

변형된 다세대 Lotka-Volterra 모형을 적용한 IMT-2000 가입자 수요예측

김윤배¹ · 김재범¹ · 이희상²

¹성균관대학교 시스템경영공학부 / ²한국의국어대학교 산업정보시스템공학부

Forecasting of IMT-2000 Market Size using Modified Multi-generation Lotka-Volterra Model

Yun-Bae Kim¹ · Jae-Beom Kim¹ · Hee-Sang Lee²

In this study, we suggest a multi-generation Lotka-Volterra model, which is a competition model using game theory and complex system theory. The suggested model shows many improvements to weakness of a well known Bass model to forecast new technology in competitive markets. We show that the Lotka-Volterra model has strong power to forecast mobile communication services when it is used for competition of 1st generation mobile phone service and 2nd generation phone service in Korea. We finally use the model to forecast IMT-2000 service, the 3rd generation mobile communication service.

1. 서론

1997년도부터 신규사업자에 의한 이동통신서비스가 본격적으로 제공되고, 요금인하, 다양한 부가서비스의 제공, 고객에 대한 홍보강화 등 이용자의 편리성이 증대되면서 1999년 8월말 이동전화 가입자 수가 2000만을 돌파하는 등 국내의 이동통신 시장이 급격하게 성장했다. 또한, 유사한 다수의 음성, 데이터 관련 서비스가 제공되면서 서비스간의 경쟁도 치열해지는 것이 현 이동통신시장의 현황이다. 이런 활발한 통신시장의 경쟁과 성장은 제3세대 이동통신이라 불리는 IMT-2000 (International Mobile Telecommunication-2000) 서비스가 제공되면 더 치열해지고 확대될 것으로 예상된다. IMT-2000 서비스는 최초로 일본에서 2001년에 전개될 것으로 예정되어 있으며, 2003년 중·후반에 이르러서는 서유럽에서도 개시될 것으로 전망되고 있다. 현재 국내에서는 2002년 상용화를 목표로 사업자 선정 등 준비를 하고 있다. IMT-2000 서비스를 구현하게 되면 어느 지역에서든지 가입자들에게 단절 없는 서비스를 제공할 수 있고, 384Kbps의 광대역뿐만 아니라 비디오 및 오디오 스트리밍과 무선 장비를 이용한 인터넷 액세스도 가능할 것으로 기대되고 있다. 한편, IMT-2000 사업자가 기존의 1세대(아날로그 휴대전화), 2세대 이동전화(CDMA 휴대전화 및 PCS) 서비스를

제공하던 사업자인지의 여부, IMT-2000 서비스 주파수가 이미 사용되고 있는지의 여부 등이 IMT-2000 서비스의 전세계적 전개에 큰 영향을 미칠 것으로 분석되고 있다. 이에 따라 최근 국내의 통신 사업자들의 무선통신서비스 관련 투자수요에 대한 변화가 이어지고 있다.

IMT-2000의 시장규모 예측은 향후 이동통신시장을 분석하는데 중요한 자료가 되며, 사업자의 입장에서는 경제적인 설비투자를 위하여 망 설비계획 수립에 서비스별 수요를 예측, 반영할 수 있다는 점에서 매우 중요하다. 본 연구에서는 IMT-2000 수요 예측을 위한 기존의 방법론의 한계를 간단히 논하고 이를 극복하기 위해 진화 게임적인 관점과 복잡성 시스템의 관점을 고려한 방법론을 제시한다.

2. 연구 방법 모형

2.1 진화게임 이론

1970년대 중반 이후 경제학 여러 분야에서 진화게임이론의 광범위한 응용이 이루어져 왔다. 진화게임 모형의 관점에서는 어느 게임 참여자의 관점에서 볼 때나 그의 전략선택이 다른 참여자들의 전략에 대한 최선의 대응일 때 채택과정이 이루어

진다. 이런 분석방법은 산업조직론, 거시경제학, 국제경제학, 제정학 등 경제학의 거의 모든 분야에 적용되기에 이르게 되어 가히 '경제학에서의 게임이론 혁명'이라고 불릴만한 유행을 불러왔다. 최근에는 경제 시스템을 모형화하는 데 있어서 복잡성 시스템으로서의 경제 시스템을 분석하는 진화게임이론도 등장하고 있다. 시장 경제를 이런 관점에서 모형화한 것으로 진화학자 카우프만 등이 진화론의 적자 생존이 어떻게 일어나는가를 연구하기 위해 개발한 복잡성 모델을 시장 경제의 모형화에 사용한 NKC 모델(Darley, 1996) 등이 있다(이재호, 1997). 카우프만에 의하면 생물학적 진화이건 기술상의 진화이건 실제진화는 공진화(co-evolution)의 역사이다. 이때 공진화란 각 구성체의 적응적 행동이 생태계나 기술시장 및 경제를 구성하는 또 다른 이웃 구성체들의 구조를 바꿔버리는 상호 연결된 변형적 구조의 과정이라 할 수 있다. 이런 가정을 갖는 NKC 모델에서 N은 생물의 유전인자 수를 나타내며, K는 유전인자의 상호 작용 정도를, 그리고 C는 다른 종들간에 상호작용의 정도를 나타낸다. 이때 N을 경영, 경제의 생산요소의 수, K는 생산요소를 통한 시장 내부의 효과, 그리고 C를 경쟁 요소 사이의 상호 영향이라고 보게 되면 NKC 모델은 곧, 기술진화의 탐색공간에 적용될 수 있는 것이다.

이 NKC 모델의 관점을 고려할 때, 기술개발이 중요한 산업에서 기술개발 경쟁은 선두다툼의 문제가 아니라 생사의 문제로 바뀔 수 있다. 산업 주체들이 제각기 기술 경쟁에 가세하면 파괴성을 가진 해답이 나올 확률은 증가한다. 이를 성난 레드퀸(Angry Red Queen)의 세계라 부른다. 레드 퀸의 세계에서는 종래의 예측 모형인 Bass 확산모형에서 가정한 것과 같은 일관적인 개인의 선택이나 합리적인 선택이 어렵다. 따라서 경쟁은 비합리적 출혈경쟁으로 발전할 수도 있고, 종래의 합리적 선택의 논리적 근거는 기술혁신 앞에서 여지없이 무너져버린다고 판단한다(이재호, 1997). 이런 경쟁관계에 있는 성난 레드퀸 원칙을 가장 잘 반영하면서, 수학적 모형으로 비교적 쉽게 나타낸 것으로 Lotka-Volterra 경쟁 모형(baub, 1996; Dieckmann, 1995; Lotka, 1925)이 있다. Lotka-Volterra 경쟁 모형은 집단 게임 모형의 하나의 형태로서, 레드 퀸의 원칙을 정확하게 반영하며, 상기한 복잡성 시스템으로서의 경제에서 각 경제효과(이웃 사람 효과, 수확체증 등)들을 비교적 명확히 표현하고 있어서 사용가치가 높은 모형으로 평가되고 있다.

Lotka-Volterra 모형은 외부 경쟁 요소가 없는 경우에는 로지스틱 함수 형태를 띄며, 이에 기초한 게임이론과 경제학의 복잡한 동역학에 대한 연구(Berhabib, 1992; Day, 1994; Tanny, 1988)가 진행되어 온 바 있다. 예측 분야에 대한 직접적인 적용 연구로서는 Baum과 Korn(1996)이 경쟁 회사들의 성장형태에 Lotka-Volterra 모형을 적용하여 의미 있는 결과를 제시하였고, 최근에는 Hidenori(1998)가 Lotka-Volterra 모형을 통해 다수 상품의 소비자 수요의 예측 모형을 설정하여 분석하는 등 그 응용 분야가 넓어지고 있다.

2.2 IMT-2000 수요예측을 위한 기존의 모형

통신시장의 고객의 구매 변천 과정을 분석하는 데 있어서, 일반적으로 흔히 사용했던 것이 확산이론에 의한 Bass 확산모형(bass, 1969)이다. Bass 확산모형에서는 통신시장의 고객들을 혁신자(innovator)라는 다른 고객의 구매여부와 관계없는 혁신적 구매를 하는 고객과 모방자(imitator)라는 혁신자와는 달리 이전에 제품을 구매한 고객들에 의해 영향을 받는 고객들로 분리하여, 각 고객들의 행동의 정도를 구입을 결정하는 요소로 본다. Bass 모형에 대해 간단히 살펴보면 다음과 같다.

$$P(T) = p + (q/m)Y(T) \quad (1)$$

- T: 개별 고객이 신상품을 구입하는 시점
- m: 잠재시장의 규모
- p: 혁신계수
- q: 모방계수

위 모형에서 p는 T=0 시점의 구매확률을 가리키며, 시장에서 혁신자의 중요성을 반영한다. P(T)는 시점 T까지 제품을 구매하지 않은 고객이 시점 T에 제품을 구매할 확률을, Y(T)는 시점 T까지 제품을 구매한 고객 수를 의미하며, (q/m)Y(T)는 시점 T까지 제품을 구매한 고객수가 모방자의 구매결정에 주는 영향력을 반영한다.

이때 시점 t에서의 구매자 수를 S(t)라고 하면, 구매자 수는 잠재시장의 규모에 시점 t까지 상품을 구매할 확률의 곱으로 다음과 같이 나타낼 수 있게 된다.

$$S(t) = m \times F(t), \quad t \geq 0 \quad (2)$$

이런 Bass 모형을 기저로 하여 기존의 IMT-2000 수요예측 연구에서는 통신시장의 각 서비스의 발달 단계에 따라 세대를 분류, 1세대는 아날로그 휴대전화, 2세대는 PCS 및 CDMA 휴대전화, 3세대는 IMT-2000 서비스로 설정했고, 이런 가정 하에 IMT-2000 수요예측을 위해 다음과 같은 변형된 다세대 Bass 모형을 적용, 분석하였다.

$$S_1(t) = m_1 F_1(\min[t, \tau_2]) - m_1 F_1(\tau_2) F_{1-2}(t - \tau_2) \quad (3)$$

$$S_2(t) = [m_1 F_1(\tau_2) F_{1-2}(t - \tau_2) + m_2 F_2(t - \tau_2)] [1 - F_3(t - \tau_3)] \quad (4)$$

$$S_3(t) = [m_1 F_1(\tau_2) F_{1-2}(t - \tau_2) + m_2 F_2(t - \tau_2) + m_3 F_3(t - \tau_3)] \quad (5)$$

- S_i(t) : 시점 t까지 i세대의 가입자 수
- F_i(t) : 시점 t까지 i세대의 분포함수
- τ_i : i세대가 시장에 진입하는 시점
- F₁₋₂(t) : 시점 t까지 확산과정이 중단된 1세대 가입자가 2세대로 대체하는 분포함수

$$\begin{aligned}
 F_i(t - \tau_i) &= 0 & (t < \tau_i) \\
 F_{1-2}(t) &= \frac{[1 - e^{-(b_{1-2} + a_{1-2})t}]}{1 + \left(\frac{a_{1-2}}{b_{1-2}}\right)e^{-(b_{1-2} + a_{1-2})t}} & (6) \\
 F_{1-2}(t - \tau_2) &= 0 & (t < \tau_2)
 \end{aligned}$$

위 모형은 각 세대의 가입자 증가 형태를 어느 정도 잘 반영한다. 그러나 기본적 Bass 함수 형태가 갖는 한계점과 1세대가 2세대로 대체되는 과정을 식 (6)과 같은 점근적인(asymptotic) 함수로 유추함으로써 생길 수 있는 문제점 등을 갖고 있어서 적절한 대안이 요구된다. 다음절에서 위 모형의 문제점을 제시한다.

2.3 기존 수요예측 모형의 문제점

2.3.1 초기값의 오차

일반 Bass 모형에서, 혁신계수의 고정적인 상수값으로 인한 문제점은 계속 논란이 되어 왔다(Rogers, 1983). 이 문제점은 Bass 확산모형의 모수 추정 단계에서 이루어질 가능성이 크다. 예를 들어 혁신 계수가 상수의 값으로 전체 모형에서 고정적인 비중을 차지할 때, 모방계수가 작은 수치로 산정되는 경우가 발생할 수 있으며, 이로써 초기 구매 단계에 있어서 실제보다 비가입자와의 접촉이 적게 이루어지게 되는 결과를 초래하여, 초기 수요자 추정 값의 오차를 크게 하는 요인이 될 소지가 있다. IMT-2000 수요에 대한 기존 예측모형(서신영, 1998)에서도 이런 문제점이 발생한다.

<그림 1>은 기존 예측 모형(서신영, 1998)을 통해 추정한 1세대 가입자 수와 실제 자료와의 비교이다. <그림 1>에서 보듯이 초기 상대오차가 커서 전체적인 정확도의 측면에서 이 모형은 그 설명력을 보장할 수 없는 문제점이 있음을 알 수 있다.

2.3.2 1세대의 소멸 지연

기존 다세대 Bass 확산모형에서는, 1세대의 확산과정이 2세대의 시장 진입시점 이후에 외부적인 요인에 의하여 1세대의

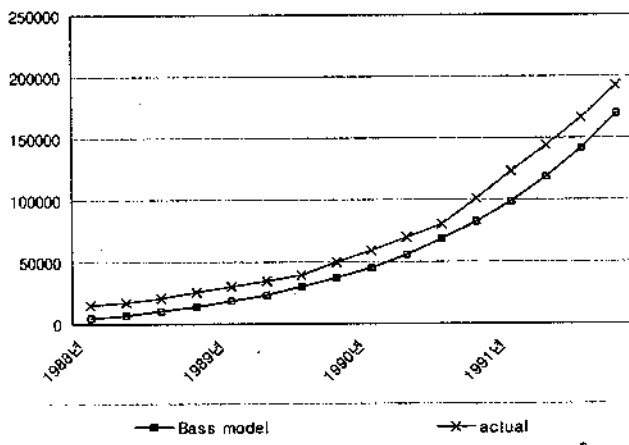


그림 1. 초기 실제값과 기존 수요 예측모형 추정값 비교.

가입자가 더 이상 증가하지 않고 2세대로 대체된다. 이것은 식 (6)으로 표현된다. 기존 연구에서 이 점근적인 대체 함수 모형은 Bass 일반 확산 함수의 형태를 따르도록 하여서, S 자형 곡선의 특성대로 시간에 따라 그 감소되는 형태가 완만해질 가능성이 커지며, 1세대 가입자가 완전히 소멸하기까지는 실제의 경우보다 지연되는 결과를 발생하게 한다.

2.3.3 다양한 시장환경에 적용하기 어려움

Bass 확산이론을 통한 예측 모형에서는 2세대가 3세대로 대체되어갈 것이라는 가정을 통해 모형을 설정함으로써, 2세대와 3세대간 경쟁이 존재할 때(2세대의 서비스가 3세대의 서비스와 같은 영역에서 동일한 품질로 경쟁을 할 수 있는 여건을 가질 수도 있다고 가정할 때)의 가능성은 무시하였다. 그러나 IMT-2000 서비스의 경우 2세대인 기존의 이동 전화의 IS-95B, IS-95C 등의 강화된 데이터서비스를 통해 상당 기간 같은 영역에서 경쟁을 할 수 있는 여건을 가질 전망이다. 결국 다양한 시장 상황이 예상되어질 때, 이 변형된 다세대 확산모형에 대해 더 세밀한 수정, 또는 다른 모형으로의 대체가 요구된다.

3. IMT-2000 수요예측을 위한 Lotka-Volterra 모형의 적용

이러한 기존 예측모형의 문제점 해결 방안으로서, 각 진입시점에서 다양한 시스템 모델이 작용한다는 가정이 요구되며, 기존 모형에서는 간과했던 각 세대가 다른 세대에게 미치는 영향요소를 고려해야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 실제적 적용(1세대의 패턴 추정의 정확성)에서, 그리고 이론적 관점에서(세대의 본질적인 특성(성장률, 포화치, 상호 영향 강도) 등을 통해 동적이고 복잡한 결과를 내포함) 상당히 설득력이 있다고 평가되는 Lotka-Volterra 경쟁 모형(Lotka, 1925)을 도입하기로 한다.

3.1 Lotka-Volterra 경쟁 모형

각 세대의 상호 관계에 의한 증감과 같은 어떤 조직체 규모의 동적인 움직임을 나타내는 데 있어서 최근 많이 사용하고 있는 모형인 Lotka-Volterra 경쟁 모형은 이종 개체간의 내부, 외부 영향에 따른 상태 변화를 나타냄으로써 기존의 확산모형의 개인의 행태뿐만 아니라 집단 전체의 행동 패턴에 대한 영향을 내포하고 있다는 장점을 갖는다. 다음은 일반적인 이종간 경쟁에 있어서 기본적 형태의 Lotka-Volterra 방정식을 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned}
 \frac{N_i(t)}{dt} &= N_i(t) [r_i + a_{ii}N_i(t) + a_{ij}N_j(t)] \\
 \frac{N_j(t)}{dt} &= N_j(t) [r_j + a_{jj}N_j(t) + a_{ji}N_i(t)]
 \end{aligned} \tag{7}$$

위 모형은 동일 시점의 i 라는 집단과 j 라는 집단의 성장 단계에서 서로의 영향을 주고받는 관계를 표현한 것으로서, 각 집단의 개인이 양쪽 집단 사이에 임의의 이동이 있을 수 있음을 가정한다. 여기서 $N_i(t)$, $N_j(t)$ 는 t 시점의 각각의 집단의 수에 대한 누적 값을, r_i , r_j 는 각 집단의 상대적 성장률을 가리키는 성장 계수를 가리킨다. 또한, a_{ii} , a_{ij} 는 집단의 내부적인 작용, 즉 예를 들면, 어떤 주거지의 인구가 많아지게 되면 더 이상의 이주자를 받을 수가 없게 되어 그 특정 주거지의 자체 내부에서 사람 수를 줄이려고 하는 효과와 유사한 의미를 갖으며, a_{ij} , a_{ji} 는 j 집단이 i 집단에 대해, i 집단이 j 집단에 대해, 즉 다른 외부집단이 한 집단의 성장에 미치는 영향을 나타내고 있다(이재호, 1997).

3.2 Lotka-Volterra 모형의 IMT-2000 수요예측에 적용

각 세대의 진입시점에서 시스템의 동적 변화를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{N_1(t)}{dt} &= r_1(t)N_1(t)\left(1 - \frac{N_1(t)}{m_1(t)}\right) \\ &\quad + a_{12}N_2(t-\tau_2)N_1(t) \\ \frac{N_2(t)}{dt} &= r_2(t)N_2(t-\tau_2)\left(1 - \frac{N_2(t-\tau_2)}{m_2}\right) \\ &\quad + a_{21}N_1(t)N_2(t-\tau_2) + a_{23}N_3(t-\tau_3)N_2(t-\tau_2) \\ \frac{N_3(t)}{dt} &= r_3(t)N_3(t-\tau_3)\left(1 - \frac{N_3(t-\tau_3)}{m_3}\right) \\ &\quad + a_{23}N_2(t-\tau_2)N_3(t-\tau_3) \end{aligned} \quad (8)$$

- a_{ii} : i 종의 내부 효과
- a_{ij} : j 종에 의한 i 종이 받는 효과
- $N_i(t-\tau_i) = 0 \quad (t < \tau_i)$
- $m_i(t) = m_i \quad (t < \tau_i)$
 $= N_i(\tau_i) \quad (t > \tau_i)$
- $r_i(t) = r_i \quad (t < \tau_{i+1})$
 $= r_i - d_i \quad (t > \tau_{i+1})$

위 모형에서 a_{ij} 는 각 세대별 동적 관계를 재현하기 위한 상호작용 강도(interaction strength)의 계수를 의미한다. 본 논문에서는 위 모형을 '변형된 다세대 Lotka-Volterra(L-V) 모형'이라고 명명하며, IMT-2000 전체 시장규모 예측에 적용하기로 한다. 위 모형의 적용 타당성은 변형된 다세대 확산모형과 관련하여 정확성의 측면에서 비교하면 상대적으로 전체 시스템에 대한 설명력이 우수하다는 것과 1세대의 소멸의 지연 문제가 해결된다는 데 있다. 다음 <그림 2>는 이동통신 1세대와 2세대간에 대체과정에 있어서 위 모형을 통해 각 세대의 가입

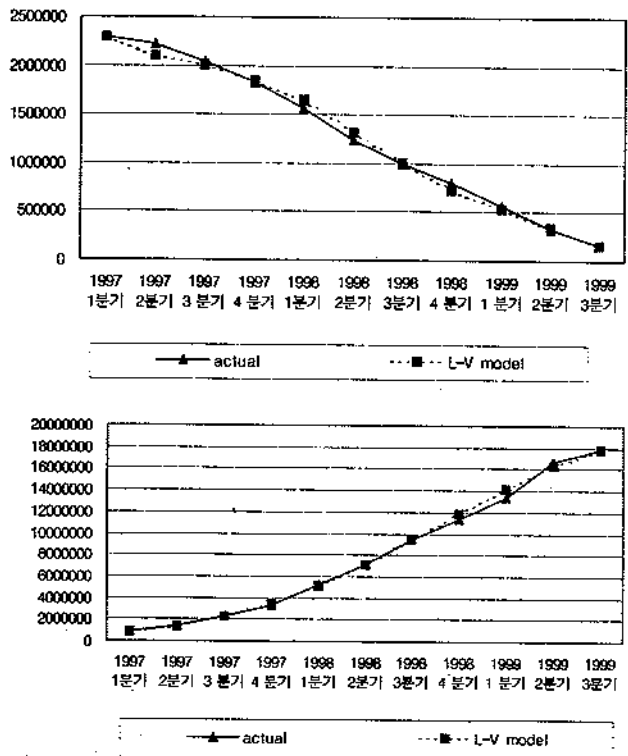


그림 2. 2세대 진입시점 후 1세대(상), 2세대(하)의 이동통신 가입수 비교.

표 1. 2세대의 진입시점 후 각 세대의 L-V 모형의 결정계수

시스템 모형	R^2
1세대 가입 모형	0.943047
2세대 가입 모형	0.907184

자 수를 추정하고 이를 실제 관찰된 결과와 비교한 것이다. <그림 2>에서 보듯이 본 연구의 모형은 실제 값을 어느 정도 정확히 유추했다고 할 수 있다.

3.3 IMT-2000 가입자 수요예측

본 논문에서 3세대 IMT-2000 가입자 수요예측을 위해서 2세대와 3세대와의 성장관계가 1세대와 2세대간의 성장 관계, 즉 1세대가 2세대의 성장에 의해 그 가입자 수가 줄어드는 방식으로 전개될 것이며, 3세대 IMT-2000 서비스의 가입자 성장은 1세대의 성장처럼, 초기비용에 있어서의 단말기의 고비용화 등과 같은 사항을 통해 초기에는 그 성장률이 크지 않다가 점차적으로 커지게 될 것으로 가정하고 모형의 모수를 결정하였다. 다음은 이런 가정과 1세대 2세대간의 성장 영향요소 모수를 적용하여 도출해낸 2세대 3세대간의 성장관계이다.

4. 결론

기존의 연구에서 IMT-2000 시장규모를 예측하기 위해 Bass 확

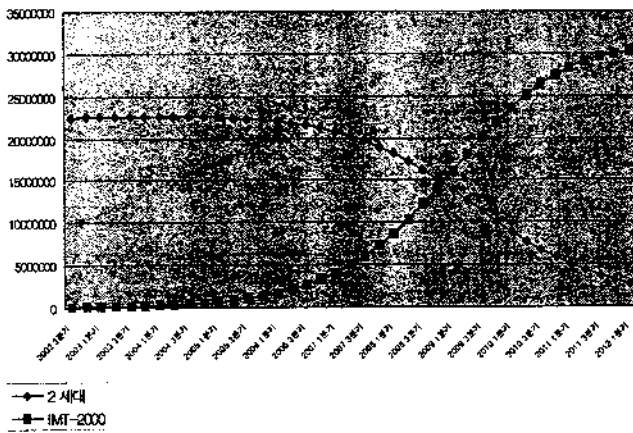


그림 3. 2세대 이동통신 가입자와 IMT-2000 가입자 수요추세.

산모형의 변형된 형태인 다세대 대체 및 확산모형을 이용하였다. 그러나, 변형된 다세대 대체 및 확산모형은 다양한 상황(2세대와 3세대간의 경쟁)을 전체로 한 이동통신시장에 적용하기에는 너무 단순하다고 판단된다. 따라서 본 연구는 진입시점에 따른 동적인 변화를 포함하고 통신시장의 기술경쟁에 따른 복잡성을 반영한 변형된 다세대 Lotka-Volterra 모형을 제시하고 이를 IMT-2000 가입자 수요예측에 적용하였다. 제안된 모형은 세대별로 구분되는 제품이나 서비스가 중단된 경우에 적용 가능한 모형으로, 한국의 이동통신시장에서 2세대 이동통신인 CDMA 휴대전화와 PCS의 시장 확산추세와 1세대 이동통신인 아날로그 휴대전화의 가입 감소추세의 경우에도 비교적 잘 적용되었다.

향후 연구과제로서, 제시된 모형에서 각 연령별 가입자 수

의 증가 형태와 지역별 증가 형태 등의 공간적 요인을 고려하여 3차원적인 예측을 시도하는 연구가 진행되어야 한다.

참고문헌

서신영 (1998), 변형된 다세대 확산모형을 적용한 IMT-2000 가입자 수요예측, *성균관대학교 석사논문*
 이제호 (1997), 진화론적 관점과 복잡성 과학, 삼성경제 연구소.
 Bass, F. M. (1969), A new product growth model for consumer durables, *Management Science*, 15, 215-227.
 Baum, A. C. and Korn, H. J. (1996), Competitive dynamics of inter-firm rivalry, *Academy of Marketing Journal*, 255.
 Benhabib eds. (1992), *Cycles and Chaos in Economic Equilibrium*, Princeton University Press, Princeton.
 Darley, V. M. and Kauffman, S. (1996), *Natural Nationality*, Santa Fe Institute Publication.
 Day, R. H. (1994), *Cycles Economic Dynamics: an Introduction to Dynamical Systems and Market Mechanisms*, M.I.T Press, Cambridge.
 Dieckmann, U. Marrow, and P. Law, R. (1995), Evolutionary cycling in predator-prey interactions: population dynamics and the red queen, *Journal of Theoretical Biology*, 176, 91-102.
 Hidenori, N. (1998), Prediction of demand of consumer goods by Lotka-Volterra model, *Transaction of IEE Japan*, 118-C(6).
 Lotka, A. J. (1925), *Elements of Physical Biology*. Williams and Wilkins, Baltimore.
 Rogers, E. M. (1983), *Diffusion of Innovations*, 3rd edition, The Free Press, New York.
 Tanny, S. M. and Dezko, N. A. (1988), Innovators and imitators in innovation diffusion modeling, *Journal of Forecasting*, 7(4), 225-234.
 Van Huyck, John B., Joseph P. C. and Raymond C. B. (1994), Select dynamics, asymptotic stability, and adaptive behavior, *Journal of Political Economy*, 102, 907-1005.



김윤배
 성균관대학교 산업공학과 학사
 University of Florida 석사
 Rensselaer Polytechnic Institute Ph.D.
 현재: 성균관대학교 시스템경영공학부 부교수
 관심분야: Simulation Methodology, Internet Traffic Analysis, Telecom Network Performance Analysis



이희상
 서울대학교 산업공학과 학사
 서울대학교 산업공학과 석사
 Georgia Institute of Technology Ph.D.
 현재: 한국외국어대학교 산업공학과 부교수
 관심분야: 정수계획법, 통신 네트워크 설계 및 계획



김재범
 성균관대학교 산업공학과 학사
 성균관대학교 산업공학과 석사
 현재: 성균관대학교 시스템경영공학부에 박사과정
 관심분야: Simulation Methodology, Chaos Theory, 신상품 수요예측