

기술 채택 요인에 따른 기술확산 예측 : 발전산업을 중심으로

Technology diffusion forecasting based on the determinants of
technology adoption : the case of power generation industry

김혁준*, 한유진*, 박용태**

초 록

지금까지 기업의 신기술 채택에 관한 연구는 주로 Rank, Epidemic 등으로 대표되는 개별적인 요인을 중심으로 수행되어 왔다. 하지만, 기술 채택은 복잡한 과정을 통해 이루어지기 때문에 개별 요인보다 다양한 요인들이 통합된 모형을 필요로 한다. 이를 위해 에너지관리공단의 온실가스 감축수단 조사사업의 설문조사 데이터를 이용하여, 온실가스 배출량이 가장 큰 발전산업을 중심으로 로짓·프로빗 모형을 통해 기술 채택 요인에 따른 기술 혁신의 확산을 예측하였다. 그 결과, 기업의 측면에서 기업의 매출액, 목표회수기간, 기술의 인지 여부 등이 유의했고, 기술의 측면에서 기술의 초기비용은 유의했지만 본 연구에서 특별히 관심을 갖고 지켜봤던 이산화탄소 저감률은 유의하지 않았다. 이를 통해서 어떤 기업이 신기술을 더 빨리 채택할 것이며, 어떤 기술이 더 빨리 채택될 것인가를 예측할 수 있었다.

* 서울대학교 기술경영대학원 박사과정

* 서울대학교 기술경영대학원 박사과정

** 서울대학교 산업공학과 교수

I. 서론

일반적으로 기술확산이란, 혁신(innovations)이 신제품, 신공정 또는 신경영기법 등이 되어 경제영역 내에서 퍼져나가는 과정을 의미한다 (Baptista, 1999). 따라서 기술확산이 이루어지기 위해서는 경제주체들의 신기술 채택(adoption)이 반드시 수반이 되어야 한다. 지금까지 기술채택에 관한 많은 이슈가 제기 되어왔고 거기에 따라서 많은 연구가 진행이 되어왔다. 이들을 간략히 정리해 보면 다음과 같다.

- i) 어떤 요인에 의해 기업간에 기술확산 속도가 차이가 나는가?
- ii) 어떤 요인에 의해 기업 내에서의 기술확산속도가 결정되는가?
- iii) 어떤 이유에 의해 다른 기업보다 신기술을 빨리 채택하는 기업이 생기는가?

본 연구에서는 위의 세 이슈 중에서 첫 번째에 관해 주목하고자 한다. 한 기업이 신기술을 채택하기 위해서는, 여러 가지 요인들을 고려한 의사결정 과정을 거쳐야 한다. 이 때 기업이 고려하는 요인은 크게 기업요인들 (firm specific factors), 기술요인들 (technology specific factors)들로 나눌 수 있다. 기업요인에 관한 연구는 지금까지 기술확산에서 Probit (Davies, 1979) 또는 Rank (Karshenas & Stoneman, 1993, 1995) 접근법에서 많은 연구가 이루어졌다. 특히 종업원수나 매출액 등으로 대표되는 기업의 크기에 따른 기술이나 혁신의 수용성 정도에 관한 실증적 연구가 많이 이루어졌다. Davies (1979)는 기업의 크기를 기술채택의 핵심적인 요인으로 고려하였고 이와 관련지어 각 기업마다의 회수기간(pay-back period)을 기술 채택의 기업요인 중 중요시 고려하였다. 기술요인에 관한 연구는 기술채택을 투자의 관점으로 바라보는 것으로서, 기술채택으로부터 얻는 편익(benefit)과 비용(cost)을 고려한다 (DeCanio & Laitner, 1997). 기술의 시장요인으로는 기술이 속한 산업의 시장 집중도(concentration ratio), 기술의 가격 경쟁의 정도 등이 고려된다 (Reinganum, 1981; Quirmbach, 1986; Arvanitis & Hollenstein, 2001).

지금까지 대부분의 기술확산·채택 요인에 관한 연구는 Probit 또는 Rank 접근법이 주를 이루었다. 이 접근법은 주로 실증분석을 통해 주로 기업요인들의 통계적 유의성을 검증함으로써 기업의 기술확산·채택요인들을 찾으려는 노력을 하였다.

Rank 효과는 기술의 잠재수용자가 고유의 특성들을 가지고 있고 그들 특성에 의해 신기술채택을 통한 편익이 달라지고 다시 그에 따라서 기술채택의 시기가 달라진다는 가정을 하고 있다 (Karshenas & Stoneman, 1993). 따라서, 단지 기업요인만을 고려함으로써 나타나는 문제점들이 있을 수 있다. 즉 기술자체가 가진 요인들에 의해 기술채택의 가능성이 달라질 수 있음을 고려하지 못한다는 단점이 있을 수 있다.

이에 대한 대안으로 기술확산의 Epidemic 모형이 있다. 최근의 확산이론의 대부분은 전염병의 확산을 모델링 하는 이론에 기초를 두고 있다 (Baptista, 1999). 이와 같은 방식의 접근은 Griliches (1957) 에 의해 처음 제기되었으며, Mansfield (1961, 1963)가 그 이론적 기초를 정립하였다 해도 과언이 아니다. Mansfield (1961)는 어떤 혁신을 t 기에 도입하지 않다가 $t+1$ 기에 도입하는 기업의 비율은, i) t 기에 그 혁신을 도입한 기업의 비율, ii) 그 혁신을 도입함으로써 얻는 이익률, iii) 혁신을 도입하기 위한 초기투자비용, iv) 기타 눈에 보이지 않는 변수의 함수임을 제시하였다. 이를 통해 t 기에 그 혁신을 도입하는 기업의 수는 시간에 따라 다음과 같은 S-curve를 그리는 모형을 제시하였다.

$$\frac{m(t)}{n} = [1 - \exp(-\alpha - \beta t)]^{-1}$$

이때, $m(t)$ 는 t 기에 혁신을 채택하는 기업의 수, n 은 모집단의 크기이다. 이 접근에서는 기술에 관한 정보가 기술의 불확실성(uncertainty)을 낮추게 되어, 기술의 잠재사용자는 기술존재에 대한 정보와 학습에 의해 기술을 채택할 것이고, 잠재사용자와 사용자간의 직접 접촉에 의해 기술의 확산이 일어나는 것으로 보고 있다. 그러나 이 접근 또한 많은 비판을 받고 있다. 우선, 이 접근은 기술의 사용자 수가 증가함에 따라 리스크는 단지 감소하기만 한다는 가정과 잠재사용자의 사용자에 대한 직접 접촉 이외의 다른 정보전달 경로를 무시하고 있다 (Karshenas & Stoneman, 1995). 또한 잠재사용자를 기술에 대한 정보에 대해 수동적인 수용자로만 봤다는 점 또한 비판을 받고 있다 (Jensen, 1988). 게다가 기술이 시간에 따라 변하지 않는 것으로 가정하였으며 (Gold, 1980), 잠재수용자의 모집단이 동질적이고 시간에 따라 불변인 것으로 간주해 동적인 확산과정을 무시하였다 (Davies 1979; Mahajan & Peterson, 1978). 이런 비판에도 불구하고 epidemic 접근이 최

근 많이 연구되고 있는 이유는 S-curve에 기반하여 시장에서의 기술확산예측이 가능하기 때문이다.

지금까지 살펴본 바와 같이 기업의 기술채택 요인들에 대해 연구는 Probit 접근과 Epidemic 접근이 개별적으로 진행되어 왔고, 그러한 개별적 연구에 의해 기술채택요인에 관한 연구는 위에서 살펴봤듯이 여러 가지 한계점을 가질 수 밖에 없었다. 따라서 본 연구에서는 기업의 기술채택에 영향을 미치는 여러 요인들을 Probit 접근의 기업요인과 시장요인, 그리고 Epidemic접근의 기술요인을 동시에 고려해 각 요인의 통계적 유의성을 검정하고, 그 결과를 이용하여 각 기술의 시장에서의 확산을 예측하는 것을 목표로 하였다.

II. 연구배경

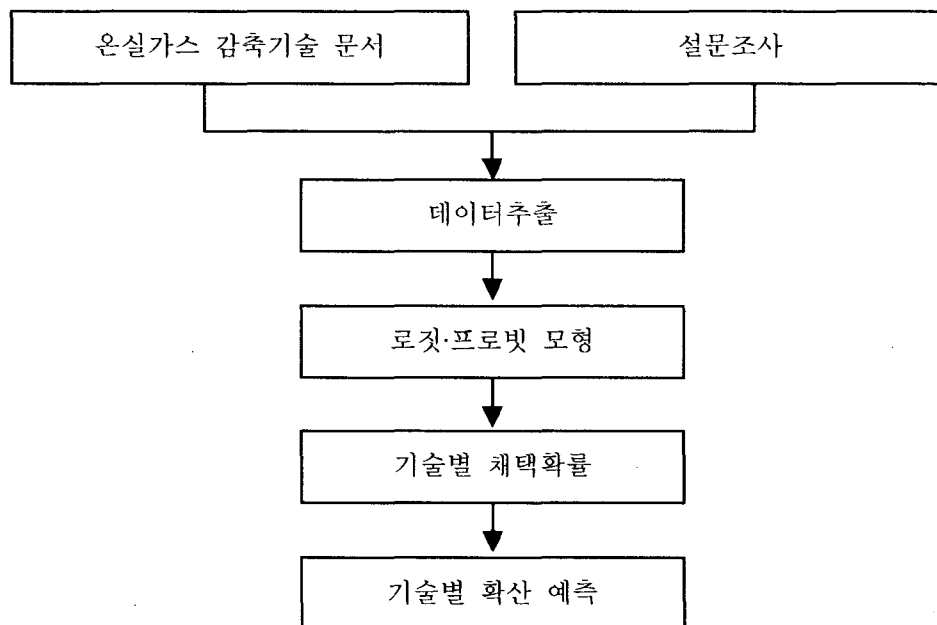
우리나라는 1993년 12월 기후변화협약에 가입한 상태이다. 1997년 12월 기후변화협약 가입국은 '기후변화협약 교토의정서'를 채택하여 선진국의 의무사항으로 2008년에서 2012년까지 온실가스 배출을 1990년 수준에서 5.2%를 감축하기로 하였다. 또한 배출권거래제도 공동이행제도, 청정개발체제 등을 도입하기로 의결하였다. 이 교토의정서에 의해 현재 온실가스배출량 세계 10위인 우리나라 경제에 미치는 영향도 상당할 것으로 예상되고 있다. 우리나라가 감축의무를 부담하게 되면 온실가스 배출량을 95년 수준으로 동결해야 할 경우 GDP 1.3%(15조 원)~3.6%(62조 원)의 막대한 손실이 예상되고 있다 (에너지관리공단, 2004).

온실가스감축을 위한 여러 방안이 있지만 현실적으로 가장 유력한 방안 중의 하나가 온실가스저감수단기술의 보급을 확대하는 방안이다. 온실가스감축기술의 보급을 통한 온실가스 감축의 필요성이 강하게 대두되고 있는 가운데, 미래의 온실가스저감량을 예측하기 위해서는 시장에서 해당기술이 어느 정도 채택될 것인가를 추정하는 것이 정책적으로 필요하다. 그런데 온실가스감축기술이 시장에서 어느 정도 보급될 것인가는, 그 기술을 기업이 채택할 때 주로 어떤 요인을 고려하는가에 관한 연구가 선행되어야 하고 이를 통해서만 기술확산의 예측이 가능할 것이다.

2005년 에너지관리공단은 요로, 철강, 비금속, 석유화학, 보일러, 버너, 발전, 제지, 시멘트 정유의 10개 업종에 대해 온실가스감축기술 조사사업을 실시하였다. 본 연구에서는 이중 발전업종의 기술을 그 대상으로 하고 있다. 본 연구가 발전업종에 초점을 맞춘 이유는 각 업종별로 에너지 기술을 채택을 하는데 있어서 업종별 특성이 강하게 반영되어 이질적인 양상을 보이고 있기 때문이다. 따라서, 10개 업종 중 온실가스 배출량이 가장 큰 발전업종에 초점을 맞추어 기업의 에너지기술 채택에 관한 연구를 진행하였다.

Ⅲ. 연구방법론

3.1. 연구모형



<그림 1> 연구 모형

본 연구는 위의 그림과 같은 과정을 거쳐 진행이 되었다. 먼저 문서화 돼 있는 온실가스 감축기술문서로부터 초기비용, 운용비용, CO₂저감률 데이터를 추출하였다. 또한 본 연구에서는 설문조사를 통해 얻어진 기업의 기술에 대한 성향점수가 음(-)이면 0, 양(+)이면 1의 이항값(binary value)으로 놓고 로짓 프로빗 모형을 이

용하여 각 기술별 채택확률을 모형화 하였다. 이렇게 구해진 기술별 채택확률을 현재의 시장점유율이라 간주할 수 있으므로 (Islam & Meade, 2000; Bass, 1969), 이를 현재의 시장점유율이라 놓고 DeCanio & Laitner (1997)가 제시한 횡단면 자료의 에너지 기술의 시장점유율 모델을 이용하여 각 기술별 확산 예측을 하였다.

3.2. 방법론

3.2.1. 데이터

앞에서 설명한 것처럼 본 연구에서는 에너지관리공단의 2005년 온실가스감축수단기술 조사사업의 데이터를 이용하였다. 즉, 발전산업의 20개 기업이 20개 기술(Appendix)에 대한 평가를 이용하였다. <표1>에 나와있는 데이터 설명은 로짓·프로빗 모형을 이용하여 각 요인의 유의성 검정을 하는데 쓰인 데이터이다. y 는 또한, 2005년 에너지관리공단에서 실시한 ‘온실가스 감축기술 조사사업’ 가운데 ‘온실가스 감축기술 보급장애요인 분석’ 부문의 설문 데이터를 활용하였다. 이 설문조사는 발전업종에서 추출된 20개의 온실가스 감축기술을 대상으로, 경제성, CO₂저감효과, CO₂이외의 효과, 설비성능의 신뢰도, 기존설비부합도, 설비 복잡성, 선행 적용사례의 7가지 요인에 대해 -5~+5까지 업체들이 점수를 매기게 하였고 그들을 합산해 표준화한 점수를 -5~+5까지로 표시하였다. 따라서, 만약 어떤 기술의 점수가 음(-)의 값을 갖는다면 그 기술을 새로 도입할 의사가 없는 것으로 볼 수 있고, 양(+)의 값을 갖는다면 그 기술을 도입할 의사가 있는 것으로 볼 수 있다.

<표 1>에서 기업변수, 기술변수, 시장변수는 모두 설명변수로서 유의성 검정의 대상이 되는 변수들이다. 먼저 기업변수 중 KNOW는 응답한 기업이 해당 신기술을 사전에 알고 있었느냐에 관한 더미변수이다. 일반적으로 epidemic 모형에서 신기술에 대해 얼마나 학습을 했는가에 따라 기술의 채택확률이 달라진다고 보고 있다. 즉, 신기술에 대해 잘 알고 있으면 신기술의 불확실성(uncertainty)가 줄어들어 그 기술을 채택할 확률이 높아진다고 보고 있다 (Karshenas & Stoneman, 1993). SIZE는 Rank 모형에서 가장 많이 다루고 있는 기업변수이다.

상당수의 기존 연구들은 신기술을 채택하는 것에 있어서 대기업이 소기업보다 더 빠르다고 제시하고 있다 (Davies, 1979; Hannan & McDowell, 1984; Karshenas & Stoneman, 1993; Colombo & Mosconi, 1995; Tourigny & Le, 2004). 그들은 대기업이 소기업보다 신기술의 불확실성에 따른 리스크를 분산시킬 능력이 더 크고, 자본시장에 접근이 더 용이하기 때문에 대기업이 소기업보다 신기술 채택의 성향이 더 강하다고 말하고 있다. 반면 이와 상반된 주장을 한 연구도 존재한다 (Scherer, 1992; Nooteboom, 1994)). 그들은 독점력을 가진 대기업은 경쟁자들의 위협을 별로 느끼지 못하기 때문에 덜 혁신적일 수 있고, 기업이 커감에 따라 관료적으로 변하기 때문에 신기술채택에 덜 적극적일 수 있다. 반면 소기업은 조직의 유연성과 빠른 의사결정으로 신기술채택이 적극적이고 빠를 수 있다. TPBRD는 기업이 신기술 채택시 목표로 삼고 있는 회수기간(payback period)을 의미한다. 따라서 예상하기를 목표로 삼고 있는 회수기간이 길면 길수록 신기술 도입의 역량이 된다는 의미이므로 양(+의 효과를 가질 것으로 기대할 수 있다. EWGT 는 본 연구가 대상으로 하고 있는 기술이 에너지기술이므로 생산원가 중 에너지 비중이 큰 기업일수록 신기술채택을 더 빨리 적극적으로 할 것이라고 예상할 수 있다.

기술변수에는 CCOST와 CO2를 고려하였다. CCOST는 초기에 설비의 구축에 투입되는 비용을 의미하는데 그 단위는 천원/kW였다. CO2는 기존 존재하는 기술에 대한 이산화탄소의 상대적 저감률을 의미한다. 그런데, 여기서 편익변수로 CO2저감률 하나만을 고려한 것이 문제가 있을 수 있기 때문에 에너지저감률을 추가적으로 고려하려고 하였으나 결측치가 많아서 이를 고려하지 않았다. 한편 본연구가 고려하는 20개 기술은 초기비용에 있어서 큰 편차를 보이고 있다. 따라서, CCOST의 절대적 크기만을 기술변수로 고려했을 경우 초기비용의 효과에 있어서 bias가 있을 수 있다. 따라서, 기존 기술대비 신기술의 가격비를 나타내는 RATIO를 추가함으로써 기존기술과 신기술의 가격차이에 따른 효과를 통제하고자 하였다.

<표 1> 데이터 설명

변수	변수명	설명
종속변수	y	0, 1로 나타내지는 이항값
기업변수	KNOW	기업이 해당 기술을 알고 있는가에 관한 더비

	변수	
	SIZE	기업의 크기(기업의 매출액 데이터를 이용)
	TPBRD	기업의 신기술 도입시 목표 회수기간
	EWGT	기업의 생산 원가 중 에너지 비중
기술변수	CCOST	기술의 초기투자비용
	CO2	기술의 기존 기술 대비 CO2저감률
	RATIO	기존 기술대비 가격비율

3.2.2. 실증분석

본 연구에서는 기업변수와 기술변수를 독립변수로 놓고 각 변수들의 효과를 검정하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 이항선택모형(binary choice model)을 이용하였다. 이항선택모형은 종속변수가 이항인 경우에 사용되며, 이항변수끼리는 통계학적으로 배반사건(mutually exclusive event)이고 확률적 선택하에 놓인 경우에 사용할 수 있다. 즉, 하나의 사건 A가 발생하는 경우와 그렇지 않은 경우의 두 가지 선택의 범주가 있을 때 사용된다. 본 연구에서는 이항선택모형 중 가장 단순한 형태의 모형인 로짓·프로빗 모형을 이용하였다.

로짓모형과 프로빗 모형은 연계함수(link function)을 제외하고 기본적인 가정과 논의 전개는 같기 때문에 아래에서는 주로 로짓모형을 중심으로 논의를 전개하도록 하겠다.

로짓모형은 Luce (1959)가 처음 유도하였다고 하며, Marschak (1960)은 이에 대한 공리적 가정들의 체계를 완성하였다. 또한 McFadden(1974)에 의해 본격적으로 사회과학 분야에 일반화되기 시작하였다 (이성우 외, 2005).

종속변수의 이항적 선택성은, 종속변수가 연속이어야 하고 독립변수와 선형성을 가져야 한다는 OLS의 가정을 충족시키지 못하기 때문에, 만약 그냥 OLS를 적용하면 추정량의 편의(bias)와 분산(variance)이 커지게 된다. 로짓모형은 선형회귀식의 이러한 문제점을 보완하기 위해 다음과 같이 가정한다.

$$y^* = \sum_{k=1}^K \beta_k x_k + \varepsilon$$

이 때, K 는 독립변수의 수이고, ε 는 $E(\varepsilon)=0$ 을 만족한다. 또한, y^* 는 잠재변수 (latent variable)로서 y^* 가 어떤 수준 이상이면 사건A가 일어나게 되어 $y=1$, 그렇지 않으면 $y=0$ 이 되게 하는 더미변수로 처리한다.

$$y = \begin{cases} 1 & \text{if } y^* > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

따라서, 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Pr(y=1) &= \Pr\left(\sum_{k=1}^K \beta_k x_k + \varepsilon > 0\right) \\ &= \Pr\left(\varepsilon > -\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) \\ &= 1 - F\left(-\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) \\ &= F\left(\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) \end{aligned}$$

여기서, $F(\cdot)$ 는 ε 의 누적분포함수(cumulative distribution function)이다. 로짓모형은 ε 의 누적분포함수가 S자 형태의 로지스틱 함수이고 이를 통해, 이항 선택성을 가진 불연속적 변수가 종속변수로 쓰임에 따라 OLS을 적용할 수 없었던 상황에서 확률을 도입함으로써 연속성을 확보할 수 있게 되었다.

이상의 논의를 통해, 본 연구에서는 다음과 같은 로짓·프로빗 모형을 설정하였다.

$$\sum_{k=1}^K \beta_k x_k = \beta_0 + \beta_1 \text{KNOW} + \beta_2 \text{SIZE} + \beta_3 \text{TPBRD} + \beta_4 \text{EWGT} + \beta_5 \text{CCOST} + \beta_6 \text{CO2} + \beta_7 \text{RATIO}$$

$$\begin{aligned} \Pr(y=1) &= F\left(\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) \\ &= \begin{cases} \left[1 + \exp\left(-\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right)\right]^{-1} & \text{(로짓모형)} \\ \Phi\left(\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) & \text{(프로빗모형)} \end{cases} \end{aligned}$$

$$\text{단, } \Phi(z) = \frac{1}{(2\pi)^{d/2}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{z^T z}{2}\right) dz$$

3.2.3. 확산예측모형

본 연구에서는 기술별 확산예측 모형을 유도하기 위해서는 몇 가지 기본적인 가정을 하였다. 우선, 각 신기술의 경쟁 기술은 단 하나 존재하는 것으로 가정하였다. 즉 기존에 시장에 존재하는 기술과 신기술을 포함하여 시장에는 단 두개의 기술만이 존재한다고 보고, 이는 j 로 나타낼 수 있다. 또한 어떤 기술 i 에 대한 효용은 자본비용 (C_i), 운용비용 (O_i), 이산화탄소저감률 ($CO2_i$)만의 1차 함수임을 가정하였다 (Decanio & Laitner, 1997). 이런 가정을 바탕으로 어떤 기술 i 의 선택확률은 앞서 논의했던 로짓모형을 이용하여 다음과 같이 효용의 함수로 나타낼 수 있다 (McFadden, 2001).

$$\Pr(i) = \frac{e^{U(i)}}{\sum_j e^{U(j)}} = \frac{1}{1 + e^{-U(i)}}$$

본 연구에서는 효용이 자본비용과 운용비용의 1차함수임을 가정하였으므로 다음과 같이 효용함수를 구성할 수 있다.

$$U(i) = \beta_{0i} + \beta_{1i}C_i + \beta_{2i}O_i + \beta_{3i}CO2_i$$

여기서 각 계수의 음(-)의 기호는 편의상 붙인 것이다. 따라서, 어떤 기술 i 의 선택확률은

$$\Pr(i) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_{0i} + \beta_{1i}C_i + \beta_{2i}O_i + \beta_{3i}CO2_i)}}$$

로 나타낼 수 있다. 이때 선택확률 $\Pr(i)$ 는 기술 i 의 현시점에서의 시장점유율이라 간주해도 무방하다 (Bass, 1969). 한편, 자본비용 (C_i) 과 운용비용 (O_i)은 시간에 따라 변하는 값이므로

$$S(t) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_{0i} + \beta_{1i}C_i(t) + \beta_{2i}O_i(t) + \beta_{3i}CO2_i)}}, \quad C_i(t) = \frac{C_i}{t}, O_i(t) = \frac{O_i}{t} \text{라 놓을 수 있다.}$$

IV. 실증분석 및 기술예측 결과

4.1. 실증분석결과

로짓모형과 프로빗모형을 이용하여 실증분석을 한 결과는 아래의 <표 2>와 <표 3>에 나타나 있다. 두 모형이 거의 유사한 결과를 도출했는데, SIZE, CO2는 5% 수준에서 통계적으로 유의하였고, KNOW, TPBRD, COST는 1% 수준에서 통계적으로 유의하였다.

<표 2> 모수추정값 (로짓모형)

변수	자유도	추정값	표준오차	카이제곱 (Chi-Sq)	Pr > Chi-Sq	Odds Ratio
Intercept(β_0)	1	6.9991*	2.8199	6.1604	0.0131	
KNOW(β_1)	1	0.8783**	0.2769	10.0568	0.0015	2.4068
SIZE(β_2)	1	-0.3125*	0.1220	6.5538	0.0104	0.7316
TPBRD(β_3)	1	0.2242**	0.0842	7.0887	0.0078	1.2513
EWGT(β_4)	1	0.0084	0.0090	0.8720	0.3504	1.0084
COST(β_5)	1	-1.0234**	0.3844	7.0876	0.0078	0.3594
CO2(β_6)	1	0.0076*	0.0038	4.0784	0.0434	1.0076
RATIO(β_7)	1	0.0010	0.0020	0.2444	0.6210	1.0010

*significant at 5% level

** significant at 1% level

<표 3> 모수추정값 (프로빗모형)

변수	자유도	추정값	표준오차	카이제곱 (Chi-Sq)	Pr > Chi-Sq	Odds Ratio
Intercept(β_0)	1	4.2312*	1.7052	6.1573	0.0131	
KNOW(β_1)	1	0.5407**	0.1678	10.3829	0.0013	1.7172

SIZE(β_2)	1	-0.1591**	0.0745	6.8561	0.0088	0.8529
TPBRD(β_3)	1	0.1398**	0.0515	7.3824	0.0066	1.1500
EWGT(β_4)	1	0.0050	0.0055	0.8373	0.3602	1.0050
COST(β_5)	1	-0.6145**	0.2306	7.1040	0.0077	0.5409
CO2(β_6)	1	0.0046*	0.0023	3.9681	0.0464	1.0046
RATIO(β_7)	1	0.0006	0.0012	0.2142	0.6435	1.0006

*significant at 5% level

** significant at 1% level

한편 로짓모형과 프로빗모형의 결과로 나온 값에 대한 해석은 Odds Ratio값을 이용한다. Odds란 어떤 사건이 발생할 확률에 대비하여 그 사건이 발생하지 않을 확률의 비율이다. Odds Ratio는 다른 설명변수가 통제된 상황에서 한 변수만의 변화를 통해 나타내는 효과를 의미하는 것으로서 한 변수의 한계효과를 의미한다. 위의 결과를 통해서 KNOW변수 즉, 어떤 기술에 대해 알고 있느냐 없느냐의 차이에 따른 한계효과(로짓모형: 2.4068, 프로빗모형: 1.7172)가 기술채택확률에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

위의 결과에서 한가지 흥미로운 것은, 기업의 크기가 기업의 신기술 채택확률에 미치는 영향이 음의 부호를 가졌다는 점이다. 이런 결과가 도출된 원인으로 다음의 두 가지를 들 수 있다. 첫째, 발전산업은 초기 투자비용이 커서 새로운 경쟁자가 등장하기 힘든 산업이다. 따라서, 어느 정도의 시장점유율을 확보한 기존의 대기업은 새로운 경쟁자들의 위협을 별로 느끼지 못하기 때문에 소기업보다 덜 혁신적일 수 있고 그것에 따라 신기술채택확률이 낮을 수 있다. 둘째, 온실가스 감축수단 조사사업에서 도출된 발전산업의 20개 기술은, 그 특성과 발전소의 현실을 고려할 때 부분공정 개선으로 얻을 수 있는 에너지 효율 향상 및 온실가스 저감효과가 적을 뿐만 아니라 발전 현장에 적용이 쉽지는 않다. 따라서, 기존에 안정적으로 발전을 하고 있는 대기업이 신기술을 도입하려는 동기요인이 줄어든다.

목표회수기간에 대해서는 양의 효과를 나타냈다. 즉, 목표회수기간이 클수록 신기술 채택의 가능성이 크다는 의미이다. 이는 목표회수기간을 길게 잡는다는 의미는 그 기업의 재무상태가 양호함을 의미하는 것이고, 이런 양호한 재무상태는 신기술

채택의 가능성을 높일 수 있음을 의미한다. 초기비용에 대해서는 예상했던대로 음의 부호를 나타냈고, 이산화탄소 저감률에 대해서는 양의 부호를 나타냈다. 즉, 초기비용이 클수록 신기술채택의 가능성은 낮아지고, 이산화탄소 저감률이 높으면 높을수록 신기술채택의 가능성은 커짐을 의미한다. 이때 이산화탄소 저감률에 대한 해석은 주의할 필요가 있다. 앞서 언급한 것처럼 본 연구에서는 데이터의 유용성 때문에 기술요인의 편익에 해당되는 변수로서 이산화탄소 저감률만을 고려하였다. 따라서, 이산화탄소 저감률의 변화에 따른 신기술채택확률의 변화에 대한 해석을 할 때, 편익이 커지면 채택확률이 커진다고 해야 적절할 것이다. 한편, 각 기업의 생산원가중 에너지비중과 신기술의 기존기술대비 가격비에 대해서는 통계적으로 유의하지 않은 결과를 보였다.

4.2. 기술예측결과

DeCanio & Laitner (1997)는 횡단면자료(cross sectional data)를 이용하여 투자관점의 기술채택 모델링 방법을 제시하였고, 본 연구는 기본적으로 이 모델을 따랐다. 단, DeCanio & Laitner (1997)의 방법은 각 기술의 시장점유율 자료가 각 시기별로 존재해야 하는 난점이 있기 때문에, 본 연구에서는 위의 로짓모델에 의해 나타난 결과를 통해 도출된 각 기술의 채택확률을 이용한 모델을 만들었다. 이때 위의 로짓모형에서 모수가 95%신뢰구간에서 통계적으로 유의하지 않았던 EWGT와 RATIO는 제외하였다. 따라서, 각 기술의 채택확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Pr(y = 1) = \frac{e^{6.9991+0.8783KNOW-0.3125SIZE+0.2242TPERD-1.0234COST+0.0076CO2}}{1 + e^{6.9991+0.8783KNOW-0.3125SIZE+0.2242TPERD-1.0234COST+0.0076CO2}}$$

이를 통해 현재의 시장점유율과 효율을 구할 수 있다. 이 때 효율함수가 초기비용, 운용비용, CO2저감률의 1차함수라고 가정하고 OLS를 적용하면,

$U(i) = -\beta_{0i} - \beta_{1i}C_i - \beta_{2i}O_i - \beta_{3i}CO2_i$ 에서 $\beta_{0i}, \beta_{1i}, \beta_{2i}, \beta_{3i}$ <표 4>와 같이 구할 수 있다.

<표 4> OLS 추정값

변수	추정값	표준오차	t 통계량	p 값
----	-----	------	-------	-----

Intercept (β_{0i})	1.7131*	0.4888	3.5048	0.0029
$CO2_i$ (β_{3i})	0.0084	0.0091	0.9275	0.3675
C_i (β_{1i})	-0.0005*	0.0001	-3.3768	0.0038
O_i (β_{2i})	-0.0072	0.0097	-0.7399	0.4701

$adjR^2=0.3341$

*significant at 1% level

다시 위의 OLS결과를 이용하여 통계적으로 유의한 상수항과 초기비용만을 이용하여 i 기술의 현재 시장점유율을 구하면 다음과 같다.

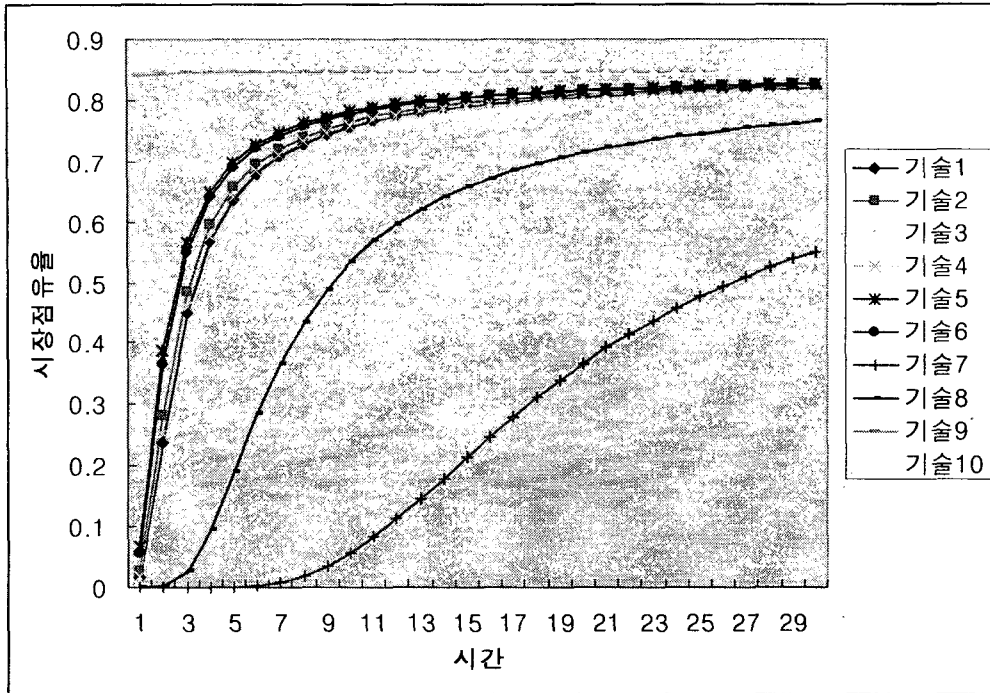
$$S(i) = \frac{1}{1 + e^{-1.7131_i + 0.0005C_i}}$$

이때, 초기비용 C_i 가 시간에 따른 할인(discount)가 있다고 가정하면, 시장점유율 모형은 시간에 따라 변하는 다음과 같은 함수로 쓸 수 있다.

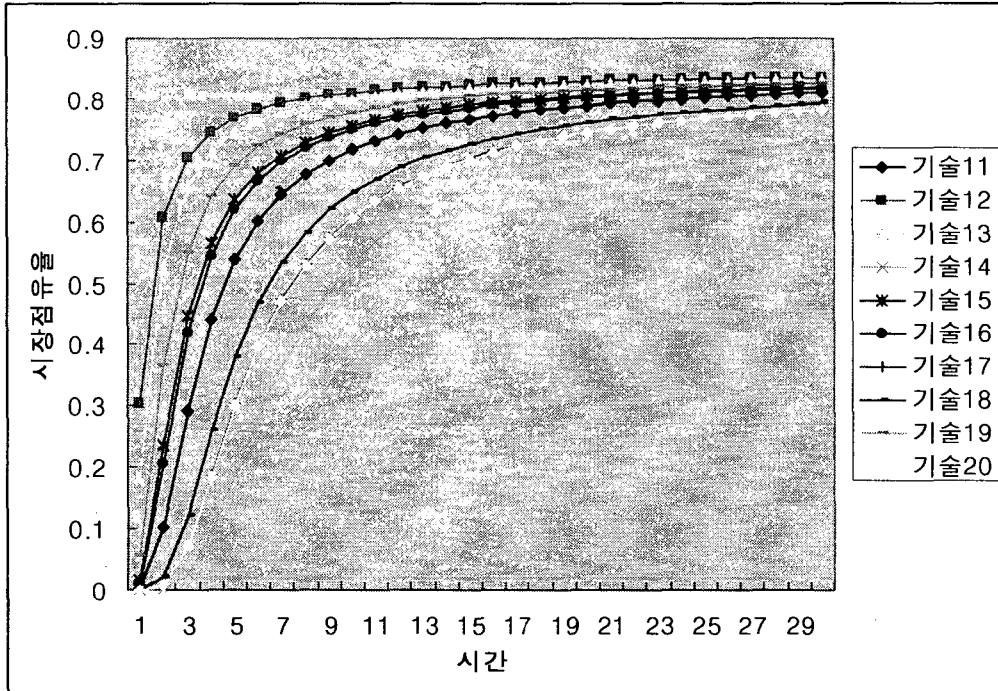
$$S_i(t) = \frac{1}{1 + e^{-1.7131_i + 0.0005 \frac{C_i}{t}}}$$

각 기술의 초기비용을 이용하여 시간에 따른 확산곡선을 그리면 <그림 2>, <그림 3>과 같이 나타난다. <그림 2>의 기술4(석탄가스화 복합발전 (IGCC)-F 터빈), 기술10(선택적 촉매환원법 (SCR))은 초기에 이미 거의 포화상태에 이르고 있다. 갓 시장에 진출한 신기술이 이런 결과를 보이는 것은 드문 일이므로 이를 해석하는데 있어서 주의가 필요하다. 이렇게 시장 도입직후 포화상태에 도달한다는 의미는, 기업이 신기술에 대해 느끼는 효용의 핵심요인인 초기비용이 상당히 작아서 채택이 용이하다는 것을 의미한다. 반면 기술7(IGFC-SOFC), 기술8(IGFC-MCFC), 기술14(LNG용 연료전지발전)의 경우는 초기비용을 고려했을 때 그 채택이 용이하지 않음을 보여주고 있다.

<그림 2> 기술별 확산곡선 (기술1~기술10)



<그림 3> 기술별 확산곡선 (기술11~기술20)



V. 시사점 및 결론

교토의정서의 발효 이후 온실가스 감축기술이 시장에서 어떤 반응을 얻을 것인가를 예측하는 것은 국가 정책적으로 중요한 문제이다. 따라서 본 연구는 기업이 온실가스 감축기술을 채택하는데 어떤 요인이 중요하게 작용하는지를 기업요인과 기술요인을 통합하여, 발전산업을 중심으로 살펴보았고, 이를 바탕으로 온실가스 감축기술 20개의 확산패턴이 어떻게 다르게 나타나는가를 확산곡선 도출을 통해 살펴보았다.

기업들이 온실가스 감축기술을 채택하는 데에는, 그 기술을 알고 있는지의 여부가 중요 요인이었고, 기업의 크기에 따라 채택확률이 달라졌다. 특히 실증 분석결과 기업의 크기가 기술채택확률에 음(negative)의 효과를 가진 것으로 나왔는데, 이는 발전업종의 안정적 산업 특성에 따라 대기업의 신기술도입 성향이 소기업보다 약하다고 해석할 수 있다. 여기에 기업의 재무상태를 대변하는 목표회수기간도 중요 영향요인으로 꼽을 수 있었다.

기술요인의 측면에서 봤을 때, 발전산업은 그 설비 도입시 엄청난 초기비용이 들기 때문에 기술의 초기설치비용이 매우 중요한 요인으로 작용하였다. 따라서, 초기설치비용은 기술채택확률에 음의 효과를 가졌으며 이는 기술의 초기비용이 작으면 작을수록 신기술채택이 용이해짐을 의미한다. 본 연구에서는 기술의 비용에 대한 편익변수로서 기술의 이산화탄소 저감률을 이용하였으며 예상했던 것처럼 기술의 초기비용과 더불어 이산화탄소 저감률 또한 기술채택에 있어서 유의한 영향요인으로 분석되었다.

이상의 논의를 중심으로, 기업들이 동일한 조건이라면 기술의 특성에 따른 확산패턴이 어떠할지에 대해서 확산곡선을 도출함으로써 확인할 수 있었다. 그 결과 4(석탄가스화 복합발전 (IGCC)-F 터빈), 기술10(선택적 촉매환원법 (SCR))은 초기에 포화상태에 도달한다는 결과를 보였고, 반면 기술7(IGFC-SOFC), 기술8(IGFC-MCFC), 기술14(LNG용 연료전지발전)은 다소 더딘 시장점유율 상승을 보였다. 기술7, 기술8, 기술14의 경우는 비교적 이산화탄소 저감률이 높은 기술들이다. 따라서 만약 기술7, 기술8, 기술14가 반드시 발전산업에 필요한 기술이

라면 이들 기술에 인센티브를 제공하여 더딘 확산속도를 다소 빠르게 촉진시킬 수 있을 것이라는 시사점을 얻을 수 있다.

< 국내외 참고문헌 >

에너지관리공단 (2004) 산업부문의 온실가스 감축옵션 조사 및 분석연구, KEMCO-2003-38-N-03

이성우, 민성희, 박지영, 윤성도 (2005) 로켓·프라빗모형 응용, 박영사

Arvanitis, S. and Hollenstein, H. (2001) "The determinants of the adoption of advanced manufacturing technology", *Economics of Innovation and New Technology*, Vol.10(5), pp.377-414

Baptista, R. (1999) "The diffusion of process innovations: a selective review", *International Journal of Economics of Business*, Vol. 6(1), pp.107-129

Bass, F.M. (1969) "A new product growth model for consumer durables", *Management Science*, Vol.15(5), pp.212-227

Colombo, M.G. and Mosconi, R. (1995) "Complementarity and cumulative learning effects in the early diffusion of multiple technologies", *Journal of Industrial Economics*, Vol. 43(1), pp.13-48

Davies, S. (1979) *The diffusion of process innovations*, Cambridge University Press

DeCanio, S.J. and Laitner, J.A. (1997) "Modelling technological change in energy demand forecasting", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 55(3), pp.249-263

Gold, B. (1981) "Technological diffusion in industry: research needs and shortcomings", *Journal of Industrial Economics*, Vol. 29(3), pp.247-269

Griliches, Z. (1957) "Hybrid corn: an exploration in the economics of technological change", *Econometrica*, Vol. 25(4), pp.501-522

Hannan, T.H. and McDowell, J.M. (1984) "The determinants of technology adoption: the case of the banking firm", *Rand Journal of Economics*, Vol. 15(3), pp.328-335

Hollenstein, H. (2004) "Determinants of the adoption of information and communication technologies (ICT): an empirical analysis based on firm-level data for the Swiss business sector", *Structural Change and Economic Dynamics*, Vol. 15(2), pp.315-342

Islam, T. and Meade, N. (2000) "Modelling diffusion and replacement", *European Journal of Operational Research*, Vol. 125 (3), pp. 551-570

Jensen, R. (1988) "Information cost and innovation adoption policies", *Management Science*, Vol. 34(2), pp.230-239

- Jun, D.B. and Park, Y.S. (1999) "A choice-based diffusion model for multiple generations of products", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 61(1), pp.45-58
- Karshenas, M. and Stoneman, P.L. (1993) "Rank, stock, and epidemic effects in the diffusion of new process technologies: an empirical model", *Rand Journal of Economics*, Vol. 24(4), pp.503-528
- Karshenas, M. and Stoneman, P.L. (1995) *Handbook of the economics of innovation and technological change*, Blackwell
- Luce, D. (1959) *Individual choice behavior*, John Wiley and Sons
- Mahajan, V. and Peterson, R.A. (1978) "Innovation diffusion in a dynamic potential adopter population", *Management Science*, Vol. 24(15), pp.1589-1597
- Mansfield, E. (1961) "Technical change and the rate of imitation", *Econometrica*, Vol. 29(4), pp.741-766
- Mansfield, E. (1963) "The speed of response of firms to new techniques", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 77(2), pp.290-311
- Marschak, J. (1960) "Binary choice constraints on random utility indications", in *Stanford Symposium on Mathematical Methods in the Social Sciences*, Stanford University Press, pp.312-329
- McFadden, D. (1974) "The measurement of urban travel demand", *Journal of Public Economics*, Vol. 3(4), pp.303-328
- McFadden, D. (2001) "Economic choices", *American Economic Review*, Vol. 91(3), pp.351-378
- Nooteboom, B. (1994) "Innovation and diffusion in small firms: theory and evidence", *Small Business Economics*, Vol. 6(5), pp.327-347
- Quirnbach, H. (1986) "The diffusion of new technology and the market for an innovation", *Rand Journal of Economics*, Vol. 17(1), pp.33-47
- Reinganun, J. (1981) "Market structure and the diffusion of new technology", *Bell Journal of Economics*, Vol. 12(2), pp.618-624
- Scherer, F.M. (1992) "Schumpeter and plausible capitalism", *Journal of Economic Literature*, Vol. 30(3), pp.1416-1433
- Tourigny, D. and Le, C.D. (2004) "Impediments to innovation faced by Canadian manufacturing firms", *Economics of Innovation and New Technology*, Vol. 13(3), pp.217-250

Appendix

20 개 기술목록

기술번호	기술명
1	초초임계(USC) 발전
2	초임계(SC) 발전
3	유동층 연소(FBC)
4	석탄가스화 복합발전 (IGCC)-F 터빈
5	석탄가스화 복합발전 (IGCC)-H 터빈
6	가압유동층 연소(PFBC)
7	IGFC-SOFC
8	IGFC-MCFC
9	LNB (Low Nox Burner)
10	선택적 촉매환원법 (SCR)
11	순환유동층연소(CFBC)
12	가스복합발전 (NGCC)-터빈ABBGT24
13	가스복합발전 (NGCC)-터빈PG7001FA
14	LNG용 연료전지발전
15	소수력
16	풍력 발전
17	태양광 발전
18	Biomass 발전
19	매립지가스(LFG) 발전
20	폐기물 발전