

제품 차별화 지연생산의 경제적 타당성: 문헌연구

이호창[†]

경희대학교 국제경영학부

Economic Evaluation of Delayed Product Differentiation: Literature Review

Hochang Lee

School of Business, Kyung Hee University, Yongin, 449-701

Expanding product variety and high customer service provision place an enormous burden on demand forecasting and the matching of supply with demand in a supply chain. Postponement of product differentiation has been found to be powerful means to improve supply chain performance in the presence of increasing product variety. Delaying the point of product differentiation implies that the process would not commit the work-in-process into a particular finished product until a later point. This paper reviews the recent analytical models that quantify the value of delayed product differentiation. We conclude the literature review by summarizing and synthesizing the economic evaluation of the postponement and outline directions for future research.

Keywords: supply chain, product variety, postponement of product differentiation

1. 서론

소비자의 다양한 욕구를 만족시키기 위해서, 기업은 동일 상품군 내에서도 제품의 색상, 모양 및 기능 등에 따라 여러 가지 모델을 생산, 판매하지만, 이는 생산 측면에서 생산비의 증가, 수급 불일치 증가, 재고증가, 납기지연 등으로 이어지며, 오히려 소비자 만족도를 저해하는 결과를 초래할 수도 있다(제품 구색확장과 이에 따른 생산전략 및 공정운영에 관한 논의는 Fisher(1992) Child *et al.*(1991) 참조). 이와 같은 품종 다양화에 따른 공급사슬(supply chain)의 비효율성을 완화하기 위해서는, 생산 시스템 인프라에 추가적 투자가 요구된다(Lee and Billington, 1992). 예를 들어 주문정보 처리의 지연을 줄이기 위해 정보 시스템을 구축하며, 특수 수송수단을 개발하거나 소비자와 인접한 곳에 유통센터를 개설함으로써 리드타임을 단축할 수도 있다. 관리의 측면에서는 보다 정교한 예측기법과 공급사슬 재

고관리 시스템을 도입하며, 원자재의 원활한 수급을 위해서 공장자동화를 추진하기도 한다.

이와는 별도로 제품과 생산공정을 재설계함으로써 제품의 다양화에 따른 생산의 비효율을 줄일 수도 있으나 이 또한 산업 현장에서 쉽게 적용되기 어려운 경제적 난점이 있다(Lee, 1993). 첫째, 이러한 재설계과정은 제품 설계자로 하여금 제품기능, 성능 및 공학적 생산 가능성에 관해 폭넓은 이해와 다양한 아이디어 창출을 필요로 하며, 디자인 대안평가에 있어서 주로 원료비와 노무비 등 직접비용으로 단순하게 구성되었던 종래의 생산원가 개념에서 탈피한 생산의 경제성 인식에 획기적 전환을 요구한다. 둘째, 제품의 재설계는 단순히 생산공정 내에 국한된 문제가 아니라, 그와 연관된 다양한 경영기능, 즉 유통, 판매, 마케팅, 재무, 소비자관리, 생산기술, R&D 등과의 긴밀한 협조를 요구하게 되는데, 일반적으로 기업 내 이러한 제 기능 간의 장벽이 높은 것이 사실이다. 셋째, 제품 및 공정의 재

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-041-B00181).

[†]연락처 : 이호창 교수, 449-701 경기도 용인시 기흥읍 서천리 1번지 경희대학교 국제경영학부, Fax : 031-201-2318,

E-mail : hochang@khu.ac.kr

2003년 10월 접수, 1회 수정 후 2003년 12월 게재 확정.

설계는 생산능력 및 유통센터의 확장, 부품의 생산가격 상승, 공급자 관리비용의 상승 등 추가적인 투자를 유발하게 된다.

이상의 경제적 난점들에도 불구하고, 공정이나 제품설계의 전면적인 수정 없이, 동일한 기본 제품(work-in-process)에 부가적인 다양화 공정을 각 모델마다 추가함으로써 다양한 제품을 생산할 수 있다면, 이러한 기술적 생산 다양화 방식이 오히려 경제적 타당성을 갖게 된다. 또한 이 경우, 제품 차별화 공정을 각 모델의 수요량이 확실해 질 때까지 전체 생산공정의 마지막 부분으로 지연하면 지연할수록 제품 다양화에 따른 수급 불일치 현상은 크게 완화된다.

제품 차별화 지연생산은 생산과정 중 발생하는 재공품 혹은 반제품(work-in-process)을 최종 제품화되지 않은 상태(neutral and noncommitted form)로 가능한 생산공정의 뒷부분으로 지연하는 생산방식이다. 제품의 차별화는 그 제품의 형태뿐만 아니라 수요지점 및 수요시간별로도 구분되는 다차원적인 성격을 가지고 있다. 따라서 최종 제품의 종류, 최종 수요처, 최종 수요시간이 확정적으로 결정되는 마지막 순간까지 제품의 차별화 공정을 뒤로 미룰 수 있다면, 수요의 불확정성을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 생산과정 중 공통으로 사용되는 반제품의 통합효과(pooling effect)에 의해서 재고, 납기, 품질 등과 같은 공급사슬의 각종 비경제적 요인을 줄일 수 있게 된다. 이러한 차별화 지연생산의 개념은 이미 Alderson(1950)에 의해 마케팅 분야에서 제기된 바 있다.

한편, 제품의 차별화 지연과는 반대로 차별화 공정을 가능한 공정의 초기로 앞당길 수도 있다. 이는 수요 발생 시점 훨씬 이전에 수요를 조기에 투기적으로 예측(speculate)하여 최종 제품의 생산을 위한 차별화 공정을 미리 시작함으로써 완제품 재고로 소비자 수요를 만족시키는 방식으로 투기(speculation) 생산이라고 부른다. 이 경우 차별화 지연생산에서 차별화 공정을 분리, 지연함으로써 발생할 수 있는 생산과정 내 규모의 비경제(diseconomies of scale) 효과를 줄일 수 있으며, 예측의 정확도에 따라서는 재고생산(make-to-stock)에 의해 소비자 리드타임과 품질률을 줄일 수 있다.

그러나 제품 차별화 지연생산은 차별화 공정을 지연하기 위해 수반되는 제품 표준화, 공정 모듈화 또는 공정의 재정렬 때문에 추가적인 생산비용을 유발하기도 한다(Lee and Billington, 1994). 첫째, 제품이나 공정을 다시 디자인해야 하므로 생산 관련 직접비용을 증가시킨다. 둘째, 생산기반시설과 인력을 포함한 생산자원의 이용률에 영향을 주게 되고, 이는 생산 및 유통과정에 변화를 초래하여 간접비용을 증가시킨다. 따라서 이러한 차별화 지연생산방식은 그에 따른 비용절감이 비용증가를 상회할 때만 신중하게 시행되어야 하며 수요량이 집중된 소수의 품목에 한하여 선택적으로 적용하는 것이 바람직하다.

이 연구는 제품 차별화 지연생산의 경제적 득실을 정량화한 기존의 대표적 연구를 중심으로 모형의 설정, 분석과정 및 결과를 비교, 정리한 문헌분석이다. 다양한 생산 및 시장환경 하

에서 분석된 연구결과 역시 매우 다양하고 각 분석모형의 가정으로 인해 그 결과의 해석도 제한적이기 때문에 차별화 지연생산의 경제적 가치를 총체적으로 이해하기 어려운 것이 사실이다. 이 연구를 통해 다양한 기존 연구문헌을 종합, 정리함으로써 입문자의 이해를 돕고 연구자에게는 새로운 연구 기회와 방향을 제시하고자 한다. 2장에서는 기존 연구를 분석범위, 공정에 대한 가정, 분석방법 등 다양한 기준으로 분류함으로써 본 문헌연구의 틀을 제시한다. 3장에서는 제품 차별화 지연생산의 경제적 가치를 정량화한 대표적인 연구들의 분석모형, 분석과정 및 결과를 요약, 정리하였다. 마지막 장에서는 이들의 연구결과를 비교하고 새로운 연구의 방향을 제시하였다.

2. 기존 연구의 분류

기존의 연구는 분석범위로 볼 때, 공급사슬 관점의 거시적인 분석과 공장 내 생산공정으로 제한한 미시적인 분석으로 구분된다. 공급사슬의 관점(거시적 분석)에서 본 제품의 차별화 지연생산에서는, 공장의 생산공정에서 분리된 차별화 공정이 지역별 DC로 이관되어 현지에서 개별적으로 수행됨으로써 제품 차별화가 지연된다. 공장 내 생산공정의 관점(미시적 분석)에서 본 제품 차별화 지연생산에서는, 생산공정 중에서 차별화 공정을 뒤로 미루거나 그 순서를 바꿈으로써 공장 내 생산공정으로 제한하여 제품 차별화 단계를 지연한다. 따라서 미시적 분석의 경우, 각 생산공정마다 추가되는 반제품의 부가가치에 비례하여 발생하는 재고비용이 차별화 지연생산의 경제성 평가에 직접적인 요인이 되며, 거시적 분석에서는, 재고비용 이외에 공장과 DC 간에 발생하는 반제품 수송의 효율성과 시간이 결정요인으로 작용한다.

한편 공정에 대한 가정으로는, 전체 생산공정을 시간상으로 분리된 개별공정들의 순차적 수행으로 간주하는 경우와 시간상으로 연속된 공정의 흐름으로 보는 경우로 구분된다. 따라서 개별공정하에서는 제품의 차별화 시점이 비연속적(discrete)인 반면, 흐름공정하에서는 차별화 시점이 연속적(continuous)이다. 실제 생산공정의 측면에서 보면 각 공정이 개별적으로 수행되는 것이 일반적이므로 차별화 시점이 비연속적이라는 사실이 타당하지만 모형분석의 용이성과 간결성을 감안하여 연속적 차별화 시점을 가정할 수도 있다.

분석방법으로 보면, 기존의 연구는 모형을 기반으로 하는 계량적 분석, 모의실험 분석, 또는 문헌 및 사례를 기반으로 한 실증적 분석으로 구분된다. 계량적 분석의 경우, 모형을 간단히 하기 위해 제품, 공정, 수요 및 시장상황에 적절한 가정을 하는 것이 일반적이며, 분석모형에 가정을 최소화하고 다양한 생산 및 시장환경을 고려하기 위해서는 모의실험이 유용하다. 차별화 지연생산의 경제성을 비교하기 위한 척도로서, 대부분의 기존 연구에서는 재고량 및 재고비용을 사용하였으나 경우에 따라서는 분석을 용이하게 하기 위해 생산량의 변동

을 비교지표로 쓰기도 하며, 특히 모의실험 분석이나 실증적 분석에서는 생산비, 재고유지비, 운송비, 서비스 수준을 포함한 총비용을 통해 차별화 지연생산의 결정요인을 도출하기도 한다.

제품 차별화 지연생산의 경제적 가치를 정량화한 대표적인 기존 연구로서, 이 분석에서 직접적인 대상으로 삼은 연구는 ① Zinn and Bowersox(1988), ② Lee *et. al.*(1993), ③ Lee(1996), ④ Lee and Tang(1997), ⑤ Garg and Tang(1997), ⑥ Whang and Lee(1998), ⑦ Lee and Tang(1998), ⑧ Pagh and Cooper(1998), ⑨ Johnson and Anderson(2000)이다. 위에서 제시한 연구의 분류에 따라 이들 기존 연구를 구분해 보면 <표 1>과 같다.

3. 기존 문헌연구

제품 차별화 지연생산의 경제적 가치를 정량화한 대표적인 연구들을 미시적 분석과 거시적 분석으로 나누어 각각의 분석모형, 분석과정 및 결과를 요약, 정리하였다. 특히 모형 간 정성적

인 비교분석은 4장 요약 및 결론 부분을 참조하기 바란다. 다양한 분석결과를 종합하기 위해서 도출과정에 약간의 수정을 가했으나 가능한 원문의 표기를 따랐다.

3.1 미시적 분석

3.1.1 Lee(1996)

이 연구에서는 제품 차별화 지연생산의 효과를 ① 주문생산(build-to-order)과 ② 재고생산(build-to-stock)의 경우로 구분하여 분석하였다. 주문생산의 경우에는, <그림 1>에서 보는 바와 같이 처음 τ 기간에 걸쳐 모든 제품에 공통으로 사용되는 반제품을 생산하여 보관한 후, 매 기간 발생하는 소비자의 최종 수요에 따라 이를 $T - \tau$ 기간에 걸친 차별화 공정을 거쳐 다양한 완제품으로 가공, 생산한다. 반제품량이 충분치 않을 경우에는 반제품의 추가 생산을 통해서 추후제공(backlog)이 되며, 반제품의 재고는 정기조사 목표 S 보충 시스템(periodic review order up to S system)에 의해 관리되는 것으로 가정하였다.

표 1. 기존 연구의 분류

기존 연구	분석 범위		공정 가정		분석 방법			경제성 비교척도
	거시 분석	미시 분석	개별 공정	흐름 공정	계량 분석	모의 실험	실증 분석	
Zinn and Bowersox(1988)	o		o			o		총 직접비용
Lee <i>et. al.</i> (1993)	o		o		o			안전재고량
Lee(1996)		o		o	o			재고비용
Lee and Tang(1997)		o	o		o			총 직접비용
Garg and Tang(1997)		o		o	o			평균재고량
Whang and Lee(1998)		o		o	o			안전재고량
Lee and Tang(1998)		o	o		o			생산량의 변동성
Pagh and Cooper(1998)	o		o				o	총 직접비용
Johnson and Anderson(2000)	o		o			o		재고비용, 품질비용

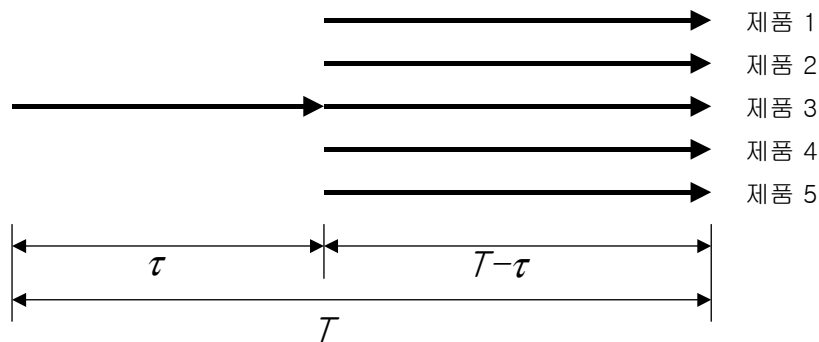


그림 1. 제품 차별화 지연생산.

따라서 $D(\tau)$ 가 τ 기간 동안 발생하는 수요이고 $F(x|\tau) = P(D(\tau) \leq x)$ 라고 하면 소비자 수요에 대한 리드타임 Y 의 기대치는 $E(Y) = T - \int_0^\tau F(S|r)dr$ 가 된다. 이 식을 τ 에 대해 미분하여 그 값을 0으로 두면, 반제품 재고관리의 목표수준 S 와 제품의 차별화 시점 τ 는 $F(S|\tau) + \int_0^\tau f(S|r) \frac{dS}{d\tau} dr = 0$ 의 관계에 있음을 알 수 있다. 따라서 $dS/d\tau \leq 0$ 이며 차별화 시점 τ 가 지연되면 될수록 재고보충 목표수준 S 가 감소함을 알 수 있다. 한편 Hadley and Whitin(1963)의 연구결과로 $H(\tau) = g(\tau) \int_0^S F(r|\tau)dr$ 이 알려져 있으며, 이를 τ 에 대해서 미분하면 다음과 같은 관계식을 얻는다.

$$\frac{dH}{d\tau} = g(\tau) \left\{ F(S|\tau) \frac{dS}{d\tau} + \int_0^S \frac{\partial F(x|\tau)}{\partial \tau} dx \right\} + g'(\tau) \int_0^S F(x|\tau) dx$$

여기서 $H(\tau)$ 는 τ 시점에서 반제품의 단위시간당 재고유지비용의 기대치이고, $g(\tau)$ 는 τ 시점에서 반제품 한 개의 단위 시간당 재고유지비용이다. 시간이 흐름에 따라 반제품에 가치가 부가되는 일반적인 생산공정에서 $g(\tau)$ 는 τ 에 관해 비감소(nondecreasing) 함수이다. $dS/d\tau \leq 0$ 이고 $\partial F(x|\tau)/\partial \tau \leq 0$ 이므로 $g'(\tau)$ 가 0에 가깝다면, $dH/d\tau \leq 0$ 이 성립한다. 즉, 생산공정을 따라 반제품에 부과되는 가치의 증가율이 현저히 낮다면 차별화 지연시점을 뒤로 미룰수록 기대 재고비용이 감소한다. 따라서 제품 차별화 지연생산의 경제적 효과를 극대화하기 위해서는 저부가가치의 공정을 통해 반제품을 생산하고, 부가가치가 큰 차별화 공정은 뒤로 배치하는 것이 유리함을 알 수 있다. HDD와 Workstation 생산공정에서 비싼 부품의 장착공정을 뒤로 미루는 것은 좋은 예이다.

재고생산의 경우에는, 매 기간 독립적으로 발생한 완제품 수요는 이미 차별 생산된 완제품 재고에 의해 채워진다. 기간별 완제품 i 의 수요는 독립적인 동일분포(independent identical distribution) $N(\mu_i, \sigma_i^2)$ 을 따르지만 제품별 수요 간에는 상관계수 ρ_{jk} 를 가정하며 제품 수요별 분산계수(coefficient of variation) $CV_i = \sigma_i/\mu_i$ 가 모든 제품에 대해 동일하다고 가정한다.

매 기간 초, 각 완제품의 재고가 조사되고 이에 따라 두 가지 의사결정이 이루어진다. 첫째, τ 기간을 거쳐 방금 생산이 완료된 반제품을 어떻게 각 제품별 차별화 생산으로 분배하는 것이고, 둘째, 새로 생산이 시작되는 반제품의 양을 결정하는 일이다. Eppen and Schrage(1981)에 의해 재고유지비용과 추후 납품비용이 선형일 경우, 각 완제품의 재고관리 정책으로써 목표 S 보충(order-up-to-S) 시스템이 최선임이 알려져 있다. 따라서 매 기간 초, 바로 전 기간에 발생한 최종 제품수요의 비율대로 중간 반제품을 차별화 공정으로 배분하고, 전 기간 최종 제품수요의 합만큼 공통 반제품의 생산을 시작하는 것이 최적이다.

다. 이러한 의사결정 규칙에 따르면 각 완제품의 재고수준(inventory position)은 $T - \tau$ 기간 동안 발생한 완제품의 평균수요 합과 표준편차에 의해 정해진다. 따라서 매 기말 재고수준 I_i 의 기대치와 분산은 다음과 같이 주어진다.

$$E(I_i) = A_i - R_i T \sum_j \mu_j$$

$$V(I_i) = R_i^2 \tau \left\{ \sum_j \sigma_j^2 + \sum_{j \neq k} \rho_{jk} \right\} + (T - \tau) \sigma_i^2$$

여기서, $R_i = \sigma_i / \sum_j \sigma_j$ 이고 A_i 는 S_i 와 μ_i 의 함수로서 τ 와는 무관하므로 $E(I_i)$ 역시 제품의 차별화 지연기간 τ 와 무관하다. 안전재고 계수를 z_i 라고 하면 제품 i 의 안전재고 수준은 $z_i \sqrt{V(I_i)} = z_i \sqrt{R_i^2 \tau \left\{ \sum_j \sigma_j^2 + \sum_{j \neq k} \rho_{jk} \right\} + (T - \tau) \sigma_i^2}$ 가 된다. 한편, 재고수준의 분산 $V(I_i)$ 를 τ 에 대해서 미분하면,

$$\frac{\partial V(I_i)}{\partial \tau} = R_i^2 \left\{ \sum_j \sigma_j^2 + \sum_{j \neq k} \rho_{jk} \right\} - \sigma_i^2 = \sigma_i^2 \left\{ \frac{\sum_j \sigma_j^2 + \sum_{j \neq k} \rho_{jk}}{(\sum_j \sigma_j)^2} - 1 \right\}$$

가 되는데, 여기서 $\rho_{jk} \leq \sigma_j \sigma_k$ 이므로 $\sum_j \sigma_j^2 + \sum_{j \neq k} \rho_{jk} \leq (\sum_j \sigma_j)^2$ 이다. 따라서 $\partial V(I_i)/\partial \tau$ 는 항상 비양(nonpositive)이며, 이는 제품 차별화 시점이 지연될수록 완제품 재고의 분산이 감소함을 뜻한다. 특히 완제품 간 수요가 음의 상관관계를 가질 때, 재고의 감량효과가 증대함을 알 수 있다. 한편 완제품별 수요가 동일한 표준편차 σ 를 갖는 독립적인 동일분포를 따른다고 가정하면, 완제품 재고의 분산은 간단히 $V(I_i) = [\tau/N + (T - \tau)]\sigma^2$ 로 축약되는데 이는 ① 제품수가 증가할수록, ② 차별화 시점이 지연될수록 제품 차별화 지연생산의 재고 감량효과가 커짐을 나타낸다.

3.1.2 Lee and Tang(1997)

이 연구는 제품 차별화를 지연하는 제품/공정 재구성 방법으로서, ① 표준화(standardization), ② 모듈화 디자인(modular design), ③ 공정 재배치(process restructuring)를 각각 모형화함으로써 그 경제적 가치를 정량화하였다. 분석과정을 간단히 하기 위하여 N 개의 공정으로 구성된 전체의 생산과정 중에서, k 번째 공정 이후 제품이 두 가지로 차별화되어 가공되는 경우로 한정하였으며 그 공정 흐름도는 <그림 2>와 같다.

$Z(k)$ 를 공정 k 가 마지막 공통공정이라고 할 때 발생하는 단위시간당 총비용이라고 하면,

$$\begin{aligned} Z(k) = & \sum_{i=1}^k S_i && \text{<공통공정 투자비용>} \\ & + \sum_{i=1}^N p_i(k) (\mu_1 + \mu_2) && \text{<생산공정비용>} \\ & + \sum_{i=1}^N h_i(k) [n_i(k) (\mu_1 + \mu_2)] && \text{<재공품 재고유지비용>} \\ & + \sum_{i=1}^k h_i(k) [(\mu_1 + \mu_2)/2 + z\sigma_{12} \sqrt{n_i(k) + 1}] \end{aligned}$$

<완충재고 유지비용>

$$+ \sum_{i=k+1}^N h_i(k) [(\mu_1 + \mu_2)/2 + z(\sigma_1 + \sigma_2)\sqrt{n_i(k)+1}]$$

가 된다. 여기서 S_i 는 공정 i 가 공통공정일 때, 추가적으로 발생하는 기간당 평균 투자비용이다. 또한 $p_i(k), h_i(k), n_i(k)$ 는 각각 공정 k 가 마지막 공통공정이라고 할 때, 단위제품당 공정 i 의 공정비용, 재고유지비용, 리드타임을 말한다. 따라서 마지막 공통공정의 최적 위치는 $k^* = \arg \min \{Z(k): 0 \leq k \leq N-1\}$ 가 된다. 이 연구에서는 ① 표준화, ② 모듈화 디자인, ③ 공정 재배치의 각 경우에 대해서, 마지막 공통공정 k 의 변화에 따른 $Z(k)$ 를 비교함으로써 제품 차별화 지연생산의 경제적 타당성 조건을 도출하였다.

표준화 방식은 다양한 완제품을 생산하는 과정에서, 공통으로 쓰이는 부품이나 공정을 표준화하여 생산의 복잡도를 현저히 줄일 수 있다. 이렇게 표준화된 제품군은 <그림 3>에서와 같이 차별화된 개별공정을 거쳐 다양한 완제품으로 생산됨으

로써 재고의 리스크 풀링(risk pooling) 효과를 높이고 다양한 소비자에 대한 서비스 수준을 향상시킬 수 있다. 그러나 표준화에 의해 공정 k 에서 추가로 발생하는 생산공정비용(additional value added) δ_k 가 충분히 큰 경우는 $Z(k) > Z(0)$ 가 되므로 표준화에 의한 차별화 지연생산이 경제적 타당성을 갖을 수 없다.

모듈화 디자인 방식에서는 한 공정을 다수의 모듈 공정으로 나누고 이 중에서 제품의 특성을 결정짓는 제품별 모듈 조립 과정을 공정의 뒷부분으로 미룸으로써 제품의 차별화가 지연된다(Ulrich, 1991, Ulrich and Tung, 1991). <그림 4>는 제품의 색상을 결정 짓는 패널 조립작업을 모듈화하고 이를 뒤로 지연하는 식기세척기 생산공정을 도식화한 것이다. $n_i(1) = n_i, p_i(1) = p_i, h_i(1) = b_i$ 라고 하면 2공정을 마지막 공통공정으로 삼은 $Z(2)$ 의 경우 $n_3(2) = n_3 + \alpha, p_3(2) = p_3 + \beta, h_3(2) = b_3 + \delta$ 가 되는데, 여기서 α, β, δ 는 각각 패널 조립작업을 3공정으로 지연시킴에 따라서 3공정에 추가적으로 부가되는 공정시간, 원자재비용, 재고유지비용을 말한다. 이러

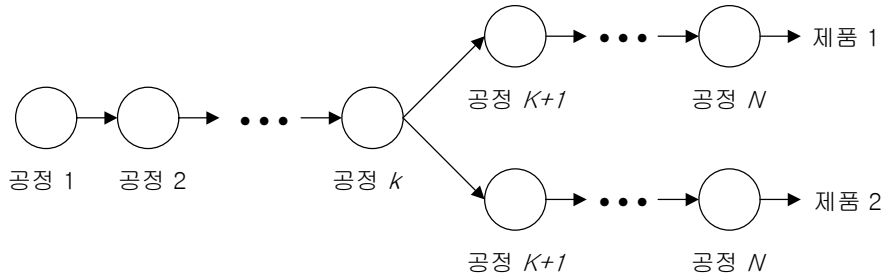


그림 2. 제품 차별화 지연공정.

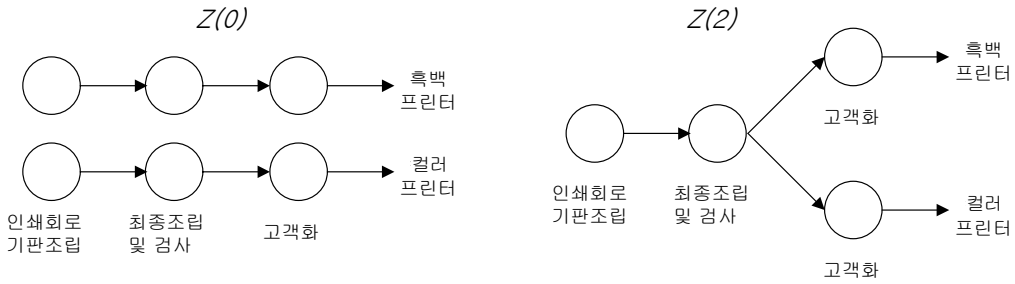


그림 3. 부품 표준화에 의한 제품 차별화 지연.

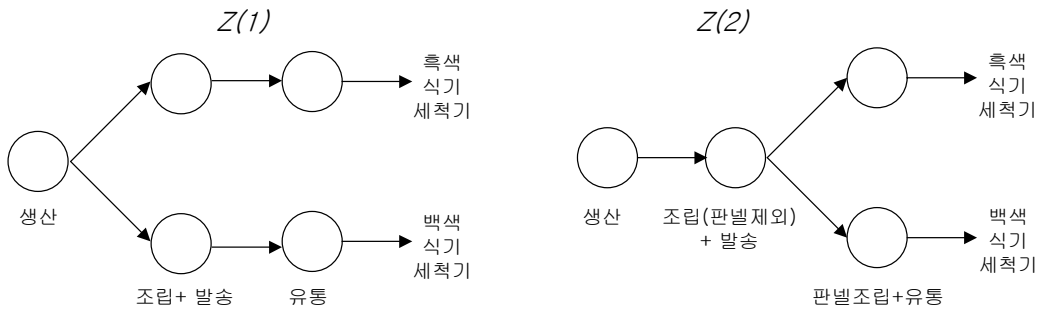


그림 4. 모듈화 디자인에 의한 제품 차별화 지연.

한 모듈화 디자인 방식에서는 ① 2공정의 리드타임이 매우 길 때($n_2 \gg 0$), ② 지연된 모듈 조립공정으로 인해 뒷부분에 추가된 공정시간과 조립공정 비용이 낮을 때($\alpha \approx 0, \beta \approx 0$), ③ 지연된 모듈의 재고 유지비용이 낮을 때($\delta \approx 0, S_2 \approx 0$)에 한해서 $Z(1) > Z(2)$ 가 되어 차별화 지연생산이 경제적 타당성을 갖게 된다.

공정 재배치는 공정의 순서를 재배열하는 방식으로 ① 차별화 공정을 생산의 뒷부분으로 지연하거나(postponement of operation), ② 두 공정의 순서를 맞교환(reversal of operations)으로써 제품의 차별화를 지연한다. 공정지연은 <그림 5>와 같이 도식화 되는데 2공정의 조립공정을 따로 떼어서 3공정인 유통공정과 통합함으로써 지연한 경우에 조립공정은 가치가 부가되지만 발송공정은 가치부가가 없으므로 $n_2(2) = n_2 - \alpha$,

$p_2(2) = p_2 - \beta$, $h_2(2) = b_1$ 가 되며 $n_3(2) = n_3 + \alpha$, $p_3(2) = p_3 + \beta$, $h_3(2) = b_3$ 이 된다. 여기서 α, β 는 각각 조립공정의 리드타임과 원자재 비용을 말한다.

따라서 공정지연의 경우에는 ① 공통공정의 리드타임이 차별화 공정의 리드타임보다 훨씬 길거나($\alpha \approx 0, n_2 \gg \alpha$), ② 차별화 공정의 부가가치가 큰 경우($b_1 < b_2, S_2 \approx 0$)에 $Z(1) > Z(2)$ 가 성립하여 공정지연생산이 경제적 타당성을 갖는다.

공정 맞교환 생산은 <그림 6>과 같이 도식화 되는데, 위의 경우와 유사한 분석과정을 통해 ① 공정시간이 긴 직조공정(n_2)을 앞으로, 공정시간이 짧은 염색공정(n_1)을 뒤로 위치시키는 경우, ② 부가가치가 작은 직조공정(δ_2)을 앞으로, 부가가치가 큰 염색공정(δ_1)을 뒤로 위치시키는 경우에 $Z(0) > Z(1)$ 가 성립하여 공정순서 맞교환 생산이 경제적 타당성을 갖는다.

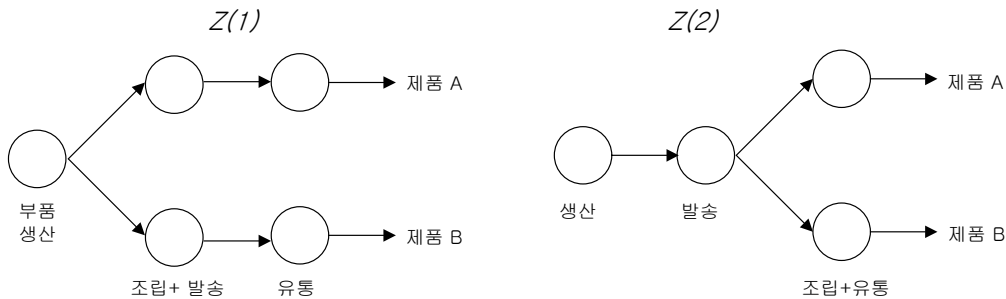


그림 5. 공정지연에 의한 제품 차별화 지연.

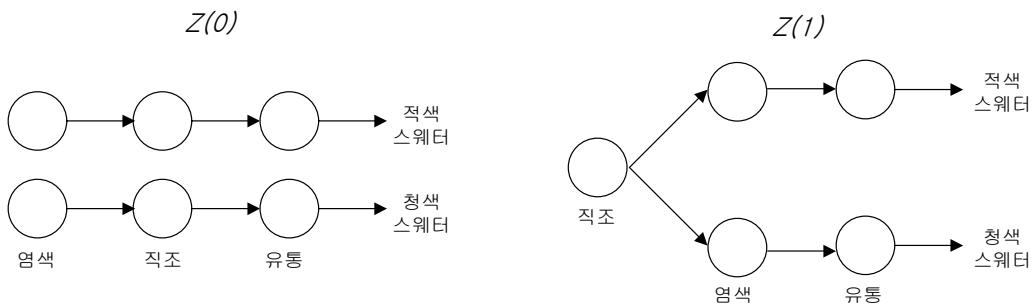


그림 6. 공정순서 맞교환에 의한 제품 차별화 지연.

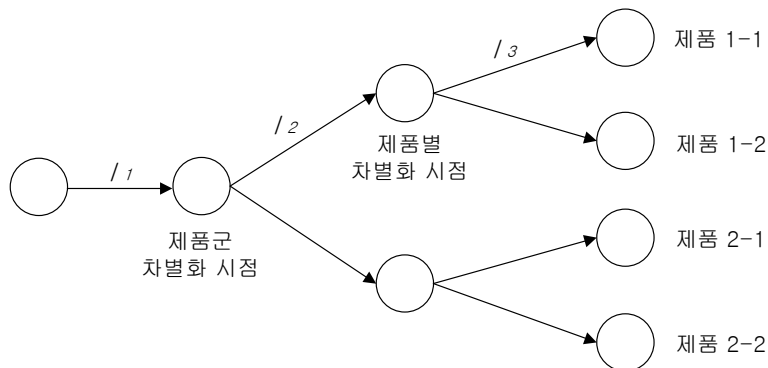


그림 7. 복수 차별화 생산.

3.1.3 Garg and Tang(1997)

이 연구는 두 종류의 차별화 지연, 즉 제품군(family)과 제품별(product)로 구분된 차별화 지연생산공정의 경제적 타당성을 분석하였다. 제품군 차별화(family differentiation) 시점에서는 단일의 제품이나 반제품이 제품군으로 차별화 되어 가공되며, 각 제품군의 반제품은 다시 제품별 차별화(product differentiation) 공정을 거친 후 최종적으로 다양한 완제품으로 생산된다. l_1, l_2, l_3 를 각각 제품군, 제품군 반제품, 제품별 반제품의 생산 리드타임이라고 하면 복수 차별화 생산은 <그림 7>과 같이 도식화 된다.

(l_1, l_2, l_3) 를 현재의 복수 차별화 생산이라고 하면, (l_1+1, l_2-1, l_3) 는 제품군 차별화 시점을 한 단위 지연한 선 차별화 지연생산(early postponement)이고, (l_1, l_2+1, l_3-1) 는 제품별 차별화 시점을 한 단위 지연한 후 차별화 지연생산(late postponement)이다. 이 연구에서는 반제품의 재고 없이 완제품의 재고만을 고려하는 중앙관리(centralized control)와 차별화 공정의 각 단계마다 발생하는 제품군의 재고도 함께 고려하는 분산관리(decentralized control)로 나누어, ① (l_1, l_2, l_3) , ② (l_1+1, l_2-1, l_3) , ③ (l_1, l_2+1, l_3-1) 의 세 가지 경우에 있어서 평균재고량을 서로 비교함으로써 제품군(선) 차별화 지연생산과 제품별(후) 차별화 지연생산의 경제적 득실을 분석하였다.

R_I 는 제품군 I 에 속하는 제품의 집합이다. 제품 i 의 수요가 $N(\mu_i, \sigma_i^2)$ 를 따르고, ρ_{ij} 를 제품 i 와 j 의 수요 간 상관계수라고 하면, $\sigma_I^2 = \sum_{i,j \in R_I} (\sigma_i^2 + \sum_{j \neq i} \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j)$, $\mu_I = \sum_{i \in R_I} \mu_i$ 가 된다. 한편 $\bar{\sigma}_I = \sum_{i \in R_I} \sigma_i$, $\bar{\sigma}^2 = \sum_I (\sigma_i^2 + \sum_{j \neq i} \sum_{k \in R_I} \rho_{ijk} \sigma_i \sigma_j)$, $\mu = \sum_I \mu_i$, $\bar{\sigma} = \sum_I \sigma_i$ 라고 하면, $\sigma \leq \bar{\sigma} \leq \sum_I \bar{\sigma}_I$ 의 관계가 성립한다.

중앙관리 시스템에서 생산지연이 평균재고에 미치는 영향은 $\bar{\sigma}_I/\sigma_I = \beta \forall I$ (여기서 $\beta \geq 1$ 이고 ρ_{ij} 가 증가하면 β 는 감소한다)의 조건, 즉 제품군 내 제품 간 총괄적 상관도 비율 β 가 모든 제품군에 대해서 일정하다는 조건하에서 Eppen와 Schrage (1981)의 다단계 재고관리 모형의 연구결과를 확대하여 적용할 수 있다. Eppen와 Schrage의 연구에서와 마찬가지로 하위 단계의 품질확률이 동일하도록 상위에서 제품을 할당, 보충하는 동일비율 배분정책(equal fractile allocation policy)을 이용하여 제품 $i \in R_I$ 의 평균 재고량 IC_i 를 다음과 같이 계산하였다.

$$IC_i = \frac{1}{2} \mu_i + z\sigma_i \left[(l_3+1) + l_2 \frac{\sigma_i^2}{\sigma_I^2} + l_1 \frac{\sigma_i^2}{\sigma^2} \frac{\sigma_i^2}{\sigma_I^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

여기서 z 는 주어진 품질률을 만족시키는 안전재고 계수이다. 제품 i 에 대해서, 선 차별화 지연생산의 재고 감축효과는 $\Delta IC_i^e = IC_i(l_1+1, l_2-1, l_3) - IC_i(l_1, l_2, l_3)$ 이고 후 차별화 지연생산의 재고 감축효과는 $\Delta IC_i^l = IC_i(l_1, l_2+1, l_3-1) -$

$IC_i(l_1, l_2, l_3)$ 이다. 모든 제품에 대한 재고 감축효과는 각각 $\Delta IC^e = \sum_I \sum_{i \in R_I} \Delta IC_i^e$, $\Delta IC^l = \sum_I \sum_{i \in R_I} \Delta IC_i^l$ 이다. 분석결과로, ① 선 차별화 지연생산과 후 차별화 지연생산 모두 재고를 감소시키고 ($\Delta IC^e \leq 0$, $\Delta IC^l \leq 0$), ② 특히 $2 - \sigma^2/\bar{\sigma}^2 \leq \beta^2$ 이면, 즉 제품수요가 음의 상관관계를 갖을수록 후 차별화 지연생산이 선 차별화 지연생산보다 효과적 ($\Delta IC^l - \Delta IC^e \leq 0$)이라는 사실을 증명함으로써 상품별 시장의 크기와 제품 간 상관관계 구조가 재고 감축효과에 밀접하게 연관되어 있음을 밝혔다. 또한 ③ 상품별 시장 점유율이 비슷하게 균형을 이룰수록, ④ 제품별 수요의 상관도가 낮을수록 리스크 풀링 효과가 증가하여 차별화 지연생산의 재고 감축효과가 증대된다.

분산관리 시스템 하에서는 중앙관리 시스템에서와는 달리 각 단계에서의 생산 리드타임 l_1, l_2, l_3 의 상대적인 크기가 차별화 지연생산의 결과에 직접적인 영향을 미치게 된다. ID 를 분산관리 시스템 하에서의 총 평균재고라고 하면 현 상태, 선 차별화 지연, 후 차별화 지연의 경우에 발생하는 총 평균재고는 각각 다음과 같다.

$$ID(l_1, l_2, l_3) = \frac{3}{2} \mu + z\sigma\sqrt{l_1+1} + z\tilde{\sigma}\sqrt{l_2+1} + z\sqrt{l_3+1} \sum_I \bar{\sigma}_I$$

$$ID(l_1+1, l_2-1, l_3) = \frac{3}{2} \mu + z\sigma\sqrt{l_1+2} + z\tilde{\sigma}\sqrt{l_2} + z\sqrt{l_3+1} \sum_I \bar{\sigma}_I$$

$$ID(l_1, l_2+1, l_3-1) = \frac{3}{2} \mu + z\sigma\sqrt{l_1} + z\tilde{\sigma}\sqrt{l_2+2} + z\sqrt{l_3} \sum_I \bar{\sigma}_I$$

선 차별화 지연생산의 재고 감축효과 $\Delta ID^e = ID(l_1+1, l_2-1, l_3) - ID(l_1, l_2, l_3)$ 와 후 차별화 지연생산의 재고 감축효과 $\Delta ID^l = ID(l_1, l_2+1, l_3-1) - ID(l_1, l_2, l_3)$ 는 각각 다음과 같다.

$$\Delta ID^e = z\sigma(\sqrt{l_1+2} - \sqrt{l_1+1}) + z\tilde{\sigma}(\sqrt{l_2} - \sqrt{l_2+1})$$

$$\Delta ID^l = z\sigma(\sqrt{l_1} - \sqrt{l_1+1}) + z\tilde{\sigma}(\sqrt{l_2+2} - \sqrt{l_2+1}) + z(\sqrt{l_3} - \sqrt{l_3+1}) \sum_I \bar{\sigma}_I$$

생산 리드타임 l_1, l_2, l_3 의 상대적인 크기에 따라 차별화 지연생산의 재고 감축효과는 아래와 같이 요약된다.

- ① $l_2 < l_1$ 이면 $\Delta ID^e \leq 0$, 즉 선 차별화 지연생산이 평균재고를 낮춘다.
- ② $l_3 < l_2$ 이면 $\Delta ID^l \leq 0$, 즉 후 차별화 지연생산이 평균재고를 낮춘다.
- ③ $l_2 \ll \min\{l_1, l_3\}$ 이면, 선 차별화 지연생산이 가장 바람직하다.
- ④ $l_2 \gg \max\{l_1, l_3\}$ 이면, 후 차별화 지연생산이 가장 바람직하다.

3.1.4 Whang and Lee(1998)

이 연구는 random walk 모형을 기초로 수요의 불안정성(non-stationarity)을 허용함으로써 제품수요가 독립적이며 안정

적으로 발생한다는 기존 연구의 비현실적인 제약조건을 완화하였다. 실제로 안정적 독립수요(IID normal random demand) 가정하에서는, 수요가 매 기간중에 독립적으로 발생한다고 간주함으로써, 판촉, 광고, 신제품 개발, 경제적 추세 등 각종 경영환경의 변화와 무작위 변동이 시간적으로 연동되어 수요에 미치는 영향을 무시하기 때문에 예측시점과 관계없이 수요 예측력은 동일하다. 따라서 수요가 발생하는 시점에 가까워지면서 차별화 지연기간만큼 예측기간(forecast horizon)이 단축되고 수요의 불확실성이 해소됨에 따라 수요 예측력이 개선되는, 제품 차별화 지연생산의 부가적 효과를 계량화할 수 없게 된다.

제품 차별화 지연생산의 경제적 가치는 ① 지연기간 동안 관찰된 수요의 불확실성 해소(uncertainty resolution)와 ② 그 결과로 얻게 되는 수요 예측력의 향상(forecast improvement)과 같이 두 부분으로 구분, 산정되어야 한다. 즉, 지연기간 동안 실현된 각 제품의 수요는 해당 제품의 재고정보를 현행화할 뿐만 아니라, 동시에 수요 예측치의 오차를 줄임으로써 해당 제품의 안전재고 수준을 한층 더 낮추게 된다. 따라서 기존의 안정적 독립수요 모형하에서는 ①의 효과만을 측정하기 때문에 ①과 ②를 포함하는 random walk 모형과 비교해 볼 때, 제품 차별화 생산의 가치를 과소평가하는 결과를 초래한다. Whang and Lee(1998)는 IID 모형과 random walk 모형하에서 각각 안전재고 수준을 비교함으로써 제품 차별화 지연생산의 가치를 계량화하였다.

<그림 1>에서 보는 바와 같이 T 와 τ 를 각각 제품 생산기간과 제품 차별화 시점이라고 하면 $T - \tau$ 는 제품을 차별해서 생산하는 기간이며, $\tau = 0$ 이면 차별화 지연이 없음을 뜻한다.

IID 모형의 경우, τ 시점, 제품 i 의 수요 $D_i(\tau)$ 가 정규분포를 따라 독립적으로 발생한다고 가정하면 $D_i(\tau) = \mu_i + \xi_{it}$, $i = 1, 2, \dots, n$, $\tau = 1, 2, \dots, T$ 로 주어지는데, 여기서 $\xi_{it} \sim N(0, \sigma_i^2)$ 이다. random walk 모형에서는 $D_i(\tau) = \mu_i + \sum_{j=1}^{\tau} \xi_{ij}$, $i = 1, 2, \dots, n$, $\tau = 1, 2, \dots, T$ 로 주어지며 $\xi_{ij} \sim N(a_{ij}, \sigma_{ij}^2)$ 이다. 두 가지 모형하에서 제품 차별화 지연생산의 경제적 가치를 안전재고 수준으로 정량화하면 다음과 같이 요약된다. 여기서 $k = \Phi^{-1}(\frac{\pi}{\pi + h})$

이고 π 와 h 는 각각 개당 품질비용과 재고유지비용이며 $\Phi(\cdot)$ 은 표준 정규분포함수이다.

① IID 모형

제품 차별화 지연생산 $P(\tau)$ 의 안전재고:

$$ss_R(\tau) = k \sum_i \sigma_i \sqrt{\frac{\tau \sum_i \sigma_i^2}{(\sum_i \sigma_i)^2} + (T+1-\tau)}$$

$\sigma_i = \sigma \ \forall i$ 일 때 $P(\tau)$ 의 안전재고:

$$ss_R(\tau) = k\sigma \sqrt{n\tau + n^2(T+1-\tau)}$$

$P(0)$ 대비 $P(\tau)$ 의 안전재고 감소율:

$$V_R(\tau) = 1 - \frac{ss_R(\tau)}{ss_R(0)} = 1 - \sqrt{\frac{1}{n} + (1 - \frac{1}{n}) \frac{T-\tau+1}{T+1}}$$

$\tau/T = p$ 일 때 $V_R(\tau)$ 의 한계치:

$$V_R(p) = \lim_{T \rightarrow \infty} V_R(\tau) = 1 - \sqrt{\frac{1}{n} + (1 - \frac{1}{n})(1-p)}$$

$V_R(\tau)$ 의 상한값: $\lim_{n \rightarrow \infty} V_R(\tau) = 1 - \sqrt{\frac{T-\tau+1}{T+1}}$

IID 모형하에서 안전재고($ss_R(\tau)$)는 차별화 시점이 지연될수록 감소하며 제품의 종류가 늘어날수록 증가한다. 한편 안전재고 감소율($V_R(\tau)$)은 차별화 시점이 지연될수록 증가하기는 하지만 생산공정의 후반부로 갈수록 그 효과는 더욱 증폭된다.

② random walk 모형

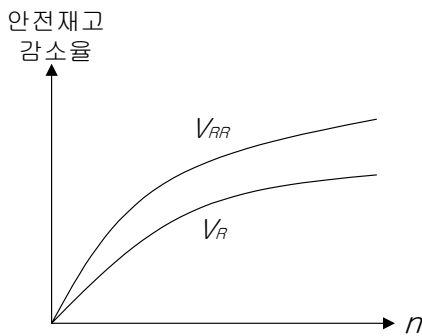
$$ss_{RR}(\tau) = k \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{\tau} (T+2-j)^2 \sigma_{ij}^2 + (\sum_{i=1}^n \sqrt{\sum_{j=\tau+1}^{T+1} (T+2-j)^2 \sigma_{ij}^2})^2}$$

$$ss_{RR}(\tau) = k\sigma \sqrt{\frac{n}{6} (T+1)(T+2)(T+3) + \frac{n(n-1)}{6} (T+1-\tau)(T+2-\tau)(2T+3-2\tau)}$$

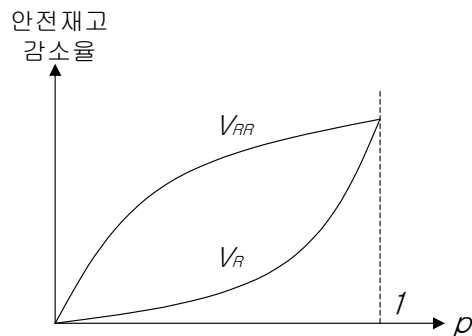
$$V_{RR}(\tau) = 1 - \frac{ss_{RR}(\tau)}{ss_{RR}(0)}$$

$$= 1 - \sqrt{\frac{1}{n} + (1 - \frac{1}{n}) \frac{(T+1-\tau)(T+2-\tau)(2T+3-2\tau)}{(T+1)(T+2)(2T+3)}}$$

$$V_{RR}(p) = \lim_{T \rightarrow \infty} V_{RR}(\tau) = 1 - \sqrt{\frac{1}{n} + (1 - \frac{1}{n})(1-p)^3}$$



a. 제품 수와 안전재고



b. 차별화 시점과 안전재고

그림 8. 제품 차별화 지연생산의 안전재고 감축효과.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} V_{RR}(t) = 1 - \sqrt{\frac{(T+1-t)(T+2-t)(2T+3-2t)}{(T+1)(T+2)(2T+3)}}$$

<그림 8-a>에서 보는 바와 같이 $V_{RR}(t)$ 과 $V_R(t)$ 는 제품 수(n)가 증가함에 따라 위로 볼록(convex) 증가함수이다. 또한 $V_{RR}(t)$ 은 항상 $V_R(t)$ 보다 크며 $V_{RR}(t) - V_R(t)$ 은 예측력 향상 효과를 나타내는데, 이는 제품 종류가 증가함에 따라 커진다. 한편 <그림 8-b>에서 $V_{RR}(t)$ 은 차별화 지연기간 비율 ($p = t/T$)에 대해 위로 볼록 함수이며, $V_R(t)$ 은 아래로 볼록(convex) 함수이다. 차별화 지연기간이 증가함에 따라 예측력 향상 효과는 점차 감소하며, 결국 $V_{RR}(t)$ 과 $V_R(t)$ 는 같아진다. 즉 초기에는 예측력 향상에 의한 안전재고 감축효과가 지배적이었다가 차별화 공정이 지연됨에 따라 예측력 효과가 줄어들면서 불확실성 해소에 의한 안전재고 감축효과가 증가한다.

3.1.4 Lee and Tang(1998)

이 연구는 Benetton사의 스웨터 생산공정을 예로 들어, 일련의 제품 생산과정 내에서 연속된 두 공정의 순서를 바꿈으로써 제품 차별화를 지연하고 이를 통해 생산량의 변동성(variability of production volume)을 줄일 수 있는 공정순서 맞교환(operation reversal) 생산방식을 모형화하였다. 기본적인 공통의 원료나 반제품이 다단계의 공정을 통해서 매 단계마다 제품의 특성이 부가되고 최종 공정을 마치면서 다양한 제품이 차별, 생산되는 계층적 제품구조를 가정하고 있다. 이러한 가정하에서, 연속된 두 공정의 순서를 서로 바꾸었을 때(기술적으로 가능할 경우) 발생하는 생산량의 변동성을 척도로 삼아 공정 재정렬방식의 효과 여부를 정량화하였다.

생산량의 변동성을 성과척도로 삼은 이유는 문제의 분석을 간단히 하기 위해서이기도 하지만, 변동성이 생산 시스템의 운용에 다음과 같은 직접적인 영향을 미치기 때문이다. 첫째, 차별화 지연생산환경과 같은 pull 생산 시스템 하에서는 생산 변동성이 수요 변동성과 일치하며 이 변동성의 증가에 따라 완충재고량이 증가하기 때문이다. 둘째, 생산의 변동성이 증가할수록 상품품질 저하, 불량률 증가, 생산장비 고장률 등 각종 생산의 비효율성이 증가한다. 셋째, 생산 변동률의 증가에 따라 잔업, 하청, 비정규 노동력 고용 등 생산계획에 어려움을 가중시키기 때문이다.

분석결과, 공정순서 맞교환 생산방식이 생산량의 변동성을 줄이기 위해서는, 기간별 제품들의 총 수요가 안정적인 때 ($\mu > \sigma^2$), 교환이 완료된 공정순서를 기준으로 선행공정과 후행공정이 다음의 조건을 만족해야 한다는 사실을 밝혔다.

- ① 후행공정(second stage)에 비해 선행공정(first stage)에 의해 부가된 제품특성에 대한 소비자 선호도가 확실한 차이(distinct choice probability)를 보인다.
- ② 소비자 선호도의 차이가 미미하면, 선행공정에 의한 제

품특성 개수가 후행공정의 제품특성 개수보다 적다.

- ③ 공정별로 추가된 특성의 부가가치가 같다면, 선행공정의 리드타임이 후행공정의 리드타임보다 길다.
- ④ 두 공정의 리드타임이 같다면, 선행공정의 부가가치가 후행공정의 부가가치보다 작다.
- ⑤ 선행공정의 리드타임이 후행공정보다 길고 선행공정의 단위 리드타임당 부가가치가 후행공정에 비해 작다.

그러나 기간별 제품들의 총 수요가 큰 변동을 보일 때 ($\mu < \sigma^2$)는 위와 정반대의 경우에 공정순서 맞교환 생산방식이 효과적이다. 결론적으로 공정순서 교환생산의 효과는 수요의 변동성, 제품의 특성 수, 제품의 특성별 소비자 선호도, 리드타임, 공정별 부가가치 등 여러 가지 생산환경 요소에 의해 직접적으로 영향을 받는다.

3.2 거시적 분석

3.2.1 Zinn and Bowersox(1988)

이 연구에서는 제품의 차별화 지연을 형태지연(form postponement)과 시간지연(time postponement)으로 구분하였다. 형태지연 생산은 생산공장에서 최종 생산된 반제품(semi-finished product)을 수요예측에 따라 지역 DC에 배송하고, 지역 DC에서는 수요 확정 시점에서 이 반제품을 소비자의 요구에 맞도록 DC로부터 이관된 차별화 공정을 통해서 다양한 완제품으로 완성한 후, 판매하는 제품형태 차별화 지연방식이다. 한편 시간지연 생산은 사전에 차별 생산된 완제품을 생산공장에서 저장하고 있다가, 소비자 수요가 확정적으로 발생한 시점에 수요가 발생한 해당 DC로 배송함으로써 다양한 소비자 수요를 만족시키는 방식으로서 완제품 배송시점을 시간적으로 지연하는 차별화 지연방식이다.

형태지연은 상표부착(labeling), 포장(packaging), 조립(assembly), 생산(manufacturing)에 의한 네 가지 지연방식으로 구분된다. 상표부착지연은 공장으로부터 배송된 반제품(상표 미부착 완제품)에 DC에서 다양한 상표를 부착함으로써 제품의 다양화를 꾀하는 지연생산방식이다. 포장지연은 공장으로부터 배송된 반제품(포장 미완성 완제품)을 DC에서 다양한 단위로 포장함으로써 제품을 차별화한다. 조립지연은 중앙 생산공장에서부터 받은 반제품 및 부품을 DC에서 조립공정을 통해 제품을 차별화 한다. 생산지연은 조립지연과 유사하나 부품 및 반제품을 여러 공급처에서 배송받고 물, 소금 등과 같이 흔한(ubiquitous) 원료는 DC에서 자체적으로 조달된다는 점이 다르다.

이 연구에서는 네 가지 형태지연(모형 A, B, C, D)과 시간지연(모형 E)을 합해서 총 다섯 가지의 차별화 지연생산방식에 대하여 그 경제적 가치를 평가하는 시뮬레이션 모형과 방법론을 제시하고 이로부터 각각의 경제적 타당성이 인정될 수 있는 생산 및 시장환경을 도출하였다. <표 2>는 각 모형에 대해 제품 차별화 지연생산이 요구되는 주요 요인을 중요도 순으로

표 2. 제품 차별화 지연방식의 경제적 타당성 요인

차별화 지연모형	정당화 요인	가중치	차별화 지연이 필요한 환경
A: 상표부착지연	제품의 개당 가격 수요의 불확정성 상표 수 수요 규모	0.84 0.78 0.72 중요치 않음	상표의 수가 많은 경우 제품가격이 비싼 경우 상품의 수요변동이 큰 경우
B: 포장지연	제품의 개당 가격 수요의 불확정성 크기별 포장단위 수 수요 규모	0.97 0.62 0.36 0.25	상품의 포장단위가 다양한 경우 제품가격이 비싼 경우 상품의 수요변동이 큰 경우
C: 조립지연	제품의 개당 가격 부품배송에 따른 부피감소 제품 종류 수 수요의 불확정성 수요 규모	0.77 0.66 0.63 0.31 중요치 않음	제품의 종류가 다양한 경우 부품배송에 따른 부피감소가 큰 경우 제품가격이 비싼 경우 상품의 수요변동이 큰 경우
D: 생산지연	제품의 개당 가격 DC 자체 조달 원료 비율 수요의 불확정성 수요 규모	0.85 0.58 0.55 0.46	DC가 자체조달하는 흔한 원료 비율이 높은 경우 제품가격이 비싼 경우 상품의 수요변동이 큰 경우
E: 시간지연	수요의 불확정성 제품의 개당 가격 수요 규모	1.00 0.27 중요치 않음	DC의 수가 많은 경우 제품가격이 비싼 경우 상품의 수요변동이 큰 경우

나열한 것이며 중요도는 가중치로 표현된다.

시뮬레이션 분석결과, 포장지연과 시간지연에 의한 제품 차별화 지연생산의 경제적 이점이 가장 큰 것으로 분석되었다. 형태지연에서는 제품 개당 가격이, 시간지연에서는 수요의 불확정성이 제품 차별화 지연생산이 가장 중요한 결정요인이다. 조립지연과 생산지연의 경우에는 각각 부품배송에 의한 부피감소폭과 현지의 DC에서 조달하는 원자재 비율이 총 수송비용에 큰 영향을 미치므로 경제적 타당성을 결정짓는 주요 요인이 된다. 또한 조립과 생산공정을 중앙생산공장에서 DC로 이양함으로써 발생하는 규모의 비경제효과가 큰 경우에는 이러한 지연방식이 선호되지 않는다.

3.2.2 Lee et. al.(1993)

이 연구는 HP Deskjet plus 프린터 생산라인을 사례로 제품 차별화 지연생산의 경제적 가치를 산정한 최초의 시도이다. 기본적인 생산공정을 거친 프린터 본체(generic printer)는 마지막으로 소비자의 사용환경에 맞도록 전원장치 및 사용설명서 등의 고객화 공정을 끝으로 전 생산과정이 종료된다. 이 완제품은 포장 후 일단 DC로 배송되며, 이는 다시 각 프린터의 수요에 따라 세계 각 국으로 유통된다. 이상과 같이 현지화 작업이 생산공장 내에서 완료되는 공장 현지화(factory localization) 전략과 비교하여, 이 사례연구에서는 공장에서 생산된 프린터 본체에 부가되는 고객화 공정이 DC로 이양됨으로써 제품 차별화를 지연하는 DC 현지화(DC localization) 전략의 경제적 이득

을 계량화 하였다.

DC i 에서 발생하는 프린터 수요의 평균과 분산이 각각 μ_i, σ_i^2 이고, 그 프린터의 목표재고수준(target inventory level)을 S_i 라고 하면, 공장 현지화 전략하에서는 리드타임과 재고조사간격(review period)을 포함한 재고보충기간 동안에 DC i 에서 발생하는 프린터의 수요 X_i 의 분산이 $V(X_i) = \sigma_i^2(E(l) + r) + V(l)\mu_i^2$ 가 된다. 여기서 l 과 r 은 각각 공급자 리드타임과 재고조사간격을 말한다. 또한 목표재고수준은 $S_i = \mu_i(E(l) + r) + z\sqrt{V(X_i)}$ 이고, 여기서 z 는 수요 만족률(fill rate)에 따른 계수이고 $z\sqrt{V(X_i)}$ 는 프린터 i 의 안전재고 ss_i 이다.

한편, DC 현지화 전략하에서는 DC가 N 개국에서 동일분포에 따라 독립적으로 발생하는 $(i, i, d.)$ 프린터 수요를 담당한다고 가정하면 프린터 본체의 총수요 X 의 평균과 분산은 각각 $\sum_{i=1}^N \mu_i$ 와 $\sum_{i=1}^N \sigma_i^2$ 이므로, $V(X) = (E(l) + r) \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 + V(l) \sum_{i=1}^N \mu_i^2$ 가 된다. 따라서 두 가지 전략하에서의 안전재고 $ss_{factory}$ 와 ss_{DC} 를 비교하면,

$$ss_{factory} - ss_{DC} = z \sum_{i=1}^N \{ \sigma_i^2 (E(l) + r) + V(l) \mu_i^2 \}^{1/2} - z \left\{ (E(l) + r) \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 + V(l) \sum_{i=1}^N \mu_i^2 \right\}^{1/2}$$

가 되며, $ss_{factory} - ss_{DC} > 0$ 임을 알 수 있다. 즉, DC 현지화 생

산과 비교할 때, 공장 현지화 생산이 더 많은 재고를 보유하게 된다. 따라서 제품 차별화 공정을 DC로 이양하는 데 소요되는 추가 생산비용 및 이에 따른 규모의 비경제효과가 크지 않거나, 전원장치나 사용설명서 등과 같이 프린터를 현지화하는데 소요되는 부품에 비해, 공장에서 생산되는 프린터 본체의 가격이 높을수록 DC 현지화 전략에 의한 제품 차별화 지연생산의 경제적 이득은 증가한다.

3.2.3 Pagh and Cooper(1998)

이 연구는 제품 차별화 지연(postponement)생산과 그와 상반된 투기(speculation) 생산의 경제적 득실을 고려한 생산방식 결정요인을 도출하고 이를 이용하여 공급사슬 전반에 걸친 공정 운용전략에 대한 가이드라인을 제시하였다. 공급사슬을 생산(manufacturing)과 물류(logistics)부문으로 구분하고 각각의 운용 전략을 다시 지연방식과 투기방식으로 나누어 공급사슬의 운용 형태를 <표 3>과 같이 P/S(postponement/speculation) 행렬로 분류하였다.

완전투기(full speculation) 전략은 생산과 물류부문에 모두 투

기전략을 적용하는 방식으로, 사전에 예측된 각 제품의 지역별 수요에 따라 제품의 차별화가 생산공장 내에서 종료되고, 지역별로 분산 저장된 다양한 완제품에 의해 최종 소비자 수요가 충족된다. 생산지연(manufacturing postponement) 전략은 생산공장 내 차별화 공정을 지역별 DC로 이관함으로써 생산 부문에는 지연전략을 적용하고, 지역별 DC에서 완성된 최종 제품을 각자 분산 저장함으로써 물류부문에는 투기전략을 적용한 방식이다. 물류지연(logistics postponement) 전략은 제품 차별화 공정이 생산공장 내에서 종료됨으로써 생산부문에는 투기전략을 적용하지만, 차별 생산된 완제품을 공장 내 중앙창고에 저장, 보관하고 소비자의 수요에 따라 직접 배송하는 등 물류부문에서는 지연전략을 구사한다. 마지막으로 완전지연(full postponement strategy) 전략은 소비자의 주문에 따라 제품 차별화 생산을 시작하고 이에 따라 생산된 완제품을 직접 소비자에게 배송함으로써 생산과 물류부문에 모두 지연전략을 적용하는 방식이다. <그림 9>는 이들 네 가지 전략을 도식화한 것이다.

생산과 물류부문에서 투기 혹은 지연전략을 택할 것인가에

표 3. P/S 행렬

		물류 부문 (logistics)	
		투기 (speculation) 분산재고방식	지연 (postponement) 중앙재고와 직접배달 방식
생산 부문 (production)	투기 (speculation) 재고생산방식	완전투기전략 (full speculation strategy)	물류지연전략 (logistics postponement strategy)
	지연 (postponement) 주문생산방식	생산지연전략 (manufacturing postponement strategy)	완전지연전략 (full postponement strategy)

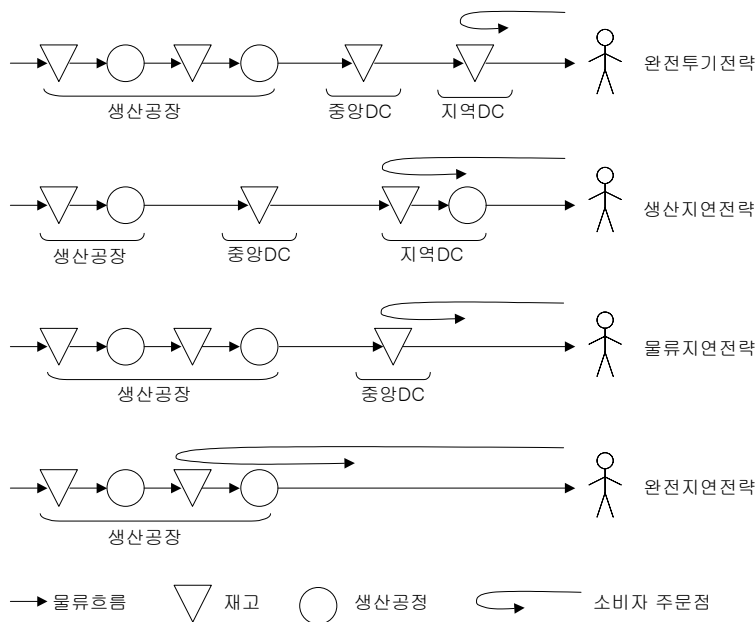


그림 9. P/S 행렬 분류에 의한 공급사슬 운용의 네 가지 전략.

관한 P/S 의사결정에 영향을 미치는 주요 요소를 ① 제품, ② 시장 및 수요, ③ 생산 및 물류 분야로 나누어 각 의사결정 요소를 네 가지 전략과의 적합성에 따라 <표 4>와 같이 분류하였다.

3.2.4 Johnson and Anderson(2000)

이 연구에서는 시뮬레이션 모형을 통해 다양한 생산환경하에서 제품 차별화 지연생산의 가치를 분석하였다. 단일공장과 다수의 유통채널로 구성된 2단계 공급사슬을 가정한다. 차별화 지연이 없는 경우, 공장에서 생산된 다양한 완제품이 DC의 개별 수요예측에 따라 배송되어 개별적으로 재고 관리되며,

차별화 지연생산의 경우에는 DC들의 총괄 수요예측에 의해 공장에서 생산된 단일 반제품이 각 DC의 차별화 공정을 거쳐 소비자 수요를 만족시키게 된다. 두 경우의 경제성 비교를 위한 성과지표로는 재고유지비, 품질비, 차별화 지연을 위한 각종 추가비용을 포함한 공급사슬비용과 수요만족률(customer fill rate)을 사용하였다.

분석을 위한 기본 모형으로, 제품수명이 비교적 짧은(24개월) HP 프린터를 예로 들어, 도입기, 성숙기, 쇠퇴기를 각 8개월씩 배분함으로써 비안정적 제품수요를 가정하였다. 또한 3기간 동안의 재고보유량을 각각 평균수요 대비 6주, 4주, 2주분 수준으로 정하였으며, 예측 오차 CV(Coefficient of Variation)를

표 4. P/S 전략과 P/S 의사결정 요소의 적합성

P/S 의사결정 요소		P/S 전략				
		완전투기전략	생산지연전략	물류지연전략	완전지연전략	
제품	제품 수명 주기	단계	도입기	성장기	성숙기	쇠퇴기
		양	저/중	중/고	중/고	저/중
		가격/서비스 전략	서비스	←	→	비용
	제품 특성	제품 형태	표준화	←	→	고객화
		제품 구색	좁다	←	→	넓다
	제품 가치	공정 상 가치부가 시점	초기	←	→	말기
		무게/부피당 제품단가	저	저	고	고
	시장 및 수요	상대적 리드타임	짧다	←	→	길다
		납품 빈도	고	←	→	중/저
수요의 불확실성		저	←	→	고	
생산 및 물류	규모의 경제	대	소	대	소	
	특별 관리능력	있음	없음	있음	없음	

표 5. 다양한 생산운용 환경에 따른 제품 차별화 지연생산의 경제적 가치

생산운용 환경	제품 차별화 지연생산의 경제성
제품 종류 수 (product variety)	파생제품의 종류가 증가할수록(2/4/8 종류 비교) 차별화 지연생산의 수요만족률은 높아지며 재고유지 및 품질비용이 감소한다.
제품수요 간 균형성 (product mix)	제품별 수요가 고르게 분포될수록(제품 가짓수의 20%가 전체 수요의 80%를 차지하는 불균형 수요와 비교) 차별화 지연생산의 수요만족률은 높아지며 재고유지 및 품질비용이 감소한다.
재고유지 정책 (inventory holding policy)	재고 보유량을 증가시켜도(8/6/4주분) 품질비용 비율이 줄어들 뿐, 차별화 지연생산의 효과는 감소하지 않는다.
예측오차 (forecast error)	예측오차가 감소할수록(CV=30%) 차별화 지연생산의 가치는 상대적으로 줄어든다.
제품 차별화 지연소요비용 (postponement premium cost)	제품의 종류와 예측오차가 증가할수록, 차별화 지연생산이 경제적 타당성을 갖게하는 추가소요비용(생산비용 대비)은 증가한다.

기간별로 동일하게 75%로 가정하였다. 기본모형과 대비하여, ① 제품의 종류 수, ② 제품수요 간 균형성, ③ 재고유지 정책, ④ 예측 오차, ⑤ 제품 차별화 지연소요비용 등 다양한 생산환경의 변화에 따라 제품 차별화 지연생산의 가치를 분석한 결과는 <표 5>와 같이 요약된다.

4. 요약 및 결론

Lee et. al.(1993)은 HP Deskjet Plus 프린터 생산라인을 사례로, 공장 내에서 차별화 생산이 완료되는 공장 현지화(factory localization)와 차별화 공정이 현지 DC로 이관되어 제품 차별화가 지연되는 DC 현지화(DC localization)의 경우에 각각의 안전재고를 비교함으로써, 차별화 지연생산의 경제성을 계량화한 최초의 시도였다. 후속 연구의 방향이 공장 내 공정흐름 중심으로 미시화 되면서, Lee(1996)는 공장 내 연속공정을 가정하고 ① 주문생산, ② 재고생산의 두 경우에 있어서 제품 차별화 시점을 뒤로 미룰수록, 제품의 종류가 증가할수록 재고비용이 감소한다는 사실을 제품별 재고량의 분산을 계산함으로써 밝혔다.

이에 비해 Lee and Tang(1997)은 분석상 복잡하지만 보다 현

실적인 단속공정을 대상으로, 공정이 진행됨에 따라 추가되는 비용을 감안한 총비용을 공정 단계별로 비교함으로써, ① 표준화, ② 모듈화 디자인, ③ 공정 재배치를 통한 제품 차별화 생산이 경제성을 갖는 조건들을 각각 제시하였다. 특히 Lee and Tang(1998)은 후속 연구를 통해 Benetton 사의 스웨터 생산공정을 예로 들어, 제품 차별화 지연생산 방식 중 하나인 공정순서 맞교환(operation reversal)이 경제성을 갖는 조건(리드타임과 공정비용의 상대적 크기)을 도출하였다. 한편, Garg and Tang(1997)은 제품군으로 차별화된 제품이 다시 제품별로 차별화되는 2 단계 차별화 생산 시스템을 모형화하고 각 단계의 생산 리드타임에 따라 평균재고량을 서로 비교함으로써 제품군 차별화 지연생산과 제품별 차별화 지연생산의 경제적 득실을 분석하였다.

이상의 연구에서 분석의 편의상 가정한 안정적(stationary) 수요와는 달리, Whang and Lee(1998)는 불안정적 수요(random walk 모형 가정)하에서 제품 차별화 지연생산의 경제성을 ① 수요의 불확실성 감소, ② 예측력의 향상에 기인한 요소로 분리하여 정량화함으로써 기존 연구에서 과소평가되었던 제품 차별화 지연생산의 가치를 현실적으로 수정하였다. 즉 제품 종류의 증가에 따른 안전재고 감소율은 불안정적 수요의 경우가

표 6. 제품 차별화 지연생산의 경제적 타당성 연구결과 요약

기존 연구	제품 차별화 지연정책의 경제적 타당성 연구결과 요약		
Zinn and Bowersox (1988)	제품 가격과 수요의 불확실성이 높고 제품의 종류가 다양할수록 직접비용 감소		
Lee et. al. (1993)	차별화 공정비용과 시간이 작고, 공통 반제품의 가치가 높을수록 안전재고량 감소		
Lee (1996)	주문생산	차별화 시점을 뒤로 미룰수록 재고비용 감소	
	재고생산	제품이 다양하고 차별화 시점을 뒤로 미룰수록 재고비용 감소	
Lee and Tang (1997)	표준화	표준화를 위한 추가 공정비용이 작은 경우 총 생산비용 감소	
	모듈화	지연된 모듈공정의 비용 및 시간과 재고비용이 낮은 경우 직접비용 감소	
	공정 재배치	공정지연	차별화 공정시간이 짧고 부가가치가 큰 경우 직접비용 감소
공정 맞교환		공정시간이 짧고 부가가치가 큰 공정을 뒤로 위치	
Garg and Tang (1997)	중앙관리	제품별 점유율이 고르고 수요 간 상관도가 낮을수록 재고감축효과 증대 음의 상관관계를 갖을수록 후차별화 지연이 선차별화 지연보다 효과적	
	분산관리	선후차별화 지연생산 중, 리드타임이 짧은 것이 재고감축에 효과적	
Whang and Lee (1998)	제품이 다양하고 차별화 공정이 지연될수록 안전재고 감소		
Lee and Tang (1998)	두 공정 중 부가가치가 작고 리드타임이 길며, 해당 공정에 의해 부가된 제품특성에 대해 선호도가 확실한 공정을 선행공정으로 위치시키는 것이 유리		
Pagh and Cooper (1998)	제품단가와 수요의 불확실성이 높고, 제품이 다양하며 리드타임이 길수록 차별화 지연전략이 바람직		
Johnson and Anderson (2000)	제품종류가 증가하고, 제품 간 수요가 균형적이며, 수요의 불확실성이 높을수록 차별화 지연전략이 바람직		

안정적 수요의 경우보다 항상 높고, 차별화 시점이 뒤로 미뤄지면서 이 두 가지 경우의 안전재고 감소율 차이는 증가하다가 감소하여 없어짐을 보였다.

거시적 분석으로서, Zinn and Bowersox(1988)은 제품 차별화 지연을 형태지연(상표부착, 포장, 조립, 생산)과 시간지연으로 구분하고, 시뮬레이션 분석을 통해 각 방식의 경제성을 결정짓는 생산환경 요인으로 ① 제품가격, ② 수요의 불확정성, ③ 상표 수, ④ 수요규모, ⑤ 포장종류, ⑥ 부품배송에 따른 부피 감소율, ⑦ DC 자체 조달원료 비율 등을 제시하였다.

Pagh and Cooper(1998)는 제품 차별화 지연생산과 투기생산(speculation)을 물류와 생산 부문에 나누어 적용한 4가지 생산 방식이 각각 경제적 타당성을 갖게 되는 생산환경을 ① 제품, ② 시장 및 수요, ③ 생산 및 물류 부문으로 구분하여 도출하였다. 한편 Johnson and Anderson(2000)은 시뮬레이션 분석을 통해 총 공급사슬 비용과 수요 만족률을 계산함으로써, ① 제품의 종류 수, ② 제품수요 간 균형성, ③ 재고유지 정책, ④ 예측오차, ⑤ 제품 차별화 지연소요비용 등 생산운영 환경의 변화에 따른 제품 차별화 지연생산의 가치를 비교분석하였다.

문헌연구를 통한 결론으로, 제품 차별화 지연생산의 경제적 타당성을 결정짓는 주요 요인들은 제품, 시장 및 생산 관련 부문으로 분류될 수 있다. 구체적으로, 제품 부문에서는 ① 제품의 다양성이 증가할수록, ② 제품가격이 높을수록, 시장 부문에서는 ③ 제품수요의 불확실성이 높을수록, ④ 제품수요 간 상관관계가 낮을수록 제품 차별화 지연생산의 경제적 효과가 증대된다. 한편, 생산 부문에서는 ⑤ 차별화 공정의 리드타임 및 차별화 공정의 지연에 따른 추가소요비용이 낮을수록, ⑥ 차별화 공정의 부가가치가 높을수록, ⑦ 제품 차별화 시점이 지연될수록 제품 차별화 지연생산의 필요성이 부각된다. 그러나 이상의 7 가지 요인들은 각 연구에 따라 개별적 도출된 결정 요인들을 종합한 것이므로 모의분석(Zinn and Bowersox, 1988; Johnson and Anderson, 2000)을 제외한 계량분석모형에서는 여러 가지 요인을 동시에 고려할 경우, 기존 연구와 동일한 연구 결과를 보장한다고 볼 수 없다. <표 6>은 문헌연구의 결과를 요약한 것이다.

대부분의 기존 연구는 정량화하기 용이한 직접 변동비용과 재고 관련 비용의 증감을 비교 척도로 삼아 제품 차별화 지연생산의 경제성을 평가한 분석의 한계점을 가지고 있다. 특히 연속적 흐름공정을 가정한 연구(Lee, 1996; Garg and Tang, 1997; Whang and Lee, 1998)에서는 제품 차별화 공정의 지연에 대한 기술적인 타당성 및 가능성을 간과하고 있다. 즉 간접비용과 고정비용 등 공정 재정렬에 따른 기타 비용과 공정지연을 제한하는 기술적 생산환경을 감안한 총체적인 분석이 필요하다. 또한 제품이 다양해짐에 따라 시장 점유율은 증가하고 판매량은 증가하지만 재고비용 및 제품 차별화 지연생산에 소요되는 추가비용이 늘어나는 등 생산 측면의 효율성은 저하되는 것이 일반적이다. 이 경우 마케팅과 생산 측면을 동시에 고려한 공급사슬의 총 이윤을 극대화하는 최적 상품의 종류 수를 결정

하는 일은 의미있는 후속 연구가 될 것이다.

참고문헌

Alderson, W. (1950), Marketing Efficiency and the Principle of Postponement, *Cost and Profit Outlook*, September, 3.

Child, P., Diederichs R., Sanders F., and Wisniowsky S. (1991), The Management of Complexity, *Sloan Management Review*, Fall.

Chopra, Sunil and Meindl (2001), *Supply Chain Management*, Prentice Hall, 237-241.

Eppen, G.D. and Schrage, L. (1981), Centralized Ordering Policies in a Multiwarehouse System with Lead Times and Random Demand, in *Multi-Level Production/Inventory Systems: Theory and Practice*, L.B. Schwarz (Eds.), North Holland, Amsterdam and New York.

Federgruen, A. and Zipkin, P. (1984), Approximations of Dynamic Multi-location Production and Inventory Problems, *Management Science*, 30.

Fisher, M. (1992), Integrating Manufacturing, Logistics and Marketing, paper presented at the ORSA/TIMS Joint National Meeting, San Francisco, CA.

Garg, A. and Tang, C. (1997), On Postponement Strategies for Product Families with Multiple Points of Differentiation, *IIE Transaction*, 29.

Hadley, G. and Whitin, T. (1963), *Analysis of Inventory Systems*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Harvard Business School Note (1990), Quick Response in the Apparel Industry, N9-690-038, February 27.

Johnson, M. and Anderson, E. (2000), Postponement Strategy for Channel Derivatives, *The International Journal of Logistics Management*, 11(1).

Lee, H. (1993), Design for Supply Chain Management: Methods and Examples, in *Perspectives in Operations Management*, R. Sarin (Eds.), Kluwer, Norwell, MA, 45-66.

Lee, H. (1996), Effective Inventory and Service Management through Product and Process Design, *Operations Research*, 44(1).

Lee, H. and Billington, C. (1992), Pitfalls and Opportunities in Supply Chain Inventory Management, *Sloan Management Review*, 33.

Lee, H. and Billington, C. (1994), Designing Products and Processes for Postponement, in *Management of Design: Engineering and Management Perspectives*, S. Dasu and C. Eastman (Eds.), Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 105-122.

Lee, H., Billington, C., and Carter, B. (1993), Hewlett-Packard Gains Control of Inventory and Service through Design for Localization, *Interfaces*, August.

Lee, H. and Tang, C. (1997), Modelling the Costs and Benefits of Delayed Product Differentiation, *Management Science*, 43(1).

Lee, H. and Tang, C. (1998), Variability Reduction Through Operations Reversal, *Management Science*, 44(2).

Pagh, J.D. and Cooper, M.C. (1998), Supply Chain Postponement and Speculation Strategies: How to Choose the Right Strategy, *Journal of Business Logistics*, 19(2).

Schwarz, L.B. (1989), Model for Assessing the Value of Warehouse Risk Pooling: Risk Pooling over Outside-Supplier Leadtimes, *Management Science*, 39.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. and Simchi-Levi, E. (2000), *Designing and Managing the Supply Chain Management*, McGraw Hill.

Ulrich, K.T. (1991), Modularity, Variety, and Standardization in Product Design, paper presented at Production and Operations Summer Camp, MIT, Cambridge, MA.

Ulrich, K.T. and Tung, K. (1991), Fundamentals of Product Modularity, working paper, MIT, Cambridge, MA.

Whang, S. and Lee, H. (1998), Value of Postponement, in *Product Variety*

Management, Ho T. and C. Tang(Eds.), Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, pp.65-84.

Zinn, W. and Bowersox, D.J. (1988), Planning Physical Distribution with the Principle of Postponement, *Journal of Business Logistics*, 9(2).



이 호 창

서울대학교 산업공학과 학사

한국과학기술원 산업공학과 석사

The University of Pennsylvania, The Wharton School 경영학 박사

현재: 경희대학교 국제경영학부 교수

관심분야: 조합적 최적화, 공급사슬 관리, 제품 다양화 관리