

技術代替曲線의 特性과 應用

李 軫 周*

1. 序 論

代替는 한 製品이 다른 製品에 비하여 성능, 가격, 효용등의 면에서 우월할때 발생한다. 이러한 현상은 技術的 性能의 차이로 비롯되므로 代替는 技術代替로 볼 수 있다. 그러므로 기술대체는 우월관계에 있는 두 技術의 사용빈도의 변화로 정의할 수 있으며 넓은 의미로는 新技術의 채택이나⁽²⁰⁾ 擴散까지 포함하고 있다.⁽²⁾ 代替(substitution)가 機能面에서 비슷하지만 성능이나 효용이 다른 技術로 바뀌어 사용되는 것에 비해 비슷한 개념의 交替(replacement)는 제품의 수명이 다하여 같은 技術로 바뀌는 것을 나타낸다.

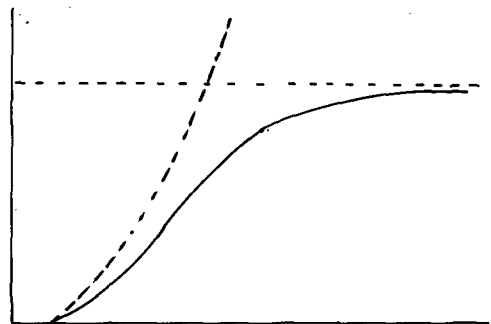
技術代替過程에 대한 연구는 1950년대 후반부터 經濟學者와 技術豫測者의 두 집단에 의해 시작되었고(15,25), 70년대초부터는 경영과학자들에 의해 마케팅의 일환인 소비재의 代替를 중심으로 활발히 연구되고 있다.⁽²⁾ 이들 세 집단의 方法論이나 접근방식은 서로 달랐으나 하나의 共通點으로 대부분의 경우 模型으로서 技術代替過程을 S 曲線의 형태로 이해하고 있다는 것이다. 기술대체과정 이 모두 S 곡선은 아니지만 非S 곡線의 경우가 극히 드물기 때문에 여기서도 S 곡선을 중심으로 技術代替曲線을 논하기로 한다.

2. 技術代替曲線의 基本性質과 適用

2.1 技術代替曲線의 基本形態와 性質

技術代替曲線은 일반적으로 S 字형태를 갖

는다. <圖 1>에서 보는 바와 같이 대체곡선은 초기에는 완만히 증가하고 시간이 증가함에 따라 급격한 증가를 보이다가 포화점 또는 上限에 도달할 수록 增加率이 점점 감소한다. 技術代替曲線을 시간에 대하여 微分하면 증가율이 구해지는데 <圖-2-가>에 나타난 바와 같이 正規分布曲線의 형태를 가진다. 다음章에서 설명할 S 曲線의 분류는 增加率曲線의 偏重度(skewness)에 따라 결정되는 Logistics 曲線, Gompertz 曲線등으로 大別되는 것이다. 로지스틱스曲線은 증가율 곡선이 <圖-2-가>의 II와 같이 左右대칭이므로 代替曲線도 II' 처럼 變曲點을 중심으로 대칭을 이루나 模型에 따라 기울기, 變曲點에 이르는 시간, 上限등이 달라진다.

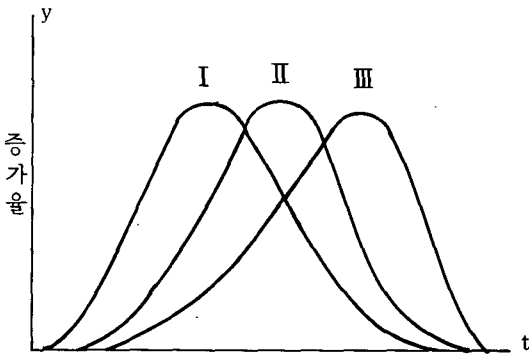


(圖 - 1) 技術代替曲線의 基本형태

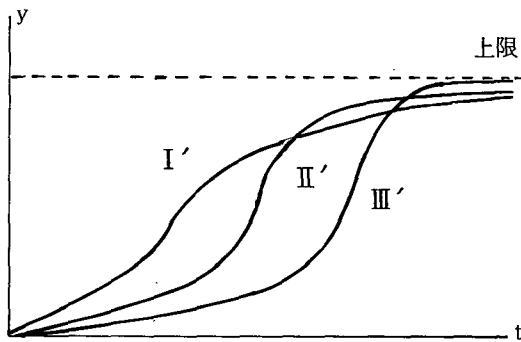
Gompertz 곡선이나 對數正規曲線은 <圖 2>의 I 과 같이 正의 偏중도를 가져 技術代替曲線도 I' 과 같이 된다. 이와같은 곡선은 로지스틱스曲線에 비하여 初期增加는 빠르나 變曲點을 지나면서 기울기가 점점 감소하여 上限에 도달할수록 그 값이 작아진다.

이와같은 현상은 新技術에 대한 초기저항

* 韓國科學技術院



(圖 2 -가) 增加率曲線 形態比較



(圖 2 -나) 편중도에 따른 代替曲線형태비교

이 작을때 발생한다. <圖 2>의 III의 형태를 가진 곡線式은 아직 제시되지 못하고 있으나 負의 편중도를 가진 曲線으로 新技術에 대한 초기저항이 클때 예상되는 형태이다.

代替曲線이 일반적으로 S字형태를 갖는 이유는 다음과 같다. 첫째 새로운 技術의 출현 초기에는 대부분의 잠재적 需要者가 새로운 技術이나 제품에 대하여 어떤 情報도 갖고 있지 못하며 신기술의 채택이 잘 이뤄지지 않는다. 둘째, 어느 정도 情報를 갖고 있더라도 수요자나 企業은 新製品이나 새로운 生産 技術등에 대해 실제사용경험상의 예가 많지 않아 費用, 收益, 成功可能性등에 관한 확신을 갖지 못하여 초기에는 新技術의 채택을 꺼린다. 셋째, 초기의 기술이나 製品은 品質, 性能, 價格面에서 나중에 개발한 것에 비하여 劣等하므로 이러한 요소가 개선되기 가다려 新技術의 채택을 연기한다. 넷째, 초기에는 새로운 技術이나 제품을 대량생산하

지 못하여 需要가 많이 있어도 供給이 이를 충족시켜주지 못한다. 이러한 이유로 初期에는 완만한 증가를 보이다가 採擇者의 수가 많아지고 채택자와 비채택자간의 相互作用에 의해 정보가 급격히 증가하여 增加率 또한 급격히 늘어난다. 그러나 需要에는 한계가 있으므로 上限에 가까워질수록 잠재수요자의 수가 줄어들어 增加率이 감소하여 완만한 증가로 S曲線의 형태가 된다. 이에대한 여러 설명은 Rogers & Shoemaker(1971)의 잠재적 수요자의 5개집단으로의 區分, Sahal(1976)의 學習理論, Mansfield(1968) 등의 불균형이론등이 있다.

2.2 技術代替曲線의 適用과 長短點

S曲線은 초기에는 生物의 성장이나 死亡率을 추정하는데 사용될뿐 적용범위가 적었으나 Lenz가 1958년 軍事技術豫測의 방법으로 S曲線이 技術代替過程과의 유사성이 있다는 것을 발견하여 (Martino, 1978) 그후 많은 관심이 기울여졌다. 많은 사람이 技術代替曲線을 사용하여 豫測模型으로 활용하는데에는 다음과 같은 여러가지 長點이 있기 때문이다.

첫째, 技術代替曲線은 실증적으로 잘 맞고 있다. 대부분의 技術代替過程이 S曲線의 형태를 갖는다.

둘째, 使用이 간편하다. 기술대체곡선은 다른 豫測模型에 비해서 理解가 쉽고 매개변수의 추정도 간단하다. 독립변수가 時間으로 결정되어 있기 때문에 회귀분석이 쉽다.

셋째, 비교적 적은 수의 時系列資料로 長期 豫測이 가능하다. 곡선의 식이 주어져 있고 新技術의 수명주기전체에 걸친 긴 期間에 대해 예측이 가능하다.

넷째, 豫測者의 주관이 배제된다. 기술대체곡선의 독립변수와 從屬變數가 결정되어 있고 매개변수의 측정도 단순회귀분석에 의하므로 예측자의 主觀이 介入되지 않는다.

다섯째, 豫測結果에 대한 설명이 쉽다. 기

술대체과정이 S 曲線형태이고 시각적인 설명이 가능하여 설득이 쉽다.

여섯째, 新技術의 수명주기와 代替期間중의 특성을 미리 알 수 있다. 上限이 구해지면 수명주기를 알 수 있으며 變曲點과 변화율로 代替過程의 속성을 알 수 있다.

일곱째, 時系列資料가 없는 경우에도 비슷한 상황과 특성을 가진 代替過程을 참고하여 類推로서 비교적 정확한 예측이 이뤄질 수 있다.

여덟째, 適用分野가 넓어 모든 종류의 技術 代替過程을 대상으로 할 수 있다. 技術代替 曲線은 以上과 같은 많은 장점에도 불구하고 여러 단점이 있으며 그중 어느것은 때에 따라 결정적 단점으로 豫測結果의 신뢰성을 위협한다.

첫째, 技術代替曲線은 초기자료에 의해 결정되고 이 결과를 이용하여 미래를 豫測하는 것이므로 代替過程이 한번 결정되면 마지막 飽和狀態까지 변동없이 계속된다는 假定을 하고 있는 것이다. 따라서 代替期間中에 발생한 환경의 변화를 전혀 반영하지 못하며 이러한 변화에 대한 豫測能力이 없다. 즉 정책 결정의 지침으로 사용하기가 어렵다는 점이다.

둘째, 技術代替曲線은 대체의 누적율을 時間變數만으로 설명하여 因果관계가 있는 다른 설명변수를 고려하고 있지 않으므로 技術變化의 결정요인에 대한 情報를 거의 제공하지 못한다. 이러한 이유때문에 時系列資料를 이용한 豫測技法에 공통적으로 있는 단점으로서 추세가 일정한 模型에 따라 예상대로이면 잘 맞고 그렇지 않은 資料는 잘 맞지않는 資料의 추세성과 豫測間에 순환논리가 발생한다.

셋째, 다음節에서 보는 바와 같이 代替過程의 여러 模型이 있는 바 이들중 어느 것을 선택하여 적용할 것인가에 대한 기준이나 설명이 未洽하다.

네째, 技術代替曲線은 새로운 기술의 채택에 대한 增加模型을 설명하는 데에 그치고 既存技術의 감소과정에 대한 예측은 할 수 없다.

위에서 살펴본 技術代替曲線의 豫測模型에

의 적용에 있어서 여러가지 短點에도 불구하고 적용대상의 특성이나 조건, 목적등에 따라 長點이 더 큰 경우가 많으므로 다음과 같은 광범위한 분야에 기술대체곡선이 使用되고 있다.

첫째, 새로운 生産技術이 既存의 生産技術을 대체해 나가는 과정의 豫測에 사용된다.

이경우 豫測하려는 기술의 時系列자료가 없어도 새로운 生産技術의 성장을 예측할 수 있다 (3, 4, 5, 8, 12, 25) .

둘째, 消費財의 擴散利用과정을 豫測할 수 있다. 이때 반복구매의 비중이 신규구매에 비하여 낮은 耐久消費財가 주대상이며 동시에 둘이상의 제품이 代替되는 경우에도 가능하다. (2, 6, 10, 24, 32, 41)

셋째, 技術豫測方法으로 사용된다. 제품의 특성이나 性能을 기술대체곡선으로 추세화하여 미래의 특정시점에 나타날 제품의 특성이나 性能에 대하여 예측할 수 있다. (13, 29, 31)

네째, 항공기, 컴퓨터, 엔진등의 산업에서 새로운 제품의 成長過程을 예측할 수 있다. (20)

다섯째, 제품의 구성재료가 바뀐 경우 새로운 生産材料의 소비추세를 구할 수 있다. (20, 36)

여섯째, 에너지의 代替過程을 예측할 수 있다.

일곱째, 技術의 國際擴散過程의 예측에 적용할 수 있다. (9)

여덟째, 경제성장을 巨視的인 관점에서 예측할 수 있다. (20)

다음에 이들 代替曲線의 구체적 내용을 분류검토하도록 한다.

3. 技術代替曲線의 分類

기술대체곡선에 대한 설명은 수없이 많은 종류의 이들 曲線을 체계적으로 분류함으로써 용이해질 수 있다. 분류체계도 여러가지가 가능하겠으나 여기서는 <表 1>과 같은 체계로 분류, 설명하도록 한다.

(表 1) 技術代替曲線의 分類

A) S 曲線

가) 時系列資料가 있는 경우

1) 靜的 模型 (上限이 고정된 경우)

(i) Logistics 模型

(가) 純模倣效果模型

- ① Pearl 曲線
- ② Mansfield 模型
- ③ Blackman 模型
- ④ Fisher-Pry 模型
- ⑤ Floyd 模型
- ⑥ 一般化模型
- ⑦ 多水準 技術代替模型
- ⑧ 正規曲線模型

(나) 模倣 및 革新統合模型

- ① Bass 模型
- ② 基本模型
- ③ 時空統合模型

(ii) Gompertz 模型

(iii) 對數正規模型

2) 動的 模型 (上限이 시간에 따라 변하는 경우)

(i) Mahajan & Peterson 模型

(ii) Dodson 과 Muller 模型

나) 時系列資料가 없는 경우

- 1) 産業革新 性向模型
- 2) 技術革新指數模型
- 3) Bass 模型

B) 非S 曲線

가) 階段式증가모형

나) 數理經濟분석모형

다) 純革新效果모형

技術代替曲線의 分類는 우선 S 曲線과 非S 曲線의 2가지로 大別하고 S 곡선을 다시 時系列資料가 있는 경우와 없는 경우로 나눈다.⁽⁵⁾ 기술대체곡선의 主宗은 S 곡선이며 그 중에서도 時系列資料가 있는 경우가 큰 몫을 차지한다. 시계열자료가 있는 경우는 다시

上限을 고정된 것으로 가정하는 靜的 模型과 上限이 시간에 따라 변하는 것으로 가정한 경우의 動的 模型으로 나눈다.⁽²⁴⁾ 이밖의 분류기준이나 내용은 各模型을 說明하면서 논의하도록 한다.

3.1 S 曲線의 靜的 模型

時系列資料가 있는 경우 S 曲線의 매개변수가 回歸分析으로 쉽게 추정된다.

靜的模型은 S 曲線의 上限이 常數로 주어지 시간이 변해도 바뀌지 않는다. 이러한 上限의 고정은 對象의 특성이나 數의 한계에 의해 이뤄지기도 하고 模型을 단순화하기 위해 假定하는 경우도 있다.⁽²⁸⁾ 靜的 S 曲線模型은 증가율의 편중도에 따라 로지스틱曲線, 고퍼츠곡선, 對數正規曲線으로 크게 나눈다.

(i) 로지스틱 曲線 (Logistic Curve)

이 曲線은 일정한 時間單位안에 이뤄진 증가는 그때까지 이뤄진 누적증가량과 아직 포화점에 도달하지 못하고 남아있는 수의 곱에 正比例한다는 가정에서 導出된다. 즉

$$\frac{dN}{dt} = KN(a - N) \dots\dots\dots (1)$$

N : 증가하는 변수의 누적값,

a : 포화점 또는 上限

K : 常數

(1)식의 미분방정식을 풀면 (2)식과 같은 로지스틱스曲線이 된다.

$$N(t) = \frac{a}{1 + \left(\frac{a}{N_0} - 1\right) e^{-akt}} \dots (2)$$

이 곡선은 $-\infty$ 에서 0, $+\infty$ 에서 a의 값을 가지며 $t = \left\{ \ln \left(\frac{a}{N_0} - 1 \right) \right\} / ak$, $N(t) = \frac{a}{2}$ 에서 변곡점을 가지며 이에 대해 對稱이다. 따라서 로지스틱曲線은 증가율 곡선에 편중도가 없다.⁽⁷⁾ 曲線의 위치는 $\left(\frac{a}{N_0} - 1\right)$ 에 의하여, 곡선의 기울기는 ak에 의하여 결정되며 이들 값은 모두 陽의 값을 가

지며 ak 가 클수록 곡선의 기울기가 급해져
 上限에 빨리 도착한다.

로지스틱곡선은 t 시점에서의 潛在需要를
 나타내는 시장포화도 $(a - N)$ 에 의해 결
 정되는바 이때 매개변수 k 와 더불어 모방효
 과 또는 革新效果를 나타내는 項 (term) 으로
 曲線의 최종적인 형태가 결정된다. 模倣效果
 란 신기술의 채택이 既存採擇者數 N 에 대한
 모방으로 左右된다는 가정에서 출발하는 것으
 로 $KN(a - N)$ 이 곡선형태가 되는 것이다. 그
 러나 新技術의 採擇이 기존채택자로부터의 영
 향을 전혀 받지 않고 일어나는 경우도 있을수
 있으며 이 경우 이를 革新效果로 부른다.⁽²⁴⁾

革新效果를 n , 模倣效果를 m 으로 나타내
 면 模倣革新統合模型의 형태는 $K(n + mN) \cdot$
 $(a - N)$ 으로 나타나게 될 것이다. 로지스
 틱곡선중 먼저 純模倣效果模型의 8 가지를 살
 펴보고 다음 模倣 및 革新統合模型 3 가지종
 류를 검토하도록 한다.

(가) 純模倣效果模型

① Pearl 曲線

이 곡선은 Raymond Pearl(1870-1940) 이
 生物의 成長에서 찾아낸 曲線으로 다음과 같
 다.⁽²⁵⁾

$$y = \frac{L}{1 + ae^{-bt}} \dots\dots\dots (3)$$

(3)식과 로지스틱曲線 기본식인 (2)식을 비교
 하면 $y = N(t)$, $L = a$, $a = (\frac{a}{N_0} - 1)$, b
 $= ak$ 로 대응되어 같은 식이다. 식이 단순하
 기 때문에 Logistics 曲線의 기본식으로 자
 주 이용된다. Bundgaard-Nielson & Fie-
 hn(1974) 는 미국 精油産業에서의 신기술의
 擴散과정을 Pearl 곡선으로 설명하면서 증가
 율을 나타내는 매개변수 b 가 그 技術이 처
 한 産業의 技術水準에 의하여 영향받는다는
 것을 검증하였다.

② Mansfield 模型

Mansfield(1961, 1968, 1971) 는 신기술
 의 擴散率결정요인의 연구에서 t 와 $t + 1$
 의 時點사이에 신기술을 채택하는 企業數의

변화, 즉 技術代替率을 (4)式으로 표시하였다.

$$m_{ij}(t) = \frac{n_{ij}}{1 + e^{-(\ell_{ij} + \phi_{ij}t)}} \dots (4)$$

$m_{ij}(t)$: t 까지 j 기술을 채택한 企業
 수

ℓ_{ij} : 적분상수

ϕ_{ij} : 技術代替率을 나타내는 매개변수

n_{ij} : i 産業에서 j 기술을 택할 총
 企業수

Mansfield는 기술대체율이 그 기술의 收
 益性 (π_{ij}) 과 投資規模 (S_{ij}) 에 의해 결정
 된다는 가정아래 Taylor's expansion 으로
 (4)식을 유도하였다. ϕ_{ij} 를 π_{ij} 와 S_{ij}
 의 선형함수로 가정하면 $\phi_{ij} = b_i + a'_{ij} \cdot$
 $\pi_{ij} + a^2_{ij} S_{ij} + Z_{ij}$ 로 표시할 수 있으며
 Mansfield는 영국의 양조산업, 石炭産業, 철
 강산업, 철도산업의 자료에 의해 회귀방정식
 을 구하여 (5)식을 얻었다.

$$\phi_{ij} = Z + 0.530 \pi_{ij} - 0.027 S_{ij} \dots (5)$$

Z : 특정 産業의 技術革新性向을 나타내
 는 상수

ϕ_{ij} 를 구하면 새로운 기술의 代替過程을
 豫測할 수 있는 모형이 된다.

③ Blackman(1971, 1973, 1974) 은
 Mansfield의 모형을 약간 변형하여 (6)식과
 같은 技術代替過程의 예측모형을 만들었다.

$$\ln\left\{ \frac{m}{L-m} \right\} = -\ln\left(\frac{L}{N_0} - 1 \right) + \phi(t - t_1) \dots\dots\dots (6)$$

m : t 에서의 신기술에 의한 시장점
 율

L : 시장점율의 上限

N_0 : $t = t_1$ 에서의 시장점율

ϕ : 대체율을 결정하는 상수

위 모형은 Mansfield 模型과 근본적인 차
 이가 없으므로 둘을 합하여 Mansfield/Black-
 man 모형이라고 부르기도 한다. 즉 man-

sfield가 예측변수를 t에서 신기술을 채택한 企業數로 나타낸데 비하여 Blackman은 시장점유율로 표시하였고 적용범위를 消費財까지 넓혔으며 모형을 線型化하였다는 점이 다르다. Blackman은 이 모형으로 時系列資料가 있는 경우는 물론 時系列자료가 없는 경우에도 기술대체과정을 예측하였다.

④ Fisher - Pry 模型

Fisher - Pry (1971)는 (7)식과 같은 豫測模型을 제시하였다.

$$\frac{f}{1+f} = \exp 2\alpha(t - t_0) \dots\dots (7)$$

α : 초기에서 매년 증가분의 1/2
 f : 대체된 기술의 전체 대체될 기술에 대한 비율

Fisher - Pry의 모형이 Blackman모형과 다른 점은 Blackman 모형은 신기술이 획득할 시장점유율의 上限이 반드시 1이 되는 것이 아니고 技術의 특성에 따라 결정된다고 보았으나 Fisher - Pry는 모든 경우에 1로 보았다. Fisher - Pry는 이 모형으로 17개의 기술대체과정에 적용하였다.

⑤ Floyd 模型

Floyd는 産業에서의 技術能力成長경향을 예측하였다.(Bright, 1968) 이때 기술적 成功의 종속변수가 될 기술적 能力을 性能指數 (Figures of merit) 라고 정의하였다.

Floyd모형은 (8)式으로 표시된다.

$$P(f, t) = 1 - \exp \left\{ \frac{-0.6931}{Y + \ln(Y - \frac{(C_1 t + C_2)}{1 + C_2})} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

Y_0 : $(1 - \frac{f_c}{F}) / (1 - \frac{f}{F})$

$P(f, t)$: t에서 성능지수 (figures of merit)의 f수준은 달성할 확률

F : 성능지수의 상한

f : 新技術의 성능지수 상한

f_c : 경쟁기술의 성능지수 수준

C_1, C_2 : 常數

(8)式을 對數를 사용하여 간단히 F와 f로 표시하면 (9)式이 된다.

$$\ln \left\{ \frac{f}{F-f} \right\} + \frac{F}{F+f} = C_1 + C_2 t \dots\dots\dots (9)$$

위식은 Blackman모형과 비슷하나 좌변의 두번째 項이 있어 곡선의 기울기가 달라진다.

⑥ 一般化 模型

Sharif & Kabir (1976, a)는 ③, ④, ⑤ 모형의 차이를 분석하여 세 模型을 하나로 묶은 一般化 模型을 개발하였다. 그들은 上記 3모형을 다음과 같이 변환하였다.

$$\text{Blackman 模型: } \ln \left\{ \frac{f}{F-f} \right\} = C_1 + C_2 t \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{Fisher - Pry 模型: } \ln \left\{ \frac{f}{1+f} \right\} = C_1 + C_2 t \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{Floyd 模型: } \ln \left\{ \frac{f}{F-f} \right\} + \frac{F}{F-f} = C_1 + C_2 t \dots\dots\dots (12)$$

(10)과 (11)式을 비교하면 Fisher-Pry 모형은 시장점유율의 上限이 1인 Blackman 모형의 특수한 경우로 볼 수 있다. 그러므로 위의 3模型은 Fisher - Pry/Blackman모형과 Floyd모형으로 나뉜다. 그런데 두 모형의 실제값을 비교해보면 前者는 過大 推定되는 경향이 있고 後者는 過小推定되는 경향이 있어서 실제값을 두 豫測值의 사이에 존재한다고 볼 수 있다.

따라서 두 모형에 가중치를 두어 하나로 결합시켜 실제값에 접근한 一般化 模型을 만들었다.

$$(1-\lambda) \left(\ln \frac{f}{F-f} \right) + \lambda \left(\ln \frac{f}{F-f} + \frac{F}{F-f} \right) = C_1 + C_2 t \dots\dots\dots (13)$$

λ : 지연계수 (delay coefficient)

(13) 式을 정리하면 (14) 式이 된다.

$$\ln \frac{f}{1-f} + \lambda \frac{1}{1-f} = C_1 + C_2 t \dots\dots\dots(14)$$

여기서 λ 값은 $\lambda = \phi$ (DS, DE, f_t , ELS) 로 구해지는데 DS는 資料分散度, DE는 資料의 범위, f_t 은 f 의 최근값, ELS는 수명 주기를 나타낸다.

⑦ 多水準 技術代替模型 (Multi-level Substitution Model)

지금까지의 模型들은 두 技術사이에서 일어나는 代替過程에 대한 모형이었으나 실제 代替 과정에서는 新技術이 既存의 技術을 다 代替하기 전에 다시 새로운 技術革新이 생겨 그때까지의 新技術을 다시 代替하는, 즉 다시 말해서 특정한 소비자 欲求를 만족시키는 N개의 技術이 발달한 순서에 따라 代替해가는 현상이 나타나고 있다. Sharif & Kabir (1976, b)는 이와 같은 현상을 多水準 技術代替로 정의하고 System Dynamics model을 사용하여 이에 맞는 새로운 模型을 개발하였다. <圖 3>은 이와같은 模型에 의해 구해진 多水準 技術代替를 System Dynamics로 구한 것이다. 즉 Sharif & Kabir (1976, b)는 1대1의 代替에서는 (14) 式을 사용하여 豫測을 하고 3개이상의 技術이 代替를 나타나고 있을때는 System Dynamics를 이용한 模型을 만들었으나 이 모형은 복잡하여 그 소개를 생략한다.

⑧ 正規曲線模型 (Normal Curve model)

Pearl 曲線등의 로지스틱 曲線群은 成長은 S 곡선의 형태이며, 代替에는 上限이 존재하며, 曲線은 대칭을 이룬다는 공통된 가정을 갖고 있다. Stapleton (1976)은 累積正規 分布表를 써서 위의 세가지 가정을 만족하면서 쉽게 技術代替曲線을 구하는 방법을 개발하였다. 이 방법은 각 시점에서의 技術變化의 進척도를 上限에 대한 비율로 구하고 이 값을 누적정규분포에서 對應하는 값을 택

하여 변환하여 구하는 것이다. Stapleton은 이 방법을 Fisher-Pry의 연구자료에 적용하였는바 거의 일치된 結果值를 얻었다.

(나) 模倣 및 革新效果의 統合模型

지금까지 살펴본 모형은 로지스틱 曲線中에서 新技術의 채택이 기존채택자의 數에 따라 결정되는 模倣效果만을 가정하여 개발된 것이었다. 그러나 新技術의 채택이 모방할 대상이 없이 獨自의인 결정에 의해 이뤄지는 경우가 많이 있으므로 이러한 革新效果가 新技術의 채택에 아울러 作用된다고 보아야 할 것이다. (Rogers & Shoemaker, 1971) 즉 模倣革新統合模型은 (1)式에서 우변의 市場飽和度에 곱해지는 項이 채택자수에 따른 모방효과에 의한 KN이 아니라 $(n + mN)$ 이 곱하여 革新效果 n 과 모방효과 m 을 나타내는 두 매개변수가 모두 포함된 모형을 말한다. 여기서 $n = 0$ 로 놓으면 純模倣效果의 모형이 된다. 이러한 模倣革新統合模型의 장점은 革新效果까지 고려하여 설명력은 높아지나 매개변수의 증가로 그 推定이 어려워진다는 단점이 생기게 된다.

① Bass 模型

Bass(1969)는 신제품채택집단이 革新者와 模倣者로 나누어 질 경우 耐久消費財의 신제품 채택은 "아직 구매를 하지 않은 상태에서 新規購買가 T에 이뤄질 확률은 그때까지 신제품을 구매한 구매자수의 一次函數로 표시된다"는 기본가정에 따른다고 생각하여 模型을 개발하였다.

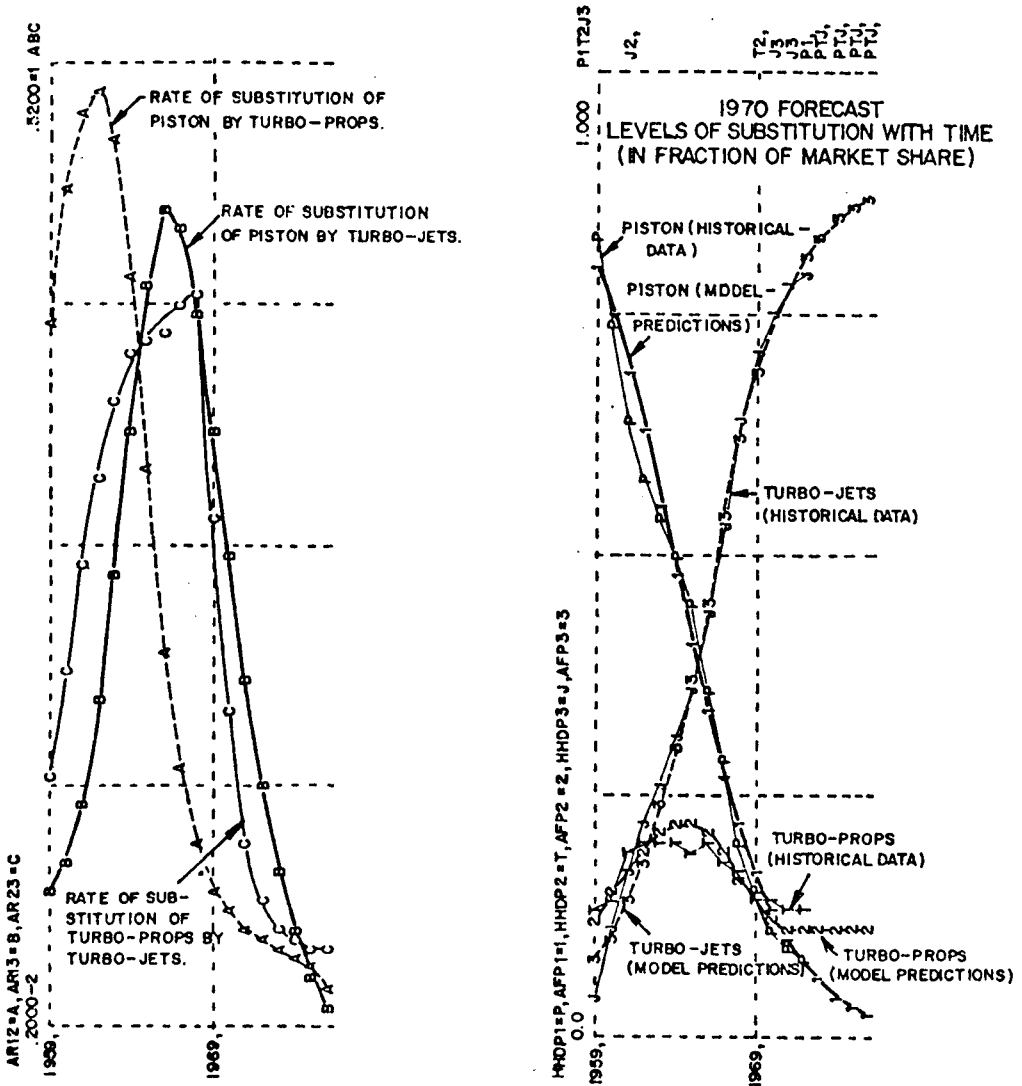
$$S(T) = pm + (q - p) Y(T) - \frac{q}{m} [Y(T)]^2 \dots\dots\dots(15)$$

S(T) : T에서의 판매량

p : 革新係數 (coefficient of innovation)

m : 교체수요를 제외한 제품수요기간동안의 신규구매자 총수

q : 模倣係數 (coefficient of imitation)



(圖 3) 항공기엔진의 多水準 技術代替曲線

$Y(T)$: T 이전까지의 구매자수

위식은 다시 쓰면 (16) 식과 같이 표시된다.

$$S(T) = \left\{ \frac{m(p+q)^2}{p} \left[e^{-(p-q)T} / \left(\frac{q}{p} e^{-(p+q)T} + 1 \right)^2 \right] \right\} \dots \dots \dots (16)$$

판매량이 극대화되는 時點, T^* , 販賣量,

$S(T^*)$, 총구매자수, $Y(T^*)$ 등을 구하여 보면 그 형태가 線型化가 되지 않아 離散的類推 (Discrete Analogue) 에 의해 추정하고 있다. Bass는 위의 모형으로 냉장고, 黑白TV, 에어컨, 수증기다리미등 11개 耐久消費財에 적용하여 R^2 가 0.7~0.9의 회귀 분석결과를 얻었다. 이 모형으로 Nevers (1972)는 4개산업의 12개제품에, Dodds (1973)은 有線TV의 신제품채택에 관한 예측을 하였다. 결론적으로 Bass 모델은 판매

량 S(T)곡선을 주로 이용하는데 이 곡선은 正規分布曲線과 비슷하며 따라서 S(T)를 t에 대하여 累積한 Y(T)曲線은 S曲線형태가 된다.

② 基本模型 (Fundamental model)

Mahajan & Shoeman(1977)은 마케팅, 地理學, 經濟學, 社會學등에서의 신제품, 새로운 思想, 政策등의 확산모형에 모두 사용될 수 있는 基本模型을 제시하였다. 대부분의 S曲線이 이 基本模型으로 표시 가능하므로 模型의 확장은 기본모형에서 출발할 수 있다. 기본모형은 (17) 式과 같다.

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = [a + bF(t)] [F - F(t)] \dots\dots\dots (17)$$

- f(t) : t 時點에서의 신기술 채택자의 비율
- F(t) : t 까지의 누적비율
- \bar{F} : F(t)의 上限
- a : 革新效果를 나타내는 매개변수
- b : 模倣效果를 나타내는 매개변수

이 微分方程式을 풀고 초기치 $F(t = t_0) = F_0$ 를 代入하면 (18) 式과 같은 技術代替過程의 基本模型이 된다.

$$F(t) = \frac{\bar{F} - \frac{a(\bar{F} - F_0)}{(a + b\bar{F})} \exp[-(a + b\bar{F})(t - t_0)]}{1 + \frac{b(\bar{F} - F_0)}{(a + b\bar{F})} \exp[-(a + b\bar{F})(t - t_0)]} \dots\dots\dots (18)$$

이 模型을 사용하기 위해서는 매개변수를 추정해야 하는데 (18) 式이 線型化가 되지 않고 추정할 매개변수가 a, b, \bar{F} 3개이므로 單純回歸分析으로는 추정이 불가능하여 離散的 유추에 의한 추정을 한다. 이 모형으로 純革新效果模型, Bass 模型, mansfield / Blackman 模型, Fisher - Pry 모형등이 쉽

게 유도된다.

③ 時空統合模型 (Integrating Time & Space Model)

Mahajan & Peterson(1979, a)은 新技術擴散을 時間뿐 아니라 空間的으로도 한 지역에서 다른 지역으로 확산되는 과정을 고려한 모형을 제시하였다. 이 모형에 內在된 가정은 첫째, 각지역에서의 技術代替는 S曲線의 형태이며, 둘째, 新技術은 收益性이나 效用이 높은 지역에서 빨리 채택되고, 셋째, 擴散은 革新地域에서 시작되며, 넷째, 각 지역에서의 代替率과 시장점유율의 上限은 革新地域으로부터 거리가 멀어짐에 따라 감소한다는 등이다.

이 모형에서 距離(x)의 효과에 의해 $\bar{F}(x = 0) = k_1$ 이라 하면 $\bar{F}(x) = k_1 - k_2 \frac{x^2}{2}$ 로 표시된다. 이 $\bar{F}(x)$ 式을 基本模型에 代入하면 추정해야 할 變數가 4개가 되어 離散的 類推로도 매개변수 추정이 불가능해진다. 그러므로 Mahajan & Peterson(1979, b)은 革新效果인 $a = 0$ 이라는 가정을 추가하여 $\bar{F}(x)$ 式을 기본식을 代入하여 (19) 式과 같은 時空統合模型을 만들었다.

$$F(x, t) = \frac{(k_1 - k_2 \cdot \frac{x^2}{2}) / (1 + \{[(k_1 - k_2 \cdot \frac{x^2}{2}) - F_0(x)] / F_0(x)\} \cdot \exp[-b(k_1 - k_2 \cdot \frac{x^2}{2})(t - t_0)])}{\dots\dots\dots (19)$$

이 모형으로 각 지역에서의 市場占有率에 대한 上限의 계산이 가능하고 여러 지역에서 技術代替가 동시에 고려될 수 있다는 장점이 있다. 그러나 革新地域이 여러곳인 경우에는 이 모형을 적용할 수 없으며 空間擴散에서의 두가지 效果 즉 隣近效果 (neighborhood effect)와 位階 (hierarchy) 효과중 인근효과만이 고려된 점등 완전한 時空統合

模型으로서 결함이다. Mahajan & Peterson(1979, a)은 이 모형으로 미국에서의 트렉터 확산과정에 적용하여 좋은 결과를 얻었다.

(ii) Gompertz 曲線

Gompertz 曲線은 Gompertz(1779-1865)가 死亡率에 대한 규칙을 연구하면서 고안해 낸 曲線으로 현대에 와서 이 곡선은 여러분야의 豫測에 광범위하게 적용되고 있다. 基本式은 (20) 또는 (21) 式으로 표시될 수 있다.(29, 18, 37)

$$y = L e^{-be^{-kt}} \dots\dots\dots (20)$$

$$y = L a^{b^t} \dots\dots\dots (21)$$

y : 豫測變數

L : y의 上限

a, b, k : 常數

(20) 式의 $e^{-b} = a$ 로 놓고 $e^{-k} = b$ 로 하면 (21) 식이 된다. (21) 식이 간단하므로 이 式을 주로 사용하도록 한다. a, b의 값은 0과 1 사이의 값이며 로지스틱 曲線과 같이 a는 곡선의 초기위치, b는 曲線의 기울기를 나타낸다. 增加率은 (21) 式을 미분하면 얻어지는데 b가 작을수록 曲線의 기울기는 급해진다. 이 曲線은 對稱이 아니며 變曲點은 $y = \frac{L}{e} \approx 0.37$ 에서 생긴다. 변곡점까지 급격히 증가하고 이 점을 지나면 增加率은 둔화된다.

로지스틱 曲線이 分數로 표시되어 매개변수의 推定이나 수학적 조작이 불편하지만 Gompertz 曲線은 分數項이 없으므로 수학적 조작이 간편하여 曲線의 변용이 쉽고 偏重도가 있어서 현실을 잘 반영할 수 있다는 점이다.

즉 初期에 新技術採擇率이 후기보다 급격한 경우에 잘 맞는 豫測模型으로 적합하며 현실적으로 이러한 현상이 많이 일어나고 있다.

(iii) 對數正規曲線 (Lognormal Curve)

Bain(1964)은 TV 보급의 成長模型을 연구하면서 로지스틱 曲線을 사용하여 구한 값

이 실제값보다 적게 나타나 실제추세는 로지스틱 曲線이 아니라 正의 偏重度를 가진 曲線이라는 결론을 얻었다. 즉 Bain은 正의 편중도를 가지나 Gompertz 곡선과는 다른 (22) 式과 같은 對數正規曲線의 모형을 사용하였다.

$$y = L \int_0^t \frac{\exp\{-\frac{1}{2}C^2\}(\log t - b)^2}{(2\pi C^2)^{\frac{1}{2}} t} dt \dots\dots\dots (22)$$

y : TV 보급율

L : 보급율 上限

b, c : 常數

對數正規曲線은 對數를 취한 變數값의 확률 분포가 正規分布 曲線이 되는 것을 말하며 Bain은 이 모형이 耐久消費財 성장모형에 잘 맞다는 것을 확인하였다. 式에서 b가 클수록 증가율은 작아지며 c가 작을수록 中央集中度가 더 높아진다. 이 模型의 단점은 變曲點이 c의 값에 따라 변하기 때문에 미리 구할 수 없다는 점과 媒介變數를 추정할 때 非線形추정기법을 사용해야 된다는 점이다.(6)

3.2 S 曲線의 動的 模型

지금까지는 技術代替를 나타내는 S 曲線을 그 上限이 固定된 靜的인 경우의 模型만을 다루었다. 그러나 豫測하려는 變數를 市場占有率이 아닌 보급숫자로 바꾸면 上限이 시간에 따라 변하므로 靜的인 모형으로는 장기간의 豫測이 힘들게 된다. 그러므로 上限이 시간에 따라 변하는 動的 模型이 開發되어 제시되고 있으나 실제로는 이러한 모형의 上限函數의 규정이 어렵고 模型이 上限을 나타내는 함수에 따라 변하므로 實用的 적용에는 많은 문제를 갖고 있다. 여기서는 2가지 모형을 간단히 소개하도록 한다.

(i) Mahajan & Peterson 模型

Mahajan & Peterson(1978, b)은 基本模型(17 式 및 18 式)의 上限에 動的 개념을

추가하여 기본모형의 市場占有率을 보급대수 $N(t)$ 로 표시하여 (23)식을 얻었다.

$$N(t) = \frac{\bar{N} - \{a(\bar{N} - N_0) / (a + bN_0)\}}{1 + \{b(\bar{N} - N_0) / (a + bN_0)\}} \cdot \frac{\exp[-(a+b\bar{N})(t-t_0)]}{\exp[-(a+b\bar{N})(t-t_0)]} \dots (23)$$

즉 $\bar{N}(t) = f(\bar{S}(t))$ 로 $\bar{N}(t)$ 는 시간에 따라 변하고 $\bar{S}(t)$ 는 $\bar{N}(t)$ 에 영향을 미치는 모든 外生的, 內生的요소들의 벡터로서, 例를 들어 社會經濟與件, 人구의 증가, 정부행동, 마케팅努力등이다. 이 式에서 \bar{N} 에 $f(S(t))$ 를 대입하여 증가율을 구하고 풀면 動的 模型이 된다. 이렇게 구한 動的 模型에서 $\bar{N}(t) = f(\bar{S}(t)) = \bar{N}$ 로 놓으면 基本模型으로 돌아간다. 動的 模型에서 제일 중요한 것은 $\bar{S}(t)$ 의 형태를 구하는 것으로 動的 모형의 精確성은 $\bar{S}(t)$ 의 豫測에 크게 依存한다.

Mahajan & Peterson(1979, b)은 가스温水器보급예측에 이 모형을 적용하였다.

(ii) Dodson & Muller 模型

Dodson & Muller(1978)은 技術擴散과정 이 採擇者와 非採擇者의 상호영향뿐 아니라 廣告와 같은 外部的 情報원천에 의해서도 영향을 받는 것으로 보고 新製品의 존재를 모르는 사람의 數를 $x(t)$, 알고 있으나 아직 채택하지 않은 잠재적 수요자의 數, $y(t)$, 新製品을 산 수요자의 數, $z(t)$ 등으로 3 단계에 따라 모형을 개발하였다. 즉 技術擴散과정이 不認知에서 認知의 상태로, 認知상태에서 採擇상태에 따라 변하므로 t 에서의 市場의 上限은 $y(t) + z(t)$ 가 되고 廣告에 의해 $x(t)$ 에서 $y(t)$ 가 이동하므로 시간에 따라 자동적으로 변하게 된다.

이들은 交換方程式으로 모형을 開發하였다.

3.3 時系列資料가 없는 경우의 S曲線 模型

지금까지의 S曲線은 時系列資料가 있는 경우로 이러한 추세에 따라 媒介變數를 추정하여

豫測模型의 실제 적용이 가능하였다. 그러나 새로운 技術이 市場에 출현하여 時系列資料가 없는 경우에도 代替過程을 예측할 필요가 있으므로 時系列資料가 없는 경우에 S曲線을 使用하여 技術代替과정을 예측하는 模型들이 開發되었다. 그러나 이 模型들은 대상의 제한성과 豫測結果의 신빙성때문에 널리 使用되고 있지 않다.

1) 産業革新性向 模型

Blackman(1974)은 mansfield모형의 최종결과식인 (5) 式 ($\phi = Z + 0.53\pi - 0.027S$)을 利用하여 時系列資料가 없는 경우에도 대체과정의 예측에 使用할 수 있는 模型을 제시하였다. 즉 (5) 式에서 ϕ 가 技術代替曲線의 기울기를 결정하므로 ϕ 값만 결정하면 技術代替過程을 예측할 수 있다. π 와 S 가 代替할 技術에서 구해지고 Z 값만 구하면 되는데 이 값은 豫測하려는 技術이 속해있는 産業에서 이전에 행해진 代替過程을 分析하여 추정하였다. Blackman(1974)이 이 模型을 美國의 船舶産業에 적용한 결과 ϕ 의 推定値는 0.292고 실제로 이루어진 代替過程의 ϕ 값은 0.290으로 양호한 적용을 보여주고 있다.

2) 技術革新指數模型

Blackman(1973)은 앞의 模型에서 Z 의 값을 다른 方法으로 구하였다. 즉 産業의 革新傾向을 8가지 要因으로 分解하여 要因 分析法으로 15개 産業에서의 技術革新指數 (Innovation index)를 구한 결과 이 指數와 Z 값과 높은 상관관계가 있음을 發見하였다. 즉

$$Z = 0.2221n - 0.3165 \dots \dots \dots (24)$$

n : 技術革新指數

3) Bass 模型

Bass(1969)는 資料가 전혀 없는 경우 잠재시장과 購買動機分析으로 (15) 式의 매개변수를 추정하는 方案을 제시했으나 豫測結果의 客觀性이 없어지게 된다. 그러나 최소 3기간 이상의 制限된 資料가 있는 경우 이로부터 (15) 式의 Bass 模型의 매개변수에 해당되

는 m' , p' , q' 값을 계산하여 指數曲線의 性質로 m , p , q 값을 결정하는 방법을 제시하였다. 이 경우 交替需要의 고려가 되지 않으므로 交替需要가 생기기 전까지의 過程에 대한 豫測만을 할 수 있다.

3.4 非 S 曲線

지금까지는 技術代替過程이 S 曲線의 형태로 나타난다고 가정한 것이었다. 그러나 모든 代替過程이 S 字형태로 나타나는 것이 아니므로 이러한 特殊한 형태의 模型들을 간단히 검토하도록 한다.

가) 階段式 增加模型

Simmonds (1973)는 特定産業에서 技術 채택의 增加는 規模擴張이 연속적으로 일어나지 못하므로 新技術의 採擇이 階段式으로 發生한다는 가설을 제시하였다. 規模利益에 따라 工廠의 擴張은 그 産業의 總規模에 일정한 比率를 유지하며 增加하므로 그 産業의 총 수요를 豫測하여 한 工廠의 확장규모도 아울러 豫측한다. Simmonds는 石油化學, 航空機, 컴퓨터, 油槽船에 위의 가설을 適用하였으며 Martino & Conver (1972)는 발전기 규모의 성장모형에 적용하여 같은 結果를 얻었다.

나) 數理經濟分析 模型

Sahal (1977)은 革新技術의 擴散이 S 曲線의 형태가 된다는 것을 絶對적인 것으로 보지 않고 Jorgenson의 投資行動理論을 適用하여 技術代替過程의 결정변수를 찾아내었다. 그는 몇가지 基本過程에서 代替函數를 log-linear로 가정하여 Combine 과 Cornpiker의 代替過程에 適用하였다.

다) 純革新效果模型

로지스틱曲線은 순모방효과와 모방혁신 統合模型으로 分類되고 있다. 그러나 이러한 경우의게도 순전히 購買者의 革新效果에 의해서 확산이 發生하는 경우도 있다. Fourt & Woodlock (1960)은 반복적 구매가 이뤄지는 產品의 채택과정은 구매자의 혁신효과

만으로 이뤄진다고 가정하여 (25)式을 제시하였다.

$$N(t) = \bar{N}(1 - e^{-at}) \dots\dots\dots (25)$$

\bar{N} : 시장점유율 상한

$N(t)$: t에서의 신제품을 채택한 누적 비율

이 模型을 그림으로 표시하면 增加率의 變化없이 변곡점도 갖지 않은채 上限 \bar{N} 에 접근해가는 曲線이 된다.

4. 技術代替曲線의 分析

앞 節에서 技術代替曲線의 基本性質과 分類를 살펴보았다. 여기서는 대체곡선의 실제 적용에 필요한 몇가지 분석내용을 소개한다.

기술대체곡선의 獨立變數는 거의 모든 경우에 年度등으로 표시하는 時間이다. 따라서 독립변수의 설정이나 推定에 아무런 문제가 없다. 從屬變數로는 대부분의 경우 市場占有率을 사용한다. 즉 新技術의 잠재시장에 대한 시장점유율을 종속변수로 쓴다. 그러나 많은 경우 市場占有率대신 新技術의 累積採擇數를 종속변수로 사용하기도 한다. 대체할 既存技術의 규모가 적은 産業生産技術의 경우는 잠재시장의 定義가 잘되어 있지 않으므로 누적 채택수를 대신 사용한다. 이 경우 累積採擇數의 上限에는 動的 개념을 도입하는 것이 바람직하다. 마지막으로 드문 경우지만 技術의 特性이나 性能을 종속변수로 사용하여 豫則模型을 개발하는 경우도 있다.

技術代替曲線의 上限은 기술대체곡선의 형태를 결정하는 데 있어서 媒介變數와 함께 중요한 구실을 한다. 上限의 결정은 實際的 限界(physical limitation), 기존기술의 잠재적수요의 100%, 전문가의 판단, 시제열자료의 추세등으로 결정한다. 動的 模型의 경우에는 上限이 函數로 결정되므로 훨씬 어렵고 중요하다.⁽¹³⁾

대체곡선의 增加率은 각 曲線의 시간에 대

한 微分으로 구해지거나 반대로 증가율을 알아 代替曲線형태를 결정한다. 이 기울기는 社會體系나 新技術의 특성에 의해 결정되며 구체적 요소로는 新技術採擇에 따른 높은 收益 및 效用, 작은 投資規模, 낮은 복잡성, 짧은 수명주기, 높은 품질수준, 社會체계에 대한 對應도에 따라 높은 값, 즉 빠른 속도의 代替가 일어난다.⁽¹⁶⁾ 이같은 증가율의 시간이외의 요소를 감안한 연구가 Robinson & Lakhani(1975), Horsky & Simon(1978), Peterson & Mahajan(1978, 1979) 등에 의해 발표되었다.

기술대체곡선의 매개변수推定은 單純回歸分析, 非線型回歸分析등의⁽⁷⁾ 회귀분석방법과 離散的 類推에 의한 방법등이 있다. 매개변수추정은 Lanford(1972)의 주장처럼 市場占有率의 2%만 넘어서면 추세를 형성하여 가능하다는 견해가 있는가 하면 Sharif & Kafir(1976, a)는 10% 이전에는 추세를 제대로 나타내지 않으므로 20~30%의 占하는 기간의 時系列자료가 필요하다고 相反된 견해를 보이고 있다.

마지막으로 技術代替曲線을 豫測模型에 使用하기 위해서는 구체적 模型의 적절한 선정이 필요하다. 모형선택의 기준으로는 자료의 획득가능성, 豫測對象技術의 特性, 모형의 형태, 예측의 정확요구도, 예측하려는 변수의 특성등을 감안하여 결정한다.

5. 結 言

技術代替曲線은 예측모형으로 극히 최근에 이용되기 시작하였으나 아주 넓게 적용되고 있다. 우리나라에서도 産業技術의 採擇, 擴散, 軍事技術의 예측, 技術移轉過程등에 그 응용 가능성을 지니고 있다. 대부분의 경우 이 模型이 先進國에서 적용분석되었으나 우리나라와 같은 開發中進國의 경우에도 선진국못지 않은 적용가능성을 가지고 있으므로 模型의 理論的 연구와 개발과 동시에 實際事例 적용

을 적극적으로 도모하는 것이 기대된다.

參考文獻

1. Bain, A.D., The Growth of Television Ownership in the United Kingdom, A Lognormal Model, Cambridge, The University Press, 1964.
2. Bass, F.M., "A New Product Growth for Model Consumer Durables", Management Science, Vol. 15, No. 5, 1969, pp.215-227.
3. Blackman, Z.W., Jr., "The Rate of Innovation in the Commercial Aircraft Jet Engine Market", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 2, Nos. 3-4, 1971.
4. Blackman, A.W., Jr. and Seligman, E.J. and Sogliero, G.C., "An Innovation Index Based on Factor Analysis", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 4, No. 3, 1973.
5. Blackman, A.W., Jr., "The Market Dynamics of Technological Substitution", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 6,

- No. 1, 1974, pp.41-63.
6. Bonus, H., "Quasi-Engel Curves, Diffusion and the Ownership of Major Consumer Durables", Journal of Political Economy, Vol. 81, No. 3, 1973, pp.655-677.
 7. Bossert, R.W., "The Logistic Growth Curve: Reviewed, Programmed, and Applied to Electric Utility Forecasting", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 10, 1977, pp.357-368.
 8. Bundgaard-Nielsen, M. and Fiehn, P., "The Diffusion of New Technology in the U.S. Petroleum Refining Industry", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 6, 1974, pp.33-39.
 9. Bundgaard-Nielsen, M., "The International Diffusion of New Technology", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 9, No. 1, 1976.
 10. Dodds, W., "An Application of the Bass Model in Long-Term New Product Forecasting", Journal of Marketing Research, Vol. X, Aug., 1973, pp.308-311.
 11. Dodson, J.A., Jr. and Muller, E., "Models of New Product Diffusion Through Advertising and Word-of-Mouth", Management Science, Vol. 24, No. 15, 1978, pp.1568-1578.
 12. Fisher, J.C. and Pry, R.H., "A Simple Substitution Model of Technological Change", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 3, 1971, pp. 75-88.
 13. Floyd, A.L., "A Methodology for Trend-Forecasting of Figures of Merit", in Bright, Technological Forecasting for Industry and Government, Prentice-Hall, 1968, pp.95-122.
 14. Fourt, L.A. and Woodlock, J.W., "Early Prediction of Market Success for New Grocort Products", Journal of Marketing, Vol. 26, Oct., 1960, pp.31-38.
 15. Griliches, Z., "Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change", Econometrica, Vol. 25, No. 4, 1957, pp.501-522.
 16. Gurevitch, M. and Loevy, Z., "The Diffusion of Tele-

- vision as an Innovation:
The Case of Kibbutz", Human Relations, Vol. 25, No. 3, 1972, pp.181-197.
17. Horsky, K., and Simon, L.S., Advertising in a Model of New Product Diffusion, Paper Presented at the TIMS/ORSA National Meeting in New York, May, 1978.
 18. Lakhani, H., "Empirical Implications of Mathematical Functions Used to Analyze Market Penetration of New Products—Cigarettes Case Study", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 15, 1979, pp.147-156.
 19. Lanford, H.W., Technological Forecasting Methodologies: A Synthesis, N.Y.: American Management Association, 1972.
 20. Linstone, H.A. and Sahal, D., Technological Substitution: Forecasting Techniques and Applications, Elsevier, New York, 1976.
 21. Mahajan, V. and Schoeman, M.E.F., "Generalized Model for the Time Pattern of the Diffusion Process", IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. EM24, No. 1, Feb., 1977, pp.12-18.
 22. Mahajan, V. and Peterson, R.A., "Innovation Diffusion in a Potential Adopter Population", Management Science, Vol. 24, No. 15, 1978, pp.1589-1596.
 23. Mahajan, V. and Peterson, R.A., "Integrating Time and Space in Technological Substitution Models", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 14, 1979:a, pp.231-241.
 24. Mahajan, M. and Peterson, R.A., "First Purchase Diffusion Models of New Product Acceptance", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 15, 1979:b, pp.127-146.
 25. Mansfield, E., "Technical Change and the Rate of Imitation", Econometrica Vol. 29, No. 4, 1961, pp.741-765.
 26. Mansfield, E., The Economics of Technological Change, W.W. Norton and Company, Inc., New York, 1968.
 27. Mansfield, E., et. al., Research and Innovation in the Modern Corporation, W.W. Norton and Company,

- Inc., New York, 1971.
28. Martino, J.P., "The Effect of Errors in Estimating the Upper Limit of a Growth Curve", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 4, 1972, pp.77-84.
 29. Martino, J.P., Technological Forecasting for Decision Making, Elsevier, New York, 1975.
 30. Martino, J.P., "Technological Forecasting", Handbook of Futures Research, Fowles, J. (ed.), London, Greenwood Press, 1978, pp.369-396.
 31. Martino, J.P. and Conver, S.K., "The Stepwise Growth of Electric Generator Size", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 3, No. 4, 1972.
 32. Nevers, J.V., "Extensions of a New Product Growth Model", Sloan Management Review, Vol. 13, 1972, pp.77-91.
 33. Peterson, R.A., and Mahajan, V., Multi-Product Growth Models, in Research in Marketing, J. Sheth, ed., JAI Press, Greenwich, Conn., 1978.
 34. Robinson, V., and Lakhani, C., "Dynamic Price Models for New Product Planning", Management Science, Vol. 21, June, 1975, pp.1113-1132.
 35. Rogers, E.M. and Shoemaker, F.F., Communication of Innovations - A Cross Cultural Approach, 2nd. ed., The Free Press, New York, 1971.
 36. Rohatgi, P.K. and Weiss, C., "Technology Forecasting for Commodity Projections: A Case Study on the Effect of Substitution by Aluminum on the Future Demand for Copper", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 11, 1977, pp.25-46.
 37. Sahal, D., "Multidimensional Diffusion of Technology", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 9, 1976, pp.277-298.
 38. Sahal, D., "Substitution of Mechanical Corn Pickers by Field Shelling Technology- An Econometric Analysis", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 10, 1977, pp.53-60.
 39. Sharif, M.N. and Uddin, G.A., "A Procedure for

- Adapting Technological Forecasting Models", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 7, 1975, pp.99-106.
40. Sharif, M.N. and Kabir, C., "A Generalized Model for Forecasting Technological Substitution", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 8, No. 4, 1976(a)
41. Sharif, M.N. and Kabir, C., "System Dynamics Modeling for Forecasting Multilevel Technological Substitution", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 8, No. 4, 1976(b).
42. Simmonds, W.H.C., "Analysis of Industrial Behavior and Its Use in Forecasting", in Bright & Schoeman, A Guide to Practical Technological Forecasting, Prentice-Hall, 1973, pp.215-237.
43. Stapleton, E., "The Normal Distribution as a Model of Technological Substitution", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 8, No. 3, 1976.