

# 첨단생산기술의 산업 내 확산 요인 및 정책에 관한 연구

황성태 · 오형식

서울대학교 산업공학과

## A Study on The Diffusion Factors and Policies of Advanced Manufacturing Technology

Seong-Tae Hwang · Hyung-Sik Oh

Recently the strategic importance of Advanced Manufacturing Technology(AMT) has been increased. This paper focuses on the modelling of diffusion process of AMT from the benefit-cost analytic perspective. The mechanism of AMT diffusion includes the decision-making process of individual firms. By using the model, we can forecast the AMT diffusion level.

### 1. 서론

그 동안 우리나라의 경제는 저임금을 바탕으로 소품종 대량생산을 통해 규모의 경제의 효과를 누려왔다. 그러나 최근 들어 그 임금수준이 높아지고, 소비자의 욕구가 다양해지면서 다품종 소량생산을 위한 유연성이 절실히 요구되고 있다. 이러한 실정에서 첨단생산기술의 전략적 중요성이 대두되고 있다.

첨단생산기술이란 그 정의가 아직 명확히 정리되지 않았지만, 가공·제조·조립 등의 생산 전분야에서 생산의 효율성 및 제품의 품질 등을 극대화할 수 있는 모든 공장 혁신 및 제품 혁신을 일컫는다.

이러한 첨단생산기술 중에서 현재 개발 및 확산이 활발히 추진되고 있는 CIM 기술은 여러 선진국에서 이미 산업 전체에 넓게 확산되어 있는 반면 국내의 경우, 많은 기업들이 CIM 시스템 구축을 표방하고는 있으나 실제 개별 기업에의 CIM 기술의 도입은 크게 확산되고 있지 않다고 한다(생산기술연구원, 1995).

이렇게 국내에서 첨단생산기술의 확산이 부진한 이유는 선진 외국에서 이미 개발된 기술의 국내 도입으로 인한 기술과 산업구조와의 부조화 및 효과적인 확산정책의 부재를 들 수 있다.

본 연구에서는 이러한 첨단생산기술의 확산의 촉진을 위해서 첨단생산기술의 확산요인을 분석, 그 확산과정을 모형화하

여 계량적 분석을 위한 토대를 제공함을 목적으로 한다.

### 2. 기존 확산모형에 대한 비판

기본적인 확산모형으로 인정받고 있는 바스(Bass) 모형은 1969년에 개발되었다. 바스 모형은 잠재적인 채택자가 두 가지 방법, 즉 대중 매체와 직접적인 대인 접촉에 의해 정보를 전달받는다고 가정하였고, 채택자들도 대중매체에 의해서만 영향을 받는 집단과 대인접촉에 의해서만 영향을 받는 집단으로 분류하였다. 전자는 혁신가(innovator)층이고, 후자는 모방자(imitator)층이다. 혁신가층은 확산과정의 모든 단계에 걸쳐 존재하며, 채택자수는 특정한 시점에 최대치를 기록하게 된다. 이 시점은 채택자수를 누적한 곡선에서는 변곡점에 해당하게 된다. 또한 확산이 시작되는 시점에서 일정한 수의 채택이 일어나고 최대치의 채택이 일어나는 시점을 전후로 대칭적인 채택 양상이 나타난다고 가정한다.

바스 모형은 
$$\frac{f(t)}{[1-F(t)]} = p + qF(t)$$
라는 식으로 대표된다.  $f(t)$ 는 시점  $t$ 에 채택할 확률을 나타내고  $F(t)$ 는 시점  $t$ 까지 누적적으로 채택한 확률을 나타낸다. 이 식의 의미는 시간  $t$ 에 있어서 채택이 일어날 조건부 확률(시점  $t$ 에서 채택할 사람의 비율)은 이미 채택한 사람의 수에 비례하여 증가한다는 것이다. 채택의 일부는 모방 또는 학습에 의해 영향을 받고 일부는 반지않게 되는 것이다.

\* 본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

윗식에서  $p$ 는 기존의 채택과 독립적으로 채택이 일어나는 비율을,  $q$ 는 기존의 채택에 의해 영향을 받고 일어나는 채택의 비율을 나타낸다. 잠재적인 채택자의 수가  $m$ 이라 하고  $mN(t) \rightarrow n(t)$  라 하면 윗식은 다음과 같이 나타내어진다.

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} \\ = p[m - N(t)] + \frac{q}{m} N(t)[m - N(t)]$$

이때  $n(t)$ 는 시점  $t$ 에서 채택하는 사람의 수를,  $N(t)$ 는 시점  $t$ 까지 채택한 사람의 수 전체를 가리킨다(Mahajan, Muller and Bass, 1990).

그러나 바스모형뿐 아니라 기존의 확산모형은 혁신가와 모방가의 접촉성 정보교환에 대한 논의는 구체적인 반면, 혁신가층의 자발적 채택에 관한 표현은 불충분한 게 사실이다. 첨단생산기술은 접촉성 확산보다는 자발적 의사결정과정의 중요시된다고 할 때, 이들 모형으로 설명하기에는 불충분한 면이 없지 않다.

따라서, 본 연구에서는 첨단생산기술 확산모형으로서 자발적 의사결정과정을 포함하는 새로운 모형화를 시도하였다.

### 3. 첨단생산기술 확산 모형

일반적으로 첨단생산기술의 확산 문제는 두 가지 접근법으로 연구되어 왔다. 하나는 미시적 수준(micro level)으로서 기업이나 공장에의 첨단생산기술의 도입에 관한 의사결정문제를 다루며 주로 비용-혜택 분석(benefit-cost analysis)이나 사례연구와 같은 방법론을 사용한다. 두 번째는 거시적 수준(macro level)의 접근법으로서 주로 통계적 자료나 계량경제학 모형을 사용한다. 그러나 이제까지 두 가지 수준을 연결시켜 분석하거나 서로의 영향관계를 분석한 연구들은 많지 않으며 이를 위해서는 미시적 수준의 모형을 거시적 수준으로 총량화시키는 방법론이 필요하다.

본 연구에서는 위에서 언급한 두 가지 수준의 접근법의 관계를 파악하기 위해서 산업에의 첨단생산기술장비의 확산과정을 기업의 크기를 매개로 하여 분석한다. 이를 위하여 확산 과정에 영향을 미치는 여러 영향요소들 중에서 첨단생산기술에 관련된 요소들을 도출하고 관계 형태에 대하여 가설을 아래와 같이 설정한다.

#### 3.1 체화기술의 가격

특정한 첨단생산기술장비는 초기에 고가인 반면에 매년 하락하는 경향이 있다. 이러한 경향을 뒷받침하는 근거는 다음과 같다.

##### ① 기술혁신 효과로 인한 지속적인 성능 개선

대부분의 혁신들은 개발 후에도 지속적인 개선으로 성능이 개선된다. 이러한 요소에는 사용에 의한 학습효과(learning by

using)가 크게 작용한다.

##### ② 생산에 있어서의 규모의 경제 효과(economy-of-scale effect)

장비 생산에 있어서 공급기업은 대량생산체제를 갖추면서 단위제품당 고정비(fixed cost)의 부담이 적어지므로 단위가격이 하락한다.

##### ③ 생산에 있어서의 경험곡선 효과

생산에 의한 학습효과(learning by doing)로 인해서 기업은 생산공정 개선이나 불량률의 감소, 숙련된 작업자의 증가 등으로 제품당 단위 비용이 하락한다.

그러나 위와 같은 요소들은 실제 확산과정에서 생산비용의 하락에 동시에 영향을 미치며 또한 각 요소들이 서로 영향을 미치므로 거시적인 통계자료로부터 각 요소에 의한 효과를 분리해내는 작업은 매우 어렵다. 특히 두 번째, 세 번째 요소들은 서로 매우 밀접한 관계를 가지며 영향을 미친다.

### 3.2 도입 기업의 규모

대규모 기업이나 공장들은 소규모 기업보다 첨단생산장비를 빨리 도입하는 경향이 있다. 그 이유는 다음과 같다.

##### ① 첨단생산장비의 도입에 필요한 자본

첨단생산장비는 큰 규모의 투자를 필요로 하고 또한 개발 초기인수록 고가를 유지하는 경향이 있다. 이는 최근에 보고된 국내 공장자동화 설비 도입에 관한 설문조사 결과에서도 중소기업의 자동화 도입시 애로사항 중 가장 많은 빈도를 나타낸 항목이 도입 자본의 부족임을 볼 때 알 수 있다.

##### ② 실패에 대한 위험

대규모 기업은 투자 실패로 인한 손실의 측면에서 실패할 경우에도 치명적인 자금압박의 정도는 소규모 기업보다 작다.

##### ③ 기업의 기술 흡수 능력

우선 기업 내 해당 기술의 숙련된 전문 작업자 및 기술자의 이용 가능성이 높고 기술 이전에 필요한 노하우(know-how) 및 관련 지식의 누적 정도가 소규모 기업에 비해 크다.

### 3.3 임금격차

<그림 1>에서 보이듯이 대규모 기업과 소규모 기업 사이에는 임금격차가 존재한다. 일반적으로 대규모 기업의 임금은 소규모 기업보다 크고 따라서 자동화의 유인(incentive)이 상대적으로 더 크다.

### 3.4 비용-혜택

기업 수준에서의 첨단생산장비의 도입은 주로 비용 대비 기대 이득의 크기에 의해서 결정된다. 첨단생산장비의 도입으로 인한 가장 큰 이득이 노동력 절감이라면 임금 대비 장비 도입 비용이 의사결정에서 가장 큰 역할을 하게 된다.

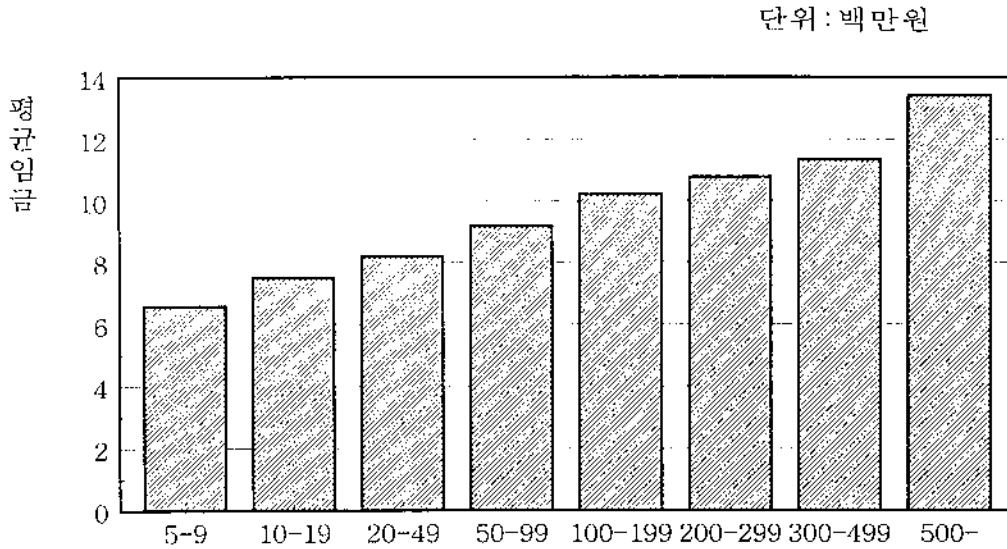


그림 1. 국내 대기업과 중소기업의 임금격차(자료: 한국통계연감, 1995).

3.5 기업 규모별 노동력 분포

중소기업은 산업 내에서 설비에 대한 노동력 비율이 규모별로 비례하지 않는다. 국내의 기업규모별 노동력 밀도(labor density)를 아래 <그림 2>에 나타내었다.

3.6 가정

[가정 1] 노동력 분포 밀도함수(labor distribution density function) 해당 산업 내의 기업규모  $x$ 의 노동력 분포 밀도함수(labor

distribution density function)  $f(x)$ 는 다음 조건을 만족하는 것으로 가정한다.

$f(x)$  : industrial sector

$$\int_1^{\infty} f(x) = 1 \tag{1}$$

여기서  $L$ 을 해당 산업의 총노동력으로 나타낼 때  $L \cdot f(x)dx$ 는 규모가  $[x, x+dx]$ 에 속한 기업들에 속한 종업원의 수를 의미한다.

[가정 2] 기업에 도입된 장비의 총대수는 기업의 규모에 비례한다.

국내 제조업 기업 규모 분포

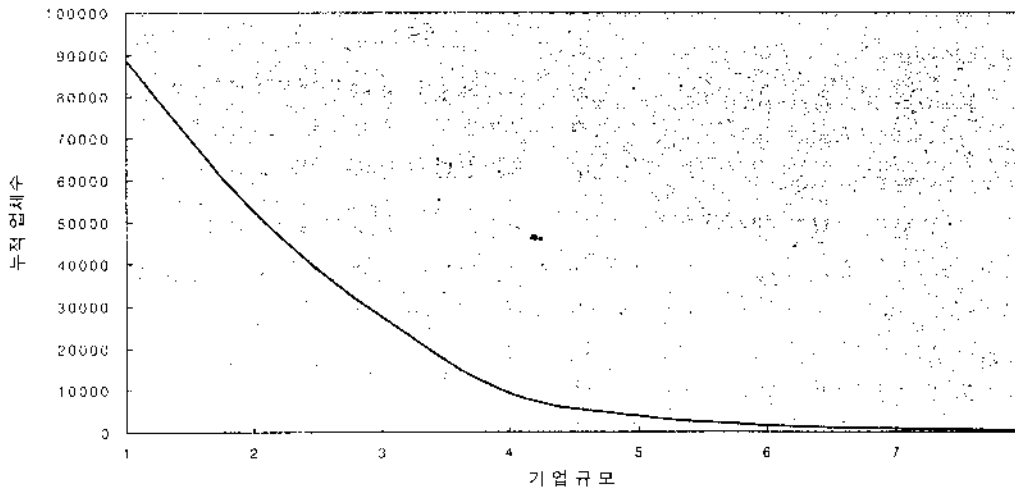


그림 2. 국내의 제조기업규모별 노동력 분포밀도(자료: 한국통계연감, 1995).

※ 기업규모는 <그림 1>에서 사용한 종업원수로 표현한 것을 인덱스 처리한 것으로 그 숫자가 클수록 기업규모가 큰 것을 의미함.

다음으로 기업규모  $x$ 인 기업에 도입된 장비의 대수를  $[m_d(x)]$ 로 나타내고  $m_d(x)$ 를 다음과 같이 가정한다.

$$m_d'(x) > 0, \quad m_d''(x) < 0 \quad (2)$$

위의 식 (2)에서 첫번째 조건은 규모  $x$ 인 기업에 도입된 장비의 대수는 기업의 종업원수에 비례함을 나타내고 있고, 두 번째 조건은 한계체감의 법칙을 설명하고 있다.

위의 가정에 대한 근거는 최근 국내의 설비투자 동향을 살펴보면 보다 명확해진다. 통상산업부가 97년 1월부터 2월까지 주요 업종별 200대 기업을 대상으로 실시한 설비투자 동향에 관한 조사결과를 살펴보면 대기업의 설비투자가 전체 설비투자의 97%를 차지하면서 중소기업의 설비투자 비중은 감소하고 있는 추세를 보이고 있음을 알 수 있다.

[가정 3] 노동력 절감분은 기업에 도입된 장비의 대수에 선형적으로 비례한다.

규모  $x$ 인 기업이 첨단생산장비를 사용함으로써 절감되는 노동력을  $l_s(x)$ 로 놓고  $l_s(x)$ 가  $m_d(x)$ 에 비례한다고 가정한다. 즉,  $l_s(x)$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$l_s(x) = l_0 m_d(x) \quad (3)$$

여기서  $l_0$ 는 단위장비를 도입함으로써 대체되는 평균작업자수를 의미한다.

[가정 4] 첨단생산장비를 도입하는 데 투자되는 누적고정투자비용은 도입 장비수에 선형적으로 비례한다.

위의 가정에 의하여 누적고정투자비용  $[C(x, t)]$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$C(x, t) = p(x, t) m_d(x) \quad (4)$$

여기서  $p(x, t)$ 는 첨단생산장비의 단위당 가격을 나타낸다.

[가정 5] 규모의 경제(economies of scale) 및 기술진보(technological progress)효과

일반적으로 단위장비의 경우 사용자 비용에서의 규모의 경제효과는 첨단생산장비의 단위 가격에 반영되어, 기업의 규모가 커질수록 가격이 지수적으로 하락하며 시간이 흐름에 따라서 하락한다. 그러나 장비의 수명주기(life-cycle)가 짧아지고 기술의 진보에 의해 보다 개선된 기술이 등장하게 됨에 따라 기존 장비는 새로운 장비로 대체된다. 대체하는 장비의 경우 일반적으로 대체되는 장비보다 가격은 높게 책정되고 성능이 개선되는 경향이 있다. 그러므로 기존의 성능에 비추어서는 가격이 하락할 수도 있으나 외형적인 가격은 상승하게 된다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$p(x, t) = P_0 x^{-a} e^{-at} \quad (5)$$

윗식에서  $x^{-a}$ 는 규모의 경제를 나타내고  $e^{-at}$ 는 장비의 가격이나 비용이 시간의 흐름에 따라 증가함을 나타낸다.

위와 같은 가정에 의하여 노동력 절감으로 인한 이득  $[B(x, t)]$ 은 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$B(x, t) = w(x, t) l_s(x) \quad (6)$$

윗식에서  $w(x, t)$ 는 규모  $x$ 인 기업의 연간 임금을 나타낸다.

[가정 6] 기업의 규모가 클수록 임금은 로그형태로 높아진다. 위의 가정은 국내 기업 규모별 임금격차를 고려한 것이다. 아래에 국내 기업규모별 임금격차를 나타내었다.

<그림 3>은 선형 형태와 로그 형태의 곡선에 각각을 선적합시킨 결과이다. 선형의 경우에는 결정계수값이 0.8772이고 로그의 경우에는 0.9421로서 로그함수 형태가 국내 현실을 잘 반영하고 있다고 할 수 있다.

위의 가정과 함께 임금이 인플레이션을 고려하면 연간 임금  $w(x, t)$ 는 다음과 같이 표시된다.

규모별 임금격차

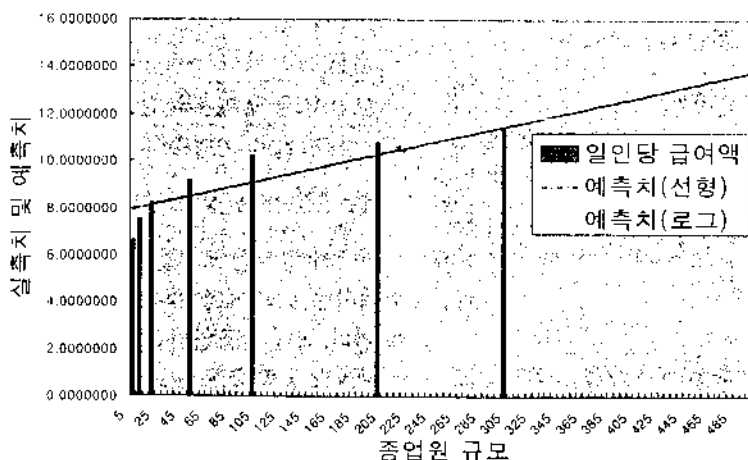


그림 3. 국내 기업규모별 임금격차.

$$w(x, t) = W_0 x^b e^{at} \quad (7)$$

[가정 7] 기업은 첨단생산장비 도입 결정시 투자회수기간 (payoff time)이나 누적고정투자비용-연간이득(cost-benefit)비가 n년보다 작을 때 도입한다<sup>1)</sup>

위의 가정에 의하여 기업이 투자를 결정하기 위한 필요조건을 표시하면 다음과 같다.

$$C/B = C(x, t)/B(x, t) \leq n \quad (8)$$

위의 식에서 비용 C는 누적고정투자비용이고 이득 B는 연간이득이므로 이를 나눈 값이 투자회수기간이 된다. 위의 식 (8)에 식 (2), (3), (4), (5), (6), (7)을 대입하여 정리하면 첨단생산장비 도입 기준은 다음과 같은 최소 기업규모에 관한 식으로 정리된다.

$$x \geq X(t) \quad (9)$$

$$\text{where } X(t) = \left[ \frac{P_0}{W_0 t_0 n} \right]^{\frac{1}{(a+b)}} \cdot e^{-\frac{(a+b)t}{(a-b)}}$$

위의 식에서 X(t)는 시점 t에서 장비를 채택하는 최소한의 기업규모를 의미하며, 이를 한계채택자(marginal adopter)라 한다. 한계채택자 개념의 도입은 여러 확산모형 중 순위효과모형(rank effect model)을 반영한 것으로서 채택으로 인한 혜택이 특정 순위에 입각하여 감소하는 순으로 정해져 있다는 가정에 채택으로 인한 혜택이 투자해야 하는 비용과 같은 채택자를 말한다.

이러한 한계채택자는 본 연구에서는 단일 기업이 아니라 한계채택자의 기업규모를 갖는 여러 기업들을 포함하며 한계채택 규모와 같은 의미로 사용한다. 따라서 한계채택자의 시간에 따른 변화가 확산과정을 결정하게 된다. 즉, 한계채택 규모가 시간에 따라서 급속히 감소하면 대상 기술은 산업 내에 급속히 확산되는 형태를 갖게 되며 확산채택 규모가 오히려 증가하거나 같은 수준에서 장기간 정체될 때 채택은 지연되며 그 결과로 확산이 완만히 진행되게 된다.

위에서 구한 한계채택 규모를 사용하여 부문 U(t) 내에서의 첨단생산장비의 도입 대수를 구하면 다음과 같다.

$$U(t) = U_\infty \int_{X(t)}^\infty j(x) dx \quad (10)$$

여기서 U<sub>∞</sub>는 시장이 포화(saturated)되었을 때의 장비의 대수를 말하며 이 값은 u<sub>0</sub>L과 같다.

위에서 구한 식들을 바탕으로 시간 t에서의 침투율은 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$f(t) = \frac{U(t)}{U_\infty} = \int_{X(t)}^\infty j(x) dx \quad (11)$$

### 4. 모형화 및 실증 분석

본 모형에서 사용된 변수 및 모수를 정리하면 다음과 같다.

x: 기업 규모, 기업별 종업원수

L: 산업 내 총종업원수

j(x): 기업규모별 노동력 분포

J(x): 기업규모 x부터 +∞까지의 누적 노동력 분포

$$J(x) = \int_x^\infty j(x') dx'$$

λ: 노동력 분포의 모수

$$j(x) = e^{-\lambda(\ln x)^2}$$

m<sub>a</sub>(x): 기업규모 x인 기업의 도입장비수

I<sub>z</sub>(x): 규모 x인 기업에 첨단생산장비를 도입함으로써 절감되는 노동력

t<sub>0</sub>: 단위장비당 절감되는 노동력

C(x, t): 시점 t에서 규모 x인 기업의 장비도입에 필요한 투자비용

b(x, t): 시점 t에서 규모 x인 기업의 장비당 단위가격(비용)

a: 사용자 비용에서의 규모의 경제 효과를 반영하는 모수

a: 연간 장비 가격하락률

P<sub>0</sub>: 시점 t=0에서 규모 x=1인 기업의 장비당 단위비용의 계수

B(x, t): 시점 t에서 규모 x인 기업의 노동력 절감 이득

w(x, t): 시점 t에서 규모 x인 기업의 연간 임금

b: 대규모 기업과 소규모 기업 사이의 임금격차를 나타내는 모수

β: 연간 임금 상승률

W<sub>0</sub>: 시점 t=0에서 규모 x=1인 기업의 연간 임금을 나타내는 모수

n: 투자 결정 기준(회수연수)

X(t): n

U(t): 시점 t<sub>0</sub>에서의 산업 내 도입장비수

U<sub>∞</sub>: 산업 내 기업수의 상위한계

$$f(t): \text{첨단생산장비의 침투율 } f(t) = \frac{U(t)}{U_\infty}$$

위에서 정의된 모형을 국내 제조업을 대상으로 적용시키기 위해서는 우선 제조업의 기업규모별 종업원 분포를 도출하여야 한다. 국내 제조업의 기업규모별 분포는 <표 1>과 같다.

위의 노동력 분포 j(x)가 지수분포라고 가정하면 최종적인 수리적 모형의 형태는 Gompertz 곡선이 된다. 그러나 현재 국내의 노동력 분포에 보다 적합한 곡선은 다른 형태로 표현된다. 이를 위해서 다음과 같은 기업규모별 누적 노동력 분포를 도입한다.

1) 일반적으로 첨단생산장비 도입에 대한 의사결정을 할 때는 일정 투자금액에 대한 회수기간이 중요하게 작용하므로 대략 n년 이내에 회수한다는 개념이 내포되어 있음. 여기서 누적투자비용-연간이득비가 n년보다 작다는 말은 n년째 비용(cost)이득(benefit)의 Ratio가 1보다 작아야 한다는 이야기이고, 이는 곧 누적고정투자비용(n\*연간이득) ≤ 1보다 작게 됨.

표 1. 국내 제조업의 기업규모별 분포(1993년 현재)

기업규모 (종업원수)	사업체수 (업체수)	종사자수 (명)	일인당급여액 (원)
5-9	36,144	239,874	6,951,948
10-19	25,205	339,875	7,506,604
20-49	18,169	552,550	8,201,245
50-99	5,438	372,393	9,174,850
100-199	2,244	308,310	10,212,951
200-299	713	173,920	10,786,310
300-499	422	162,322	11,350,507
500이상	529	736,105	13,430,648

$$f(x) = \int_x^{\infty} f(y) dy \quad (12)$$

여기서  $f(x)$ 는 종업원수가  $x$ 보다 많은 기업들의 종업원수의 전체 종업원에 대한 비율을 나타내며 이 값은 위의 기업 규모별 종업원수 자료를 이용해서 구한다. 회귀분석 결과  $f(x)$ 는 다음과 같은 lognormal 함수의 형태를 갖게 된다.

$$f(x) = e^{-\lambda(\ln x)^2} \quad (13)$$

위의 식에서 회귀분석 결과  $\lambda$  값은  $\lambda=0.129$ 로 구해졌으며 적합도 검정결과  $R^2=0.962416$ 으로 나타나 실제 자료가 위의 모형에 매우 적합함을 알 수 있다. 회귀분석 결과를 <표 2>에 나타내었다.

표 2. 기업규모의 회귀분석결과

기업규모	실제값	실제비율	예측값
1인 이상		1	1
5인 이상	88864	0.85558	0.685159
10인 이상	52720	0.507587	0.461203
20인 이상	27515	0.264915	0.269821
50인 이상	9346	0.089983	0.107108
100인 이상	3908	0.037626	0.045245
200인 이상	1664	0.016021	0.016611
300인 이상	951	0.009156	0.008662
500인 이상	529	0.005093	0.003562

$$\lambda = 0.129, R^2 = 0.9624$$

$f(x)$ 는 뒷식 (13)의  $f(x)$ 를 미분함으로써 다음과 같이 구해 질 수 있다.

$$f'(x) = 2\lambda \left[ \frac{\ln x}{x} \right] e^{-\lambda(\ln x)^2} \quad (14)$$

위의 식 (14)를 앞서 구한 모형에 적용하면 침투율  $f(t)$ 는

다음과 같은 간단한 형태로 표현할 수 있다.

$$f(t) = e^{-\lambda(\ln X(t))^2} \quad \text{where } X(t) \geq 1 \quad (15)$$

위의 식 (9)의  $X(t)$ 를 사용하여 식 (15)의  $f(t)$ 를 다시 표현하면  $f(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$f(t) = e^{-\lambda r^2(t-t_0)^2} \quad , t \leq t_0$$

$$= 1 \quad , t \geq t_0 \quad (16)$$

여기서  $r$ 과  $t_0$ 는 각각 다음과 같다.

$$r = \frac{(\alpha + \beta)}{(a + b)} \quad (17)$$

$$t_0 = \frac{1}{(\alpha + \beta)} \ln \left[ \frac{P_0}{W_0 t_0 n} \right] \quad (18)$$

식 (16)은 정규분포의 형태를 가지고 있으며 여기서  $t_0$ 는 첨단생산장비사장이 포화수준(saturation level)에 이를 때의 시점을 의미한다. 따라서  $t_0$  이후의 곡선은 의미가 없으므로 그 이후에는 기술이 산업 전체에 확산되어 확산율이 1이 됨을 뜻한다.

식 (18)에서 포화수준에 이르는 시점이 본 모형의 가정에서 사용된 계수들로 표현됨을 알 수 있다. 뒷식에 의하면 포화수준에 이르는 시점은 연간 장비의 가격 변화율과 연간임금상승률의 합에 따라서 크게 좌우된다. 즉, 연간 장비의 가격이 하락하고 있고 임금 상승이 큰 값으로 진행되고 있을 때 포화수준에 이르는 시점은 매우 짧아지며 장비가격이 상승하더라도 임금 상승률보다 작은 폭으로 상승할 경우에는 포화는 늦게 이루어지지만 결국에는 포화되게 된다.

그리고 식 (16)의  $f(t)$ 도 아래와 같은 S-곡선을 나타냄을 알 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{df}{dt} &> 0 && \text{when } t < t_0 \\ &= 0 && \text{at } t = t_0 \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

$$\left. \begin{aligned} &> 0 && \text{when } t_* > t \\ \frac{d^2f}{dt^2} &= 0 && \text{at } t = t_* \\ &< 0 && \text{when } t_0 > t > t_* \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

여기서 다음의  $t_*$ 는 곡선의 변곡점을 의미한다.

$$t_* = t_0 - \frac{1}{r\sqrt{2\lambda}} \quad (21)$$

$$f(t_*) = e^{-0.5} \quad (22)$$

위의 모형은 산업로봇(industrial robot), NC 기기 등 첨단생산장비의 확산에 적용이 가능하다. 개별 첨단생산장비의 확산의 분석을 위해서는 기준 모형에 포함된 모수들의 값을 추정해야 한다. 앞부분에서 기업규모의 분포 모수  $\lambda$ 는 다음과 같이 추정되었다.

$$\lambda = 0.14597 \quad (23)$$

개별 첨단생산장비의 가격 하락률을 나타내는  $\alpha$ 는 생산장비별로 구해져야 하는데 본 모형에서는 우선 다음과 같이 머시닝 센터의 경우를 구했다. 머시닝 센터의 경우에는 가격이 작은 폭으로 상승하고 있었으며 일반 금속가공 공작기계의 평균가격 상승률인 0.051보다 작은 폭으로 상승하고 있었다.

$$\alpha = 0.0351 \quad (24)$$

$$R^2 = 0.9130$$

아래 <표 3>에 여러 금속공작가공기계의 가격 상승률 추정 결과를 나타내었다.

표 3. 여러 금속공작가공기계의 가격 상승률 추정 결과

장비명	보통 선반	수치제어 선반	밀링기	머시닝 센터	금속가공 공작기계
$\alpha$	0.0409	0.0385	0.0319	0.0351	0.0510
결정계수	0.9438	0.9018	0.9271	0.9130	0.9232

임금 상승률을 나타내는  $\beta$ 도 원칙적으로는 개별 첨단생산 장비별로 사용되는 분야의 임금자료를 사용하여 구해야 하나 각각의 첨단생산장비의 사용 분야가 중첩이 되어 있기 때문에 일반적인 제조업의 임금 상승률을 사용하여 다음과 같이 구하였다.

$$\beta = 0.145 \quad (25)$$

$$R^2 = 0.9794$$

기업규모별 임금 격차를 나타내는 모수  $b$ 는 앞서의 <표 2>의 자료를 이용하여 다음과 같이 구하였다. 추정식 및 모수는 다음과 같다.

$$\ln(W_{1991}) = \ln(6.0) + 0.117 \ln x \quad (26)$$

$$b = 0.117 \quad (27)$$

$$R^2 = 0.9421$$

한편 본 모형의 기준 시점( $t=0$ )을 1985년으로 잡으면  $W_0$ 는 1985년부터 1989년까지의 5개년 평균임금을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$W_0 = 4,266,050 \text{ 원/종업원} \quad (28)$$

사용자 비용의 규모의 경제 효과와 관련한 모수  $a$ 는 임금격차효과 모수의 상대적인 값으로서 일반적으로 다음의 관계가 성립함이 알려져 있다.(Tani, 1987).

$$a = 0.375b = 0.0439 \quad (29)$$

1990년도의 머시닝 센터의 가격은 모수  $P_0$ 와 기업규모의 추정을 통해서 다음과 같이 구해진다.

$$P_0 = 200,000,000 \text{ 원/단위장비} \quad (30)$$

$t_0$ 와  $n$ 과 같은 다른 모수들은 머시닝 센터의 사용자 자료 및 공장 자동화에 관한 설문조사 결과를 토대로 다음과 같이 구해진다.

$$t_0 = 2/\text{명 단위장비} \quad (31)$$

$$n = 3\text{년} \quad (32)$$

위와 같이 구해진 모수들을 바탕으로 확산의 기준 모형은 다음과 같이 표현된다.

$$f(t) = e^{-0.023085(12.045 - \beta)t} \quad (33)$$

where  $t \leq t_0$

위와 같은 자료를 사용하여 NC 밀링기와 머시닝 센터의 누

적 채택률을 예측한 결과를 다음 표에 나타내었다.

표 4. NC 밀링기 누적채택률 예측결과

※ 누적채택률의 예측치는 장비의 침투율을 나타내는 식 (33)에 의해 구했으며, 실측치와 비교하여 매우 근사함을 알 수 있음.

연도	누적채택비율(실측치)		누적채택비율(예측치)	
	NC	MC	NC	MC
1982		0.0015		0.0027
1983	0.0021	0.0046	0.0028	0.0044
1984	0.0042	0.0068	0.0040	0.0069
1985	0.0097	0.01	0.0057	0.0107
1986	0.0138	0.0242	0.0082	0.0165
1987	0.0202	0.0324	0.0116	0.0248
1988	0.0277	0.0397	0.0161	0.0369
1989	0.0328	0.0571	0.0224	0.0541
1990	0.0395	0.0794	0.0309	0.0800
1991	0.0499	0.1137	0.0420	0.1105
1992	0.0646	0.1361	0.0566	0.1540
1993	0.0803	0.1656	0.0757	0.2106
1994	0.0942	0.2113	0.1000	0.2823
1995			0.1307	0.3706
1996			0.1690	0.4754
1997			0.2159	0.5947
1998			0.2724	0.7230
1999			0.3392	0.8501
2000			0.4165	0.9576
2001			0.5039	1
2002			0.5998	
2003			0.7013	
2004			0.8034	
2005			0.8987	
2006			0.9746	
2007			1	
결정계수	NC: 0.9387		MC: 0.8669	

### 5. 결론

본 연구에서는 기업의 첨단생산기술장비의 채택 기준을 사용하여 확산모형을 도출하였다. 이를 위하여 기업은 이득의 요소로서 인건비의 감소를 사용하였고 비용의 요소로서는 장비의 가격을 사용하였다. 두 가지 모두 다 시간에 따라서 추세를 가지고 변화함을 가정하였고 이를 함수 형태로 나타내어 국내 상황 자료로부터 모수를 추정하였다.

기준 모형으로부터는 장비의 초기 도입으로부터 포화까지의 단순한 형태의 확산곡선이 도출되었으며 이를 보다 현실화

하기 위하여 장비가격의 학습효과에 의한 하락을 가정하여 학습곡선모형을 도출하였다. 학습곡선모형으로부터는 임계점(critical point)을 유도할 수 있었으며 이를 통하여 보다 현실에 적합한 모형을 도출할 수 있었다.

도출된 모형을 사용하여 국내 NC 밀링기와 머시닝 센터의 누적 채택률을 예측한 결과 예측모형의 적합도를 나타내는 결정계수의 값은 0.86 이상으로서 높은 설명력을 가지는 것으로 나타났으나 1992년 이후의 예측값이 과대추정되는 현상을 보였다.

본 연구에서는 첨단생산기술장비의 확산 메커니즘의 모형화에 있어서 새로운 접근법을 제시하였다. 이러한 접근법을 통해서 기업수준의 연구들을 보다 거시적인 수준의 모형으로 확대하였다. 첨단생산기술 장비 확산의 모형화의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 확산의 기본적인 메커니즘은 의사결정 규칙이며 이는 기업수준에서 첨단생산장비의 도입의사결정에 대한 비용-이득 분석으로 표현된다.

(2) 기업 수준에서의 비용-이득 비율은 기업의 규모, 기술적 진보, 임금의 상승률에 따라 달라진다.

(3) 거시적 수준에서의 확산율은 의사결정 규칙을 기업규모의 분포를 통해서 모든 기업에 적용함으로써 구해진다.

위의 사항들로부터 수리적 기준 모형화가 이루어졌으며 두 번째로 확률적 모형에서 확률 함수를 도입하여 보다 현실적인 의사결정 기준을 제시하였다. 또한 세 번째 모형에서는 기준 모형의 단순한 추세함수(trend function)를 학습곡선으로 대체함으로써 모형의 현실화를 기하였다.

위 연구의 결과에 따라 모형에 관하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

(1) 위의 모형은 산업에 있어서의 첨단생산기술장비의 확산을 예측하는 데 사용될 수 있다. 위의 모형을 사용함으로써 기업규모의 관점에서 산업으로의 장비의 확산을 예측할 수 있다.

(2) 본 모형은 비용-이득 분석이 기업규모의 함수로 표현되는 확산 문제에 사용이 가능하다. 즉 본 모형에서는 노동력 절감이 주된 이득이다.

(3) 본 모형이 장기적인 실제 예측에 사용되기 위해서는 가격과 임금의 시간 의존적인(time-dependent) 예측치가 필요하다. 이는 본 모형의 이를  $P(t)$ 와  $W(t)$ 를 단순한 지수 분포 대신에 일반적인 함수를 사용함으로써 가능하다.

## 6. 추후 연구방향

본 연구에서는 기업의 채택 기준 설정시 기업의 첨단생산장비 도입으로 인한 이득을 노동비의 절감액으로 보았다. 그러나 실제 공장들을 대상으로 한 설문조사에 의하면 노동비의 절감액과 함께 전략적 필요나 품질 향상과 같은 요소도 함께 고려하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 현실적으로 기업의 장비 도입으로 인한 이득을 여러 가지 다른 중요한 요소로 표현할 필요가 있다. 또한 확산을 결정짓는 요소로서 많은 부분들이 채택 산업 부문에 따라서 서로 다른 값을 갖는다. 본 연구에서는 채택 산업을 따로 분류하지 않고 전체 제조업을 대상으로 하였으나 이는 산업별 특성을 고려하지 못하여 보다 정확한 값을 도출할 수 없다. 전체 확산율은 산업별 확산을 기초로 하여 이를 합한 값으로서 표현되어야 한다.

첨단생산기술의 투자비용은 다른 기술의 도입보다 매우 큰 것이 일반적이므로 자본 비용 또는 돈의 시간적 가치를 무시할 수 없다. 모형 중 장비가격하락현상이나 노동비산출식에 일부 고려가 되기는 하였으나 좀더 포괄적인 고려가 필요하다.

## 참고문헌

- 박용태(1995), *산업구조 전환기의 자동화 기술 확산 전략 및 정책*, 과학 기술 정책 연구소.
- 생산기술연구원(1995), *G7 첨단생산시스템사업, CIM WORKSHOP*.
- CAM-I(1988), *CIM Architecture*, R-88-ATPC-01.
- Mahajan V., Muller E. and Bass F. M. (1990), New product diffusion models in marketing: a review and directions for research, *Journal of Marketing*, 54, 1-26.
- Park C. S. and Son Y. K. (1998), An economic evaluation model for advanced manufacturing systems, *The Engineering Economist*, 1.



### 황성태

1995년 서울대학교 산업공학과 학사  
1997년 서울대학교 산업공학과 석사  
1999년 서울대학교 산업공학과 박사 수료  
현재: 서울대학교 산업공학과 박사과정  
관심분야: 기술정책 및 전략, 금융시스템 및 금융공학



### 오형식

1973년 서울대학교 산업공학과 학사  
1978년 Stanford University 경영과학 석사  
1983년 Stanford University Engineering Economic Analysis Ph.D  
현재: 서울대학교 산업공학과 정교수  
관심분야: 통신통계, 기술정책 및 전략, 의사 결정분석, 금융공학 등