

경쟁 기반의 부품 생산과 협업 기반의 완성품 생산 시스템에서 생산과 수요 통제의 통합적 고찰

김은갑[†]

이화여자대학교 경영대학

Integrated Demand and Production Control for the Competition-based Component and Cooperation-based End Item

Eungab Kim

Associate Professor, College of Business Administration, Ewha Womans University

This paper considers a two-stage supply system consisting of two make-to-stock facilities. The facility in the first stage produces a single type of component in anticipation of future demands from the market and the end item production while the facility in the second stage produces the end item in anticipation of future demands from the OEM customers. The facility in the first stage has the option of to accept or reject each incoming demand from the market. In this paper, we address the problem of how to control the exogenous component demand and how to manage the production of the end item and the component so as to maximize the system's profit subject to the system costs. In this paper, we present a heuristic policy that is the base-stock production policy combined with a linear switching curve for component demand control. Numerical study is implemented under different operating conditions of the system and it shows that the performance of the heuristic is very promising compared to that of the optimal policy for the Markov model.

Keyword: two-stage supply system, production control, demand control, heuristic, base-stock

1. 서론

본 논문에서 다루는 주제인 경쟁 기반(Competition-based)의 부품 생산과 협업 기반(Cooperation-based)의 완성품 생산 전략의 통합적 고찰은 반도체 칩과 Passive 부품을 생산/판매함과 동시에 주문자 상표부착 생산 방식(Original Equipment Manufacturing) 형태로 다양한 반도체 칩들을 이용하여 전자 제품을 위한 인쇄회로기판(Printed Circuit Board)을 조립하는 한 제조 기업의 사례에 그 기반을 두고 있다.

일반적으로 제조 기업은 사업 초기에는 협업 기반 전략(예

를 들면, OEM 생산 방식)을 통해 안정적인 판매 경로 개척에 경영의 최우선적인 목적을 두다가(Christopher, 2005), 이러한 사업 초기의 판매망 구축과 생산 용량 극대화에 어느 정도 성공을 거두게 되면 독자 브랜드를 지향하기 위해 경쟁 기반 전략, 예를 들면, OBM(Own Brand Manufacturing: 자가 상표부착 생산 방식)을 추구하는 것으로 알려져 있다(Friedman, 2002).

대표적인 예가 일본의 제조 기업들로서 1950~1960년대 OEM 생산 방식을 통해 성장해온 일본의 제조 기업들은 1970년대에 들어오면서 꾸준한 기술 개발을 통해 제품의 품질을 높이고 자가 브랜드 부착 방식에 많은 투자와 노력을 아끼지 않은 결

[†]연락처 : 김은갑 교수, 120-750 서울시 서대문구 대현동 11-1 이화여대 경영대학 경영학전공, Fax : +82-2-3277-2835,

E-mail : evanston@ewha.ac.kr

투고일(2009년 11월 10일), 심사일(1차 : 2009년 11월 23일), 게재확정일(2009년 11월 24일).

과, 세계적인 기업으로 새롭게 태어나게 되었다. 일본의 대표적 기업들 중의 하나인 Canon도 사업 초기에는 Texas Instruments, HP, Apple, Motorola 등에 자가 상표부착 생산 방식 형태로 제품을 납품하며 사업 영역을 넓혀오다 독자 브랜드 창출에 많은 투자를 함으로써 현재의 세계적인 브랜드로 발돋움 하게 되었다(Wee, 1994).

한편, 최근에 발표되고 있는 마케팅 전략 연구는 기존 유통망과의 상호 관계적이고 협업에 기반한 전략과 기존 유통망과는 경쟁적이며 자원 이용의 극대화를 도모하는 전략을 서로 상호 보완하는 형태의 융합형 전략(Ambidextrous strategy)이 기존의 경쟁 혹은 협업의 일방 전략 보다는 제조 기업의 브랜드 가치 창출에 더욱 효율적인 역할을 수행할 수 있다는 점을 강조하고 있다(Parmigiani, 2007).

본 연구에서는 협업 기반 전략과 경쟁 기반 전략을 혼합한 융합형 전략을 공급망전략 관점에서 접근하여 융합형 전략이 구현될 수 있는 운영 전략을 제시하고자 한다. 또한 제시된 운영 전략의 특성들을 규명하고 운영 레벨에서 제기될 수 있는 다양한 전략적 이슈들을 분석함으로써 궁극적으로 본 연구 결과가 실무에 직접적으로 적용될 수 있도록 하는 데 필요한 토대를 마련하고자 한다.

이를 위한 연구의 시발점으로 본 논문에서는 문제를 단순화시켜 완성품과 부품을 각각 생산하는 두 가지 형태의 계획 생산(make-to-stock) 시설들로 이루어진 공급망을 고려한다. 완성품을 만드는 생산 시설은 OEM 기반의 생산 전략을 택하고 있다. 이에 반해, 부품을 만드는 생산 시설은 완성품 조립에 필요한 부품을 생산하는 동시에 해당 부품 시장에서 수요가 발생할 경우에 이를 독자 브랜드로 판매하는 생산 전략을 택하고 있다.

따라서 본 연구에서 고려하고 있는 기업은 협업 기반의 완성품 생산과 경쟁 기반의 부품 생산을 통해 수익원을 확보할 수 있게 된다. 그러나 본 생산 시스템을 효율적으로 운영하기 위해서는 OEM 생산계획과 부품 생산 계획의 통합적 운영에 대한 전략적 의사 결정이 이루어져야 한다. 즉, OEM 생산에 대한 비중이 높은 경우에는 안정적인 재고 확보가 무엇보다 필요하지만 과도한 재고는 재고 비용 지출뿐만 아니라 부품 생

산이 과도하게 완성품 생산에 분배되어지기 때문에 독자 브랜드로 판매 가능한 부품 재고 확보가 어려워져 판매 기회 손실 비용과 함께 브랜드 입지 강화 측면에서 손해를 보는 상황이 발생할 수 있다. 반대의 경우, 독자 브랜드로 판매를 강화할 경우에는 상대적으로 OEM 생산이 위축되어 안정적인 사업을 유지해나가는 데 불확실성을 키울 수 있다. 따라서 경쟁 기반의 부품 생산 계획과 협업 기반의 완성품 생산 계획의 통합적 운영이 무엇보다 요구된다고 하겠다. <그림 1>은 본 논문에서 다루고자 하는 연구 범위를 보여주고 있다.

보다 구체적으로, 본 연구 과제는 전체 시스템 비용 대비 공급망의 수익을 극대화시키기 위하여 OEM/부품 생산 전략과 부품 수요 통제 전략의 구조적 특징을 규명하는 이슈를 다루고자 한다. 본 논문의 주요 연구 주제는 다음과 같다.

첫째, OEM 생산 전략(OEM 주문 프로세스와 가용한 완성품/부품 재고 등을 감안하여 완성품 생산 여부를 어떻게 판단할 것인가?)

둘째, 부품 생산 전략(완성품/부품 재고, 부품 수요 프로세스 등을 감안하여 부품 생산 여부를 어떻게 판단할 것인가?)

셋째, 부품 수요의 통제 전략(가용한 부품 재고 중 얼마만큼을 각각 완성품 조립 공정 투입과 독자 브랜드 판매에 할당할 것인가?)

<그림 2>는 본 연구 과제를 단순화시킨 모형을 대상으로 부품 생산 프로세스가 기업의 수익성에 미치는 영향을 부품 생산 속도를 다양화하면서 시뮬레이션으로 분석한 결과이다. 위 그림에서 알 수 있듯이 부품 생산 속도가 높다고 해서 반드시 기업의 수익성을 높이는데 긍정적인 영향을 미친다고 볼 수 없음을 알 수 있다. 부품 재고의 증가에 따라 독자 브랜드 판매 방식의 수요에 대응할 수 있는 기회가 커질 수 있지만 추가적으로 증가한 부품 및 완성품 재고비용으로 인해 기업의 수익성이 감소할 수 있기 때문이다.

본 연구 모형은 Veatch and Wein(1994)가 제시하였던 Two-station tandem production/inventory 모형과 유사한 모델링 구조를 갖고 있다. Veatch and Wein은 완성품 재고 부족시 발생하는 수요는 지연처리(backorder) 된다는 가정하에 완성품 생산 시설과 부품 생산 시설을 위한 최적 생산 정책을 규명하였다. 본 연구

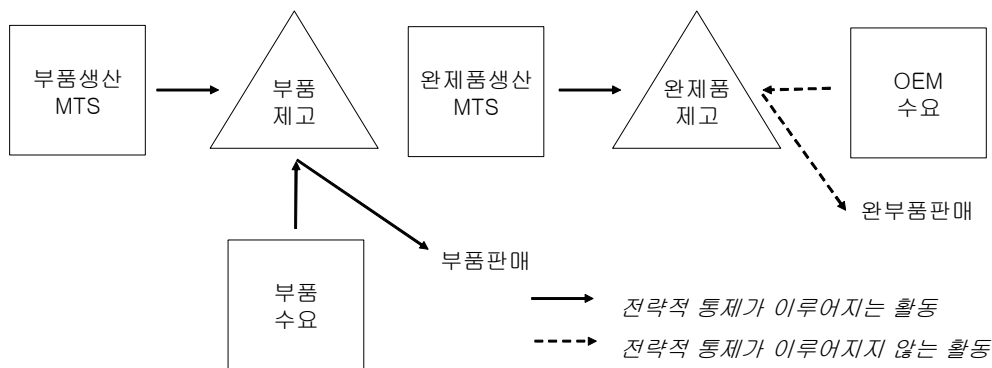


그림 1. 연구 모형 개요

모형은 다음과 같은 관점에서 Veatch and Wein의 모형과 차이점을 갖는다. 첫째, Veatch and Wein 모형에서의 첫 번째 단계의 생산 시설은 두 번째 단계의 생산 시설에서 요구하는 부품 생산 활동만 고려하지만 본 연구 모형에서는 부품의 독자 브랜드 판매 활동도 고려하고 있다. 둘째, Veatch and Wein 모형은 첫 번째, 두 번째 단계의 생산 시설의 생산 계획 문제만을 다루지만 본 연구 모형에서는 생산 계획 문제뿐만 아니라 부품 판매 전략 이슈를 모두 고려한다.

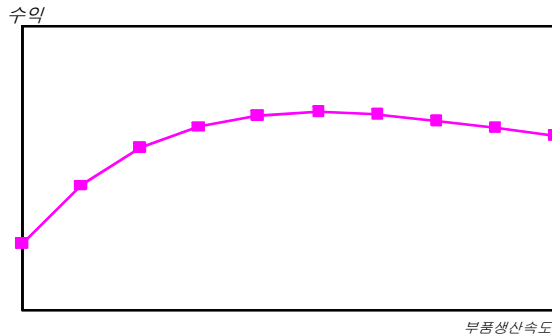


그림 2. 부품생산속도가 기업의 수익성에 미치는 영향

본 연구 모형은 재고 할당과 생산 통제(inventory rationing and production control)를 다루고 있는 선행 연구들과도 밀접한 연관성을 갖고 있다. Benjaafar and ElHafsi(2006)은 부품들이 계획생산 방식으로 자체 생산되는 단일 제품-복수 부품 조립시스템(a single product, multi-components assemble-to-order system)에서 복수의 수요 계층(multiple demand classes)이 존재할 때 제품 조립 시간을 고려하지 않는다는 조건하에서 최적 부품 생산 전략과 개별 유형 고객의 수요를 통제하기 위한 고객 수요 할당(Rationing) 전략을 연구하였다. ElHafsi(2009)는 Benjaafar and ElHafsi(2006)의 연구를 확장하여 개별 유형 고객의 수요가 복합(compound) 포아송 프로세스로 발생하는 모형을 제시하였으며, 최적 부품 생산 전략과 개별 유형별 고객 수요에 대해 수용 가능한 수요의 크기를 결정하기 위한 전략을 연구하였다. Ha(1997a)는 복수의 수요 계층을 갖는 단일 제품을 생산하는 재고확보 생산 방식 시스템을 대상으로 수용 거절되는 고객 수요는 판매 기회손실로 처리된다는 가정하에서 최적 생산 전략과 고객 수요의 수용을 통제하기 위한 제품 재고 사전 확보(reservation) 정책을 연구하였다. Ha(1997b)와 de Vericourt et al.(2002)는 각각 두 계층 고객 수요군과 N 계층 고객 수요군을 대상으로 수용 거절되는 고객 수요가 지연 처리된다는 가정하에 Ha(1997a)에서 제시된 문제를 연구하였다. Carr and Duenyas(2000)는 두 가지 유형의 제품이 각각 주문생산(make-to-order) 방식과 계획생산 방식으로 생산되는 생산 시스템을 대상으로 고객 주문의 수용을 통제하기 위한 할당 전략과 계획생산 제품 생산을 위한 생산 전략을 연구하였다.

본 연구 모형은 선행 연구들과 비교했을 때 재고 할당과 생

산 통제를 다루고 있다는 점에서는 유사성을 갖고 있으나 선행 연구들에서는 수요에 대한 할당이 완성 제품에 대해서만 고려되고 있는 데 반해, 본 연구에서는 완성 제품에 대한 수요 할당뿐만 아니라 부품 재고에 대한 할당도 함께 고려한다는 점에서 주요한 차이점을 갖고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 연구 모형 및 주요 가정을 기술하였고, 제 3장에서는 휴리스틱에 기반한 OEM/부품 생산 전략과 부품 판매 전략을 제시하였다. 제 4장에서는 마코프(Markov) 모형에서 구한 수익과 휴리스틱의 수익을 수치실험을 통해 비교하였으며, 마지막 절에서는 결론 및 향후 과제에 대해서 논의하였다.

2. 연구 모형 및 주요 가정

본 연구 모형에서 설정한 주요 가정 및 파라미터에 대한 정의는 다음과 같다.

- 기업은 단일 유형(single type)의 완성품 및 부품을 각각 계획 생산 방식에 의해 생산한다.
- 완성품 한 단위를 생산하는 데 부품 한 단위가 소요된다.
- OEM 기업의 완성품에 대한 수요의 크기는 한 단위이다.
- 부품에 대한 시장 수요의 크기는 한 단위이다.
- OEM 기업의 주문을 처리하는 경우 주문건당 매출 R_1 이 발생하게 된다.
- 시장 수요에 대응하여 부품 한 단위를 판매할 경우 매출 R_2 가 발생하게 된다.
- 완성품/부품 한 단위 생산 시간은 각각 평균 μ_1^{-1} 과 μ_2^{-1} 인 확률 프로세스를 따른다.
- OEM 기업의 수요와 시장에서의 부품 수요는 각각 단위 시간당 평균 λ_1 과 λ_2 인 확률 프로세스를 따른다.
- 부품/완성품 한 단위를 단위 시간동안 재고로 보관하는 경우에 각각 재고 비용 h_1 과 h_2 가 발생한다.

표 1. 주요 기호들의 요약

x_1	완성품 재고 수준
x_2	부품 재고 수준
λ_1	단위 시간당 완성품 평균 발생 빈도수
λ_2	단위 시간당 부품 평균 발생 빈도수
μ_1^{-1}	완성품 한 단위 평균 생산 시간
μ_2^{-1}	부품 한 단위 평균 생산 시간
h_1	단위 시간당 완성품 한 단위 재고 비용
h_2	단위 시간당 부품 한 단위 재고 비용
R_1	완성품 한 단위 매출액
R_2	부품 한 단위 매출액

<그림 3>은 완성품/부품 생산 시간이 각각 지수 분포를 따르고 OEM 기업의 수요와 부품의 외생적(exogenous) 수요가 각각 포아송 분포를 따르는 경우에 동적계획법(Dynamic Programming)을 통해 구한 최적 완성품/부품 생산 전략과 부품 수요 통제 전략의 한 예를 보여주고 있다. 마코프 모형의 동적계획법 최적 방정식(optimality equation)은 다음과 같이 주어진다(Puterman, 2005):

$$g + J(x_1, x_2) = TJ(x_1, x_2) \quad (1)$$

where

$$TJ(x_1, x_2) = \frac{1}{\gamma} \left[- \sum_{i=1}^2 h_i x_i + \lambda_1 T_1 J(x_1, x_2) + \lambda_2 T_2 J(x_1, x_2) + \mu_1 T_3 J(x_1, x_2) + \mu_2 T_4 J(x_1, x_2) \right],$$

$$T_1 J(x_1, x_2) = R_1 1(x_1 > 0) + J(D(x_1, x_2)),$$

$$T_2 J(x_1, x_2) = \max \{ R_2 + J(x_1, x_2 - 1), J(x_1, x_2) \},$$

$$T_3 J(x_1, x_2) = \max \{ J(x_1 + 1, x_2 - 1), J(x_1, x_2) \},$$

$$T_4 J(x_1, x_2) = \max \{ J(x_1, x_2 + 1), J(x_1, x_2) \}.$$

위 동적계획법 방정식에서 $J(x_1, x_2)$ 는 상태 (x_1, x_2) 가 갖는 최적 가치 함수(optimal value function)이며, g 는 최적 평균 수익(optimal average profit)을 나타낸다. 또한, 함수 T 는 현재 시스템 상태에서 특정 사건의 발생으로 인해 시스템 상태의 전이가 발생할 때 상태 (x_1, x_2) 에서의 최적 가치 함수를 결정하는 value iteration operator이며, 함수 T_1, T_2, T_3, T_4 는 각각 완성품 수요 발생 사건, 부품 수요 발생 사건, 완성품 생산 사건, 부품 생산 사건에 대응하는 시스템 상태 전이 및 전이 이후의 가치 함수들을 보여 주고 있다.

수치 분석을 통해서 살펴 본 <그림 3>의 최적 완성품/부품 생산 전략과 부품 수요 통제 전략은 기 확보하고 있는 완성품 및 부품 재고 수준에 의해 각각 2개의 영역으로 구분되며, 또한 이들의 조합에 의해 전체 상태 변수 공간(State space)이 다음과 같은 영역들로 나누어질 수 있음도 알 수 있다:

- 완성품 생산, 부품 생산 및 부품 수요 수용 (P1&P2&A)
- 완성품 생산, 부품 생산 및 부품 수요 수용 거절 (P1&P2&R)
- 완성품 생산, 부품 생산 중단 및 부품 수요 수용 (P1&NP2&A)
- 완성품 생산 중단, 부품 생산 중단 및 부품 수요 수용 (NP1&NP2&A)
- 완성품 생산 중단, 부품 생산 및 부품 수요 수용 (NP1&P2&A)
- 완성품 생산 중단, 부품 생산 및 부품 수요 수용 거절 (NP1&P2&R)

마코프 모형에 대해서 이루어진 본 수치 분석은 최적 OEM 생산 전략과 부품 판매 전략의 통합적 특성이 완성품 및 부품 재고 수준뿐만 아니라 시간 및 비용 파라미터 값들의 복잡한 함수적 상관 관계로 이루어져 있음을 보여주고 있다. <그림 3>에 나와 있듯이 최적 OEM/부품 생산 전략과 부품 판매 전략

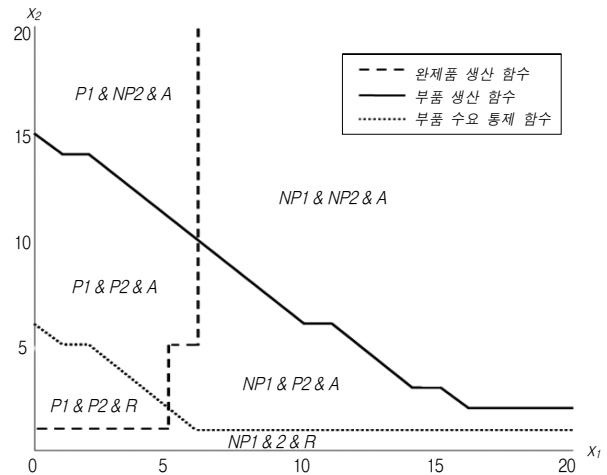


그림 3. 마코프 모형의 완성품/부품 생산 및 부품수요 통제 함수의 예

은 각각 부품 및 완성품 재고 수준의 함수 형태로 주어진다. 또한 함수식으로 주어지는 최적 OEM 생산 전략과 부품 판매 전략은 시스템 파라미터 값들의 변화에 대한 민감도 분석의 중요성을 부각시키고 있다. 예를 들면, OEM 기업의 수요가 증가 하게 된다면 기업 입장에서는 부품 판매 비중을 어느 정도 줄여 나가야 하는 것이 바람직 할 것인가?, 부품 판매 단가가 인상되는 경우, 부품 생산 속도를 증가시키는 것이 수익성 측면에서 더 유리할 수 있는가?, 부품 생산 속도의 증가로 인해 추가 부담해야 하는 부품 재고유지 비용을 효과적으로 통제하기 위해 OEM 생산 전략을 어느 정도 변경해야 하는가? 등의 전략적 의사 결정 문제가 제기될 수 있다. 이외에도 완성품/부품 생산 시간의 변화, 재고비용의 변화, 부품 수요의 변화가 기 수립된 최적 OEM/부품 생산 전략과 부품 판매 전략에 끼치는 영향을 정확히 파악하는 것은 기업의 지속적인 수익성 확보를 통해 시장 경쟁력을 유지하는 데에 매우 중요한 이슈라고 할 것이다.

3. 휴리스틱 OEM/부품 생산 전략과 부품 판매 전략

이번 절에서는 현실 세계의 문제에 적용 가능한 OEM/부품 생산 전략과 부품 수요 통제 전략을 휴리스틱 관점에서 개발한다. 휴리스틱 규칙은 제 2장의 마코프 모형에 대해서 규명된 최적 OEM/부품 생산 전략과 부품 수요 통제 전략의 함수적 특성과 기존 연구 문헌에서 연구된 내용을 토대로 제시된다. 본 휴리스틱은 완성품 및 부품 생산 시간, OEM 기업의 완성품 수요 및 시장에서의 부품 수요가 지수분포 및 포아송 분포 이외의 다른 일반적인 확률 프로세스를 따르는 경우에도 적용 가능하다.

<휴리스틱 규칙>

완성품 및 부품 생산은 기준재고(base-stock) 정책(Weatch and Wein, 1994)을 따르고, 부품 판매는 완성품 및 부품 재고에 대

한 선형 함수를 이용하여 통제하는 방식이며 세부적인 운영은 다음과 같다.

- $x_2 > 0$ 이고 $x_1 < S_p$ 이면 완성품을 생산하고 나머지 경우에는 완성품 생산 중단
- $x_1 + x_2 < S_p + S_C$ 이면 부품을 생산하고 나머지 경우에는 부품 생산 중단
- $x_2 > 0$ 이고 $x_1 + x_2 > M_C$ 일 때 부품 수요가 발생하면 판매하고, 나머지 경우에는 판매 거절

위 휴리스틱에서 S_p 는 완성품에 대한 기준재고 수준, S_C 는 부품에 대한 기준재고 수준, M_C 는 부품 판매가 허용되지 않는 부품 및 완성품 재고 수준 합을 나타낸다.

Veatch and Wein(1994)은 부품에 대한 수요 통제가 고려되지 않는 상황에서 기준재고 생산 통제 방식이 두 단계 일련 계획 생산 시스템(two-stage make-to-stock tandem system)에서 효과적인 휴리스틱 생산 정책임을 수치적으로 입증하였다.

4. 수치 실험

이번 절에서는 제 3장에서 제시된 휴리스틱의 효과성을 검증하기 위하여 마코프 모형에서 구한 최적 수행도와 휴리스틱의 수행도를 수치적으로 비교한다. 마코프 모형을 대상으로 휴리스틱의 효과성을 검증하는 이유는 일반적인 모형에서 최적 수행도를 수치적으로 평가하는 것이 불가능하기 때문이다. 수행도의 비교는 그 용이성을 위해 단위 시간당 평균 수익 관점에서 진행한다. 마코프 모형의 최적 수익은 value iteration(Puterman, 2005) 기법을 적용하여 식 (1)을 풀었을 때 얻게 되는 g 값이 된다. 구체적인 마코프 모형의 최적 수익을 구하는 과정은 다음과 같다.

<마코프 모형의 최적 수행도 평가 알고리즘>

알고리즘의 k 번째 단계에서 상태변수 (x_1, x_2) 에 대한 최적 가치 함수값을 $J^k(x_1, x_2)$ 로 표기한다. 또한 value iteration의 종료 조건을 ϵ 으로 둔다.

1. Value Iteration 서브루틴

- 초기화** : 각 상태 변수 (x_1, x_2) 에 대해 $k=0$ 에서의 가치 함수 값을 0으로 둔다. 즉, $J^0(x_1, x_2) = 0$.
- Value iteration** : 현재 단계 k 의 최적 가치 함수 값 J^k 에 대해 value iteration 알고리즘을 적용시킨다(value iteration 알고리즘에 대한 세부적인 사항은 Puterman(2005)의 9장 4절 참조). 즉,

$$TJ^k(x_1, x_2) = \frac{1}{\gamma} [-\sum_{i=1}^2 h_i x_i + \lambda_1 T_1 J^k(x_1, x_2) + \lambda_2 T_2 J^k(x_1, x_2) + \mu_1 T_3 J^k(x_1, x_2) + \mu_2 T_4 J^k(x_1, x_2)]$$

where

$$\begin{aligned} T_1 J^k(x_1, x_2) &= R_1 1(x_1 > 0) + J^k(D(x_1, x_2)), \\ T_2 J^k(x_1, x_2) &= \max\{R_2 + J^k(x_1, x_2 - 1), J^k(x_1, x_2)\}, \\ T_3 J^k(x_1, x_2) &= \max\{J^k(x_1 + 1, x_2 - 1), J^k(x_1, x_2)\}, \\ T_4 J^k(x_1, x_2) &= \max\{J^k(x_1, x_2 + 1), J^k(x_1, x_2)\}. \end{aligned}$$

(c) **알고리즘 종료 검증** : 아래와 같은 알고리즘 수렴 테스트를 수행한다.

$$\begin{aligned} b_{\min}^k &= \min_{(x_1, x_2) \in S} \{TJ^k(x_1, x_2) - J^k(x_1, x_2)\}, \\ b_{\max}^k &= \max_{(x_1, x_2) \in S} \{TJ^k(x_1, x_2) - J^k(x_1, x_2)\}. \end{aligned}$$

만약 $(b_{\min}^k - b_{\max}^k) \geq \epsilon$ 이면 각 상태변수 (x_1, x_2) 에 대해 $k+1$ 단계의 가치 함수값을 다음과 같이 대체하고 (b)로 간다.

$$J^{k+1}(x_1, x_2) = TJ^k(x_1, x_2)$$

만약 $(b_{\min}^k - b_{\max}^k) < \epsilon$ 이면 평가 단계로 간다.

(d) **평가** : 마코프 모형의 최적 수익에 대한 추정값을 다음과 같이 설정하고 마코프 모형의 최적 수행도 평가 알고리즘 수행을 종료한다:

$$g = (b_{\min}^k + b_{\max}^k) / 2.$$

휴리스틱 수행도 평가는 value iteration 과정과 최적 S_p, S_C 와 M_C 를 찾는 과정을 동시에 진행시켜야 한다. 그러나 식 (1)의 g 가 S_p, S_C 와 M_C 에 대해 오목한 특성(concavity)을 갖는다는 것이 이론적으로 증명되지 않기 때문에 최적의 S_p, S_C 와 M_C 값들의 조합을 찾기 위해서는 허용 가능한 S_p, S_C 와 M_C 값들의 범위내에서 광범위한 3차원 탐색을 해야 하는 수치 실험상의 비효율성이 존재한다. 다음 정리에 제시된 결과는 3차원 탐색이 유한 시간내에 종료될 수 있음을 보장한다.

정리 1 : S_p, S_C 와 M_C 에 대해 각각 다음과 같은 우측 상한값이 존재한다.

$$\begin{aligned} S_p &\leq R_1(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) / h_1, \\ S_C &\leq (R_1 + R_2)(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) / h_2, \\ M_C &\leq S_C. \end{aligned}$$

증명 : Carr and Duenyas(2000)의 Lemma 2의 증명에 사용되었던 동일한 논점들을 사용하면 $h_1 S_p / (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) > R_1$ 일때 완성품 한 단위를 더 생산하는 것은 생산을 하지 않는 것보다 수익성 측면에서 비효율적임을 알 수 있다. 또한 $h_2 S_C / (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) > R_1 + R_2$ 일 때 부품 한 단위를 더 생산하는 것도 부품 생산을 하지 않는 것보다 수익성이 작아짐을 보일 수 있다. $M_C \leq S_C$ 는 S_C 와 M_C 의 정의에 의해 성립된다.

휴리스틱의 수행도는 다음에 주어진 절차에 의해서 진행된다.

<휴리스틱 모형의 수행도 평가 알고리즘>

주어진 S_p, S_C, M_C 값들에 대한 휴리스틱의 수익을 $g^H(S_p, S_C, M_C)$ 로 표기한다.

1. 시작 : $S_p = S_C = M_C = 1$ 에 대해서 휴리스틱 모형의 수행도 평가 알고리즘을 시작한다.
2. Value Iteration 서브루틴: 알고리즘의 k 번째 단계에서 상태 변수 (x_1, x_2) 에 대한 최적 가치 함수값을 $J^k(x_1, x_2)$ 로 표기한다. 또한 value iteration의 종료 조건을 ϵ 으로 둔다.
 - (a) 초기화 : 각 상태 변수 (x_1, x_2) 에 대해 $k=0$ 에서의 가치 함수 값을 0으로 둔다. 즉, $J^0(x_1, x_2) = 0$.
 - (b) Value iteration : 현재 단계 k 의 최적 가치 함수 값 J^k 에 대해 value iteration 알고리즘을 적용시킨다. 즉,

$$\begin{aligned}
 TJ^k(x_1, x_2) &= \frac{1}{\gamma} \left[- \sum_{i=1}^2 h_i x_i + \lambda_1 T_1 J^k(x_1, x_2) \right. \\
 &\quad \left. + \lambda_2 T_2 J^k(x_1, x_2) + \mu_1 T_3 J^k(x_1, x_2) + \mu_2 T_4 J^k(x_1, x_2) \right] \\
 T_1 J^k(x_1, x_2) &= R_1 1(x_1 > 0) + J^k(D(x_1, x_2)), \\
 T_2 J^k(x_1, x_2) &= (R_2 + J^k(x_1, x_2 - 1)) \\
 &\quad 1(x_1 + x_2 > M_C \wedge x_2 > 0) \\
 &\quad + J^k(x_1, x_2) 1(x_1 + x_2 \leq M_C \vee x_2 = 0) \\
 T_3 J^k(x_1, x_2) &= J^k(x_1 + 1, x_2 - 1) 1(x_1 < S_p \wedge x_2 > 0) \\
 &\quad + J^k(x_1, x_2) 1(x_1 \geq S_p \vee x_2 = 0), \\
 T_4 J^k(x_1, x_2) &= J^k(x_1, x_2 + 1) 1(x_1 + x_2 < S_p + S_C) \\
 &\quad + J^k(x_1, x_2) 1(x_1 + x_2 \geq S_p + S_C).
 \end{aligned}$$

- (c) 알고리즘 종료 검증 : 아래와 같은 알고리즘 수렴 테스트를 수행한다.

$$\begin{aligned}
 b_{\min}^k &= \min_{(x_1, x_2) \in S} \{ TJ^k(x_1, x_2) - J^k(x_1, x_2) \}, \\
 b_{\max}^k &= \max_{(x_1, x_2) \in S} \{ TJ^k(x_1, x_2) - J^k(x_1, x_2) \}.
 \end{aligned}$$

만약 $(b_{\min}^k - b_{\max}^k) \geq \epsilon$ 이면 각 상태변수 (x_1, x_2) 에 대해 $k+1$ 단계의 가치 함수값을 다음과 같이 대체하고 (b)로 간다.

$$J^{k+1}(x_1, x_2) = TJ^k(x_1, x_2),$$

만약 $(b_{\min}^k - b_{\max}^k) < \epsilon$ 이면 평가 단계로 간다.

- (d) 평가 : 휴리스틱 모형의 수익에 대한 추정값을 다음과 같이 설정하고 value iteration 서브루틴을 종료한다:

$$g^H(S_p, S_C, M_C) = (b_{\min}^k + b_{\max}^k) / 2.$$

3. 3차원 탐색 : S_p, S_C 와 M_C 값들의 가능한 조합들에 대해서 Value Iteration 서브루틴을 모두 실시하여 $g^H(S_p, S_C, M_C)$ 의

최대값과 그때의 S_p, S_C, M_C 값들을 찾는다.

<표 2>는 수치 실험에서 사용되어진 예제들과 그 수행도 결과 값들을 보여주고 있다. 예제1은 기준 예제이고 나머지 23개의 예제들은 모형의 특정 파라미터 값들을 증가 또는 감소 시키면서 형성시켰다. 이 표에서 열 2부터 열 9까지는 파라미터 값, 열 10은 마코프 모형의 최적 수익, 열 11은 휴리스틱의 수익, 열 12부터 열 14까지는 3차원 탐색으로 발견한 최적 S_p, S_C 와 M_C 값, 열 15는 마코프 모형의 최적 수익과 휴리스틱의 수익간의 % 차이를 나타내고 있다.

열 15에 제시된 24개 예제들에 대한 수행도 비교 평균값은 0.58%로서 수치실험 결과는 휴리스틱의 수행도가 매우 우수함을 보여주고 있다. 또한 <표 2>의 결과는 모형의 파라미터 값들과 3차원 탐색으로 발견한 최적 S_p, S_C 와 M_C 값들 간에 다음과 같은 상관관계가 존재할 수 있음을 보여주고 있다.

- λ_1 의 영향 : $\mu_2 = 0.5$ 일 때 λ_1 이 0.2에서 0.8로 증가하게 되면, S_p, S_C 와 M_C 값도 증가하는 것을 볼 수 있다. 증가폭은 S_C 와 M_C 에 대해서 더 두드러지게 나타나고 있다. 이는 완성품에 대한 수요가 증가했기 때문에 이전 보다 완성품과 부품에 대한 생산은 늘리고 부품의 외생적 수요에 대응하는 것은 이전 보다 감소시키는 것이 경제적으로 유리하다는 것을 보여주고 있다. $\mu_2 = 2$ 일 때 λ_1 이 0.2에서 0.8로 증가하게 되면, S_p 는 증가하고 S_C 는 변동이 없거나 감소한다. M_C 는 증가, 변동 없음, 감소 현상이 모두 관측되었다.
- λ_2 의 영향 : λ_2 가 0.2에서 0.4로 증가하게 되면, M_C 는 변화가 없고 S_C 는 변화가 없거나 증가한다. S_p 는 $\lambda = 0.2$ 일 때는 변화가 없거나 감소하고 $\lambda = 0.8$ 일 때는 변화가 없거나 증가하는 것을 볼 수 있다.
- R_1 와 R_2 의 영향 : 만약 R_2/R_1 이 0.1에서 0.2로 증가하면, S_p 와 M_C 는 변화가 없거나 감소함을 보여주고 있고, S_C 는 변화가 없거나 증가함을 보여주고 있다. 이는 부품 판매 수익이 커지는 경우에는 확보하고 있는 부품을 완제품 생산 보다는 부품 판매에 더 많이 할당하는 것이 경제적으로 유리한 것임을 보여주고 있다.
- h_1 와 h_2 의 영향 : 만약 h_2/h_1 이 0.5에서 2로 증가하면, S_p 는 변동 없음 또는 증가함을 보이는데 부품 재고 비용의 증가로 인해 완성품 생산이 이전 보다 증가해야 함을 보여주고 있다. S_C 는 변동 없음 또는 감소함을 보여주고 있으며 M_C 는 변동 없음 또는 증가함을 보여주고 있다.
- μ_1 와 μ_2 의 영향 : 만약 μ_2/μ_1 이 0.5에서 2로 증가하면, S_C 와 M_C 는 변동 없음 또는 감소함을 보여주고 있는데 이는 부품 생산 속도가 빨라지게 되면 부품 생산을 이전보다 줄이거나 부품 수요 대응을 이전보다 확대하는 것이 경제적으로 유리함을 보여주고 있다. S_p 는 변동 없음, 증가 또는 감소함을 모두 보여주고 있다.

표 2. 수치 실험에 의한 마코프 모형과 휴리스틱 모형간의 수행도 비교

	R_1	R_2	h_1	h_2	μ_1	μ_2	λ_1	λ_2	g	Heuristic				
										g^H	S_P	S_C	M_C	%
1	50	5	2	1	1	0.5	0.2	0.2	5.80	5.78	2	1	1	0.35
2							0.8		20.88	20.86	4	9	10	0.10
3							0.2	0.4	6.16	6.13	1	2	1	0.49
4							0.8		20.89	20.87	4	10	10	0.10
5	50	10	2	1	1	0.5	0.2	0.2	6.43	6.39	1	2	1	0.63
6							0.8		20.89	20.88	4	10	9	0.05
7							0.2	0.4	7.32	7.31	1	3	1	0.14
8							0.8		20.90	20.88	4	12	9	0.10
9	50	5	1	2	1	0.5	0.2	0.2	6.85	6.84	3	0	1	0.15
10							0.8		21.34	21.34	15	2	12	0.00
11							0.2	0.4	7.04	7.04	2	1	1	0.00
12							0.8		21.35	21.34	17	2	12	0.05
13	50	5	2	1	1	2	0.2	0.2	6.47	6.46	1	1	0	0.15
14							0.8		29.09	28.82	5	0	2	0.94
15							0.2	0.4	7.20	7.20	1	1	0	0.00
16							0.8		29.70	29.42	5	1	2	0.95
17	50	10	2	1	1	2	0.2	0.2	7.35	7.35	1	1	0	0.00
18							0.8		29.91	29.60	4	1	1	1.05
19							0.2	0.4	8.84	8.84	1	1	0	0.00
20							0.8		31.33	31.13	5	1	1	0.64
21	50	5	1	2	1	2	0.2	0.2	7.55	7.53	2	0	0	0.27
22							0.8		31.02	29.91	6	0	2	3.71
23							0.2	0.4	7.76	7.69	2	0	0	0.91
24							0.8		31.48	30.52	6	0	2	3.15

5. 결론

본 논문은 완성품과 부품을 각각 생산하는 두 가지 형태의 계획 생산 시설들로 이루어진 공급망에서 완성품을 만드는 생산 시설은 OEM 기반의 생산 전략을 택하고 있고 부품을 만드는 생산 시설은 완성품 조립에 필요한 부품을 생산하는 동시에 해당 부품 시장에서 수요가 발생할 경우에 이를 독자 브랜드로 판매하는 생산 전략을 택하고 있는 상황을 고려하였다.

본 논문에서는 두 가지 수익원을 확보하고 있는 전체 공급망의 수익을 구현하기 위한 휴리스틱 완성품/부품 생산 전략과 부품 수요 통제 전략을 마코프 모형에 대해서 규명된 최적 OEM/부품 생산 전략과 부품 수요 통제 전략의 함수적 특성과 기존 연구 문헌에서 연구된 내용을 토대로 개발하였다. 본 논문은 마코프 모형에서 구한 수행도와의 수치 분석 비교를 통해 본 논문에서 개발한 휴리스틱이 매우 효과적인 전략임을 입증하였다. 또한, 휴리스틱 운영에 필요한 파라미터들과 모형의 파라미터들 간의 상관 관계 분석을 통해 다양한 운영상의 전략적 시사점들을 제시하였다.

본 논문의 연구 결과는 반도체 칩과 PCB를 생산하는 한 전자 제조 업체의 사례에 그 기반을 두고 있지만 본 연구 주제에서 다루고자 하는 경쟁 기반의 부품 생산과 협업 기반의 완성품 생산의 전략적 융합은 업종에 상관없이 우리나라 중소기업 환경에서 그 주제의 중요성이 매우 높다고 할 수 있다.

참고문헌

- Benjaafar, S. and Elhafi, M. (2006), Production and inventory control of a single product assemble-to-order system with multiple customer classes, *Management Science*, 52, 1896-1912.
- Carr, S. and Duenyas, I. (2000), Optimal admission control and sequencing in a Make-to-stock and Make-to-order production system, *Operations Research*, 48, 709-720.
- Christopher, M. (2005), *Logistics and Supply Chain Management: Creating Value-Adding Networks*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- de Vericourt, F., Karaesmen, F., and Dallery, Y. (2002), Stock allocation for a capacitated supply chain. *Management Science*, 48, 1486-1501
- Elhafi, M. Optimal integrated production and inventory control of an assem-

- ble-to-order system with multiple non-unitary demand classes, *European Journal of Operational Research* (forthcoming).
- Friedman, Lawrence G. (2002), *Go To Market Strategy*, Butterworth-Heinemann, Woburn, MA.
- Ha, A. Y. (1997a), Inventory rationing in a make-to-stock production system with several demand classes and lost sales, *Management Science*, 43, 1093-1103
- Ha, A. Y. (1997b), Stock rationing policy for a make-to-stock production system with two priority classes and backordering, *Naval Research Logistics*, 44, 457-472.
- Parmigiani, A. (2007), Why do firms both make and buy- an investigation of concurrent sourcing, *Strategic Management Journal*, 28, 285-311.
- Puterman, M. (2005), *Makov decision processes*, John Wiley and Sons, Inc.
- Veatch, M. and Wein, L. (1994), Optimal control of a two-station tandem production/inventory system, *Operations Research*, 42, 337-350.
- Wee, C. (1994), National branding strategies and economic development: implication for NIEs and LDCs, *The International Executive*, 36(2), 119-145.



김 은 갑

서울대학교 산업공학과 학사

서울대학교 산업공학과 석사

Northwestern University, Dept. of IE/MS 박사

University of Toronto 경영대학

삼성SDS

현재 : 이화여대 경영대학 경영학전공 교수

관심분야 : Stochastic Optimization, 금융공학,
SCM