

동적 시뮬레이션을 이용한 글로벌 공급체인에서의 제품차별화 지연생산

최강화

서울대학교 경영전문사임단 계약조교수
(choi1130@snu.ac.kr)

정창용

에이티 커니 컨설팅 Manager
(changyong.jung@atkearney.com)

김수옥

서울대학교 경영대학 교수
(kims002@snu.ac.kr)

본 연구에서는 글로벌 경쟁 하의 확장된 공급체인 관리 관점에서 기존의 제품차별화 지연생산 정책을 분석하는 계량적 모형을 설계하고, 이러한 수리적 모형에 대한 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 분석을 통해 제품차별화 지연 시점의 효익을 도출하고자 한다.

구체적으로 본 연구는 제조업의 유통경로 관리 측면에서 기존의 제품차별화 지연생산에 대한 연구에서 고려되지 않은 운송 시점 등의 주요 전략적 의사결정 변수를 모형에 포함시키고, 글로벌 공급체인 관리에서 고려해야 할 관세나 생산원가 지수 등의 새로운 추가 변수들을 도입하여 제품차별화 지연생산의 가치를 분석할 수 있는 계량적 모형을 제시한다. 또한 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 분석을 통해 현실 경영에의 시사점을 찾고자 한다.

시뮬레이션 분석의 결과, 기존의 연구 모형에 각 개별국가 간의 운송 시점을 결정하는 의사결정 변수를 추가적으로 포함 시킴으로써 기존의 연구보다 더욱 개선된 결과를 도출할 수 있었다. 또한 국가간의 상이한 상황을 결정하는 추가적인 변수들을 도입함으로써 글로벌 공급체인 관리상에서 전체 공급체인 시스템의 효율적인 운영 방안을 도출하였다.

주제어: 글로벌 공급체인, 제품차별화 지연생산, 동적 시뮬레이션, 위험 풀링 효과.

1. 서론

최근의 경영환경 변화는 글로벌화, 대량 고객화 그리고 e-비즈니스화로 설명할 수 있는데, 이러한 세계적인 경영환경의 변화 추세는 다양한 제품을 전세계적 생산-유통 네트워크를 통하여 시장성 있는 가격으로 제공할 수 있는 기업만이 경쟁적 우위를 확보할 수 있도록 만들고 있다. 또한 갈수록 다양해지는 소비자들의 수요에 대응하면서 동시에 경

쟁력 있는 가격 수준과 적시 공급 능력을 유지할 수 있는 공급체인 시스템을 요구하고 있다. 이러한 명제는 그 당위성에도 불구하고 기업 외부적으로는 기업간 정보 공유의 보안 문제나 공급체인 구성원 간의 신뢰 및 파트너십의 부재 등의 문제가 발생하며, 개별 기업 내부적으로는 기존 업무 프로세스의 재조정이나 고객 수요 대응력의 한계 등 공급체인 상의 여러 가지 문제로 인해 기업이 이를 실현하는 데에는 현실적으로 상당한 어려움이 있다. 그러나 이는 역으로 글로벌 공급체인의 효율적인 재설계와

보다 유연한 수출방식의 도입을 통하여 경쟁력을 제고할 수 있는 전략적 기회가 증대되고 있음을 의미한다. 또한 최근 정보 기술의 비약적 발전과 이로 인한 공급체인 상의 정보교환과 프로세스 통합의 보편화는 글로벌 네트워크를 통한 공급체인 관리가 기업 경쟁력의 핵심 영역으로 부각되고 있다.

1990년대 이후 고객의 다양한 욕구 증대와 글로벌화의 확대에 의해 공급체인의 복잡성이 증가하고 원가 상승이라는 문제가 대두되었으며, 이와 같은 문제를 해결하기 위한 방안으로 제품차별화 지연생산(delayed product differentiation)이라는 방법이 각광을 받기 시작했다. 이 방법은 공급체인 관리의 한 분야인 시스템 재설계 접근방법으로서 생산 및 재고 관리 측면에서 많은 시사점을 주는 연구 주제이다.

따라서 본 연구에서는 제품차별화 지연생산에 관련된 기존의 주요 연구들을 살펴 보고, 글로벌 경쟁 하의 확장된 공급체인 관리와 이에 관한 계량적 모델을 설계하고자 한다. 제품 차별화 지연생산에 관한 연구 중에서 Lee and Tang(1997)의 연구는 제품차별화 지연생산에 관련된 비용 요소들 간의 상충 관계를 비교하여 최적의 차별화 시점을 구하는 기본적인 틀을 제공하고 있다. 그러나 이 연구에서는 국제적인 공급체인 상에서 나타날 수 있는 여러 가지 가능한 조건들을 간과하고 있는데, 그 중 가장 중요한 것이 글로벌화에 따른 수출방식의 선택 문제 즉, 수출 시점의 조정을 통한 현지화 단계가 실제로는 통제 가능한 의사결정 변수가 될 수 있다는 점이다. 즉, 글로벌 공급체인 상의 불확실성에 가장 큰 영향을 주는 수출 운송시점 자체가 의사결정 변수가 될 수 있다는 점을 고려하지 않고 있다는 것이다.

예를 들면 전자산업이나 자동차산업의 경우에는 제

약제품을 조립, 완성하여 완제품(CBU: completely build-up unit)의 형태로 수출하는 것보다 필요한 부품의 형태로 수출하는 녹다운 방식(KD: Knock Down)이 수송 운임이나 관세가 절약된다. 또한 현지의 싼 노동력을 조립에 이용할 수 있으므로 생산비용을 절감할 수 있다는 유리한 점도 있다. 따라서 최근에는 완제품의 수출증가로 일어나는 무역분쟁을 회피하기 위하여 수출방식으로 녹다운방식을 많이 채용하고 있다. 특히 자국에 수요 시장이 있고, 자국의 완제품 산업으로 육성하려는 개발도상국에서는 기술 이전이 이루어질 때까지의 얼마 동안 완제품 수입을 억제하는 대신 녹다운 방식을 도입하기도 한다. 이러한 방식에는 완전히 분해된 구성부품이나 구성요소 전체를 그대로 수출하여 현지에서 처음부터 조립, 생산하여 완제품을 만드는 완전한 부품으로 수출하는 방식(CKD: complete knock-down method)과 일부는 주요 기능부분별 반제품으로 현지조립공장에 수출하고 일부는 상대국에게 생산한 부품으로 조립하게 하여 완제품을 만드는 반제품 수출 방식(SKD: semi-knock-down method)이 있는데, 최근에는 전세계적인 보호무역정책 때문에 SKD에서 CKD형태로 전환되고 있다.

이와 같은 국제적인 수출 방식의 변화에 맞추어 국내 제조업체의 글로벌 사업형태도 완제품 수출 형태뿐 아니라, 핵심 부품의 국내 생산 후 현지에서 기타 자재와 함께 조립하여 판매하는 방식 등으로 다양하게 전개되고 있다. 따라서 "구매 → 가공 → 조립 → (수출)운송 → 유통"과 같이 수출 운송시점이 전체 프로세스의 4번째 단계로 고정된 것이 아니라 구매 직후나, 가공 후에도 운송이 발생할 수 있는 의사결정 변수화되고 있다.

따라서 본 연구에서는 Lee and Tang(1997)의

연구에서 고려되지 않은 수출 운송 시점을 의사결정 변수에 포함시키고, 이와 더불어 글로벌 공급체인 관리에서 고려하여야 할 관세나 국가별 생산원가지수 차이 등의 추가적인 변수들을 포함하여 제품차별화 지연생산의 최적화를 도출할 수 있는 확장된 수리적 모델을 제시하고 동적 시뮬레이션인 시스템 다이내믹스 분석을 통하여 현실 경영에의 시사점을 찾아보고자 한다.

II. 제품차별화 지연생산의 기존 문헌 연구

최근 급진전된 정보기술의 혁신을 활용하여 고객과의 의사소통 채널을 확대하고, 공급체인 구성원간의 정보공유를 촉진하여 기업의 재고 수준을 극적으로 감소시키고 고객 서비스 수준을 향상시키려는 기업의 노력이 많다. 그러나 이러한 혁신은 기업 내부와 기업간에서의 조화(coordination)를 필요로 하는 데, 이러한 조화를 실제로 달성하는 데는 많은 어려움이 있다.

많은 연구자들이 공급체인 성과향상을 위한 다양한 주제들을 연구해 오고 있는데, 그 가운데 하나가 생산 프로세스의 제품차별화 시점을 통제하여 전체 공급체인의 성과를 향상시키려는 제품차별화 지연생산 전략이다(Lee, Billington and Carter 1993; Lee and Billington 1994; Lee 1996; Lee and Tang 1997; Pagh and Cooper 1998; Van Hoek 2001). 다양한 제품을 하나의 생산 시스템 내에서 생산하는 경우에 다양한 최종 제품들은 공정의 시작 부분에서는 공통의 부품과 공정을 공유하다가 공정의 어느 단계에 이르면 각각의 제품들이 그 특성을 갖게 되는데, 이 시점을

제품 차별화 시점이라고 한다. 즉 제품차별화 지연생산은 생산과정 중 발생하는 재공품 또는 반제품(work-in-process: WIP)을 최종 제품화 되지 않은 상태(neutral and non-committed form)로 생산공정의 뒷부분으로 지연함으로써 다양한 최종 제품으로의 완성 시점을 지연하는 생산 방식이다. 이것은 다양한 최종 제품으로 분화되기 이전에 공통의 재공품이 통합 사용됨으로써 수요의 불확실성이 감소될 뿐만 아니라 제품의 완성 시점이 뒤로 미루어지는 동안 각 제품별 수요의 불확정성도 일부 해소될 수 있다. 즉 최종 제품의 종류, 최종 수요처, 최종 수요 및 시점이 확정적으로 결정되는 마지막 순간까지 제품의 차별화 공정을 미룰 수 있다면 다품종 생산으로 인해 발생하는 재고 증가, 납기 지연, 품질을 증가 등과 같은 공급체인의 비경제적인 요인들을 줄일 수 있다.

Lee, Billington and Carter(1993)의 연구에서는 수많은 최종 제품들의 수요를 개별적으로 관리하는 것보다 공통 부품으로 묶어서 관리하는 것이 훨씬 더 용이하다는 제품차별화 지연생산의 개념을 도출하였는데, 이는 생산과 재고 및 유통의 사결정에 미치는 파급효과가 매우 크다. 이러한 제품차별화 지연생산은 생산 시스템 내외부에 걸친 리엔지니어링이 필요한 분야이며, 파급 효과와 응용 분야가 가장 넓은 부분으로서 다양성과 경제성의 양 측면을 동시에 만족시키면서 공급체인 전체에 걸친 장기적 개선 효과를 가져오는 중요한 문제이다. 또한 최근 들어 글로벌화되고 대량 고객화된 경쟁 여건에서 제품 풀링을 통한 제품차별화 지연은 다양한 고객 요구 대응과 제품 다양성으로 인한 불확실성을 제거하며 기업 경쟁력을 강화시킬 수 있는 중요한 기법으로 연구되고 있다(Cachon & Terwiesch, 2005).

Lee and Billington(1994)의 연구에서는 제품 차별화 지연과 관련된 다양한 비용 요소들에 대해 논의를 진행하였는데, 기존의 생산-재고 및 물류 시스템에서 제품차별화 지연을 도입하려 한다면 관련된 제품과 공정 및 물류시스템을 재설계하여야 하고 이에 수반되는 변동비와 고정비가 발생한다고 주장한다.

반면에 제품차별화 지연으로 인한 재고비용의 감소와 고객 서비스 개선 등의 효익은 한 개의 창고에서 다수의 소매점에 제품을 조달해 주는 다단계(multi-echelon) 재고 시스템에서의 리스크 풀링(risk pooling) 효과와 많이 유사하다. 즉 다수의 소매상이 각자 독립적으로 하나의 공급업자로부터 주문을 하는 시스템보다는 소매상들을 하나로 통합해 모든 수요를 한 곳에서 관리하는 시스템의 불확실성이 훨씬 작다. 또한 제품의 차별화를 가능한 뒤로 미루고 보다 업데이트된 실시간 수요정보를 활용함으로써 불확실성을 감소시킬 수 있다. 제품차별화 지연정책을 통해 수요의 불확실성에 효율적으로 대처한 휴렛 팩커드사의 경우에는 기존에는 지역별 시장의 수요 차이를 고려하여 완제품 상태로 중앙창고에 보관하고 있다가 지역 분배센터에서 주문이 들어 오면 발송을 해주는 방식으로 관리하고 있었다. 그러나 휴렛 팩커드는 글로벌 범용 제품 디자인을 재설계하여 기존의 동일한 제품 모델에 대해 3개의 재고저장 단위(SKU: stock keeping unit)를 중앙창고에서 관리하던 것을 1개로 줄이고, 제품차별화 지연정책을 통해 반제품 상태로 생산하여 지역별 수요에 대응하는 등 지역별 수요 변화로 인한 과도한 잉여재고와 재고고갈의 문제를 동시에 해결하는 시스템 전체의 불확실성 관리를 실시하였다.

Lee(1994)의 연구에서는 다양한 최종 제품들

수요간에 음(-)의 상관관계가 있는 경우에 이러한 재고 감소 효과가 더욱 크다는 것을 수리적 모형을 통해 보여주고 있다. Lee(1996)의 연구에서는 다단계 재고 시스템의 응용을 통하여 제품차별화 지연의 재고 감소 효과를 논의하는데, 여기서는 완제품이 생산되기 이전 공정에서의 완충재고를 고려하고 있지 않기 때문에 재고 감소 효과는 완제품 재고에서만 나타난다고 분석하였다. Lee and Tang(1997)의 연구에서는 Lee(1996)의 연구를 수정 보완하여 제품 생산의 전 단계에서의 완충재고를 고려하고 있으며 제품 설계 비용, 공정 비용, 리드 타임 등의 여러 요소를 포함하여 각 유통재고 및 완제품의 재고 감소 효과를 수리적으로 분석하고 있다. 또한 제품차별화 지연생산의 기본 모델을 세가지 공정 재설계 기법 즉, 표준화(standardization), 모듈화 설계(modular design), 공정 재구성(process restructuring)의 실제적 접근 방법에 따라 보다 세부적인 모델로 분석하고 이를 통해 차별화 시점의 지연을 통한 전체 공급체인 상의 성과를 평가하고 있다.

또한 제품차별화 지연과 운송시점에 대한 의사결정과 관련해서 Kiesmüller et al(2005)의 연구에서는 수송 의사결정에서 제품차별화 지연의 경제적 가치를 정량화함으로써 제품차별화 지연생산에서 운송시점의 전략적 활용을 통해 총비용 절감의 가능성에 대해 논의하고 있다.

Hadjinicola와 Kumar(2002)의 연구에서는 두 개 국가 이상에서 생산활동을 수행하는 기업을 대상으로 8개의 생산 요인과 마케팅 요인을 이용하여 최적 비용 구조를 가지는 생산운영 조합을 제시하고 있다. 특히, 생산 요인 중에서 국가간 공장의 입지조정을 통한 운송 효율성과 제품차별화 지연의 요인을 총비용을 구성하는 주요 요인으로 파악하고

제품차별화 지연을 통해 재고 유지비용을 감소시킬 수 있음을 제시하고 있다.

따라서 본 연구에서는 Lee and Tang(1997)의 연구를 포함한 기존의 제품차별화 지연생산 관련 연구들에서 제시된 제품차별화 지연에 관한 변형 모델을 기반으로 글로벌화된 경영 환경에서 기업들이 제품차별화 지연정책을 보다 현실적으로 적용할 수 있는 모델을 구축하려 한다. 즉 어떤 국가의 고객 주문을 어디에서 생산하고, 어느 시점에 수출

운송하여 유통시키며, 관련 부품을 어디에서 조달할 것인가에 대한 매우 복잡하며 중요한 의사결정 문제를 시스템 다이내믹스 시뮬레이션을 통해 분석하고자 한다. 이는 생산라인의 기술적 특성에 따른 분석 수준을 넘어 글로벌 공급체인관리의 관점에서 하나의 국가를 대상으로 다수 제품을 생산하는 상황을 가정하고 시스템 다이내믹스 시뮬레이션을 통해 제품 차별화 지연정책의 효익을 결정하는 모델을 수립하는 것이다.

〈표 1〉 제품 차별화 지연전략의 타당성에 대한 기존의 연구

기존 연구자	제품차별화 지연생산의 타당성
Zinn and Bowersox(1988)	제품 가격과 수요의 불확실성이 높고 제품의 종류가 다양할수록 직접 비용이 감소
Lee et. al.(1993)	차별화 공정비용과 시간이 작고, 공통 반제품의 가치가 높을수록 안전재고량 감소
Lee and Billington(1994)	제품 표준화의 생산 프로세스 재순서화와 동시공학적 프로세스를 통해 리드타임을 감소시키고, 차별화 시점을 후공정으로 미룰수록 전체 재고비용 감소
Lee(1996)	주문생산은 차별화 시점을 뒤로 미룰수록 재고비용 감소하고, 재고생산은 제품이 다양하고 차별화 시점을 뒤로 미룰수록 재고비용 감소
Lee and Tang(1997)	표준화를 위한 추가 공정비용이 작은 경우 총 생산비용 감소하고, 지연된 모듈공정의 비용 및 시간과 재고비용이 낮은 경우 직접 비용 감소함. 또한 공정지연은 차별화 공정시간이 짧고 부가가치가 큰 경우 직접 비용 감소. 공정맞교환은 공정시간이 짧고 부가가치가 큰 공정을 위로 위치
Garg and Tang(1997)	중앙관리 방식에서는 제품별 점유율이 고르고, 수요간 상관관계가 낮을수록 재고감축 효과가 증대. 음의 상관관계를 가질수록 후 차별화 지연이 선 차별화 지연보다 효과적인 분산관리에서는 선후차별화 지연생산 중, 리드타임이 짧은 것이 재고감축에 효과적
Whang and Lee(1998)	제품이 다양하고 차별화 공정이 지연될수록 안전재고가 감소
Lee and Tang(1998)	두 공정 중 부가가치가 작고 리드타임이 길며, 해당 공정에 의해 부가된 제품 특성에 대해 선호도가 확실한 공정을 선행공정으로 위치시키는 것이 유리
Pagh and Cooper(1998)	제품단가와 수요의 불확실성이 높고, 제품이 다양하며, 리드타임이 길수록 차별화 지연전략이 바람직
Van Hoek(1999)	유통공정의 재조정과 개별 고객에 대한 고객화(customization-on-order)가 확장될수록 지연생산에 따른 효과가 극대화
Johnson and Anderson(2000)	제품종류가 증가하고, 제품 간 수요가 균형적이며, 수요의 불확실성이 높을수록 차별화 지연전략이 바람직

(참조: 이호창, "제품차별화 지연생산의 경제적 타당성: 문헌연구"와 Van Hoek, R. I., "The Rediscovery of Postponement: A Literature Review and Directions for Research," pp. 166.의 연구 일부 수정 보완)

III. 글로벌 공급체인에서의 제품차별화 지연생산 연구 모델

3.1 Lee and Tang(1997)의 기본 연구 모형

Lee and Tang(1997)의 연구에서는 우선 제품 차별화 지연을 위해 시스템 재설계로 인한 비용과 효익을 분석한 단순모형을 제시하고, 실제의 사례에서 관찰된 생산 시스템 재설계를 위한 세 가지 접근 방법, 즉 표준화, 모듈화 설계 그리고 공정 재구성 별로 보다 구체적인 모델을 제시하고 있다. 이를 통하여 최적 차별화 지연 시점에 대한 분석과 경영상의 시사점에 대한 논의를 하고 있다.

Lee and Tang(1997)의 기본 연구 모형에서는 2가지의 최종 제품을 N 개의 생산 단계(stage)로 구성된 전체의 생산 과정 중에서 k 번째 단계까지를 공통의 생산 공정으로 정의하고, $k+1$ 번째부터는 각 제품별로 개별적인 생산공정 단계를 거쳐 제품이 차별적으로 가공되는 경우로 제한하여 모형을 구성하였다. 이 모델에서는 마지막 공통 생산 단계인 k 의 값을 늘리는 것을 통해 제품차별화 지연이 이루어지는 것으로 한정하여 공정 k 가 마지막 공통 공정이라고 할 때 발생하는 단위 기간당 총비용은 다음과 같이 계산하고 있다.

$$Z(k) = \sum_{i=1}^k S_i \quad (1-1)$$

$$+ \sum_{i=1}^N p_i (\mu_1 + \mu_2) + \sum_{i=1}^k \beta_i (\mu_1 + \mu_2) \quad (1-2)$$

$$+ \sum_{i=1}^N h_i n_i (\mu_1 + \mu_2) \quad (1-3)$$

$$+ \sum_{i=1}^k h_i \left[(\mu_1 + \mu_2) / 2 + z \sigma_{i+2} \sqrt{n_i + 1} \right] \quad (1-4)$$

$$+ \sum_{i=k+1}^N h_i \left[(\mu_1 + \mu_2) / 2 + z (\sigma_1 + \sigma_2) \sqrt{n_i + 1} \right] \quad (1-5)$$

여기서 S_i 는 공정 단계 i 가 공통 생산 공정일 때, 추가적으로 발생하는 기간별 평균 투자비용으로서 총 투자액의 기간별 상각액으로 볼 수 있다. h_i, n_i 는 각각 공정 k 단계가 마지막 공통 공정이라 할 때의 단위 제품당 공정 i 의 재고 유지비용, 리드 타임을 말하며, $i > k$ 인 경우에는 p_i 를 단위 제품당 공정 i 의 가공원가라 하고, $i \leq k$ 일 경우에는 $p_i + \beta_i$ 를 가공원가로 한다. z 는 안전재고 요소(safety factor)로 각각의 버퍼에서의 서비스 수준과 관련한 측정치이며, 각 버퍼에서의 서비스 수준은 모두 동일하다고 가정한다. 한 버퍼에서의 수요가 (μ, σ) 의 정규분포를 따르고, 최대 허용가능 주문량(order-up-to-level) 정책에 따라 재고를 보충한다면 평균 재공품 재고는 $n\mu$ 가 되고 각각의 버퍼에서의 평균 재고는 $\mu/2 + z\sigma\sqrt{n+1}$ 이 된다(Silver and Paterson, 1979).

식 (1-1)은 기간별 평균 투자지출액의 총합을 의미하고, 식 (1-2)는 전체 시스템에서의 총 가공원가이며, 식 (1-3)은 시스템에서의 전체 재공품 재고(total WIP)에 대한 유지비용의 총합을 의미한다. 식 (1-4)는 공정 k 단계까지의 버퍼(buffer)에서 발생하는 완충재고 유지비용의 총합이며, 식 (1-5)는 $k+1$ 이후의 단계 즉, 차별화 이후 단계에서의 버퍼에서 발생하는 완충재고 유지비용의 총합이다. 여기서 k 단계까지의 공통 공정 단계를 가지는 생산 시스템의 총 관련원가는 제품과 공정 재설계를 위한 투자액, 총 가공 원가 그리고 총 재고비용이 포함되며, $k+1$ 이후의 단계에서는 개별적인 제품의 유지비용이 발생한다. 여기서 최

적화 차별화 시점을 구한다는 것은 $Z(k)$ 값을 최소로 하는 $k^* = \arg \min \{Z(k): 0 \leq k \leq N-1\}$ 값을 찾는 것이 된다.

이 때, $F(k)$ 는 제품 차별화 시점을 한 단계 지연함에 따른 비용의 순증감을 나타내는 함수이다.

$$F(k+1) = Z(k+1) - Z(k) \quad (1-6)$$

$$= S_{k+1} + \beta_{k+1} (\mu_1 + \mu_2) \quad (1-7)$$

$$+ z [\sigma_{1+2} - (\sigma_1 + \sigma_2)] (h_{k+1} \sqrt{n_{k+1}} + 1) \quad (1-8)$$

여기서 식 (1-7)은 공정변화로 인한 투자비용과 단위당 가공원가의 증가를 나타내고, 식 (1-8)은 안전재고 감소로 인한 비용의 감소를 나타낸다. 이러한 내용을 바탕으로 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

즉, 모든 i 에 대하여 $S_i, \beta_i, h_i \geq 0$ 이고, $Z(k)$ 가 k 에 대하여 볼록(convex) 함수라면, (1) k^* 는 수요 상관계수 ρ 가 감소함에 따라 증가한다. ρ 가 감소한다면, σ_{1+2} 가 $(\sigma_1 + \sigma_2)$ 에 비하여 더욱 작은 값을 갖게 되므로, 위험 분산(risk-pooling)으로 인한 안전 재고의 감소가 커지기 때문에 제품 차별화 시점을 좀더 지연시킴으로써 얻은 효익이 커지기 때문이다. (2) k^* 는 $h_i \sqrt{n_i + 1}$ 가 모든 공정에서 증가함에 따라 증가한다. 유지비용과 리드 타임의 수준이 시스템 전체에서 증가하면 총비용에서 안전재고가 차지하는 비율이 상대적으로 커지기 때문에 안전재고 감소로 인한 효익이 상대적으로 증가하기 때문이다. (3) k^* 는 모든 공정에서 S_i 가 증가함에 따라 감소한다. 공정변화를 위한 투자비용이 증가한다면 차별화로 인한 비용의 증가가 상대적으로 커지기 때문이다. (4) k^* 는 모든 공정에

서 β_i 가 증가함에 따라 감소한다. 공정변화로 인한 단위당 가공원가가 전체적으로 증가한다면 공정변화를 통한 추가적 비용이 상대적으로 커지기 때문이다. (5) k^* 는 $(\mu_1 + \mu_2)$ 가 감소함에 따라 증가한다. 수요의 표준편차가 일정한 상황에서 평균 수요량이 감소한다면 표준편차의 상대적 크기, 즉 변동계수(coefficient of variation = σ/μ)가 증가하기 때문에 위험 분산으로 인한 안전재고 유지비용 감소의 효익이 상대적으로 커지며, 따라서 차별화 시점을 지연시키는 유인이 된다.

이상의 결과들이 Lee and Tang(1997) 연구의 결론이자 현실 경영에 대한 시사점이라 할 수 있다. 그러나 국제적 생산활동을 영위하는 기업들의 의사결정에 있어서 이러한 일반적인 결론만으로는 충분한 의사결정을 할 수가 없으며, 따라서 보다 현실적인 문제해결 능력을 갖기 위해서는 다음의 연구 모형에서 제시하는 추가적 변수들을 포함한 확장된 모형이 필요하다.

3.2 국제화 환경을 고려한 글로벌 공급체인 모형

글로벌 환경에서는 공급체인 상의 생산과 유통 활동에 있어서 추가적으로 고려해야 할 다음과 같은 몇 가지 중요한 특성을 가지고 있다.

첫째, 생산활동의 국제화 요인 중 가장 크다고 할 수 있는 것이 바로 국가간 생산원가의 차이이다. 오늘날 대다수의 글로벌 기업들은 전 세계를 하나의 생산-유통 네트워크로 만들어 나가고 있는데, 각 생산 단계별로 최적의 생산 국가를 선정하고 생산 기지들을 하나의 네트워크로 연결하여 원재료의 구매에서 완제품의 판매에 이르는 전 과정이 다수의 국가에 걸쳐 이루어지고 있다. 생산공정

의 국가별 입지의사결정을 고려할 때 고려하는 여러 요소들 가운데 가장 중요한 것이 국가별 생산 원가와 국제적으로 분산된 생산 공정간의 이동시간과 운송비용이다.

둘째, 국가간 운송 리드타임의 증가이다. 국제적 공급체인 상에서는 체인 내부의 하나 혹은 그 이상의 단계에서 국가간의 운송이 발생한다. 이 단계는 완제품 수출을 위한 운송단계가 될 수도 있고 중간 반제품 또는 원재료의 조달을 위한 운송단계일 수도 있는데, 이 단계의 리드타임은 다른 단계에서 보다 매우 큰 값을 가지게 된다는 것이다. 따라서 이 단계에서는 각 버퍼(buffer)에서의 완충 재고량이 매우 커지게 된다.

셋째, 전체 공급체인에서의 운송비용이 중요한 인자이다. Lee and Tang(1997)의 기존 연구 모형에서는 운송비용을 고려하지 않고 있지만, 실제로 국가간 운송이 이루어지는 상황에서 수출시점에서의 운송관련 비용은 전체 공급체인의 최적화에 큰 영향을 주게 된다.

넷째, 글로벌 환경하에서 공급체인 상의 각 활동에 영향을 주는 또 다른 요소는 바로 관세이다. 최근 FTA가 확산되는 상황에서 관세는 많은 폭으로 감소하고 있는 추세이지만, 전 세계가 완전한 무관세 시장이 되지 않는 한 글로벌 무역 환경에 있어서 관세는 여전히 중요한 전략적 변수이다. 관세는 Lee and Tang(1997)의 기존 연구 모형에서 재고유지비용에 포함시켜 파악할 수도 있으나, 관세는 재고유지비용과는 발생과정과 금액의 산정기준이 다르기 때문에 별도로 관리되어야 하는 변수로서, 이를 독립된 변수로 포함시켜야 한다. 더욱이 국가별로 관세율이 다른 경우라면 관세를 국가별로 다르게 적용하여야 한다.

본 연구에서는 Lee and Tang(1997)의 단순

모형을 국제적 환경을 고려한 글로벌 공급체인 모형으로 확장하여 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 분석을 통해 글로벌화된 경영환경에서 적용 가능한 보다 현실적인 모델로 확장하고자 한다. 이를 통해 수출 운송시점과 제품차별화 지연시점의 조정을 통한 전체 물류 관련 총비용의 최소화 방안을 도출하고자 한다.

2개국에 걸친 생산, 유통의 분석을 위해서는 기본 모델에 몇 가지 추가적인 변수를 도입하여야 하는데, 먼저 차별화 직전 단계인 k 이외에 수출을 위한 운송이 개시되는 단계를 따로 구분하여야 한다. 이를 s 단계라고 한다. 즉 s 와 $s+1$ 단계의 사이에서 국제적 운송이 이루어지며, $s+1$ 에서는 최종 소비자가 위치한 수출 대상국에서 유통단계가 이루어진다. s 의 값이 변한다면 관련된 리드타임 $n_i(s)$ 가 변하기 때문에 k '값에 영향을 미친다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 s 와 k 의 상관관계를 알아보고자 한다.

$m(s)$ 는 완제품 또는 재공품의 단위당 운송 비용으로, 다른 단계에서의 운송 비용은 모두 무시하고 국가간 이동의 경우에만 운송 비용을 고려하도록 한다. 즉 개별국가 내에서는 각 공정들이 인접지역에 위치하고 있다고 가정한다. 관세비용 $t(s)$ 는 s 가 운송시점인 경우의 관세율이다. 관세율은 국가별로 차이가 있지만 원재료나 재공품 또는 반제품에 대한 관세율이 완제품에 비하여 낮다고 할 수 있다. 또한 관세가 적용되는 과세표준은 수출되기 전까지의 누적 원가라고 가정하고 모형을 구축한다. α 는 국가별 생산요소 가격의 차이를 반영하는 비율로서 본 연구 모형에서는 본국의 생산원가 지수에 대한 상대적 원가비율을 나타내며, 국가별 생산원가 지수 $\alpha_i(s)$ 는 $i \leq s$ 인 경우에는 $\alpha_i(s) = 1$, $i > s$ 일 때에는 $\alpha_i(s) = \alpha$ 라고 정의한다. $R_i(s)$ 는

해외설비 투자액으로 현지에 생산 및 판매 시설을 갖추기 위해 투입되는 금액으로서 기간별로 상각되는 금액이라고 할 수 있다. 해외설비 투자액은 $s=2$ 인 경우에는 국제 운송 후 개별 국가에서 가공, 조립, 유통을 위한 설비 투자액을 의미하며, $s=3$ 인 경우에는 조립 및 유통 단계의 투자액을 포함한다. 또한 $s=4$ 인 경우에는 단순히 개별 국가별 유통 설비에 대한 투자만을 반영하였다.

글로벌 공급체인 환경에서 각각의 생산과 유통 활동은 원재료 및 부품의 구매(purchase) 단계, 기본적인 가공(fabrication)이 이루어지는 단계, 부품품 또는 완제품의 조립(integration)이 이루어지는 단계, 제품의 포장과 운송(shipping)이 이루어지는 단계 그리고 도매상 또는 소매상에 대한 유통(distribution)을 위한 단계 등 다섯 단계로 구성되어 있다고 가정한다. 이 경우 국가간의 이동이 일어나는 공정은 운송 공정으로, 일반적으로 운송은 1개 국가 내에서도 일어나는 기본적인 프로세스이지만, 두 국가 사이에서 일어나는 운송은 특별한 의미를 가지고 있기 때문에 특별히 독립된 공정으로 분리한다. 또한 포장이나 번들링(bundling) 과정에서 제품별 차별화가 일어나기 때문에 운송 단계에서 제품별 차별화가 발생한다. 기존의 Lee and Tang(1997)의 연구에서는 구매 → 가공 → 조립 → (수출)운송 → 유통의 네 번째 단계에서 운송이 발생하는 것으로 고정시키고 제품 차별화 시점을 지연함에 따른 비용과 효익을 분석하였는데, 본 연구에서는 한 단계 더 나아가 운송 시점이 일정 범위 내에서 변화 가능한 경우가 보다 현실적이라고 보고 이를 고려한 모형을 설계하려고 한다. 즉 다른 네 가지의 공정 순서는 그대로 두고, 운송 공정을 2단계, 3단계 그리고 4단계로 바꿀 수 있는 경우를 모두 고려한 상태에서의 제품 차별화 시

점을 구할 수 있는 모형을 만들어 보는 것이다(부록 2 참조).

기존의 Lee and Tang(1997)의 연구에서 제시한 단순 모형에 국제적 환경을 반영하는 변수들을 추가하면 총 관련 비용을 나타내는 총비용 함수를 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Z(s, k) = \sum_{i=1}^k S_i * \alpha_i(s) + \sum_{i=1}^N p_i (\mu_1 + \mu_2) * \alpha_i(s) + \sum_{i=1}^k \beta_i (\mu_1 + \mu_2) * \alpha_i(s) \quad (2-1)$$

$$+ \sum_{i=1}^N h_i [n_i(s) (\mu_1 + \mu_2)] * \alpha_i(s) \quad (2-2)$$

$$+ \sum_{i=1}^k h_i \left[(\mu_1 + \mu_2) / 2 + z \sigma_{i,2} \sqrt{(n_i(s)+1)} \right] * \alpha_i(s) \quad (2-3)$$

$$+ \sum_{i=k+1}^N h_i \left[(\mu_1 + \mu_2) / 2 + z (\sigma_1 + \sigma_2) \sqrt{(n_i(s)+1)} \right] * \alpha_i(s) \quad (2-4)$$

$$+ \sum_{i=s+1}^N R_i(s) * \alpha_i(s) \quad (2-5)$$

$$+ \sum_{i=1}^N \delta_{i,(s+1)} [t(s) (\mu_1 + \mu_2)] \quad (2-6)$$

$$+ \sum_{i=1}^N \delta_{i,(s+1)} [m(s) (\mu_1 + \mu_2)] \quad (2-7)$$

$\delta_{i,(s+1)}$ 는 Kronecker의 델타함수임, 즉 $\delta_{i,(s+1)} = 1$ ($i = s+1$ 일 경우), 기타일 경우 $\delta_{i,(s+1)} = 0$

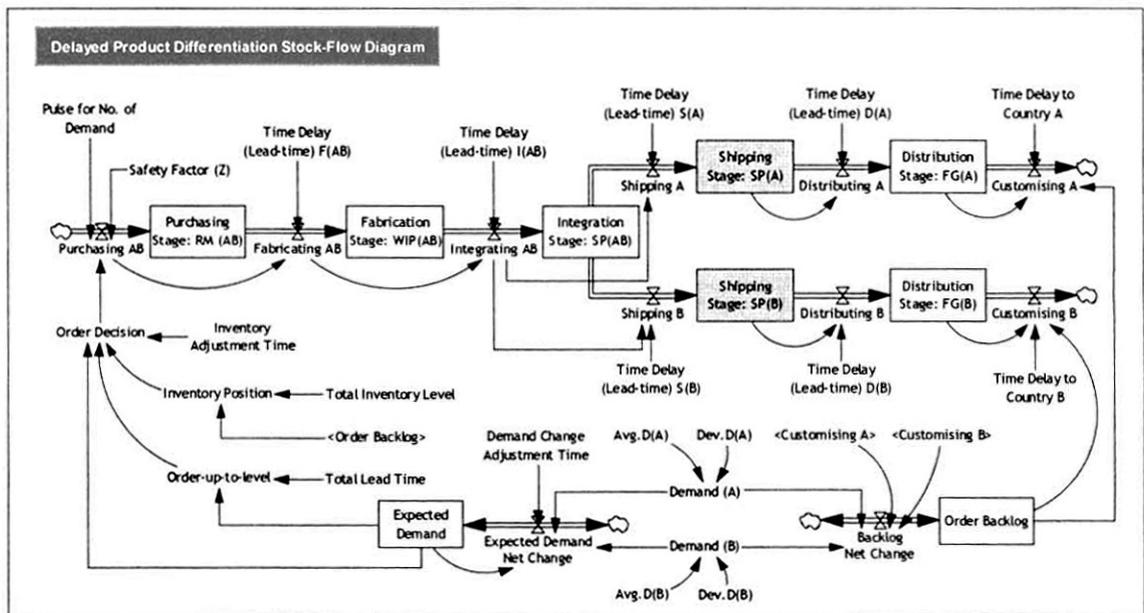
여기서 n_i 대신에 $n_i(s)$ 가 사용되었음을 유의하여야 하며, 운송비용과 관세를 제외한 모든 비용들에 대해서는 단계별로 생산원가 지수를 곱하여야 한다. 즉 $\alpha_i(s)$ 값을 s 공정의 전후에 대하여 각 국가별로 서로 다르게 적용한다. 운송비용과 관세 비용은 국가간의 원가지수와 상관없이 항상 전체

공급체인에서의 비용으로서 별도로 계산되어야 한다. 위의 모형은 국가간의 단계 이동을 나타내는 변수 s 와 제품 차별화 시점을 나타내주는 k 의 선택이 전체시스템에 미치는 영향을 분석할 수 있는 복합적 비용함수이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 제품차별화 지연생산의 변형모형을 기반으로 글로벌 공급체인 환경하에서 제품차별화 지연생산의 (s, k) 조합 선택에 따라 총비용이 어떻게 영향을 받는지 시스템 다이내믹스 분석 방법을 통해 분석해 보고자 한다.

3.3 글로벌 공급체인의 제품차별화 지연에 대한 시스템 다이내믹스 모형

본 연구에서는 수출 운송시점 및 제품차별화 지연생산의 (s, k) 조합 선택에 따라 총비용 구조가

어떻게 변화되는 지에 대해 알아보기 위해 시스템 다이내믹스 시뮬레이션을 이용한다. 예를 들어 <그림 1>은 $s = 4, k = 3$ 인 경우의 시스템 다이내믹스 모형이다. 즉 구매 및 가공 단계까지는 공통의 제품 생산과정을 거치고, 조립 단계부터 제품차별화를 위한 생산을 시작하며, 다음 단계로 완성된 조립품을 개별국가별로 운송하며, 마지막으로 최종 완성 단계를 거쳐 한 국가 내에 유통을 시키게 된다. 시뮬레이션 모형에서 기본적인 데이터는 차별화 전 단계의 Purchasing Stage: Raw Material (AB), Fabrication Stage: Work-In-Process (AB), Integration Stage: Semi-product (AB) 등의 저장 변수와, 차별화 후 유통 단계인 Shipping Stage: Semi-product (A), Shipping Stage: Semi-product (B), Distribution Stage: Finished Goods (A), Distribution: Finished Goods (A), Distribution: Finished Goods (B), Distribution: Finished Goods (B)



<그림 1> 글로벌 환경에서의 제품차별화 지연생산 시뮬레이션 모형 (S=4, K=3인 경우의 예시)

(B)의 저장 변수로 구분할 수 있다.

초기에 각 소비자들의 수요를 정규분포로 가정하고 개별 국가의 수요에 대한 평균과 분산의 입력 자료를 토대로 기대 수요량(expected demand)이 결정된다. 또한 기대 수요량이 결정되면, (s, S)정책에 의해 재고 수준이 재주문점이나 그 이하로 떨어질 경우에는 [(최대 주문 수준(S) - 현 재고수준) / 재고 조정 기간]까지 주문을 발주하고, 그 밖의 경우에는 주문 = 0으로 한다. 본 연구에서는 최대 허용가능 주문량(order-up-to-level) 정책에 따라 재고를 보충하는 것으로 가정하는 데, 시스템 다이내믹스 모형에서는 소비자들의 기대 수요량(expected demand)의 정보가 주기적으로 갱신되는 것처럼 최대 허용가능 주문량도 계속적으로 업데이트 되도록 모형을 설정하였다.

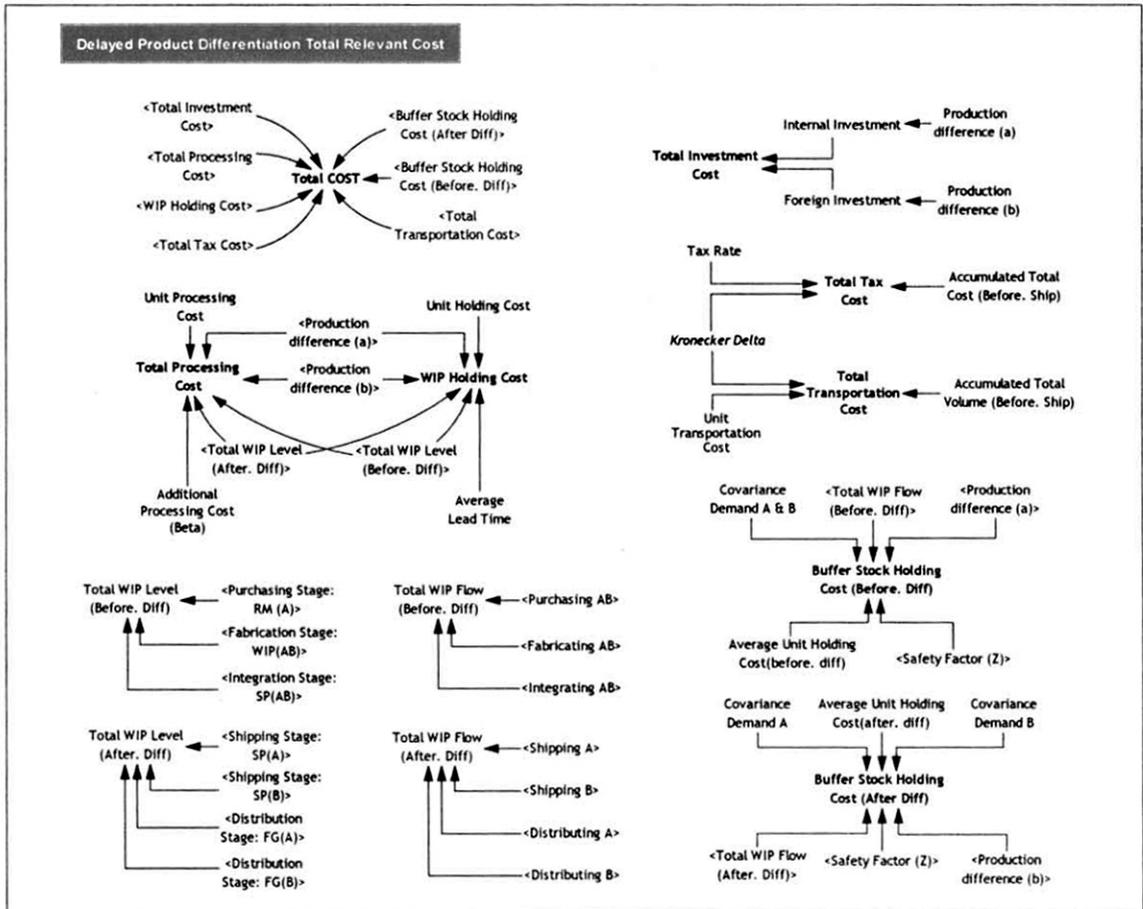
주문에 따라 제품의 생산에 필요한 자재 구입 단계부터 최종 조립 단계까지 각 단계별 재공품 재고

가 쌓이게 되며, 공정이 진행되는 각각의 단계에서 재고 유지비와 재고 가공비 등의 관련 비용이 발생한다. 재공품이 각각의 공정 단계를 진행하는 경우, $n_i(s)$ 의 리드 타임은 Delay Fixed 함수를 이용하여 단계별 시간의 지연을 포함시켰으며, 차별화 이후에는 운송 및 유통 단계를 거쳐 개별 국가 소비자들의 주문(order) 만큼씩 판매가 되는 형태로 모형을 구성하였다. 주요 변수들의 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 계산식은 다음의 <표 2>와 같다.

또한 각 공정 단계별 필요한 재고 유지 및 가공에 필요한 수리적 비용함수는 <그림 2>에서 보는 바와 같이 다양한 비용 구조들을 이용하여 분석하였다. 각 공정 단계별 가공비(total processing cost)와 재공품 재고 유지비(WIP holding cost)는 수출 운송 시점 및 제품 차별화 지연 전후 단계의 저장(stock) 변수들을 이용하여 각 단계별 재고 수준에 따른 가공비와 유지비를 계산하였다. 또

<표 2> 제품차별화 지연생산 시뮬레이션 모형의 주요 변수 계산식

		계산식(Equation)
주요 저장(Stock) /유량(Flow) 변수	주문 관련	• Order Decision = max (((Order-up-to-level - Inventory Position) / Inventory Adjustment Time) + Expected Demand, 0)
		• Inventory Position = Total Inventory Level - Order Backlog
		• Order-up-to-level = (Total Lead Time + Constant) * Expected Demand
		• Expected Demand Net Change = ((Demand(A) + Demand(B)) - Expected Demand) / Demand Change Adjustment Time
		• Demand (A) = RANDOM NORMAL (min, max, Avg. D(A), Dev. D(A), Constant)
	생산 프로세스 관련	• Purchasing AB = (Order Decision * Pulse for No. of Demand * Safety Factor (Z))
		• Fabricating AB = Delay Fixed (Purchasing AB, Time Delay (Lead-time) F(AB), Constant)
		• Integrating AB = Delay Fixed (Fabricating AB, Time Delay (Lead-time) I(AB), Constant)



〈그림 2〉 글로벌 환경에서의 제품차별화 지연생산 시물레이션 모형(관련 비용 함수) (S=4, K=3인 경우의 예시)

한 유통 단계의 재공품 재고의 버퍼 재고(buffer stock holding cost)에 대해서는 각 단계별 유량(flow) 변수들을 고려하여 총비용을 산정하였으며, 총 운송비(total transportation cost)는 누적 재공품 재고량을 기준으로 계산하였다.

해외 설비 투자액(total investment cost)은 주요 개별 국가의 생산 원가지수에 따라 달라지는데, 이를 후진국형 설비 투자와 선진국형 설비 투자의 두 가지 경우로 구분하여, 각 국가별로

STEP 함수를 이용하여 투자비용을 입력하여 시물레이션 분석을 수행하였다. 총관세비용(total tax cost)은 개별 국가별로 차이가 있지만 원재료나 반제품에 대한 관세율이 완제품에 비하여 낮다고 가정하여 분석하였으며, 관세가 적용되는 과세표준은 개별 국가에 대해 운송되기 전까지의 누적 원가를 산정하여 분석하였다.

IV. 글로벌 공급체인의 제품차별화 지연의 시뮬레이션 분석 및 정책적 제언

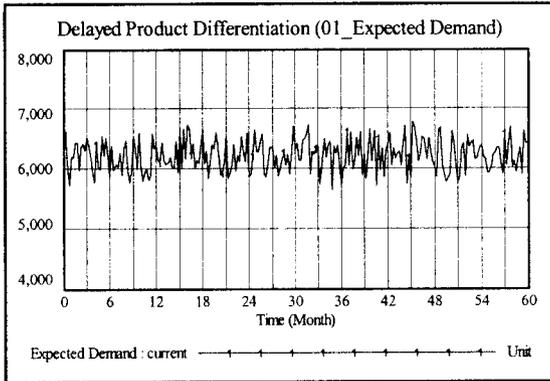
본 연구 모델의 분석을 수행하기 위해서는 우선 앞에서 설명한 시뮬레이션 모형의 타당성을 확인해야 한다. Barlas(1989)의 연구에 의하면, 모형의 타당성을 평가하는 방법은 크게 '모형 구조(structure)의 타당성', '모형 행태(behavior)의 타당성'의 두 가지 범주로 구분하여 평가한다. 모형 구조의 타당성은 직접적인 구조의 테스트(direct structure tests)와 구조에 기초한 행태의 테스트(structure-oriented behavior tests)로 나누어진다. 우선 모형 구조의 타당성을 높이기 위해 본 연구에서는 기존의 제품차별화 지연생산에 대한 다양한 이론과 연구 결과들을 기반으로 모델링 작업을 수행하였으며, 시스템 다이내믹스 시뮬레이션을 위해서 본 연구에서는 Vensim DSS 5.12의 프로그램을 통해 시뮬레이션 모형을 구현하였다. 이와 같이 개념화된 시스템 다이내믹스 모형의 구조상 타당성과 경계 적절성(boundary adequacy)을 검증하기 위해 국내 전자업체의 가전 사업부의 데이터를 활용하여 모형의 적합(calibration) 과정을 거쳤다. 본 연구의 대상이 되는 가전 사업부는 국내외의 생산 및 유통 거점을 기반으로 완제품의 내수와 수출을 동시에 수행하는 기업으로서 가전 제품의 생산 지연시점에 대한 다양한 분석 데이터를 제공해 주었다. 모형의 구조화 단계에서는 전체 생산 시스템 및 유통 프로세스에 대한 이론적 분석에 근거하여 시뮬레이션 모형의 구조를 수립하였고, 본 연구에서 사용된 연구 모형의 정확성을 위해서 사례 기업 가전 사업부의 실 데이터를 이용하여 행태의 패턴을 검증하였다. 또한 모형의 구조 및 행

태와 관련된 타당성 평가를 위해 Vensim 프로그램의 Reality Check®를 이용하였으며, 현실적으로 기업의 각 유통 단계별 재고관리 프로세스에서 보여지는 문제들의 증상, 행태의 패턴, 단계적 행태의 변화, 파동 등의 요소들이 모델에 반영될 수 있도록 사례 기업의 데이터를 이용하여 모형의 적합성을 평가하였다(부록 3). 또한 시뮬레이션의 적용상태가 불안정한 단계를 지나 안정된 단계에 도달하는 일정 시점 즉 균형 상태(equilibrium)가 되도록 모형을 조정하였다.

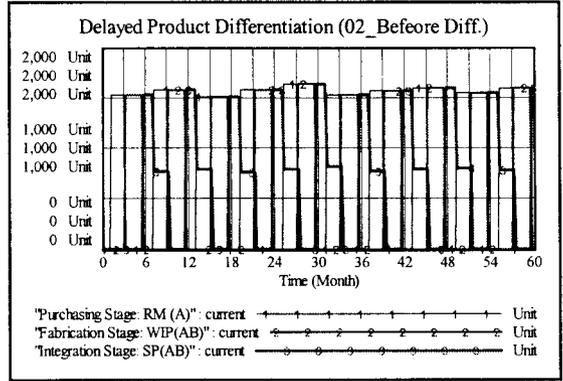
본 연구는 제품차별화 지연생산과 관련된 다양한 동적 프로세스를 분석하여 수출 운송시점과 제품차별화 시점의 전략적 활용 변수를 통제하여 총비용 구조를 분석하고 통제변수의 활용을 통한 정책적 시사점을 제시해 주는 것을 목적으로 하고 있다. 따라서 본 연구에서 제시한 글로벌 공급체인 상의 제품차별화 지연생산의 수리적 모형을 기반으로 시뮬레이션 결과를 분석, 검증하는 것을 기본으로 하고 있다.

다음의 <그림 3>는 시스템 다이내믹스 시뮬레이션의 균형 상태 결과 값을 보여 주고 있는 데, 각 공정 단계별 재고량의 행태와 개별 국가에서의 수요량의 시간에 흐름에 따른 행태 변화량을 보여 주고 있다.

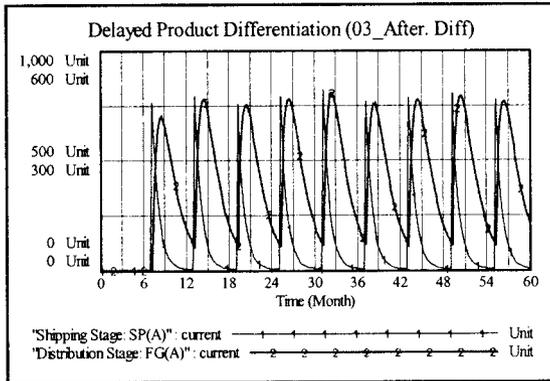
차별화 후 단계의 완제품 운송 및 유통 재고 [(C)와 (D)]는 개별 국가의 최종 소비자들의 완제품 수요나 주문 잔고가 전 기간을 통해 연속적으로 발생하며 비교적 일정한 수준을 유지함에 따라 톱니 모양의 완제품 재고 소진의 행태를 보이고 있다. 또한 차별화 전 단계의 제공품 행태(B)는 중속 수요의 특징을 보이고 있는 데, 생산일정에 근거한 최종 완제품에 대한 내부로부터의 수요에 의해 비교적 일괄적(lumpy)이며 불연속적인 수요의



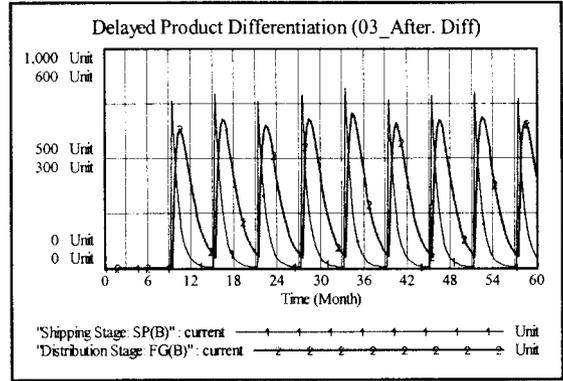
(A) 기대 수요량의 변화량



(B) 차별화 전 단계의 재공품 행태



(C) 차별화 후 단계의 A국가의 완제품 행태



(D) 차별화 후 단계의 B국가의 완제품 행태

〈그림 3〉 제품차별화 지연생산의 시물레이션 분석 초기값(S=4, K=3인 경우의 초기값)

행태를 보이고 있다.

위와 같은 제품차별화 지연생산의 시스템 다이나믹스 초기 값을 기반으로 본 연구에서는 각 생산원가 지수와 관세율의 조절변수들의 반영하여 운송 및 제품차별화 지연에 따른 총비용 구조의 변동을 분석하였다. 특히 국가별 생산원가 지수는 국가별 시간당 인건비 수준을 기반으로 생산원가 비율을 조정하였으며 관세율은 일반적으로 반제품과 완제품의 관세율을 다르게 가정하였다.

일반적으로 개발 도상국이나 후진국의 경우에는 생산원가가 낮고 관세는 높은 경향이 있는데, 수

요변동의 불확실성을 측정하기 위한 기준 변수로서 변동계수 별로 생산원가 비율 = 0.1 관세율 = 15% 인 경우를 가정하여 다음의 〈표 3〉와 같은 시나리오 결과 값을 도출할 수 있다. 다음의 결과를 살펴 보면, 변동계수가 높은 경우에 k^* 값이 크게 나타나고, 개발 도상국처럼 원가비율이 낮은 경우에는 s^* 값이 최소화되는 경향이 있음을 알 수 있다. 변동 계수가 작다면, 차별화 시점의 지연으로 인한 위험 분산 효과가 그만큼 작아지며, 생산원가 비율이 낮은 국가에 대해서는 프로세스의 초기 단계에서 현지화 하는 것이 유리하다는 일반적

〈표 3〉 변동계수에 따른 제품 차별화 지연 시점의 비용구조

변동계수	s_i	k_i					
		생산원가 비율 = 0.1, 관세율 = 15%			생산원가 비율 = 1.5, 관세율 = 12%		
		1	2	3	1	2	3
변동계수=0.2	2			193,298			954,776
	3		174,450	299,472		1,244,391	997,302
	4	362,784	340,179	442,886	1,176,354	1,082,790	1,436,457
변동계수=0.5	2			377,822			1,448,339
	3		499,094	486,388		1,517,624	1,836,199
	4	782,380	642,089	797,820	1,518,557	1,983,834	1,917,262
변동계수=0.8	2			793,350			1,876,882
	3		962,387	636,585		2,080,216	2,309,403
	4	1,024,336	798,632	1,098,297	2,513,380	2,549,363	2,889,667

(주의) 모든 데이터 분석에서 국가별 수치를 일관되게 적용함. (단위: \$)

인 이론과 일치한다. 선진국의 경우에는 생산 원가 비율이 높고, 관세율이 낮은 데, 변동계수 별로 생산원가 비율 = 1.5 관세율 = 12% 인 경우를 시나리오를 가정하여 분석하였다. 〈표 3〉에서 보는 바와 같이 변동 계수에 따라 상반되는 결과를 나타내고 있다. 즉 변동 계수가 크다면, 그만큼 차별화 지연으로 인한 효과가 더 크기 때문이다. 또한 후진국 형에 비해 생산 원가 비율이 10배 이상 되기 때문에 완제품의 형태로 수출하는 것이 비용 측면에서 유리하다는 것을 의미한다.

개발 도상국이나 후진국 형의 경우에는 동일한 차별화 시점에 대해서 변동 계수에 따라 3배 가까운 비용 차이를 보이는 반면에, 선진국 형의 제품 차별화 지연생산에서는 변동 계수에 따라 약 2배 정도의 총원가 차이를 보이고 있다. 이는 선진국 보다는 후진국 형으로 갈수록 제품차별화 지연으로 인한 총원가 절감의 효과가 더 크다는 것을 의미한다.

V. 결론 및 추후 연구 방향

기존의 Lee and Tang(1997)의 연구에서는 $Z(k)$ 함수가 볼록한 경우에는 k 값이 극단적이 된다고 주장하며, $k=0$ 이거나 $k=N-1$ 이 되어야 한다는 것이다. 그러나 본 연구 모델에서는 국가별 특성 변수들에 의해 s 값이 결정되고 이 s 값에 의해 k 의 한계값이 결정된다. 특히 대상 국가의 생산원가 지수가 현저히 낮고 관세율과 운송비가 큰 경우에는 s 값이 작아지기 때문에 공정의 특성 상으로는 k 값을 늘리는 것이 유리하더라도 어느 한도 이상 k 값을 늘리는 것이 불리하게 된다. 따라서 기존의 Lee and Tang(1997)의 연구 모델에서와 동일한 $Z(k)$ 함수를 이용할 지라도 $Z(s,k)$ 의 k^* 값은 달라질 수 있다. 즉 동일한 s 값 조건에서 k^* 를 구하는 논리와 절차는 동일하더라도,

국가별 특성변수와 시장규모 등을 전체적으로 고려한 상황에서 보다 나은 결과를 가져올 것이다. 특히 앞의 결과에서 볼 수 있듯이 국가적 특성이 상반되는 상황에서 일단 s 값의 결정에 의해 시스템 전체의 효율성이 결정된다는 것을 알 수 있다.

결론적으로 글로벌 공급사슬 상에서의 제품 차별화 지연 생산의 문제는 기존의 Lee and Tang (1997)의 연구 모형에 국가간의 수출 운송시점, 즉 s 값을 결정하는 의사결정 변수와 관세 비용 및 생산원가치수 차이를 추가적으로 포함함으로써 더욱 개선된 결과를 가져올 수 있다는 결론이다.

앞의 모델들을 바탕으로 일반적인 다국적 기업 환경에서의 모델 즉, 다수 국가에서 다수의 제품을 생산 - 유통하면서 제품차별화 시점과 수출 시점에 아무런 제약을 두지 않는 모델에 관하여 생각해 볼 수 있다. 이는 국가별로 현지화 단계를 달리하면서 차별화 시점도 각기 다르게 할 수 있다는 것이다. 이와 같이 k 값이 단계적으로 나타나는 모델은 현실과 아주 비슷한 상황이기는 하지만 현재의 모델을 직접 확장하는 방식으로는 추가적인 분석이 필요하다고 판단하여 향후의 연구 과제로 남겨 두고자 한다. 또한 실증적인 연구로서, 앞에서 제시한 각각의 모형별로 적용이 가능한 다양한 산업별 실제 제품군을 찾아 보고 그 제품군과 관련된 국제적인 경영활동을 영위하는 글로벌 기업의 실제 데이터를 이용하여 분석한다면 이론적 모델이 현실의 경영에서도 최적의 의사결정을 유도해 낼 수 있는 유용한 연구가 되리라 생각한다.

참고문헌

- 이호창 (2004). "제품차별화 지연생산의 경제적 타당성: 문헌 연구," *IE Interfaces*, Vol. 17, No. 1, pp. 56-70.
- 이호창 (2006). "제품 다양화와 제품차별화 지연생산의 조화," *한국경영과학회지*, 제31권, 제2호, pp. 57~67
- Alderson, Wroe (1950). "Market Efficiency and the Principle of Postponement," *Cost and Profit Outlook*, September, 3
- Aviv, Y. and Federgruen, A. (2001a). "Capacitated Multi-Item Inventory Systems with Random and Seasonally Fluctuating Demands: Implications for Postponement Strategies," *Management Science*, Vol. 47, No. 4, pp. 512-531.
- Aviv, Y. and Federgruen, A. (2001b). "Design for Postponement: A Comprehensive Characterization of Its Benefits under Unknown Demand Distributions," *Operations Research*, Vol. 49, No. 4, pp. 578-598.
- Bowersox, Donald J. and David J. Closs (1996). *Logistical Management: the Integrated Supply Chain Process*, Macmillan, New York, NY.
- Brown, A. O., Lee, L. H. and Petrakian R. (2000). "Xilinx Improves Its Semiconductor Supply Chain Using Product and Process Postponement," *Interfaces*, Vol. 30, No. 4, pp. 65-80.
- Cachon, Gerard, Christian Terwiesch(2005). *Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management*, Irwin - McGraw Hill.

- Chiou, J., Wu, L. and Hsu, J. C. (2002). "The Adoption of Form Postponement Strategy in A Global Logistics System: The Case of Taiwanese Information Technology Industry," *Journal of Business Logistics*, Vol. 23, No. 1, pp. 107-124.
- Cvsa, Viswanath and Stephen M. Gilbert (2002). "Strategy Commitment versus Postponement in a Two-tier Supply Chain," *European Journal of Operational Research*, Vol. 141, No. 3, pp. 526-510.
- Ernst, R. and Kamrad, B. (2000). "Evaluation of Supply Chain Structures through Modularization and Postponement," *European Journal of Operational Research*, Vol. 124, No. 3, pp. 495-510.
- Federgruen, A. and Zipkin, Paul. (1984). "Approximations of Dynamic Multi-location Production and Inventory Problems," *Management Science*, Vol. 30, No. 1, pp. 69-84.
- Feitzinger, E. and Lee, L. H. (1997). "Mass Customization at Hewlett-Packard: The Power of Postponement," *Harvard Business Review*, Vol. 75, No. 1, pp. 116-121.
- Garg, A. and Tang, Christopher S. (1997). "On Postponement Strategies for Product Families with Multiple Points of Differentiation," *IIE Transactions*, Vol. 29, No. 8, pp. 641-650.
- Graman, G. A. and Magazine, M. J. (2002). "A Numerical Analysis of Capacitated Postponement," *Production and Operations Management*, Vol. 11, No. 3, pp. 340-357.
- Hadjinicola, G. C and K. Ravi Kumar (2002). "Modeling manufacturing and marketing options in international operations," *International Journal of Production Economics*, Vol. 75, No. 3, pp. 287-304.
- Hsu, H. and Wang, W. (2003). "Dynamic Programming for Delayed Product Differentiation," *European Journal of Operational Research*, Vol. 156, No. 1, pp. 183-193.
- Jayashankar M. Swaminathan, Sridhar R. Tayur (1998). "Managing Broader Product Lines Through Delayed Differentiation Using Vanilla Boxes," *Management Science*, Vol. 44, No. 12, pp. 161-172.
- Johnson, M. E. and Anderson, E. (2000). "Postponement Strategy for Channel Derivatives," *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 11, No. 1, pp. 19-35.
- Kiesmüller, G. P., A. G. de Kok and J. C. Fransoo (2005). "Transportation mode selection with positive manufacturing lead time," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 41, No. 6, pp. 511-530.
- Lee, L. H. (1996). "Effective Management of Inventory and Service through Product and Process Redesign," *Operations Research*, Vol. 44, No. 1, pp. 151-159.
- Lee, L. H. and Billington, C. (1994). Designing Products and Process for Postponement, *in Management of Design: Engineering and Management Perspectives*, Sriram Dasu and Chrles Eastman (Eds.), Kluwer Academic Publishers, pp. 105-122.
- Lee, L. H., Billington, C. and Carter, B. (1993). "Hewlett-Packard Gains Control of Inventory and Service through Design for Localization," *Interfaces*, Vol. 23, No. 4, pp. 1-11.
- Lee, L. H. and Christopher S. Tang (1997). "Modelling the Costs and Benefits of Delayed Product Differentiation," *Management*

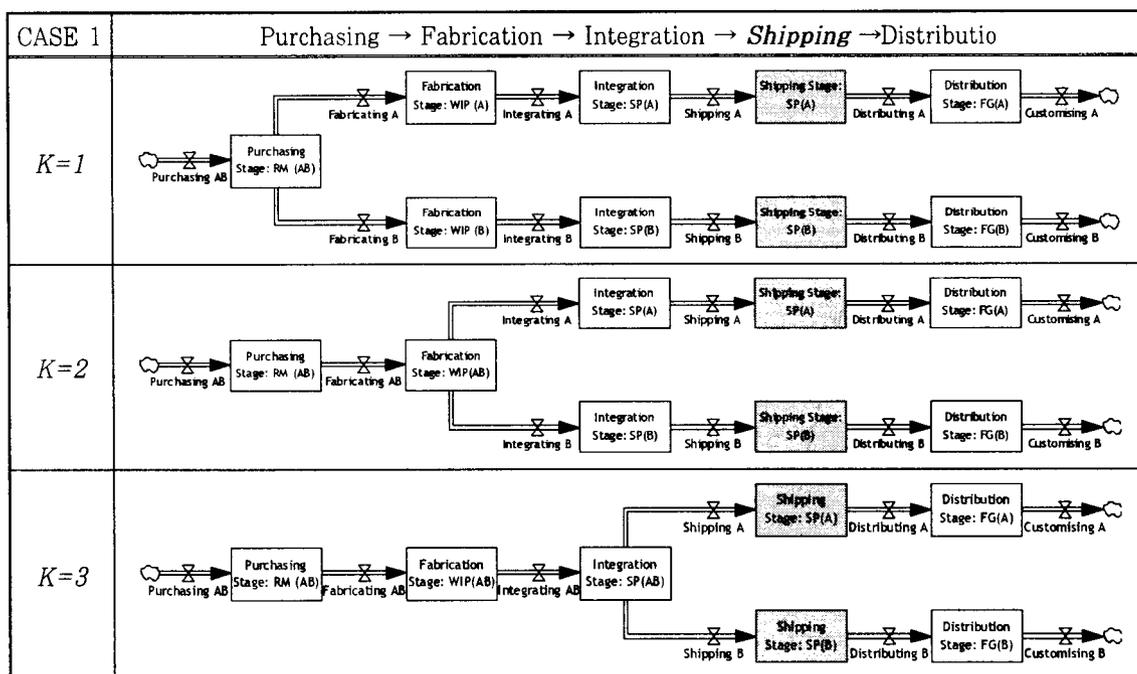
- Science*, Vol. 43, No. 1, pp. 40-54.
- Ma, S., Wang, W. and Liu, L. (2002). "Commonality and Postponement in Multistage Assembly Systems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 142, No. 3, pp. 523-538.
- Pagh, J. D. and Cooper, M. C. (1998). "Supply Chain Postponement and Speculation Strategies: How to Choose the Right Strategy," *Journal of Business Logistics*, Vol. 19, No. 2, pp. 13-33.
- Schwarz, Leroy. B. (1989) "Model for Assessing the Value of Warehouse Risk Pooling: Risk Pooling over Outside-Supplier Leadtimes," *Management Science*, Vol. 39, No. 7, pp. 828-842.
- Van Hoek, R. I. (1998). "Reconfiguring the Supply Chain to Implement Postponed Manufacturing," *International Journal of Logistics Management*, Vol. 9, No. 1, pp. 95-110.
- Van Hoek, R. I. (1999). "Postponement and the Reconfiguration Challenge for Food Supply Chains," *Supply Chain Management*, Vol. 14, No. 1, pp. 18-34.
- Van Hoek, R. I. (2001). "The Rediscovery of Postponement: A Literature Review and Directions for Research," *Journal of Operations Management*, Vol. 19, No. 2, pp. 161-184.
- Van Hoek, R. I., Commandeur, H. R. and Vos, B. (1998). "Reconfiguring Logistics System through Postponement Strategies," *Journal of Business Logistics*, Vol. 19, No. 1, pp. 33-45.
- Waller, M. A., Dabholkar, P. A. And Gentry, J. J.. (2000). "Postponement, Product Customization and Market-oriented Supply Chain Management," *Journal of Business Logistics*, Vol. 21, No. 2, pp. 133-159.
- Yang, B. and Burn, N. (2003). "Implications of Postponement for the Supply Chain," *International Journal of Production Research*, Vol. 41, No. 9, pp. 2075-2090.
- Whang, S. and Lee, L. H. (1998). Value of Postponement, in *Product Variety Management*, Ho T. and C. Tang (Eds.), Kluwer Academic Publishers, pp. 65-84.
- Zinn, W. and Bowersox, D. J. (1988). "Planning Physical Distribution with the Principle of Postponement," *Journal of Business Logistics*, Vol. 9, No. 2, pp. 117-136.

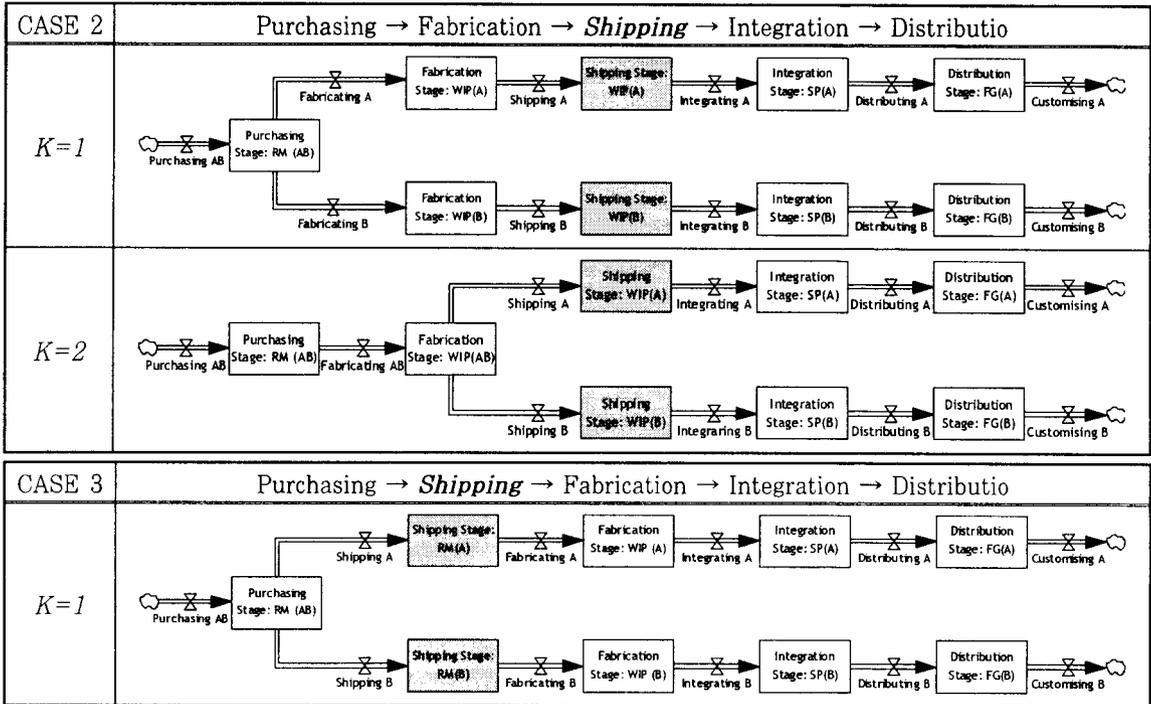
<부록 1> 시스템 다이내믹스 시뮬레이션 모형의 보조 변수(parameter) 값

보조 변수	변수 설명	값(단위)
Additional Processing Cost (Beta)	추가 가공 원가(Beta)	40 (\$)
Ave. D(A)	A국의 평균 수요	3,300 (unit)
Ave. D(B)	B국의 평균 수요	3,000 (unit)
Dev. D(A)	A국의 수요 분산	150
Dev. D(B)	B국의 수요 분산	80
Production Difference (a)	A국의 생산원가지수	1
Production Difference (b)	B국의 생산원가지수	0.5
Safety Factor (Z)	안전재고 요소	0.95
Tax Rate	세율	12%(또는15%)
Unit Holding Cost *	단위당 유지비	2 (\$) / Month
Unit Processing Cost *	단위당 가공비	385 (\$)
Unit Transportation Cost *	단위당 운송비	50 (\$)

* 각 제품의 단위당 유지비, 가공비, 운송비는 관련 전자 업체의 평균적인 수치임.

<부록 2> 제품차별화 지연생산의 전체 시스템 다이내믹스 모형





〈부록 3〉 시스템 다이내믹스 모델의 현실성(타당성) 검증(Reality Check):
Vensim 프로그램의 Reality Check® 입/출력값

(A) Reality Check 입력값	(B) Reality Check 출력값
	<pre> Constraint checking Starting testing of Constraint- No Inventory Level Check Test inputs : Total Inventory Level=RC DECA(Total Inventory Level,3000,13) ... testing - No Inventory Level Check ----- Starting testing of Constraint- Reorder Point Check Test inputs : Total Lead Time=RC DECA(Total Lead Time,5,0) ... testing - Reorder Point Check ----- Starting testing of Constraint- Safety Factor Check Test inputs : *Safety Factor(Z)=RC DECA(*Safety Factor(Z),0.1,13) ... testing - Safety Factor Check ----- ***** 5 successes and 0 failures testing 5 Reality Check equations The Reality Check Index as run is 0.00394011 Closeness score is 100.0% on 5 measurements </pre>

Delayed Product Differentiation in Global Supply Chain Using Dynamic Simulation

Kanghwa Choi* · Changyong Jung** · Soo Wook Kim***

Abstract

The diversity of customer's needs and extension of globalization have given rise to the complexity of supply chain network and the increase of production cost. To solve such problems, delayed product differentiation began to stand out as a main topic of supply chain management (SCM). This is the research topic that gives a lot of suggestion in production and inventory control management by system redesign of SCM. Therefore, this paper observes various existing researches connected with delayed product differentiation production, and will design the mathematical model about extended supply chain under global competition.

The research of Lee and Tang (1997) offers the basic framework that compare trade-off relationship between cost factors connected with delayed product differentiation and give optimal differentiation stage among many manufacturing steps. But, the research has been overlooking various possible conditions that can appear in global supply chain.

For example, a multinational and global manufacturer exports or imports the various products by CBU (completely built-up), CKD (completely knocked-down) and SKD (semi knocked-down). CKD/SKD refers to types of manufacturing in which products are sold in kit form, for later reassembly. CKD/SKD was pioneered in the automotive and electronics industry, and is usually done internationally, to exploit low labor rates and save on import/export tariffs.

In general, the development stages and current state of automotive/electronics industries in developing countries show the following path. The first stage is the limited importing/exporting

* BK Contracting Professor, Seoul National University

** Manager, AT Kearney Korea

*** Professor, Seoul National University

of completely built-up (CBU) products aimed at serving the local market. At the second stage, the industry shifts to SKD form. The third stage is CKD importing/exporting. After assembly-related technology has been accumulated through this process, the industry can finally advance to the fourth stage, at which domestic sourcing of part can begin in earnest. In cases of complete and integrated manufacturing, a firm wants to locate production as well as supply in the country in which it is investing. Therefore, shipping point is not fixed in the whole manufacturing process such as "Purchasing → Fabricating → Integrating → (Export) Shipping → Distribution" in processing trade, and it is an important strategic decision-making that the order can be inverted before or after processing.

Based on the existing theory of delayed product differentiation and processing trade, this research seeks to introduce an expanded mathematical model for the optimal delayed differentiation and export shipping point on the global supply chain management. The model suggests the addition of several key variables such as the export shipping points, tax and production difference index in traditional processing trade to the existent delayed product differentiation model.

According to simulation result, cost difference of delayed differentiation appeared more than 3 times depending on the change of variation coefficient in developing country, but in case of developed country, smaller cost difference is shown. This means that cost reduction effects of delayed differentiation of developing country is greater than developed country.

The results of the system dynamics simulation confirm that the consideration of the additional decision making variables such as shipping point and tax and production cost index between the countries enhances current research on delayed product differentiation under production localization strategy. In addition, the simulation results show that global optimum is achievable on global supply chain when shipping point in processing trade and delayed product differentiation are considered simultaneously, which would provide practical implications for the field managers.

Key words: Global Supply Chain, Delayed Product Differentiation, Dynamic Simulation, CKD, SKD, Risk-Pooling Effect.