

신제품 개발에서 신기술 및 모듈화 도입이 기업수익에 미치는 영향에 대한 분석⁺

(An Analysis of the Effect of Adopting New Technology and
Modularity in NPD on Firm Profitability)

편 제 범¹⁾*

(Jebum Pyun)

요 약 고객의 요구나 선호도가 다양해짐에 따라 제품의 다양화가 필요하지만, 이는 오퍼레이션의 비효율성이 야기될 수 있어 기업의 중요 관심사가 되고 있다. 따라서 원활한 오퍼레이션 기능 수행을 위해 기업들은 제품의 모듈화 구조를 도입해 왔다. 하지만 신제품 개발 과정에서 모듈화의 효과를 계량적으로 분석한 연구는 미흡하다. 이에 본 연구는 기존 제품에 신기술이 포함된 부품이 도입되는 제품개발의 상황에서 모듈화가 기업의 수익에 미치는 영향에 관한 계량모형을 개발하고 이를 분석하여 몇 가지 중요한 명제를 도출함으로써 신제품 개발 시 고려해야 할 신기술 도입 및 모듈화의 의사결정에 필요한 가이드라인을 제시하였다. 연구 결과, i) 제품의 업그레이드가 용이하거나, ii) 외부요인으로 인해 제품의 가격이 높게 책정되어야 할 경우, iii) 신기술 투자비용의 효과가 불확실할 경우, 모듈화 수준을 높이는 노력이 필요하고, 모듈화에 대한 수요탄력성이 낮은 제품의 신제품 개발 시에는 신기술 도입의 투자비용을 늘리는 것이 바람직하다.

핵심주제어 : 모듈화 구조, 제품개발, 제품구조, 기술경영, 분석 모델링

Abstract As customers' needs are more diversified, the issue of managing product variety has become more important to manufacturers. It is because an increase in product variety may cause various inefficiencies in operations, while satisfying more diverse needs. Consequently, firms have introduced the concept of modularity to improve operational performance. Yet there are only a few studies which analytically investigate the effect of modularity in new product development (NPD). Therefore, this research develops an analytical model of exploring the effect of modularity on firm profitability when a component built upon new technology is introduced into an existing product, and provides important managerial implications on the NPD and technology management, which can guide the decision making on modularity in practice. The results show that it is necessary to increase modularity level when i) the product is easy to upgrade, ii) the product's price should be

* Corresponding Author: pjb@hoseo.edu

+ 이 논문은 2018년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2018-0124).

Manuscript received October 10, 2019 / revised October 31, 2019 / accepted November 02, 2019

1) 호서대학교 빅데이터경영공학부

high due to external factors, and iii) the effect of new technology investment is uncertain, while it is desirable to increase the investment cost for introducing new products with low demand elasticity for modularity.

Keywords: Modularity, New product development, Product architecture, Management of technology, Analytic modeling

1. 서론

급변하는 시장 환경에서 기업의 지속가능한 성장을 위해 신제품의 개발은 매우 중요한 의사결정 사안을 포함하며(Pyun and Jeong, 2018; Pyun and Rha, 2018), 신제품 개발에 실패하거나 뒤처지는 기업은 시장에서 도태될 수밖에 없다. 대량생산(Mass production)의 시기와는 달리 대량맞춤생산(Mass customization)이 주를 이루고 있는 지금은 고객의 요구에 부응하여 다양한 신제품 개발이 요구된다. 즉, 고객의 선호도, 취향, 개성 등을 분석하여 다양한 제품의 개발이 지속되어야 시장에서 경쟁력을 가질 수 있다. 그러나 제품이 다양화됨에 따라 설비투자비용, 생산의 비효율성, 재고비용 등의 증가가 야기되고 이로 인한 추가적인 비용이 발생하게 된다. 따라서 많은 제조 기업들은 제품의 모듈화 구조를 통한 생산으로 이러한 부정적 영향을 최소화하기 위해서 노력해 왔다. 생산 환경에 있어 모듈화에 대한 이점은 과거 여러 연구에서 언급되어 왔는데, 기업은 모듈화를 통해 생산비용의 감소(Krikk et al., 2004), 재고비용의 감소(Weng, 1999), 제품의 개발 및 생산 시간의 감소가 가능하다(Griffin, 1997). 또한, 이러한 효과로 공급업체들로부터 부품의 제조 및 납기의 불확실성 감소(Huang et al., 2005)와 신제품의 시장 출시시간(Time to market) 단축도 가능하다(Tu et al., 2004). 한편, 모듈화된 제품구조는 제품 핵심구조의 변화를 최소화하면서 모듈만 변형하여 제품의 다양화와 신기술 접목을 용이하게 할 수 있고(Mikkola and Gassmann, 2003), 이는 생산 환경의 유연성을 확보하고 제품의 다양화 및 지연생산을 가능하게 함으로써(Krikk et al., 2004) 고객 맞춤형 제품의 생산을 용이하

게 한다(Mukhopadhyay and Setoputro, 2005). 아울러 모듈화는 신제품 개발 시 관련 부서의 독립적·병렬적 개발을 가능하게 하여 변화하는 시장의 요구에 신속한 대응을 가능하게 해준다(Schilling, 2000).

그러나 모듈화에 관한 기존 연구는 주로 실증 분석을 통해 제품 모듈화의 긍정적 또는 부정적인 영향에 대해 분석하였고, 제품개발 과정에서 신기술의 도입과 관련된 측면에서 모듈화의 효과를 분석한 연구는 미흡하였다. 이에 본 연구는 기존의 제품에 신기술이 도입되는 신제품 개발 상황에서 제품의 모듈화와 더불어 신기술의 혁신이 기업의 수익에 미치는 영향을 분석하기 위한 계량모형을 제안하고, 민감도 분석을 통해 신기술과 제품의 모듈에 관한 의사결정이 기업의 수익에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 통해 다양한 신기술이 개발되고 융합되는 신제품 개발환경에서 기술경영 및 모듈화에 대한 기업의 의사결정을 위한 가이드라인을 제시하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2절에서는 본 논문의 연구모형 수립과 관련된 연구 문헌을 정리·고찰하고, 이를 기반으로 제 3절에서는 연구모형을 개념화하고 계량적 모델을 제시한다. 제 4절에서는 모델의 해를 도출하고, 제 5절에서는 민감도 분석을 통해 신제품 개발환경에서 기술경영 및 모듈화의 의사결정에 필요한 명제들을 제시하고 있다. 끝으로 제 6절에서는 본 연구 결과의 이론적·실무적 시사점과 함께 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 관련 문헌연구

일반적으로 모듈은 사전에 정의된 제품의 기능

요소를 포함하고 있는 표준화된 부품의 집합을 의미하며, 이러한 부품의 집합은 완제품에서 부품으로 이용된다(Ro et al., 2007). 이러한 모듈은 모듈화(Modularity)라는 측정요소로 측정될 수 있는데, 모듈화는 제품을 구성하는 부품들이 분리되고 결합되는 정도로 정의된다(Schilling, 2000). 가장 이상적인 모듈은 각각의 제품기능(Functional element)이 정확히 하나의 물리적 요소(Physical element)에 의해 수행되고, 모듈이 변경됨에 따라 다른 부품들도 함께 변경되어야 하는 접점(Coupling interface)이 거의 없는 상태를 일컫는다(Ulrich and Eppinger, 2008).

이해를 돕기 위해 이를 도식화하여 설명하면 Fig. 1과 같다. Fig. 1의 좌측과 우측은 두 형태의 트레일러를 구성하는 각각의 부품을 보여주며, 트레일러가 수행해야 할 기능요소들과의 연관 관계를 선으로 연결하여 보여주고 있다. 좌측의 경우는 가장 이상적인 모듈화 구조를 가진 트레일러를, 우측의 경우는 그렇지 않은 경우를 나타낸 것으로, 가장 이상적인 모듈의 제품구조에서는 제품의 물리적 요소가 기능요소와 1대 1로 대응하는 반면, 그렇지 않은 경우는 하나의 물리적 요소가 여러 기능요소를 수행하고 있음을 알 수 있다. 그러므로 좌측의 경우에는 하나의 부품이 변경되어도 다른 부품의 구조가 바뀌는 경우가 없지만, 우측의 경우에는 이 부품이 담당하는 다른 기능 요소를 함께 고려해야 하므로 하나의 부품이 바뀌게 되면 다른 부품도 동시에 바뀌어야 하는 경우가 생길 수 있다. 즉, 모듈화 수준의 높고 낮음은 ‘한 개의 부품이나 부품의 집합이 수행하는 기능요소의 수’와 ‘한 개의 부품이나 부품의 집합이 다른 부품들과 결합할 때 다른 부품들도 함께 변경해야 하는 접점의 수’로 측정되며, 한 개의 부품의 모듈화 정도에 대해 위의 두 가지 측정요소가 증가할수록 그 수준이 낮아진다(Fine et al., 2005).

이러한 모듈화 제품구조에서 신기술이 도입되면 기존 모듈의 변형이 일어날 수 있어 제품의 구조 또한 변형될 수 있다. 즉, 신기술을 도입한 새로운 부품은 기존의 표준화된 부품에 비해 기술적 제약(Technical risk)이 발생하고 제품 내 다른 부품들과의 조립과 결합에 있어 한계를 나

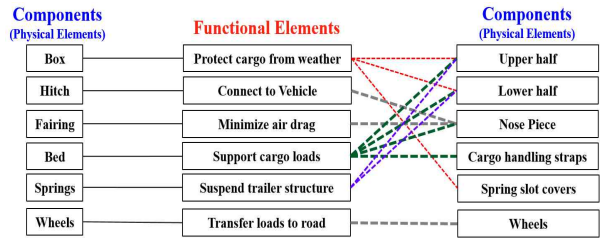


Fig. 1 Relationships between Functional Elements and Physical Elements in Modularity

타낼 수 있다(Mikkola and Gassmann, 2003). 또한, 신기술의 기술혁신 정도에 따라 이 기술의 성능을 발휘하기 위해서 추가적인 부품이 요구되기도 한다(Mikkola, 2003). 따라서 기존 모듈에 신기술을 접목하려고 한다면 제품구조(Product architecture)의 변형이 불가피할 수 있고 앞서 언급한 Fine et al. (2005)의 모듈화 수준의 정의에 따라서 모듈화 수준은 낮아진다.

모듈화 관련 기존 연구는 i) 제품의 모듈화에 대한 연구, ii) 모듈화 제품의 생산이 기업의 수익성이나 역량에 미치는 영향을 분석한 연구, iii) 공급사슬과 모듈화의 관계를 주제로 하는 연구, iv) 모듈화와 제품의 혁신과의 연관성을 분석한 연구 등으로 구분할 수 있다.

제품의 모듈화에 대한 연구는 모듈화를 측정하는 방법이나 함수를 제시하는 특징을 보이는데, Mikkola and Gassmann (2003)은 제품구조를 통해 모듈화 정도를 분석할 수 있는 모듈화 함수를 제안하면서 엘리베이터의 제품구조를 사례로 함수에 대한 타당성을 검토하였다. Fine et al. (2005)은 부품이 수행하는 기능요소의 수와 다른 부품과의 연결을 위한 접점의 수로 구성된 모듈화 정도를 측정하는 함수를 제안하였다. 모듈화가 기업의 성과나 역량에 미치는 영향을 분석한 연구는 대개 실증분석으로 영향력을 분석한 특징을 보이는데, Schilling (2000)은 모듈화에 대한 여러 가지 속성을 조사하여 이 속성들이 기업에서 모듈화 제품 생산에 미치는 영향을 분석하였고, Schilling and Steensma (2001)는 위탁생산, 제휴 등과 같은 모듈화 형태의 생산 방식이 특정 산업에서 많이 사용되는 이유를 330개의 미국 기업을 대상으로 기업 수준에서 분석하였다. Tu et

al. (2004)은 모듈기반 제조방법에 대해 정의하면서 이를 측정하는 도구 및 모듈기반 제조법이 대량고객화 역량과 고객친밀도와 연관이 있음을 303개의 기업데이터를 통해 분석하였고 매우 높은 연관성이 있음을 확인하였다.

Antonio et al. (2007)은 모듈화 제품이 기업 역량(가격, 품질, 고객 서비스, 유연성, 배송을 동시에 고려)에 미치는 영향력을 홍콩의 제조업 자료를 통해 분석하였다. 한편, Mukhopadhyay and Setoputro (2005)는 제품이 반복되는 상황에서 모듈화 수준이 높을수록 반복된 제품의 부품을 재활용할 수 있어 기업의 이윤이 창출될 수 있는 점을 제시하였다. 공급사슬과 모듈화의 관계를 주제로 하는 연구는 모듈화 제품구조를 통한 공급사슬 상의 성과 개선이나 공급사슬 구성과의 연관성에 대해 강조하는 특징을 보이는데, Weng (1999)은 여러 제품의 불확실한 수요에 대해 모듈을 공유하는 리스크 풀링 (Risk-pooling)의 효과를 통해 공급사슬 상의 분배센터와 소매업자 간에 부품 유지·구매 비용과 같은 오퍼레이션스 비용의 절감이 가능함을 주장하였다. Krikk et al. (2004)은 제품 리스, 전자상거래, 품질보증 요구의 증가로 인해 폐쇄형(Closed-loop) 공급사슬에 대한 기업들의 관심이 높아짐에 따라, 공급사슬에 대한 디자인과 모듈화 제품구조 간의 연관성이 높음을 지적하였다. Fine et al. (2005)은 제품의 구조-생산 프로세스-공급사슬 구성 간의 정합성을 강조하였고, Huang et al. (2005)은 제품의 부품 공용 플랫폼에서 제조 및 부품 공급과정 상의 의사결정을 통합하는 공급사슬 모형을 제시하였다.

제품의 모듈화와 제품 혁신의 연관성을 분석한 연구는 긍정적인 영향을 주장하는 연구들과 부정적인 영향을 주장하는 연구로 구분되는 특징을 보인다. 긍정적인 영향을 주장하는 연구에서는 모듈화 디자인이 다른 부품들과의 결합에 대한 정보 처리량을 줄여서 제품 혁신을 촉진하고, 개발자가 제품 전체 구조에 대한 이해가 없어도 모듈의 조합을 통해 신제품 개발을 쉽게 할 수 있음을 지적하고 있다(Langlois, 2003; Ethiraj and Levinthal, 2004; Pil and Cohen, 2006). 반면, 부정적인 영향을 주장하는 연구에서는 제품 디자이너

가 제품의 전반적인 구조의 이해 없이 모듈에 국한된 혁신 결과를 가져온다는 점을 지적하고 있다(Ulrich, 1995; Schilling, 2000). 한편, Antonio et al. (2011)은 제품의 모듈화와 제품의 혁신 간에는 역 U자형 관계가 있고, 제품의 모듈화가 제품의 성능에 직접적인 영향이 없지만, 제품 혁신을 매개로 간접적인 영향이 있음을 주장하였다.

따라서 본 연구는 신제품 개발에서 모듈화와 신기술 혁신 정도의 의사결정이 기업의 이윤에 미치는 영향을 분석하였기에 기존 연구들과 다른 관점에서 분석하고 있음을 알 수 있다.

3. 연구모형의 설정

본 연구에서 고려하는 신제품 개발의 상황은 기존 제품의 구조를 유지하면서 신기술을 포함한 부품을 기존 제품의 모듈에 도입하여 신제품을 개발하는 상황으로, 이러한 개발 방식은 Intel의 중앙처리장치(CPU) 개발 시 주로 이용된 방법이다(Fine, 2000). 또한, 이러한 방식은 기존 제품에 새로운 기능을 탑재한 부품의 추가나 교환과 같은 재생산을 거쳐 새로운 제품으로 바뀌 다시 임대·대여하는 제품(복사기, 산업용 프린터 등)들에서도 찾아볼 수 있다(Krikk et al., 2004).

본 연구에서 고려하는 신기술은 고객의 니즈를 충족시키고자 도입되는 기술로 가정하며, 이로 인해 기존 모듈은 새로운 부품이 추가됨에 따라 별도의 작업 없이는 다른 부품들과의 결합이 어려워지게 됨을 가정한다. 이러한 가정을 한 이유는 i) 고객 관점의 니즈를 반영하지 못하는 신기술은 신제품 수요에 긍정적인 영향을 주지 못할 수 있기 때문이고, ii) 신기술은 기술적 제약으로 조립과 결합의 문제와 추가적인 부품이나 기술이 요구되기 때문이다(Mikkola and Gassmann, 2003). 따라서 다른 부품들도 함께 변경해야 하는 점점의 수가 늘어나 모듈화의 수준이 낮아짐에 따라 표준화 속성이 사라지는 결과를 가져온다. 본 연구에서는 ‘모듈화 수준(m)’을 제품구조의 변형 없이 기존 제품에 다시 사용할 수 있도록 모듈을 혁신하여 표준화 속성을 회복시키는 정도로 정의하고 결정변수로 설정한다. 이와 더불어 ‘신기술의 혁신 정도

(t')를 또 하나의 결정변수로 설정하고, 신기술 도입과 그에 따른 기존 모듈의 구조 변화에 대한 의사결정을 고려하면서 이익 최대화를 목적으로 하는 수학적모형을 제시한다.

3.1 수요함수

혁신적인 신기술의 도입은 고객의 수요와 정(+)
의 상관관계를 갖고 있는데(Bayus and Putsis, 1999), 이는 신기술을 도입한 신제품의 출시로 인해 고객 수요가 증가할 수 있는 시장 상황으로 해석할 수 있다. 한편, 제품의 모듈화가 증가하면 모듈의 조합이나 대체를 통해 고객의 다양한 요구를 충족시키는 제품을 생산할 수 있어 고객의 수요를 증가시키고(Mukhopadhyay and Setoputro, 2005), 고객은 전체 제품을 수리하거나 교환하지 않고 일부 부품의 교환이나 대체를 통해 제품의 수명주기를 늘리고 수리비용을 줄일 수 있어 수요 증가에 긍정적으로 작용한다(Sako, 2004; Ulrich and Eppinger, 2008). 또한, 모듈화 수준의 증가는 기업의 제조 유연성을 향상시켜 새로운 제품을 경쟁 기업보다 빨리 시장에 출시할 수 있게 해줌으로써 더 많은 잠재 고객의 확보가 가능함에 따라 수요에 긍정적인 영향을 기대할 수 있다(Tu et al., 2004). 한편 가격과 수요는 일반적으로 부(-)의 상관관계에 있다. 따라서 본 연구의 고객 수요함수 D 는 다음과 같이 신기술의 혁신 정도(t), 모듈화 수준(m)을 의사결정 변수로 하는 함수로 구성되고, 일반적으로 여러 연구에서 이용되는 식 (1)과 같은 선형함수로 가정한다(Padmanabhan and Png, 1997).

$$D(t, m) = d_1 + d_2 t + d_3 m - d_4 p \quad (1)$$

본 연구는 신기술의 도입과 모듈화 수준의 증가가 기업의 수익에 미치는 영향을 분석하는 데 집중하기 위해서 제품의 판매가격(p)을 외생변수로 간주하고자 한다.

파라미터 d_1 , d_2 , d_3 , d_4 는 모두 0보다 큰 양의 값을 갖는 외생변수로, 각각 다음과 같이 설명될 수 있다. d_1 은 제품에 대한 초기수요로 제품의 품질, 브랜드 이미지, 시장 상황 등으로 인해 결정되

는 제품의 초기 수요를, d_2 는 신기술 도입으로 인해 야기되는 제품에 대한 수요의 민감도를, d_3 는 모듈화 수준을 증가시킴으로 기대할 수 있는 제품에 대한 수요의 민감도를, d_4 는 제품가격에 의해 발생하는 제품에 대한 수요의 민감도를 의미한다.

3.2 비용함수

본 연구의 이익함수를 만들기 위해 다음과 같이 제품 생산에 필요한 비용함수를 고려한다. 첫째는 고정비 성격의 투자비용으로, 여기에는 혁신적인 신기술의 개발 및 도입과 관련된 비용과 모듈화 수준을 향상시키기 위한 비용이 포함된다. 둘째는 생산비용으로, 여기에는 기존의 모듈에 신기술을 접목시키기 위해 추가로 필요한 부품들의 조립을 위한 변동비 성격의 조립비용과 모듈화 수준의 증가로 인해 발생하는 고정비 성격의 모듈화 생산기회비용이 포함된다.

투자비용 함수(C_1)는 두 가지 구성요소에 의해 영향을 받는데, 첫 번째 요소는 신기술 개발 및 도입과 관련된 비용이다. 이 비용은 신기술의 혁신 정도(t)로 인한 제품 확산과 정(+)
의 관계를 바탕으로(Bayus and Putsis, 1999) 신기술의 기술혁신 정도나 접목되는 신기술의 비율이 높아질수록 투자비용은 점진적으로 증가함을 가정한다. 두 번째 요소는 신기술 접목으로 야기되는 기존 모듈의 표준화 속성을 회복시키기 위한 제품 디자인 개선을 위한 비용으로, 볼록(Convex)함수의 형태로 증가하는 이차함수로 가정한다(Mukhopadhyay and Setoputro, 2005).

결과적으로, 투자비용 함수(C_1)는 식 (2)와 같이 정의하고, 여기서 δ 는 신기술의 기술혁신 정도에 따른 기술개발 투자비용의 민감도를, θ 는 모듈화 수준을 높이기 위한 디자인 개발 시 발생하는 비용의 민감도를 각각 나타내며 모두 비음(Non-negative)의 값을 갖는다.

$$C_1 = f(t, m) = \delta t + \frac{1}{2} \theta m^2 \quad (2)$$

신기술 도입으로 인한 부가적인 비용함수(C_2)는 신기술 접목으로 야기되는 추가 부품의 조립

과 관련된 비용함수이다. 신기술이 도입되면 이를 뒷받침하는 부차적 부품이 추가되어야 하고 이들의 접목과 조립을 위해 추가적인 비용이 발생하고, 신기술이 포함된 부품은 그렇지 않은 부품에 비해 기술적 위험(Technological risk)을 안고 있으므로 다른 부품들과의 결합에 제한이 따른다(Mikkola and Gassmann, 2003). 따라서 이와 같은 이론적 배경에 근거하여 신기술 도입으로 인한 조립비용 함수(C_2)는 결정변수 t 와 정(+)의 관계를 갖는 변동비로 가정하여 식 (3)과 같이 정의한다.

$$C_2 = f(t) = \phi t \quad (3)$$

식 (3)에서 ϕ 는 신기술 도입 비중에 따른 추가적 부품의 생산(또는 구매)에 필요한 비용의 민감도를 나타내며, 앞서 언급했듯이 신기술의 도입이 추가적인 새로운 부품을 요구하고 있는 상황을 고려하기 때문에 $\phi > 0$ 의 값을 갖는다.

모듈화 생산기회비용 함수(C_3)는 모듈화 수준의 증가로 인해 얻을 수 있는 생산비용의 절감 부분을 의미한다. 기존 모듈의 모듈화 수준을 높이는 것은 최종 제품에서 제품구조의 변형을 최소화하면서 모듈을 활용한 제품구조의 표준화 속성이 높아지는 것을 의미하며, 이는 프로세스 개선을 통해 생산비용을 감소시킬 수 있다 (Desai et al., 2001). 본 연구에서는 이러한 비용의 감소를 오퍼레이션 상의 개선을 통해 나타나는 결과로 한정하며, 결정변수 m 이 증가함에 따라 생산비용이 선형적으로 감소하는 것으로 가정하였다. 이에 모듈화 생산기회비용 함수(C_3)는 식 (4)와 같이 정의하고, 여기서 α 는 생산준비 비용을, β 는 모듈화 수준을 높임으로 인해 얻을 수 있는 오퍼레이션 상의 비용 감소와 관련된 민감도를 나타낸다.

$$C_3 = f(m) = \alpha - \beta m \quad (4)$$

3.3 이익함수

이익함수는 앞서 제시한 식 (1)의 수요함수와 식 (2)-(4)의 비용함수로 정의되는데, 기업의 이익은 제품의 판매액과 제품 생산을 위해 투여된

비용의 차로 나타낼 수 있어 식 (1)-(4)를 종합하여 식 (5)와 같은 이익함수를 정의할 수 있다.

$$\pi = pD(t, m) - C_2(t)D(t, m) - C_1(t, m) - C_3(m) \quad (5)$$

식 (5)에서 pD 는 가격이 p 인 제품을 D 만큼 판매하여 얻는 총 판매액을 나타내고, C_2D 는 신기술 도입으로 인해 추가로 발생하는 부품의 생산(또는 구매)의 추가비용이 제품의 생산량에 비례함을 나타내며, C_1 은 신기술 개발과 도입 및 기존 모듈의 변형과 관련된 투자비용을, C_3 는 모듈화 수준의 증감으로 인해 발생하는 모듈화 생산기회비용을 나타낸다.

결과적으로, 식 (1)-(4)를 식 (5)에 대입하여 식 (6)과 같은 이윤함수를 도출할 수 있다.

$$\begin{aligned} \pi = & (d_1 + d_2 t + d_3 m - d_4 p)p \\ & - (\phi t)(d_1 + d_2 t + d_3 m - d_4 p) \\ & - (\delta t + \frac{1}{2}\theta m^2) - (\alpha - \beta m) \end{aligned} \quad (6)$$

4. 모델의 최적해 및 민감도 분석을 위한 전제조건

본 절에서는 식 (6)의 이익함수를 분석함으로써 이익을 최대화하는 신기술 혁신 정도(t)와 모듈화 수준(m)을 결정하는 최적 조건을 제시한다. 그리고 파라미터의 민감도 분석을 통해 신기술 도입 및 경영의 상황에서 고려되어야 할 몇 가지 명제와 가이드라인을 제시한다. 이를 위해서 우선 이익함수가 의사결정 변수에 대해 유일한 해(Unique maximum)를 가지는 오목(Concave)함수임을 증명하고 그 결과를 바탕으로 파라미터의 변화에 대한 분석 결과를 제시한다.

명제 1. 이익함수는 $2d_2\theta - d_3^2\phi > 0$ 상황에서 순오목 함수이고 유일한 해(Unique maximum)를 갖는다.

명제 1의 증명을 위해서 먼저 이익함수 식(6)의 Hessian matrix를 도출하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} -\theta & -d_3\phi \\ -d_3\phi & -2d_2\phi \end{bmatrix}$$

이 결과에서 Principal minor는 각각 $H_1 = -\theta$, $H_2 = 2d_2\theta\phi - \phi^2d_3^2$ 이다. 여기서 식 (6)이 순오목 (Strictly concave) 함수가 되기 위해서는 $H_1 < 0$ 이고 $H_2 > 0$ 가 되어야 한다. 위의 Principal minor 에서 $H_1 = -\theta < 0$ 이기 때문에 식 (6)이 순오목 함수가 되기 위해서는 $H_2 > 0$ 의 조건을 만족해야 한다. 따라서 $2d_2\theta\phi - \phi^2d_3^2 > 0$ 일 때 $H_2 > 0$ 일 수 있고, 식 (6)은 순오목 함수가 되어 유일한 해를 갖는다. 명제 1과 관련하여 각 결정변수의 변화에 따른 이윤의 변화를 살펴보기 위해 Table 1의 파라미터 값을 사용하여 민감도 분석을 하였다.

Fig. 2와 Fig. 3은 두 의사결정 변수에 대해서 식 (6)은 순오목 함수임을 확인할 수 있어 명제 1을 지지하는 결과를 보여주고 있다. Fig. 2는 신기술 혁신 수준의 변화에 따라 각각 다른 모듈화 수준에서 이익함수의 변화를 나타낸 그래프이다. 이 그래프에서 알 수 있듯이 신기술의 도입과 더불어 제품의 모듈화 수준을 높인다면 기업의 이윤이 증

가함을 보여준다. Fig. 3은 모듈화 수준의 변화에 따라 각각 다른 신기술 혁신 수준에서 이익함수의 변화를 나타낸 그래프이다. 여기서 한 가지 흥미로운 점은 신기술의 혁신 수준 정도에 따라 일방적으로 모듈화 수준을 높인다고 해서 기업의 이익이 증가하지 않는다는 점이다. 다시 말해, 신기술의 혁신 정도가 가장 높은 경우에 모듈화 수준의 정도에 따라 이익함수가 가파르게 감소하고 있음을 알 수 있다. 이 결과는 신제품에 도입되는 신기술의 혁신 정도가 높다고 판단될 경우, 모듈화 수준의 증가는 신중하게 고려해야 함을 의미하는 결과로 해석할 수 있다.

명제 2. 명제 1을 전제로 하여 두 결정변수의 최적(Optimal) 수준을 산출하면 다음과 같다.

i) 신기술 도입의 최적 수준:

$$t^* = \frac{d_2p\theta + d_1\phi\theta + d_3^2\phi p + d_3\beta\phi - d_4\phi p\theta + \delta\theta}{2d_2\theta - d_3^2\phi} \tag{7}$$

ii) 모듈화 최적 수준:

$$m^* = \frac{d_2d_3p + d_1d_3\phi - d_3d_4\phi p + d_3\delta + 2d_2\beta}{2d_2\theta - d_3^2\phi} \tag{8}$$

Table 1 Values of Parameters in Numerical Example

Parameters	p	d_1	d_2	d_3	d_4	ϕ	δ	θ	α	β
Values	1,000	5	5	2	0.4	6	20	100	10	100

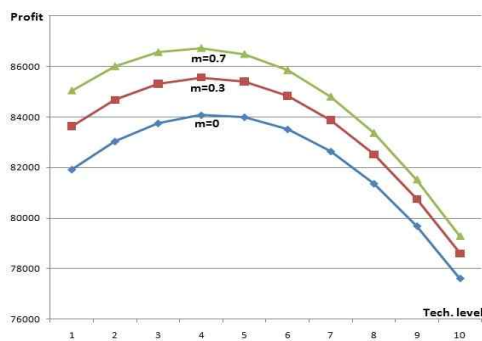


Fig. 2 Variations of Profit Function for Modularity Level relative to Technology Level

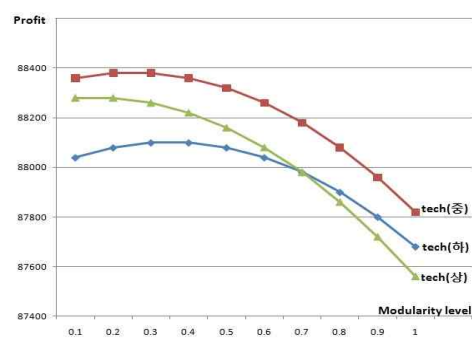


Fig. 3 Variations of Profit Function for Technology Level relative to Modularity Level

명제 2의 결과는 이익함수 식 (6)을 각각의 결정변수에 대해 1차 미분하고 그 결과를 0으로 놓은 후, 각각의 결정변수에 대해 정리하여 풀면 되고, 그 결과는 식 (7)-(8)과 같다.

한편, 민감도 분석의 해석을 위해 몇 가지 전제조건이 필요한데, 이는 식 (7)과 식 (8)의 결과를 식 (1)에 대입하여 얻어진 식 (9)를 통해 얻을 수 있다.

$$D = \frac{\begin{pmatrix} d_1 d_2 \phi \theta + d_2^2 p \theta + d_2 d_3 \beta \phi + d_3^2 \phi \delta \\ -d_2 d_4 p \phi \theta - d_2 \delta \theta \end{pmatrix}}{\phi(2d_2 \theta - d_3^2 \phi)} \quad (9)$$

식 (9)는 고객의 수요를 나타내는 함수로, 비음(Non-negative)의 값을 가져야 한다. 식 (9)의 분모는 명제 1에 의해 양의 값을 갖기 때문에 분자만 비음의 값을 갖게 되면 식 (9)는 비음의 조건을 만족하게 된다. 여기에서 언급하는 전제조건은 분자가 비음이라는 조건을 통해서 얻어지는 결과로, 이를 위해 식 (9)의 분자를 N 이라 칭하고, 이는 식 (10)과 같다.

$$N = d_1 d_2 \phi \theta + d_2^2 p \theta + d_2 d_3 \beta \phi + d_3^2 \phi \delta - d_2 d_4 p \phi \theta - d_2 \delta \theta \quad (10)$$

▪ 전제조건 1. N 이 비음의 값을 갖기 위해서는 $d_1 - d_4 p > 0$ 이어야 한다.

N 에서 두 번째 항, 세 번째 항, 네 번째 항은 모두 0보다 크기 때문에 N 이 비음의 조건을 만족하기 위해서는 $d_1 d_2 \phi \theta - d_2 d_4 p \phi \theta - d_2 \delta \theta > 0$ 이어야 한다. 이를 정리하면 식 (11)과 같다.

$$d_2 \theta (d_1 \phi - d_4 p \phi - \delta) > 0 \quad (11)$$

여기서 $d_2 \theta$ 는 양수이므로, 식 (11)이 양수가 되려면 $d_1 \phi - d_4 p \phi - \delta > 0$ 이 성립해야 한다. 이를 이항하여 정리하면 $d_1 - d_4 p > \delta/\phi$ 이 되는데 δ 와 ϕ 는 양수이기 때문에 $d_1 - d_4 p > 0$ 이다.

▪ 전제조건 2. N 이 비음의 값을 갖기 위해서는 $d_2 - d_4 \phi > 0$ 이어야 한다.

N 에서 첫 번째 항, 세 번째 항, 네 번째 항은 모두 0보다 크기 때문에 N 이 비음의 조건을 만족하기 위해서는 $d_2^2 p \theta - d_2 d_4 p \phi \theta - d_2 \delta \theta > 0$ 이어야 한다. 이를 간단히 정리하면 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$d_2 \theta (d_2 p - d_4 p \phi - \delta) > 0 \quad (12)$$

여기서 $d_2 \theta$ 가 양수이므로, 식 (12)가 양수가 되려면 $d_2 p - d_4 p \phi - \delta > 0$ 이 성립해야 한다. 이를 이항하여 정리하면, $d_2 - d_4 \phi > \delta/p$ 이 되는데 δ 와 p 는 양수이기 때문에 $d_2 - d_4 \phi > 0$ 이다.

▪ 전제조건 3. N 이 비음의 값을 갖기 위해서는 $d_3^2 \phi - d_2 \theta > 0$ 이어야 한다.

N 에서 첫 번째 항, 두 번째 항, 세 번째 항은 모두 0보다 크기 때문에 N 이 비음의 조건을 만족하기 위해서는 $d_3^2 \phi \delta - d_2 d_4 p \phi \theta - d_2 \delta \theta > 0$ 이어야 한다. 이를 간단히 정리하면 식 (13)과 같다.

$$\delta(d_3^2 \phi - d_2 \theta) > d_2 d_4 p \phi \theta \quad (13)$$

식 (13)에서 양변을 양수인 δ 로 나누면 식 (14)와 같은 결과를 얻는다.

$$d_3^2 \phi - d_2 \theta > d_2 d_4 p \phi \theta / \delta \quad (14)$$

전제조건 1과 2에 의해 $d_2 d_4 p \phi \theta / \delta > 0$ 은 양수이므로 $d_3^2 \phi - d_2 \theta > 0$ 이다.

5. 민감도 분석 및 결과

본 절에서는 각 파라미터 값의 변화가 결정변수의 최적 수준에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서 살펴보고, 이와 같은 결과를 통해 신기술 혁신과 모듈화 구조의 신제품 생산 과정에서 참고할 수 있는 시사점을 도출하고자 한다.

명제 3. 신기술 도입으로 인해 수요의 변화가 민감한 시장에서는 제품의 모듈화 디자인을 위

한 노력보다는 신기술 도입의 수준을 높여 이익을 창출할 필요가 있다.

명제 3은 식 (7)과 식 (8)을 신기술 도입으로 발생하는 수요의 민감도(d_2)로 미분하여 얻을 수 있고, 그 결과는 식 (15), 식 (16)과 같다.

$$\frac{\partial t}{\partial d_2} = \frac{2\phi\theta^2(d_1 - d_4p) + \theta(d_3^2\phi p + 2d_3\phi\beta + 2\delta\theta)}{\phi(2d_2\theta - d_3^2\phi)^2} \quad (15)$$

$$\frac{\partial m}{\partial d_2} = \frac{-d_3\{(d_3^2\phi p + 2d_3\phi\beta + 2\delta\theta) + 2\phi\theta(d_1 - d_4p)\}}{(2d_2\theta - d_3^2\phi)^2} \quad (16)$$

두 식의 분모는 명제 1에 의해 양수이고, 명제 2의 전제조건 1에 의해 식 (15)와 식 (16)의 분자는 각각 양수($\partial t/\partial d_2 > 0$), 음수($\partial m/\partial d_2 < 0$)가 된다. 이 결과는 신기술 도입이 고객의 수요에 긍정적인 영향을 미침을 나타낸다. 특히, 이러한 경향은 과거에 비해 신제품의 출시가 빈번하게 이루어지고 제품의 수명주기가 짧아지고 있는 첨단 제품 산업에서 찾아볼 수 있는데, 대다수의 제조 기업이 신기술의 혁신을 통한 점진적인 개선을 통해 신제품을 출시함으로써 수요의 증대를 꾀하고 있다 (Majumdar, 1997; Mikkola and Gassmann, 2003). 즉, 이러한 시장에서는 기술혁신에 초점을 두어 신제품을 개발하는 전략이 중요하다.

명제 4. 모듈화된 제품구조로 제품의 업그레이드가 용이한 경우, 최적 모듈화 수준을 높임으로써 이익을 창출할 필요가 있다.

명제 4는 식 (7)과 식 (8)을 모듈화 수준의 증가로 발생하는 수요의 민감도(d_3)로 미분하여 얻을 수 있고, 그 결과는 식 (17)-(18)과 같다.

$$\frac{\partial t}{\partial d_3} = \frac{\begin{cases} 2d_3p\theta(d_2 - d_4\phi) + 2\theta(d_2\beta + d_1d_3\phi + d_3\delta) \\ + d_3^2\beta\phi \end{cases}}{(2d_2\theta - d_3^2\phi)^2} \quad (17)$$

$$\frac{\partial m}{\partial d_3} = \frac{\begin{cases} d_3^2\phi^2(d_1 - d_4p) + 2d_2\theta p(d_2 - d_4\phi) \\ + d_3^2\phi(d_2p + \delta) + 2d_2\phi(2d_3\beta + d_1\theta) \end{cases}}{(2d_2\theta - d_3^2\phi)^2} \quad (18)$$

두 식의 분모는 모두 양수이며, 식 (17)의 분자는 명제 2의 전제조건 2에 의해 음수($\partial t/\partial d_3 < 0$)이고, 식 (18)의 분자는 명제 2의 전제조건 1과 2에 의해 양수($\partial m/\partial d_3 > 0$)가 된다.

명제 4는 고객이 제품 내의 부품이나 구조를 변경함으로써 제품을 업그레이드할 수 있는 경우 모듈화 수준을 높여 수요를 높일 필요가 있음을 시사한다. 이 결과는 IBM 호환 컴퓨터 제조사들이 지향하는 오픈시스템이 대다수의 개인용 컴퓨터의 제품구조로 정착된 것이 좋은 사례라 할 수 있다. 또한, 최근 렌탈이나 리스와 같이 서비스가 결합되어 판매되는 제품들의 개발 상황에서는 지속적으로 새로운 기술의 도입으로 기능 및 성능의 개선이 용이하도록 제품의 설계에서부터 모듈화된 제품구조에 대해 충분한 고려가 필요하다. 즉, 부품의 교환이나 재활용을 통한 제품의 개선이나 업그레이드로 수익 창출이 가능한 비즈니스 모델에서 거래되는 제품들은 모듈화 제고를 위해 신중한 검토가 요구된다.

명제 5. 부품 구매나 신기술 도입에 드는 비용이 상승함으로 인해 제품의 가격이 높게 책정되어야 할 경우 신기술 도입보다는 제품의 모듈화 수준을 높이는 것이 바람직하다.

명제 5는 식 (7)과 식 (8)을 가격(p)으로 미분하여 얻을 수 있고, 그 결과는 식 (19), 식 (20)과 같다.

$$\frac{\partial m}{\partial p} = \frac{d_3(d_2 - d_4\phi)}{2d_2\theta - d_3^2\phi} \quad (19)$$

$$\frac{\partial t}{\partial p} = \frac{-(d_3^2\phi - d_2\theta) + d_4\phi\theta}{\phi(2d_2\theta - d_3^2\phi)} \quad (20)$$

두 식의 분모는 명제 1에 의해 양수이다. 식

(19)의 경우 명제 2의 전제조건 2에 의해 양수($\partial m/\partial p > 0$)이다. 제품의 모듈화 수준이 높아지면 생산 관련 비용의 절감을 기대할 수 있어(Weng, 1999; Krikk et al., 2004), 이를 통해 제품의 가격을 내릴 수 있다. 따라서 식 (19)의 결과는 외적인 요소로 인해 제품가격이 상승될 경우에는 제품 모듈화 수준의 제고 노력을 통해 제품가격을 인하하여 고객수요의 증가를 도모하는 것이 바람직하다는 점으로 해석할 수 있다. 하지만 식(20)의 분자의 경우는 명제 2의 전제조건 2와 3을 적용하여도 양수인지 음수인지 명확하지 않다. 이는 신기술이 고객의 수요를 증가시킬 수 있는 요인이기는 하지만 무분별한 신기술의 도입은 오히려 역효과를 초래할 수 있다는 것으로 해석할 수 있다. 또한, 신기술에 대한 시장의 반응이 불확실한 경우 제품의 모듈화 구조를 통해 생산 비용을 절감시키는 것이 신기술 수요의 불확실성에 대처하는 대비책이라 할 수 있다.

명제 6. 기술혁신을 위한 생태계 조성이 뒷받침되지 않아 신기술 투자비용의 효과가 불확실할 경우 모듈화 디자인 투자비용을 늘려 생산 관련 비용을 낮추는 것이 바람직하다.

명제 6은 식 (7)과 식 (8)을 신기술의 기술혁신 정도에 따른 기술개발 투자비용의 민감도(δ)로 미분하여 얻을 수 있고, 그 결과는 식 (21)-(22)와 같다.

$$\frac{\partial t}{\partial \delta} = - \frac{\theta}{\phi(2d_2\theta - d_3^2\phi)} \quad (21)$$

$$\frac{\partial m}{\partial \delta} = \frac{d_3}{2d_2\theta - d_3^2\phi} \quad (22)$$

두 식의 분모는 명제 1에 의해 양수이고, 식 (21)의 분자는 음수($\partial t/\partial \delta < 0$)이며, 식 (22)의 분자는 양수($\partial m/\partial \delta > 0$)가 된다. 신기술의 도입은 기술개발을 위한 비용뿐만 아니라 이러한 기술을 뒷받침할 수 있는 또 다른 기술이나 부품의 개발 및 비용투자가 요구된다. 그러나 이는 최종 제품을 조립·생산하는 기업이 독자적으로 해결하기에는

많은 어려움이 따르기 때문에 1차, 2차 공급업체의 기술력 제고가 함께 고려되어야 한다(Iansiti and Levien, 2004; Adner, 2006; Lee et al., 2017). 특히 신기술의 기술혁신 정도가 높을수록 이를 뒷받침할 수 있는 공급업체의 기술력이 중요한 문제로 대두되며 그렇지 못한 경우 제품의 시장 출시 시점은 늦어지게 된다. 이러한 문제를 해결하고자 기업들은 부품의 병행개발(Parallel development)이나 동시공학(Concurrent engineering)과 같은 방법을 이용하고 있고(Ulrich, 1995; Antonio et al., 2007), 모듈화 수준이 높을수록 이러한 방법은 큰 효과를 거둘 수 있다(Fine et al., 2005). 이를 통해 최종 제품을 생산하는 기업은 취급하는 부품의 수를 줄일 수 있고(Salvador et al., 2002), 다수의 공급업체로부터 공급받던 복잡한 공급사슬의 구조를 소수의 공급사로부터 공급받는 간결한 구조로 바꿀 수 있게 된다. 세계적인 농기계 제조기업인 John Deere가 좋은 본보기라고 할 수 있다(Burt et al., 2002).

명제 7. 제품의 모듈화 수준에 대한 수요탄력성이 낮다고 판단되는 제품의 신제품 개발 시에는 신기술 도입의 투자비용을 적극적으로 늘리는 것이 바람직하다.

명제 7은 식 (7)과 식 (8)을 모듈화 수준을 높이기 위한 비용의 민감도(θ)로 미분하여 얻을 수 있고, 그 결과는 식 (23)-(24)와 같다.

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = \frac{d_3\phi(d_1 - d_4p) + d_3(pd_2d_3 + d_3\delta + 2d_2\beta)}{(2d_2\theta - d_3^2\phi)^2} \quad (23)$$

$$\frac{\partial m}{\partial \theta} = \frac{-2d_2\{d_3\phi(d_1 - d_4p) + pd_2d_3 + d_3\delta + 2d_2\beta\}}{(2d_2\theta - d_3^2\phi)^2} \quad (24)$$

두 식의 분모는 양수이고, 명제 2의 전제조건 1에 의해 식 (23)의 분자는 양수($\partial t/\partial \theta > 0$)이고 식 (24)의 분자는 음수($\partial m/\partial \theta < 0$)가 된다.

제품의 모듈화 수준이 높을수록 제품 전체의 구

조 변화를 최소화하면서 제품의 개선 및 보완이 용이하게 된다. 그러나 제품의 모듈화 수준에 대해 수요탄력성이 낮은 제품의 경우 신기술 도입의 투자를 적극적으로 할 필요가 있다. 이는 애플의 아이폰 3GS와 아이폰4의 사례를 들어 설명할 수 있다. 아이폰은 당시 대부분의 모바일 폰과 다르게 배터리와 본체가 일체형으로 구성되어 있었다. 당시 대부분의 모바일 폰은 전원공급 장치의 설계가 모듈화 구조였기에 배터리를 분리하여 별도로 충전이 가능할 뿐만 아니라 모바일 폰의 다른 어떠한 부품을 변형하거나 교체하지 않고도 배터리의 교환이 가능했다. 이에 반해 아이폰은 배터리가 본체와 일체형으로 구성되어 있어 배터리만의 분리 및 충전, 교환이 불가능했고, 배터리 교체를 원할 경우 모바일 폰의 다른 부품도 함께 교환해야 했기 때문에 교체비용이 일반 모바일 폰에 비해 상당히 비쌌다. 하지만 아이폰은 이러한 단점의 개선보다는 혁신적 신기술의 도입을 통한 신제품 출시로 괄목할만한 판매기록을 나타냈다. 2009년 6월 출시된 아이폰 3GS는 2009년 4분기에 약 7만 5천 대의 판매량을 보였는데, 약 1년 후인 2010년 6월, 기존의 아이폰 3GS에 몇 가지 혁신적 신기술이 도입된 아이폰4를 출시하여 2010년 4분기 동안 약 15만 대의 판매량을 보이며 전년 대비 약 91%의 판매량 증가를 기록했다. 여기서 주목해야 할 점은 아이폰4가 기존 제품인 아이폰 3GS의 단점 개선보다는 'Face Time'과 같은 신기술 추가와 더불어 스크린의 해상도 및 카메라의 화소 수를 개선한 제품이라는 점이다. 이와 같은 사례를 통해 알 수 있듯이 제품의 모듈화 개선이 고객수요에 미치는 영향이 미미하다고 판단되는 경우에는 기존 제품에 신기술을 도입하는데 더 많은 투자와 노력을 기울이는 편이 바람직하다고 할 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 신제품 개발 시 고려해야 할 중요 결정요소인 신기술의 혁신 정도와 제품의 모듈화 수준이 기업의 이익에 미치는 영향을 분석할 수 있는 수학적모형을 제시하고, 민감도 분석을 통해 얻은 결과로부터 신제품을 개발할 때 고려할 수

있는 기술경영 및 제품개발 상의 몇 가지 명제를 도출하면서 가이드라인을 제시하였다.

본 연구를 통해 다음과 같은 이론적 시사점을 찾아볼 수 있다. 첫째, 기업의 이윤을 최대화하는 신기술 및 모듈화 디자인 관련 투자의 의사결정을 지원하기 위한 수학적모형을 제안·분석하였다. 신제품 개발 시, 신기술의 도입과 모듈화 수준의 제고는 고객의 수요를 증가시킬 수 있는 중요한 결정요소로, 이를 실현하기 위해서는 많은 투자와 노력이 필요하며, 더욱이 신기술의 도입은 기존 제품의 구조가 변형되는 문제가 발생할 수도 있으므로 기업의 재무적 자원(Financial resource)이 병행되어 고려되어야 한다. 따라서 본 연구모형의 분석을 통해 신기술과 모듈화의 두 가지 결정 사안에 대해 과학적이고 합리적인 결정을 내리는 데 도움이 될 수 있는 결과를 도출할 수 있다. 둘째, 수학적모형의 의사결정 변수에 대한 최적 수준을 도출하고, 여러 가지 파라미터에 대한 민감도 분석을 통해 명제를 도출하여 구체적인 사례와 접목함으로써 모형의 실용성을 높이고자 하였다.

본 연구의 결과를 통한 실무적 시사점은 다음과 같다. 첫째, 모형 분석을 통해 얻은 몇 가지 명제는 점차 제품의 수명주기가 줄어드는 시장 환경과 하이브리드 엔진과 같이 사업영역이 서로 다른 이질적인 기술의 융합이 활발해지는 제품개발의 환경에서 제품의 모듈화 디자인과 관련된 사안이 기업 내에서 중요하게 다루어져야 한다는 시사점을 제공하고 있다. 둘째, 기술개발은 기업에 있어 향후 지속적인 이윤을 창출하는 원천이자 핵심적 사안이지만, 개발의 성과와 시장에서의 성공이 보장되어 있지 않은 불확실한 상황에서 이루어지는 투자이기도 하므로, 기술 투자의 불확실성과 이러한 기술을 뒷받침해야 하는 기술개발의 불확실한 환경에서 기업이 대처해나가야 하는 방향도 함께 제시하였다.

본 연구에서 제시된 계량모형은 주로 선형 기반의 함수로 설정되었다. 이는 계량모형의 연산 결과를 Closed-form 해로 찾고, 이를 통해 좀 더 유용하고 실용적인 분석적 결과를 도출하기 위함이었으나 본 연구의 한계점이기도 하다. 향후 연구에서는 좀 더 현실적 상황을 반영한 형태의 함수를 적용함으로써 본 연구의 결과를 확장시켜서 보다 실

용적인 모형 개발과 분석이 요구된다. 또한, 향후 연구에서는 기술개발의 불확실성을 반영한 함수의 개발과 분석이 요구된다.

References

- Adner, R. (2006). Match Your Innovation Strategy to Your Innovation Ecosystem, *Harvard Business Review*, 84(4), 98–107.
- Antonio, K. W. L., Yam, R. C. M., and Tang, E. (2007). The Impacts of Product Modularity on Competitive Capabilities and Performance: An Empirical Study, *International Journal of Production Economics*, 105(1), 1–20.
- Antonio, K. W. L., Yam, R. C. M., and Tang, E. (2011). The Impact of Product Modularity on New Product Performance: Mediation by Product Innovatives, *Journal of Product Innovation Management*, 28(2), 270–284.
- Bayus, B. L., and Putsis, W. P. (1999). Product Proliferation: An Empirical Analysis of Product Line Determinants and Market Outcomes, *Marketing Science*, 18(2), 137–153.
- Burt, D. N., Dobler, D. W., and Starling, S. L. (2002). *World Class Supply Management*, 7th ed., McGraw-Hill.
- Desai, P., Kekre, S., Radhakrishnan, S., and Srinivasan, K. (2001). Product Differentiation and Commonality in Design: Balancing Revenue and Cost Drivers, *Management Science*, 47(1), 37–51.
- Ethiraj, S. K., and Levinthal, D. (2004). Modularity and Innovation in Complex Systems, *Management Science*, 50(2), 159–173.
- Fine, C. H. (2000). Clockspeed-Based Strategies for Supply Chain Design, *Production and Operations Management*, 9(3), 213–221.
- Fine, C. H., Golany, B., and Naseraldin, H. (2005). Modeling Tradeoffs in Three-Dimensional Concurrent Engineering: A Goal Programming Approach, *Journal of Operations Management*, 23(3–4), 389–403.
- Griffin, A. (1997). The Effect of Project and Process Characteristics on Product Development Cycle Time, *Journal of Marketing Research*, 34(1), 24–35.
- Huang, G. Q., Zhang, X. Y., and Liang, L. (2005). Towards Integrated Optimal Configuration of Platform Products, Manufacturing Processes, and Supply Chains, *Journal of Operations Management*, 23(3–4), 267–290.
- Iansiti, M., and Levien, R. (2004). Strategy as Ecology, *Harvard Business Review*, 82(3), 68–78.
- Krikk, H., Blanc, I. I., and Velde, S. V. D. (2004). Product Modularity and The Design of Closed-Loop Supply Chains, *California Management Review*, 46(2), 23–39.
- Langlois, R. N. (2003). The Vanishing Hand: The Changing Dynamics of Industrial Capitalism, *Industrial and Corporate Change*, 12(2), 351–385.
- Lee, D. H., Lee, D. H., and Jung, K. (2017). A Study of Collaborative Relations of Supplier-Buyer on Sustainable SCM Activity, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 22(4), 97–115.
- Majumdar, S. K. (1997). Modularity and Productivity, *Technological Forecasting and Social Change*, 56(1), 61–75.
- Mikkola, J. H. (2003). Modularity, Component Outsourcing, and Inter-Firm Learning, *R&D Management*, 33(4) 439–454.
- Mikkola, J. H., and Gassmann, O. (2003). Managing Modularity of Product Architectures: Toward An Integrated Theory, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 50(2), 204–218.
- Mukhopadhyay, S. K., and Setoputro, R. (2005). Optimal Return Policy and Modular Design for Build-To-Order Products, *Journal of Operations Management*, 23(5), 496–506.
- Padmanabhan, V., and Png, I. P. L. (1997).

- Manufacturer's Returns Policies and Retail Competition, *Marketing Science*, 16(1), 81-94.
- Pil, F. K., and Cohen, S. K. (2006). Modularity: Implications for Imitation, Innovation, and Sustained Advantage, *Academy of Management Review*, 31(4), 995-1011.
- Pyun, J. B., and Jeong, E. B. (2018). A Study on Recent Research Trend in New Product Development Using Keyword Network Analysis, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 23(5), 119-134.
- Pyun, J. B., and Rha, J. S. (2018). Bibliometric Network Analysis on Supply Chain Risk Management Research, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 23(6), 125-138.
- Ro, Y. K., Liker, J. K., and Fixson, S. K. (2007). Modularity as A Strategy for Supply Chain Coordination: The Case of U.S. Auto, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 54(1), 172-189.
- Sako, M. (2004). Modularity and Outsourcing: The Nature of Co-Evolution of Product Architecture and Organization Architecture in The Global Automotive Industry In: Prencipe, A., Davies, A., Hobday M. (Ed.), *The Business of Systems Integration*, Oxford Press University.
- Salvador, F., Forza, C., and Rungtusanatham, M. (2002). Modularity, Product Variety, Production Volume, and Component Sourcing: Theorizing Beyond Generic Prescriptions, *Journal of Operations Management* 20(5), 549-575.
- Schilling, M. A. (2000). Toward A General Modular Systems Theory and Its Application to Interfirm Product Modularity, *Academy of Management Review*, 25(2), 312-334.
- Schilling, M. A., and Steensma, H. K. (2001). The Use of Modular Organizational Forms: An Industry-Level Analysis, *Academy of Management Journal*, 44(6), 1149-1168.
- Tu, Q., Vonderembse, M. A., Ragu-Nathan, T. S., and Ragu-Nathan, B. (2004). Measuring Modularity Based Manufacturing Practices and Their Impact on Mass Customization Capability: A Customer Driven Perspective, *Decision Sciences*, 35(2), 147-168.
- Ulrich, K. (1995). The Role of Product Architecture in The Manufacturing Firm, *Research Policy*, 24(3), 419-440.
- Ulrich, K. T., and Eppinger, S. D. (2008). *Product Design and Development*, 4th ed., McGraw-Hill.
- Weng, Z. K. (1999). Risk-pooling Over Demand Uncertainty in The Presence of Product Modularity, *International Journal of Production Economics*, 62(1-2), 75-85.



편 제 범 (Jebum Pyun)

- 정회원
- 한양대학교 산업공학과 공학사 및 공학석사
- 고려대학교 경영학과 LSOM 전공 경영학박사
- (현재) 호서대학교 빅데이터경영공학부 산업경영공학트랙 조교수
- 관심분야 : 신제품개발(NPD)의 전략적 의사결정, 구매 공급사 평가 및 관계관리, 공급사슬 리스크 관리