

확산모형 (Diffusion Model) 을 이용한 새로운 서비스 수요예측 (Demand Forecasting for New Service using the Diffusion Model)

김 경 택*
박 세 권*

Abstract

When the historical data are available, the diffusion model, which describes the time pattern of the adoption process of a new product or technology or service, has been used as a reasonable predictor in the telecommunication demand forecasting area. This paper shows that the diffusion model is applicable when the historical data are not available. The model used is in the form of a "logistic" function. The parameters of the function are estimated using the questionnaire and the historical data of reference products. From the questionnaire, an initial and an upper limit long run value of the market share are estimated, and the diffusion time to the upper limit value is determined by the relation between the investment and the utility.

1. 서 론

통신분야의 급속한 기술혁신으로 여러가지 새로운 서비스들이 개발되었다. 따라서 서비스 상용화 이전에 이러한 서비스들의 수요를 예측하는 것은 필연적인 과정이라 할 수 있다.

지금까지 국내에서 수행하여온 새로운 통신서비스의 수요예측은 제외국비교유추 [1][3][4][5], 유사상품비교유추[1][5], 진화상품비교유추[1], 시장조사[2], Delphi[2][3][5] 등이 있다. 외국과 비슷한 시기에 서비스를 개시하는 경우에는 제외국비교 유추방법을 사용할 수 없으며, 예측대상이 진화 상품이 아니거나, 타당한 대체상품이 없는 경우 시장조

사, Delphi등으로 그 방법이 제한된다.

한편 시계열자료가 있는 기술/제품/서비스의 시간에 따른 확산을 표현하는 확산모형(diffusion model)이 여러 방면에서 응용되어 왔다[6].

본연구에서는 새로운 통신서비스의 하나인 전화사서함의 수요예측 사례를 통하여 국내외 모두 시계열자료가 없는 경우의 수요예측에도 확산모형을 적용할 수 있음을 보여주고자 한다.

2. 모 델

Mansfield[6]는 시간에 따라 이용자 사이에서 기술이 확산되는 모형을 Logistic 함수로 표현하고, parameter ϕ 를 투자(investment)와 효용

* 한국전자통신연구소

(utility)의 선형 함수로 표현하였다. Mansfield는 이용자와 기술사이의 관점에서 Logistic 함수를 다루었으나, 본 모델에서는 이용자, 제품, 제품이 속한 산업사이의 관점에서 Logistic 함수를 다루었다.

i이용자 그룹에서 j제품을 사용하며, j제품이 분류상 k산업에 속한다 하자. $\lambda_{i,j,k}(t)$ 가 시간 t에서 j제품을 사용하지 않던 이용자가 시간 t+1에서 사용한 비율이라하고, 시간 Δt 동안에 새로 제품을 구입한 이용자수를 ΔM 이라 하면,

$\Delta M = \lambda_{i,j,k}(t) [N_{i,j,k} - M_{i,j,k}(t)] \Delta t$ 이고, differential notation을 취하면 다음과 같이 된다.

$$dM = \lambda_{i,j,k}(t) [N_{i,j,k} - M_{i,j,k}(t)] dt \dots\dots\dots(\text{식 1})$$

여기서, $M_{i,j,k}(t)$: 시간 t에서 k산업에 속한 j제품을 사용하고 있는 i그룹 이용자의 수,

$\Pi_{i,j,k}$: k산업에 속한 j제품을 사용함으로써 i그룹 이용자들이 얻는 효용(utility) index,

$S_{i,j,k}$: i그룹 이용자들이 k산업에 속한 j제품을 사용하는데 드는 투자(investment) index,

$N_{i,j,k}$: $t \rightarrow \infty$ 에서 k산업에 속한 j제품을 사용하는 i그룹 이용자수

모델 전개 과정을 통하여 $\lambda_{i,j,k}(t)$ 는 다음의 변수를 포함하는 함수로 가정한다.

- k 산업에 속하는 j제품을 시간 t까지 동안 구입한 i그룹 이용자의 수
- j 제품을 사용함으로써 얻는 효용.
- j 제품을 사용하는데 드는 투자.
- 기타.

$\lambda_{i,j,k}(t)$ 가 이용자 그룹 및 산업에 따라 $M_{i,j,k}$, $\Pi_{i,j,k}$ 및 $S_{i,j,k}$ 의 함수형태를 갖는다고 하면,

$$\lambda_{i,j,k}(t) = f_{i,j,k}(M_{i,j,k}(t)/N_{i,j,k}, \Pi_{i,j,k}, S_{i,j,k}, \dots) \text{ 이고,}$$

그 이유는 다음과 같이 설명될 수 있다.

- j 제품을 사용하는 i그룹 이용자의 증가는 $\lambda_{i,j,k}$ 에 증가를 가져올 것으로 기대된다.

• j 제품을 사용할 때 얻는 효용은 $\lambda_{i,j,k}$ 에 중요한 영향을 끼칠 것으로 기대된다.

• 효용이 같으면 투자비용이 클수록 $\lambda_{i,j,k}$ 는 작아지는 경향을 가질 것이다.

• 효용과 투자비용이 같으면, $\lambda_{i,j,k}$ 는 이용자 그룹의 기호(태도)에 따라 달라질 것이며, 이러한 기호(태도)는 제품이 속한 산업으로 분류할 수 있을 것이다.

편의상 다음과 같이 사용하자.

$$M_{i,j,k}(t) = M(t), N_{i,j,k} = N, \Pi_{i,j,k} = \Pi, S_{i,j,k} = S, \lambda_{i,j,k}(t) = \lambda(t),$$

Taylor's expansion을 하여 3 차 이상의 항을 탈락시키고 $[M(t)/N]^2$ 의 계수를 zero라 하면, 다음과 같이 표현된다.

$$\lambda(t) = a_1 + a_2 M(t)/N + a_3 \Pi + a_4 S + a_5 \Pi M(t)/N + a_6 S M(t)/N + a_7 \Pi^2 + a_8 S^2 + \dots\dots$$

여기서 $\lambda(t) = Q + \phi M(t)/N$ 이 되도록 Q와 ϕ 를 정의하면 다음과 같다.

$$Q = a_1 + a_3 \Pi + a_4 S + a_7 \Pi^2 + a_8 S^2 + \dots\dots \phi = a_2 + a_5 \Pi + a_6 S + \dots\dots$$

그러면 (식 1)로 부터

$$dM \{ (N - M(t)) (Q + M(t) \phi/N) \}^{-1} = dt \text{ (식 2)}$$

(식 2)를 적분한 후 M(t)에 대하여 정리하면 (단, $N e^c / \phi = e^d$),

$$M(t) = N \{ \exp[(Q + \phi)t + \ell] - Q/\phi \} / \{ 1 + \exp[(Q + \phi)t + \ell] \}^{-1} \dots\dots\dots(\text{식 3})$$

$t \rightarrow -\infty$ 에서 $M(t) = 0$ 이므로 $Q = 0$ 이다.

따라서 (식 3)은 다음과 같이 된다.

$$M(t) = N \{ 1 + \exp[-(\ell + \phi t)] \}^{-1} \dots\dots\dots(\text{식 4})$$

이때 $\phi_{i,j,k} = a_{i,j,k,2} + a_{i,j,k,5} \Pi + a_{i,j,k,6} S + \dots\dots\dots$ 이다.

명시되지 않은 항들에 대한 합이 Π 및 S와 uncorrelated 되어 있다면 확률오차(random error)항으로 다룰수 있다.

$$\phi_{i,j,k} = b_{i,j,k} + a_{i,j,k,5} \Pi + a_{i,j,k,6} S + z_{i,j,k}$$

여기서 $b_{i,j,k}$ 은 명시되지 않은 항들의 합에 대한 기대값에 $a_{i,j,k,2}$ 를 더한 값이고, $z_{i,j,k}$ 는 기대값 zero를 갖는 확률변수이다. 만일 $a_{i,j,k,5}$ 와 $a_{i,j,k,6}$ 가 이용자 그룹에 따라 변하고, 제품이 속한 산업에 따라서는 변하지 않는다고 가정하고, 확률오차항을 무시하면 $\phi_{i,j,k}$ 은 다음과 같이 된다.

$\phi_{i,k} = b_{ik} + a_{i5} \Pi_{i,k} + a_{i6} S_{i,k} \dots \dots \dots$ (식5)
 위 가정은 다음과 같은 의미를 가지고 있다. 동일
 질의 이용자 그룹에서 투자비용과 효용이 같은
 경우 ϕ 값의 차이는 b_{ik} (즉, 산업에 대한 이용자
 의 기호차이)에 의해서만 설명된다. 대부분의
 실제문제에서 이용자수는 그룹의 총수 (Popula-
 tion)보다 작게 마련이다.

(식 4)의 양변을 i 그룹 총수 (Population)로 나누
 어 주면 다음과 같이 된다.

$D_{i,k}(t) = K_{i,k} \{1 + \exp[-(\theta + \phi t)]\}^{-1}$ (식 6)
 여기서, $D_{i,k}(t)$: 시간 t 에서 j 제품의 침투율
 $K_{i,k}$: j 제품의 중국침투율

3. 새로운 서비스에의 적용

동일 이용자 그룹에 대하여 새로운 제품들이
 소개된지 20-30년이 지나서, 그 확산비율이 충
 분히 안정된 3개이상의 제품들에 관한 시계열
 자료 및 제반자료를 가지고 있다면(3개라 가정
 하고 각각을 $i=1, 2, 3$ 라 하자) 그리고 이들
 제품들이 같은 산업에 속한 제품들이라 하면, 각
 제품에 대하여 다음식이 성립한다.

동일 이용자 그룹이므로 (식 5)에서 i 를 탈락시
 키면

$\phi_{j,k} = b_{jk} + a_5 \Pi_{j,k} + a_6 S_{j,k} \dots \dots \dots$ (식 7)
 이 되고 이를 각 제품에 적용하면 다음과 같다.
 $\phi_{1k} = b_{1k} + a_5 \Pi_{1k} + a_6 S_{1k}$
 $\phi_{2k} = b_{2k} + a_5 \Pi_{2k} + a_6 S_{2k}$
 $\phi_{3k} = b_{3k} + a_5 \Pi_{3k} + a_6 S_{3k}$

여기서, b_k, a_5, a_6 가 미지수이고, 나머지는 시
 계열자료나 기타자료로부터 그 값을 추정할 수
 있으므로, b_k, a_5, a_6 의 값을 구할 수 있다.

시계열자료가 없어서 ϕ 값을 추정하기를 원하
 는 제품을 j^* 라 하자. 만일 j^* 가 속한 산업을 위
 세제품 ($j=1, 2, 3$)이 속한 산업과 동일한 k 산
 업이라 하면, b_k, a_5, a_6 값을 알고 있으므로 j^*
 제품에 대한 Π^* 값, S^* 값만 추정하면 ϕ^* 값을
 구할 수 있다.

만일 j^* 제품이 속한 산업 (k^*) 이 앞에서의 세
 제품 ($j=1, 2, 3$)이 속한 산업 (k)과 다르면

k^* 산업에서 시계열자료를 구할 수 있는 제품이
 1개 이상 있을 경우(1개라 하고 이를 $j=4$ 라
 하자) ϕ^* 값을 구할 수 있다. 즉, 위 세제품 ($j=$
 $1, 2, 3$)에 대한 연립방정식으로 부터 a_5, a_6
 를 구한 다음, 이들 값을 대입하여 $j=4$ 인 제
 품에 대한 (식 7)을 풀어 b_k^* 값을 구한다. $b_k^*, a_5,$
 a_6 값을 알고 있으므로 j^* 제품에 대한 Π^* 값, S^*
 값만 추정하면 ϕ^* 값을 구할 수 있다.

(식 7)에서 S 값은 투자비용이므로 실제비용
 으로부터 산출할 수 있으며, Π 값은 설문조사를
 통하여 상대평가를 하도록 하면 추출할 수 있다.

4. 사례연구 : 전화사서함

전화사서함 서비스란 음성메세지를 저장하였
 다가 이를 전화망을 통하여 전달하는 저장형 음
 성통신방식으로, 전화통신에서 시간적인 제약을
 해결해 주는 서비스이다.

전화사서함의 수요를 다음과 같이 나누어서 예
 측하였다.

- i) 주택용 전화를 가진 가입자들에 대한 전화
사서함 수요예측
- ii) 업무용 전화를 가진 가입자들에 대한 전화
사서함 수요예측

설문조사에 포함된 제품 및 산업분류는 다음과
 같다.

- i) 주택용 전화가입자에 대한 설문조사
TV, 냉장고, 세탁기-가전제품산업
주택용 전화, 전화사서함-정보통신기기
산업
- ii) 업무용 전화가입자에 대한 설문조사
PBX, TLX, 업무용전화, 전화사서함
-정보통신기기산업

1) 주택용 전화가입자에 대한 전화사서함 수 요예측

(1)시계열자료로 부터 각 제품의 ϕ 값 추정
 각 제품에 대한 가구당 침투율 데이터를 구한
 후 TEDAS II 프로그램(전자통신연구소 수요
 예측 전산 프로그램)을 사용하여 (표 1)과 같이
 ϕ 값을 추정하였다.

(표 1) ϕ 값 추정치

		r	K	이용자료	출 처
흑백TV	0.4218	0.98	98%	1970-1979	한국의 사회지표(KBS 자료인용)
냉장고	0.4714	0.99	95%	1982-1985	전자시보(상공부 자료인용)
세탁기	0.2122	0.97	95%	1982-1986	전자시보(상공부 자료인용)
전화	0.1936	0.97	95%	1963-1983	체신부통계연보

[냉장고, 세탁기 공히 1984년도 일본의 침투율은 98.4%, 98.1%이다. 전자시보('86. 6. 5)]

(2) Π 및 S 추정

설문으로부터 각 매체의 Π 를 추정하고, 1983년 기준 내구연한, 전력요금, 사용시간(빈도) 등으로부터 S를 추정하여 (표2)와 같은 결과를 얻었다.

(표 2) Π 및 S 추정치

	Π	S
흑 백 T V	5.953	14,164
냉 장 고	7.236	37,307
세 탁 기	4.961	72,400
전 화	6.584	165,367
전화사서함	5.281	150,247

(3) a_s, a_e, b_k^* 및 전화사서함의 ϕ 추정

가전제품 산업을 k, 정보통신산업을 k^* 라 하고 (식 7)을 흑백 TV, 냉장고, 세탁기에 각각 적용하여 연립방정식을 풀어, b_k, a_s, a_e 를 구한다. a_s 와 a_e 를 전화에 적용하여 b_k^* 를 구하고 이들을 이용하여 전화사서함의 ϕ 를 구한다.

(4) 설문으로부터 K 및 l 추정

설문으로부터 전화사서함을 사용할 의지가 있는 비율을 얻고, 이 값과 주택용전화의 K를 이용하여 전화사서함의 K를 구한다. 설문으로부터 D(0)를 얻고 이를 이용하여 l 을 구한다.

(5) 주택용가입자에 대한 전화사서함 수요추정 앞에서 구한 ϕ, K, l 로부터 주택용 전화가입자의 가구당 전화사서함 침투율 $D(t)$ 를 구할 수 있다.

$D(t) = 0.7004 \{1 + \exp [11.5874 - 0.1244t]\}^{-1}$
이 침투율로부터 주택용가입자에 대한 수요를 추정하면 (표 3)과 같다.

(표 3) 연도별 주택용 전화사서함의 수요예측치

년 도	1987	1991	1996	2001	2006
t	0	4	9	14	19
침투율($\times 10^{-4}$)	6.488	10.672	19.877	37.024	68.959
가구수($\times 10^3$)	9,796	11,040	12,644	13,783	14,892
수요(대)	63	118	219	510	1,027

2) 업무용 전화가입자에 대한 전화사서함 수요예측

(1) 업무용 전화가입자에 대한 전화사서함 수요추정

주택용 전화가입자에 대한 전화사서함수요예측의 경우와 같은 방법으로 Π, S, ϕ 를 구한다. (식 7)을 전화, TLX, PBX에 각각 적용하여 b_k, a_s, a_e 를 구하고, 이를 이용하여 전화사서함의 ϕ 를 구한다. 설문으로부터 k 및 l 을 구하고, 이들과 앞에서 구한 ϕ 로부터 다음과 같은 인구당 침투율을 구하였다.

$D(t) = 0.125 \{l + \exp [7.9776 - 0.1591t]\}^{-1}$
이 침투율로부터 업무용 전화가입자에 대한 수요를 추정할 수 있다.

3) 결 과

1)과 2)로부터 전화사서함의 수요는 (표 4)와 같이 요약된다.

(표 4) 전화사서함의 수요예측치 (대)

년 도	1987	1991	1996	2001	2006
주택용	63	118	219	510	1027
업무용	1817	3619	8501	19743	44499
합 계	1880	3737	8720	20253	45526

5. 결 론

본 연구는 시계열자료가 없는 경우에도 확산 모형을 사용할 수 있음을 보이고, 전화사서함

수요예측을 사례로 제시하였다. 본 연구에서 실제로 N (즉, 가구수나 인구수)이 일정하다고 보는 것은 무리한 가정이므로, Sharif and Ramanathan(8)이 지적한 바와 같이 시간의 함수 ($N(t)$)로 표현하는 것이 바람직하다. 그러나 이 경우 일반적인 방법으로는 해를 구하기가 어려운 문제가 있다. 본 연구와 Blackman(7)의 Paper에서는 Market share의 관점에서 Logistic 함수를 적용하고 있지만, 이는 계산상의 편의를 위한 것이다.

References

1. 한국전기통신연구소, 중장기 종합통신망계획 수립 사업중 수요예측에 관한 연구, 1984.
2. 한국전기통신연구소, 중장기 종합통신망계획 수립 사업중 새로운 서비스 시장전망, 1984.
3. 통신정책연구소, 2000년대를 향한 정보통신부문 장기발전 구상에 관한 연구, 1986.
4. KTA사업지원본부, 신규서비스개발/도입 추진 계획, 1986.
5. 한국전자통신연구소, 새로운 서비스 수요예측 방법론 정립 및 예측치 산출, 1986.
6. Mansfield, E., "Technical Change and Rate of Imitation", *Econometrica*, Vol.2, pp. 741-766, 1961.
7. Blackman, A. W., "The Market Dynamics of Technological Substitution", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 6, pp. 41-63, 1974.
8. Sharif, M. N., and Ramanathan, K., "Binomial Innovation Diffusion Models with Dynamic Potential Adopter Population", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 20, pp. 63-87, 1981.