여지고 있는 camcorder, CD-player, 그리고 자동차 등의 확산에 미치는 가처분소득의 유의성과 비교할 때 상당히 예외적인 결과로 받아들여질 수 있다. 이러한 대조적 결과에 대한 한 가지 설명으로는 camcorder, CD-player, 그리고 자동차 등은 사치재적 성격이 강한 반면 PC 는 정보화 사회의 필수재 내지 자본재적 성격이 강한 제품이라는 기술적 속성의 차이에서 기인하는 것으로 볼 수 있다. 결국 확산에 미치는 수요측 요인들에 관한 분석결과는 PC 의 수요자들은 PC를 구입하는 의사결정과정에서 소득보다는 PC 가 가지는 네트워크 효과와 같은 기술적 속성들에 의해 더욱 영향을 받았다는 것을 보여주고 있다.

[가설 2]에 관한 검정 결과는 C_t 의 계수값의 부호와 t-통계량을 통해 판단할 수 있다. 회귀분석결과는 선험적으로 규정했던 것과 같은 부(負)의 부호와 99% 신뢰수준하에서 유의적으로 나타났다. 이것은 신기술의 확산에 관한 기존의 대부분의 실증연구들이 공급측면의 확산에의 추동효과를 명시적으로 모형화하고 있지 않다는 점을 고려할 때 상당히 유의적인 결과라 할 수 있다. 또한 [가설 2] 안정적(robust)적으로 성립한다는 실증분석결과는 본 연구가 전제하고 있는 수요·공급의 균형확산모형의 실증적 근거를 제공할 수 있다고 하겠다.

[가설 3]의 기대(expectation)가 확산에 미치는 효과에 대해 살펴보면, 가처분소득의 대리

변수에 대한 기대($EPRIDX_t$)는 여전히 비유의적인 것으로 나타났다. 이는 [가설 1]의 검정에서 가처분소득의 비유의성을 고려할 때 당연한 귀결이라 하겠다. 반면 시간에 걸친 단위당 생산비용의 하락에 대한 기대(EC_t)는 95% 수준에서 유의적이며 부호는 (-)값을 가지는 것으로 나타났다. 이것은 잠재적 수요자들이 미래에 생산비용의 하락에 의한 PC 가격의 하락을 예상하는 경우 구입시점을 유보하게 된다는 재정거래조건을 실증적으로 뒷받침하는 결과로 볼 수 있다. 그러나 생산비용의 하락하는 속도에 대한 기대(DEC_t)는 부호는 두 모형에서 예상했던 것과 같은 결과를 나타냈지만 추정치의 유의성은 없는 것으로 나타났다.

다음으로 인터넷 및 WINDOWS 환경이 국내에 본격 도입된 시기에 대한 가변수($PDUM_t$)는 95% 신뢰수준에서 유의적인 것으로 나타났다. 이것은 PC 산업에서의 주목할 만한 구조적 변화가 이 기간 중에 있었음을 의미하는 결과로 볼 수 있다. 이 때 가변수의 부호가 부(負)의 값을 갖는 것은 이 기간 동안에 회귀식이 추정하고 있는 수준보다 실제확산속도가 빨랐음을 의미하며, 이것은 인터넷 환경의 급속한 변화, 펜티엄 PC 의 출현, GUI PC 환경의 보편화 등이 원인이 되었다고 볼 수 있다.

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 신기술의 확산현상을 분석하는 대부분의 이론들이 수요중심의 모형들이며 그 결과 실증분석도 주로 수요측 요인들을 중심으로 이루어졌다는 문제의식에 기초하여 수요·공급의 균형확산모형을 보다 일반적인 형태로 구축하였다. 또한 여기서 얻어진 이론모형을 실증모형으로 전환하여 1990년대 한국의 PC 산업에서의 확산현상을 분석하는 데 적용하였다. 분석 결과 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다. 첫째, PC 의 확산에 관한 실증분석결과에 따르면 PC 의 확산에는 PC의 잠재적 수요자들이 갖는 특성(rank effect)보다는 신기술 자체가 갖는 내재적 속성 및 신기술의 공급측 요인들이 더욱 중요한 설명요인이 되고 있음이 나타났다. 이러한 실증결과가 의미하는 바는 신기술의 확산에 관한 실증분석에서는 수요측 요인뿐만 아니라 공급측 요인, 예컨대 신기술의 기술적 특성, 비용구조, 공급자들의 시장구조 등도 동시에 고려되어야 한다는 것을 시사하고 있다고 하겠다. 둘째, Rosenberg (1976) 및 Ireland & Stoneman (1986) 등의 문헌에서 제시되고 있는 확산에 미치는 기대(expectation)의 효과는 본 실증분석에서는 제한적으로 유효한 것으로 검증되었다. 즉, 수요자가 공급측면의 생산비용 하락에 따른 신기술의 구입비용이 하락할 것이라는 기대는 현재의 신기술 구입의 사결정에 유효하게 작용하는 반면 수요자의 가처분소득이 증가할 것이라는 기대는 현재의 신기술의 구입의사결정에 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다. 셋째, 실증분석에서 공급측

요인들이 안정적(robust)으로 높은 수준의 유의성을 보여주고 있다는 사실은 본 연구의 전제가 되고 있는 확산에 대한 수요·공급의 균형확산 접근법이 수요 중심의 접근법보다 우월한 모형이 된다는 점을 지지하는 결과라 하겠다.

이와 함께 본 연구는 다음과 같은 정책적 시사점을 함의하고 있다. 첫째, 본 연구에서 구축한 신기술 확산모형으로부터 도출된 균형확산경로는 사회적으로 최적인 확산경로를 의미한다. 그러나 이러한 최적 확산경로는 신기술의 수요자 및 공급자가 신기술의 속성 및 상대방에 대한 완전한 정보를 보유하고 있는 상황 하에서만 얻어질 수 있게 된다. 따라서 경제 내에 발명이나 혁신을 통해 새로운 기술이 출현했을 때, 이 신기술이 사회후생적인 관점에서 최적의 속도로 확산되기 위해서는 수요자와 공급자 상호간에 신기술의 기술·경제적 속성 및 상대방의 경제적 행태에 관한 완전한 정보를 공유하는 데 기여할 수 있는 기술정책의 수립이 요청됨을 의미하게 된다. 둘째, 신기술 제품이나 공정의 특성에 따라 때로는 수요측 요인보다 공급측 요인이 확산과정에 보다 결정적인 역할을 하는 경우가 있는데, 국내 디지털 TV가 대표적인 예라 하겠다. 디지털 TV에 대한 잠재적 수요자수는 대단히 많지만, 높은 생산원가에 따른 유효수요 가격 이상의 시장가격 형성으로 디지털 TV의 확산이 지연되고 있는 것이 현실이다. 이러한 경우는 공급측에서 학습효과 등의 기술혁신이 가속되어 생산원가를 낮추고, 그에 따른 시장가격 하락이 발생하여 사회적 후생을 증대시키는 본격적인 확산이 이루어지게 된다는 것이다.

끝으로 본 연구는 다음과 같은 한계점을 가지고 있어 추후 보완적 연구가 필요하다고 하겠다. 먼저 기술확산모형과 관련해서는 실증분석상의 자료의 한계와 분석기법의 보다 높은 수준의 적용의 필요성을 언급해야 한다. 예컨대, PC의 공급측면의 가장 중요한 자료로 판단되어지는 CPU 가격의 시계열 자료를 활용하지 못했다는 자료상의 제약과 FGLS 분석기법 외에도 추정치들의 신뢰성 제고 측면에서 최우추정법(MLE)나 GMM (Generalized Moment Method) 등의 분석기법도 적용해 볼 필요성이 있다고 하겠다.

〈참고문헌〉

Bass, F. (1969), "A New Product Growth Model for Consumer Durables", *Management Science*, Vol. 15, pp. 215-227.

Beard, T.R., S. B. Caudill, and D. M. Gropper (1997), "The Diffusion of Production Processes in the U.S. banking industry: A Finite Mixture Approach", *Journal*

of Banking & Finance, Vol.21, pp. 721-740.

Bresnahan, T. and S. M. Greenstein (1996), "The Competitive Crash in Large-Scale Commercial Computing, Randau, R., Taylor, T., and Wright, G.(eds.), *The Mosaic of Economic Growth*, Stanford University Press.

Chow, G.C. (1967), "Technological Change and the Demand for Computers", *American Economic Review*, Vol. 57, pp. 1117-1130.

Dedrick, J. and K. L. Kraemer (1998), *Asia's Computer Challenge*, Oxford University Press.

Davies, S. (1979), *Diffusion of Process Innovations*, Cambridge University Press.

Gomulka, S. (1990), *The Theory of Technological Change and Economic Growth*, Routledge.

Glaister, S. (1974), "Advertising Policy and Returns to Scale in Markets Where Information is Passed Between Individuals", *Economica*, Vol. 41, pp. 139-56.

Greenstein, S. M. (1994), "Did computers diffuse quickly? Best and average practice in mainframe computers, 1968-1983", Working paper No. 4647, NBER.

Greenstein, S. M. and J. B. Wade (1998), "The Product Life Cycle in the Commercial Mainframe Computer Market, 1968-1982", *RAND Journal of Economics*, Vol. 29, No. 4, pp. 772-789.

Griliches, Z. (1957), "Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change", *Econometrica*, Vol. 25, pp. 501-522.

Hannan, T.H. and J. M. McDowell (1987), "Rival Precedence and Dynamics of Technology Adoption: An Empirical Analysis", *Economica*, Vol. 54, pp. 155-171.

Ireland, N. and P. Stoneman (1986), "Technological Diffusion, Expectations and Welfare", *Oxford Economic Papers*, Vol. 38, pp. 283-304.

Karshenas, M. and P. Stoneman (1992), "A Flexible Model of Technological Diffusion Incorporating Economic Factors with an Application to the Spread of Color TV Ownership in the UK", *Journal of forecasting*, Vol. 11, pp. 577-601.

Karshenas, M. and P. Stoneman (1993), "Rank, Stock, Order, and Epidemic Effects in the Diffusion of New Process Technologies: an Empirical Model", *RAND Journal of Economics*, Vol. 24, pp. 503-528.

Katz, N.M and C. Shapiro (1986), " Technology Adoption in the Presence of Network Externalities", *Journal of Political Economy*, Vol. 4, pp. 823-841.

Mahajan, V., and E. Muller (1996), " Timing Diffusion and Substitution of Successive

Generations of Technological Innovations: The IBM Mainframe Case", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 49, pp. 281-295.

Mansfield, E. (1961), "Technological Change and the Rate of Imitation", *Econometrica,* Vol. 29, pp. 741-766.

Metcalfe, J.S. (1988), "The Diffusion of Innovation: an Interpretive Survey", Dosi, G. et al. (eds.), *Technological Change and Economic Theory*, London, Pinter, No.6, pp. 560-589.

Nelson, R.R. and S. G. Winter (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge, MA, Harvard University Press.

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

Qirmbach, H.C. (1986), "The Diffusion of New Technology and the Market of an Innovation", *RAND Journal of Economics,* Vol. 17, pp. 33-47.

Reiganum, J.F. (1981), "Market Structure and Diffusion of New Technology", *Bell Journal of Economics,* Vol. 12, pp. 618-624.

Reiganum, J.F. (1989), "The Timing of Innovation: Research, Development and Diffusion, Schmalensee, R. and Willig, R. (eds.), *Handbook of Industrial Organization.*

Rose, N.L. and P. L. Joskow (1990), "The Diffusion of Technologies: Evidence from the Electric Utility Industry", *RAND Journal of Economics,* Vol. 21, pp. 354-373.

Rosenberg, N. (1976), "On Technological Expectations", *Economic Journal*, Vol. 86, pp. 523-535.

Schumpeter, J.S. (1934), *The Theory of Economic Development*, Harvard University Press.

Stoneman, P. (1983), *The Economic Analysis of Technological Change*, Oxford University Press.

Stoneman, P. (eds.) (1995), *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*, Blackwell.

Stoneman, P. and M. J. Kwon (1996), "Technology Adoption and Firm Profitability", *Economic Journal*, Vol. 106, pp. 952-962.

Vettas, N. (1998), "Demand and Supply in New Markets: Diffusion with Bilateral Learning", *RAND Journal of Economics,* Vol. 29, pp. 215-233.

Zettelmeyer, F. and P. Stoneman (1993), "Testing Alternative Models of New Product Diffusion", *Economics of Innovation and New Technology*, Vol. 2, pp. 283-308.

〈부 록〉

부록 A

식 (4)의 재정거래 조건식에서 corner solution인 경우를 무시하면 식 (4)는 다음과 같이 표현된다.

$$y(t) \equiv \frac{d[B(t)\exp(-rt)]}{dt} = 0 \quad \cdots\cdots (A.1)$$

단, $B(t) = -P(t) + G(t)$, $G(t) = \int_t^{\infty} g(x(t), N(\tau); \Omega)\exp[-r(\tau - t)]\,d\tau$.

위의 식 (A.1)을 전개하면 아래와 같다.

$$y(t) = [-\frac{dP(t)}{dt} + \frac{dG(t)}{dt} + rP(t) + -rG(t)]\exp(-rt) = 0 \quad \cdots\cdots (A.2)$$

식 (A.2)에서 $\frac{dG(t)}{dt}$ 만을 분리해 내고, 식 (A.1)의 $G(t)$ 함수를 대입하여 표현하면 다음 식이 된다.

$$\frac{dG(t)}{dt} = \frac{d}{dt}\int_t^{\infty} g(x(t), N(\tau); \Omega)\exp[-r(\tau - t)]\,d\tau \quad \cdots\cdots (A.3)$$

이제 Leibniz 공식을 이용하여 식 (A.3)을 전개하면 다음과 같다.

$$\frac{dG(t)}{dt} = -g(x(t), N(t); \Omega) + \int_t^{\infty} g_x(x(t), N(\tau); \Omega)\frac{dx(t)}{dt}\exp[-r(\tau - t)]\,d\tau + r\int_t^{\infty} g(x(t), N(\tau); \Omega)\exp[-r(\tau - t)]\,d\tau \quad \cdots\cdots (A.4)$$

이제 위의 식 (A.4)를 식 (A.2)에 대입하여 정리하면 아래의 결과가 얻어진다.

$$y_i(t) = rP(t) - p(t) + \int_t^{\infty} g_x[x(t), N(\tau); \Omega]\, \dot{x}(t) \exp(-r(\tau - t))\, d\tau \quad \cdots\cdots (A.5)$$
$$- g(x(t), N(t); \Omega) = 0 .$$

단 $p(t) \equiv \frac{dP(t)}{dt}$, $\dot{x}(t) \equiv \frac{dx(t)}{dt}$.

Q.E.D

부록 B

본문의 식 (7)을 $0 \leq t \leq \bar{t}$ 구간에 대해 적분하면 다음식이 된다.

$$E\Pi_i = \int_0^{\bar{t}} [P_t - C_t]\, q(t) \exp(-rt)\, dt . \quad \cdots\cdots (B.1)$$

단, $q_t = \frac{d}{dt}(x_t - z_t)$.

위의 식 (B.1)은 피적분함수가 곱의 형태로 되어 있기 때문에 다음의 부분적분 공식, $\int u\, dv = uv - \int v\, du$ 이용하여 식 (B.1)을 표현하면 다음과 같다. 이 때 $u = (P_t - C_t)\exp(-rt)$, $v = q_t$라 놓고 식을 전개한다.

$$E\Pi_i = [(P_t - C_t)(x - z)\exp(-rt)]_o^{\bar{t}} - \int_0^{\bar{t}} (x - z)\, \frac{d}{dt}[(P_t - C_t)\exp(-rt)] \quad \cdots\cdots (B.2)$$

이제 위의 식 (B.2)를 적분과 미분을 이용하여 정리하면 아래의 식 (B.3)의 결과를 얻게 된다(시간 기호 t 생략).

$$E\Pi_i = [P_{\bar{t}} - C_{\bar{t}}](\bar{x} - \bar{z})\exp(-r\bar{t})$$
$$+ \int_0^{\bar{t}} (-p_t + rP_t + c_t - rC_t)(x - z)\exp(-rt)\, dt \quad \cdots\cdots (B.3)$$

단 $p = \frac{dP_t}{dt}$, $c = \frac{dC_t}{dt}$.

Q.E.D

부록 C

기업 i 의 기대이윤 극대화 문제인 식 (10) 과 식 (11) 의 Hamilton 함수를 다시 표현하면 아래와 같다.

$$Max\ E\Pi_i = K(\bar{x}, \bar{t}) + \int_0^{\bar{t}} (-p + rP + c - rC)(x - z)\exp(-rt)\,dt,$$

$$\text{s. t. } \frac{dx}{dt} = Q = q + (n-1)\bar{q} \quad \cdots\cdots (C.1)$$

$$H = [g(\cdot) - \frac{g_x(\cdot)Q}{r} + c - rC](x - z)\exp(-rt) + \lambda Q. \quad \cdots\cdots (C.2)$$

이제 위의 식 (C.2) 의 Hamilton 함수를 이용하여 식 (C.1) 로 표현된 기업 i 의 기대이윤을 극대화하는 1 차 필요조건들을 구하면 다음과 같다.

$$H_x = -\frac{d}{dt}\lambda \quad \text{(multiplier condition)} \quad \cdots\cdots (C.3)$$

$$H_q = 0 \quad \text{(optimality condition)} \quad \cdots\cdots (C.4)$$

$$\lambda(\bar{t}) = K_x(\bar{x}, \bar{t}) \quad \text{(transversality condition)} \quad \cdots\cdots (C.5)$$

먼저 균형확산경로를 얻기 위해 식 (C.3) 과 식 (C.4) 를 연립하여 풀면 다음과 같다.

$$H_x = [g_x(\cdot)\frac{x}{n} - \frac{g_{xx}(\cdot)}{r}\frac{x}{n}Q + g(\cdot) - \frac{g_x(\cdot)}{r}Q + c - rC]\exp(-rt) = \frac{-d\lambda}{dt} \quad \cdots\cdots (C.6)$$

$$H_q = -\frac{g_x(\cdot)}{r}\frac{x}{n}\exp(-rt) + \lambda = 0. \quad \cdots\cdots (C.7)$$

위의 식 (C.7)을 시간에 대해 미분하고 $-\frac{d\lambda}{dt}$ 에 대해 정리하면 아래와 같다.

$$-\frac{d\lambda}{dt} = -\frac{g_{xx}(\cdot)}{r}\frac{x}{n}Q - \frac{g_x(\cdot)}{r}\frac{1}{n}Q + g_x(\cdot)\frac{x}{n}. \quad \cdots\cdots (C.8)$$

이제 식 (C.8)을 식 (C.5)에 대입하여 정리하면 다음의 균형확산경로를 얻게 된다.

$$g[x(t), N(t); \Omega] = rC(t) - c(t) + \frac{n-1}{n}\frac{g_x[x(t), N(t); \Omega]}{r}Q. \quad \cdots\cdots (C.9)$$

다음으로 확산 포화시점인 $\bar{t}$에서의 확산량 $\bar{x}$는 식 (C.4)와 식 (C.5)의 조건으로부터 얻어진다. 식 (C.4)는 $\bar{t}$에서도 만족되어야 하므로 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$\lambda(\bar{t}) = \frac{g_{\bar{x}}(\cdot)}{r}\frac{\bar{x}}{n}\exp(-r\bar{t}). \quad \cdots\cdots (C.10)$$

한편 식 (C.5)의 우변의 값을 전개하면 다음과 같다.

$$K_x(\bar{x}, \bar{t}) = [\frac{g_{\bar{x}}(\cdot)}{r}\frac{\bar{x}}{n} + \frac{g(\bar{x})}{r} - C(\bar{t})]\exp(-r\bar{t}). \quad \cdots\cdots (C.11)$$

이제 우리는 식 (C.10)과 식 (C.11)을 연립하여 풀면 아래와 같은 확산 포화점을 구할 수 있다.

$$g[\bar{x}(\bar{t}), N(\bar{t}); \Omega] = rC(\bar{t}) \quad \cdots\cdots (C.12)$$

Q.E.D