

기술 교체의 최적 시점에 관한 고찰

Optimal Timing of Technology Transition from New Perspectives

박상선

KAIST 테크노경영대학원

김보원

KAIST 테크노경영대학원

Abstract

기술개발 경쟁이 점점 치열해 지면서 기업의 입장에서 언제 신기술을 도입하여 사용할지에 대한 고민도 늘어가고 있다. 우리는 본 연구에서 기존 기술과 신기술이 공존 할 때 어떤 시점에서 새로운 기술로 기존 기술을 교체하는 것이 최적인가에 대해 고찰하고자 하였다. 이 문제에 대한 기존 연구에 대한 분석을 토대로 개념적인 수리적 모델을 제시하고 있으며 향후 이 연구가 어떠한 방향으로 이루어져야 하는지에 대한 방향을 모색하고자 한다.

1. Introduction

오늘날 기술 혁신의 속도가 점점 더 가속화되고 있으며 이에 따라 제품의 세대 교체 주기가 점점 더 짧아지고 있다. 이렇게 변화하고 있는 환경은 기업이 어떤 시점에서 신기술을 수용하여 기존의 제품을 대체할 신제품을 개발하고 판매할 것인가를 고심하게 하고 있다. 기업이 너무 이른 시점에 신기술을 수용하여 차세대 제품을 출시하는 것은 자사의 기존 제품과 신제품과의 경쟁을 촉발시켜 기존 제품의 판매를 감소시키고 여기에 투자한 비용을 회수하기 어렵게 만들 가능성이 있다. 반면 너무 늦게 신기술을 수용하면 잠재 시장을 잃고 기술 경쟁에서 뒤쳐져 결국 기업의 경쟁력 저하를 불러올 것이다. 이 문제에 관련된 기존 문헌들은 주로 신기술의 수용이라는 측

면

과 신제품의 출시라는 두 가지 부류로 볼 수 있다. 우리는 본 연구에서 이 두 부류의 기존 문헌들에 대한 고찰을 바탕으로 어떤 변수들이 기업의 최적 기술 교체 시점들에 영향을 미치는지를 관찰하고 수리적 모형화(Analytical Modeling)를 통해 시사점을 도출하고자 한다.

2. Literature Review

Lilien과 Yoon (1990)에 따르면 이러한 연구들은 크게 두 범주의 연구로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째 범주는 정성적, 전략적 결정에 관한 것이고 두 번째 범주는 정량적, 전술적 결정에 관한 연구들이다. 지금까지의 연구들 보면 정성적 결정에 있어서는 주로 first mover advantage와 관련된 연구들이 주를 이루어 왔고 정량적 결정에 있어서는 어떤 시점에, 즉 신기술을 사용하는 시장에 되도록 빨리 진입하는 것이 좋을지, 혹은 늦게 진입하는 것이 좋을지에 관한 연구들이 주를 이루고 있다. 본 연구의 관심사는 기술교체의 최적 시점을 수리적 모델링으로 표현하고자 하는데 있으므로 위의 연구 범주 중 두 번째 범주에 해당한다고 할 수 있다.

기술교체의 시점에 관한 수리적 연구는 크게 두 가지의 관점으로 볼 수 있다. 첫 번째는 기술교체를 기존의 기술과는 다른 새로운 기술의 수용(Innovation Adoption)으로 바라보는 시점이고 두 번째는 기술교체를 신기술을 사용한 신제품의 출시(New Product Introduction)로 생각하는 관점이다.

전자의 연구는 주로 경제학적 배경과 모델링 방법을 사용한 연구들이 주를 이루어왔고 후자의 연구는 마케팅의 관점에서 신제품을 출시할 때의 최적 시점에 관한 연구이다. 기술 수용의 관점에서 수리적 모델을 제시한 대표적인 연구들에는 Barzel (1968), Kamien & Schwartz (1972), Klinecivicz & Luss (1985), Farzin, et al. (1998), Trasiev & Watanabe (2000) 등이 있으며 신제품의 출시에서 이 문제를 바라본 연구들에는 Norton & Bass (1987), Wilson & Norton (1989), Mazumdar, et al. (1996), Mahazan & Muller (1996), Matsumoto, et al. (2002) 등이 있다.

지금까지의 신기술 수용 시점 관점에서의 연구들은 대부분 신기술의 효율성과 투자 비용간의 trade-off를 고려한 기술 교체의 최적 시점에 초점을 두고 있다. Barzel (1968)연구는 이러한 연구의 시발점이라고 할 수 있는 연구로 신기술의 수용으로 인해 발생하는 투자비용과 이익의 증가 사이의 균형점을 찾고 있다. 이 균형점을 결정하는 변수로서 수요의 증가율, Discount rate 등을 고려하고 있으며 기술교체의 최적 시점은 수요가 빨리 증가하고 신기술의 효율이 높을수록 앞당겨지며 투자 비용이 높을수록 늦어진다는 다소 단순한 결과를 보이고 있다. Kamien & Schwartz (1972)의 연구는 Barzel의 모형에 기업 간의 경쟁상황을 도입한 모형을 제시하였다. 이 연구의 기본적인 결과들은 Barzel의 연구와 비슷하지만 기업 간의 경쟁강도에 따라 최적기술 교체시점이 달라진다는 새로운 결과를 제시한 의의가 있다. 이들의 연구를 포함하여 후에 제시된 Klinecivicz & Luss (1985), Farzin, et al. (1998), Trasiev & Watanabe (2000)의 모형 들도 기본적으로 비슷한 결과를 보여 주고 있다. 이 모형들의 가정들을 요약하면 신기술 수용 관점의 모형들은 신기술은 기존 기술보다 효율성이나 이익 창출 가능성이 높으며 신기술 수용에는 투자 비용이 발생하고, 모형의 전 기간 동안 수요가 증가하는 것을 가정하고 있는 것이다. 이러한 접근 방법은 신기술 수용 시점에 관한 근본적인 변수들에 대해 시사점을 제공하고 있지만 기존 기술을 대체하여 신기술을 사용할 경우 사이에 발생할 수 있는 두

기술 간의 상호작용을 고려하지 못하고 있다는 한계점도 지니고 있다.

한편 신제품 출시에 관한 수리적 모델의 시초라고 할 수 있는 연구로는 Norton & Bass (1987)의 연구를 들 수 있다. 이들은 이 연구에서 Bass의 확산모형을 확장하여 신제품을 출시할 때 기존 제품과 신제품이 교체 되는 과정을 모형화 하였다. 이 모형은 비록 신제품의 최적 출시 시점을 고찰하지는 않았지만 이후 관련 연구에 출발점을 제시하였다고 할 수 있다. Wilson & Norton (1989)의 연구는 Line Extension의 측면에서 신제품의 최적 출시 시점을 연구하였다. 마케팅 측면에서 제시된 이 모형은 기존 제품과 신제품 간의 유사성, 잠재시장 등을 변수로 사용하여 신제품을 지금 출시 하거나 아예 출시하지 않는 전략을 제시하고 있다(now or never strategy). Mazumdar, et al. (1996), Mahazan & Muller (1996) 등의 연구는 Wilson & Norton의 연구보다 일반적인 상황을 모형화 하여 기존 제품 시장의 성숙도(Product Life Cycle)에 따른 신제품 출시 전략을 제시하였다. 신제품 출시와 관련된 모형들은 기존 제품과 신제품의 교체과정에서 나타나는 역학관계(Dynamics)를 고찰하고 있다는 점에서 의미가 있다. 하지만 신기술 수용 관점의 모형들과는 달리 대부분의 모형들이 기존 제품과 신제품의 기술적 차이를 고려하지 않고 있다는 점에서 그 한계점을 찾을 수 있다.

본 연구에서는 이러한 두 부류의 모형에서 나타난 한계점들을 극복할 수 있는 수리적 모형을 제시하고자 한다. 즉, 기술 교체 시점에 있어서 신기술과 기존 기술의 기술적 차이를 고려함과 동시에 교체 시점에 나타나는 기술의 세대간 경쟁을 표현할 수 있는 모형을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

3. Model

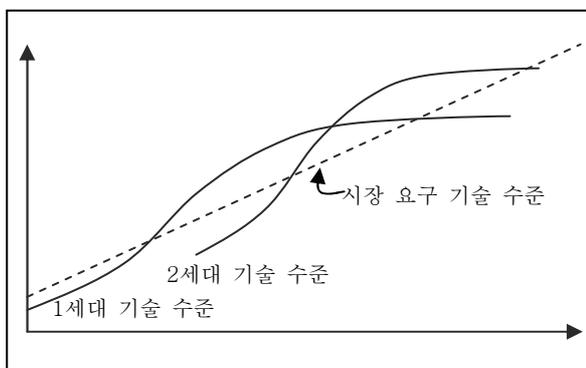
3.1. Underlying Dynamics

기술교체의 역학관계는 공급측면과 수요측면, 두 측면에서 살펴야 한다. 먼저 공급측면에서는 기술 발전 과정을 생각할 수 있다. 기술은 처음 시장에 나왔을

때의 상태로 머물러 있지 않고 시간이 지남에 따라 기업의 기술투자 등으로 인해 기술수준이 진보한다. 그러나 이러한 기술의 진보는 무한정 지속되는 것이 아니라 어느 정도 성숙되면 더 이상 진보할 수 없는 상태에 이른다. 이와 관련하여 Christensen (1997)은 기술의 발전 과정이 한 세대의 기술은 S자형 곡선을 따라 발전하고 성숙기에 도달하면 다음 세대의 기술이 나타나는 형태로 나타난다고 언급하고 있다. 본 연구의 모형에서는 이러한 기술의 발전이 기업의 기술개발 투자에 의해 이루어지는 것으로 가정한다.

공급측면에서 기술수준이 이렇게 발전할 때 수요 측면에서의 기술수준에 대한 요구도 증가하게 된다. 즉, 시장의 성숙에 따라 초기에 제품에 요구되었던 기술수준 보다 점점 더 높은 기술수준이 요구되며 이렇게 시장에서 요구되는 기술 수준에 미치지 못하는 제품은 시장에서 선택되지 못할 것이다. 우리의 모형에서는 시장의 기술 요구 수준이 시장 성숙도에 따라 선형적으로 증가하는 것을 가정한다. 그림 1은 이러한 역학관계를 표현하고 있다.

<그림 1> 기술 수준의 역학관계

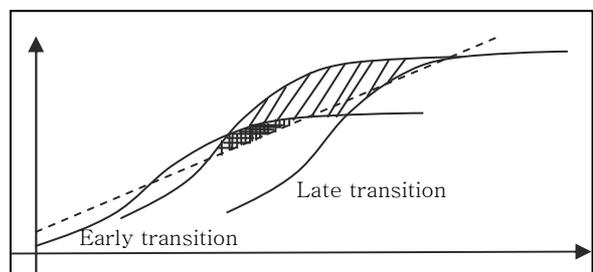


수요 측면에서 더 고려해야 할 부분은 기술 수준이 실제 수요에 어떻게 영향을 주는가 이다. 본 연구에서는 실제 수요는 기업이 제공하는 기술 수준과 시장의 요구 기술 수준의 차이에 의해서 발생한다고 가정하였다. 즉, 제공되는 기술수준이 높을수록 시장의 수요가 증가한다는 가정인데 이러한 가정은 Norton & Bass (1987)의 연구에서도 유사하게 이루어지고 있다. 이 연구에서는 예를 들어 4K DRAM에 비해 16K DRAM은 4배로 성능이 발전하였으므로 잠재 시장도 4배에 달할 것이라는 가정을 사용 하였다. 그러나 실제로 이러한 가정이 일반적으로 적용된다

고 보기에는 무리가 있으므로 우리의 모형에서는 수요가 실제 구현된 성능과 시장에서 요구되는 기술 성능간의 차이에 비선형적으로 비례하는 것으로 가정하였다.

다음으로 고려해야 할 부분은 기술 교체가 일어날 때 기업의 입장에서 어떠한 비용을 감수해야 할 것인가에 대한 문제이다. 다시 말하자면 기술교체가 최적 시점에 비해 빨리 이루어질 때 발생하는 비용과 반대로 늦게 이루어질 때의 비용에 대한 문제이다. 물론 여기에는 수많은 변수들이 작용할 것이지만 논의의 단순화를 위해 우리의 연구에서는 크게 두 가지의 변수에 초점을 맞추었다. 먼저 기술교체가 빠르게 일어나게 되면 기존 세대의 기술로도 충분히 영위할 수 있는 영역의 시장수요를 다음 세대의 기술이 대체함으로써 해서 발생하는 수익손실이다. 이것은 새로운 세대의 기술이 기존 세대 기술을 이용한 제품의 시장기회를 빼앗는다는 측면에서 일종의 Cannibalization으로 볼 수 있다. 다음으로 기술교체가 최적 시점보다 느리게 이루어진다면 시장의 기술 수준 요구가 높아짐에 따라 생기는 새로운 시장 기회의 손실이다. 기술교체가 많이 늦어진다면 최악의 경우 새롭게 나타난 시장 수요를 신기술이 미처 따라가지 못할 수도 있을 것이다. 그림 2의 그래프는 이 두 가지 상황을 나타내고 있다. 기술교체 시점이 빠를 경우 기존 세대의 기술로 영위할 수 있었던 체크 무늬 부분의 시장을 잃게 되며 시점이 늦을 경우 사선 영역의 기회 시장을 잃게 된다.

<그림 2> “Too early” vs. “Too late”



3.2. Modeling

앞 절에서 제시한 상황을 다음과 같은 수리적 모형으로 제시할 수 있다. 일회적 의사결정이 아닌 제품 수명주기(Product Life Cycle)상에서의 변수들의 움

직업(Dynamics)을 결정해야 하기 때문에 Optimal Control Theory를 사용하였으며 특히, 기술교체 시점 전후의 변수들의 움직임이 전혀 다른 양상을 보이기 때문에 Two-Stage Optimal Control을 사용한 모형을 제시한다.

$$\max \int_0^t S_1(t)p_1 dt + \int_t^T S_2(t)p_2 dt - F(t^*, T_1(t^*))$$

$$S_i(t) = a + b \ln(T_i(t) - D(t)); \text{ Sales, } i = 1, 2$$

$$T_i(t) = g + dI_i(t); \text{ Technology Level}$$

$$i_1(t) = (1 - e(t)) \frac{I_1(t)}{D} \quad \text{investment for a period}$$

$$i_2(t) = e(t) \frac{I_2(t)}{D}$$

$e(t)$; investment ratio of new technology

$$I_i(t) = \int_0^t i_i(t) dt; \text{ Cumulative Investment}$$

$$D(t) = c + dt; \text{ Required Technology Level}$$

$$F(t^*, T_1(t^*)) = \int_{t^*}^T S_1(t^*) p_1 dt = S_1(t^*) [T - t^*]; \text{ Changing Cost}$$

목적식은 기업의 이윤 극대화로서 단순히 1세대 기술 제품 판매이윤의 합과 2세대 제품 판매이윤의 합에서 기술교체의 시점에서 발생하는 비용을 제한 값으로 설명할 수 있다. 각 세대 제품의 판매량은 앞 절에서 가정하였듯이 현재 기술의 수준과 시장에서 요구되는 기술수준의 차이에 의해 결정된다. 시장의 기술수준 요구는 시간에 따라 선형적으로 증가함을 가정하고 있다. 현재 기술의 수준, $T_i(t)$ 은 기업의 투자, $i(t)$ 에 의해 결정된다. 앞 절의 가정에서는 기술의 수준이 S자 곡선을 따라 발전하는 것을 가정하였지만 모형의 단순화를 위해 선형을 가정하였다. $e(t)$ 는 기업이 가지고 있는 한정된 자원 중에서 신 기술 개발에 투자하는 비용의 비중을 의미한다. 마지막으로 교체비용(Changing Cost)는 기술교체시점 τ 부터의 사결정시점의 끝인 T시점까지의 기존 기술을 사용한 제품으로 얻을 수 있는 이윤을 의미한다.

4. Conclusion and Further Research

본 연구에서 제시하고 있는 모형은 아직 개념적인 아이디어 수준에 머물고 있다. 이 모형 관점이 기존의 연구들과 다른 점은 크게 두 가지이다. 첫째로 기술교체 과정에서 수요측면에서의 기술수준을 다루고 있다는 점이다. 기존의 연구들은 기업이 사용하는 기술의 수준 (혹은 효율)에만 주로 초점을 맞추고 실제로 시장에서 요구하는 기술의 수준 측면을 다룬 문헌은 찾아보기 힘들다. 두 번째로는 기술교체 과정에서 일어나는 기술의 세대간 경쟁을 다루었다는 점이다.

위와 같은 모형의 가능성에도 불구하고 현재의 모형에는 많은 단점과 한계점이 있다. 가장 먼저 현재의 상태로는 모형을 풀기가 불가능하다. 많은 가정과 단순화에도 불구하고 해법을 찾기가 힘들다는 것은 아직 핵심적인 변수들의 정의가 명확하지 못하다는 것을 의미한다. 앞에서 제시하고 있는 Dynamics들을 표현하면서도 보다 단순화 된 모형이 필요하다. 또한 기술교체 과정에서 일어나는 기술 세대 간의 역학관계(Dynamics)를 표현하겠다는 원래의 의도가 충분히 반영되지 못하고 있다. 즉, 이 과정에서 일어나는 여러 가지 현상 중 극히 일부분만이 명시적으로 표현되었으며 대부분은 암묵적으로 표현되어 있거나 다루지 못하고 있는 것이 사실이다. 앞으로의 연구는 이러한 단점을 보완하여 보다 명확한 변수의 설정과 변수 간의 관계 제시, 해결 가능한 모형의 구성 쪽으로 초점이 맞추어져야 할 것이다.

References

1. Barzel, Y. (1968). "Optimal Timing of Innovations." *The Review of Economics and Statistics*, 348-355.
2. Christensen, C. M. (1997). *The Innovator's Dilemma*, Harvard Business School Press, Boston.
3. Kamien, M. I. and N. L. Schwartz (1972). "Timing of Innovations Under Rivalry." *Econometrica*, 20, 1, 43-60.
4. Klinecicz, J. G. and H. Luss (1985). "Optimal timing decisions for the introduction of new

- technologies.” *European Journal of Operational Research*, 20, 211-220.
5. Farzin, Y. H., K. J. M. Huisman and P. M. Kort (1998). “Optimal timing of technology adoption.” *J. of Economic Dynamics & Control*, 22, 779-799.
 6. Lilien, G. L. and E. Yoon (1990). “The Timing of Competitive Market Entry: An Exploratory Study of New Industrial Products.” *Management Science*, 36, 568-585.
 7. Mahajan, V. and E. Muller (1996). “Timing, Diffusion, and Substitution of Successive Generations of Technological Innovations: The IBM Mainframe Case. ” *Technological Forecasting and Social Change*, 51, 109-132.
 8. Matsumoto, K., et al. (2002). “Optimal timing of the development of innovative goods with generation—an empirical analysis focusing on Canon’s printer series.” *Technovation*, 22, 175-185.
 9. Mazumdar, T., K. Sivakumar and D. Wilemon (1996). “ Launching New Products with Cannibalization Potential: An Optimal Timing Framework.” *J. Marketing Theory and Practice*, 83-93.
 10. Norton, J. A. and F. M. Bass (1987). “Diffusion Theory Model of Adoption and Substitution for Successive Generations of High Technology Products.” *Management Science*, 33, 1069-1086.
 11. Tarasyev, A. and C. Watanabe (2000). “ Dynamic Model of Innovation: Optimal Investment, Optimal Timing, Market Competition.” IISA Interim Report, IR-2000-003.
 12. Wilson, L. O. and J. A. Norton (1989). “Optimal Entry Timing for a Product Line Extension.” *Marketing Science*, 8, 1-17.