

적시 부품 공급 계약을 갖는 두 단계 공급망에서 부품 생산과 재고 분배의 통합적 구현*

김 은 갑**†

Coordination of Component Production and Inventory Rationing for a Two-Stage Supply Chain with a VMI Type of Supply Contract

Eungab Kim**

■ Abstract ■

*This paper considers a supply chain consisting of a component manufacturer and a product manufacturer. The component manufacturer provides components for the product manufacturer based on a vendor-managed inventory type of supply contract, and also faces demands from the market with the option of to accept or reject each incoming demand. Using the Markov decision process model, we examine the structure of the optimal production control and inventory rationing policy. Two types of heuristics are presented. One is the fixed-buffer policy and the other uses two linear functions. We implement a computational study and present managerial insights based on the observations.

Keyword : Inventory Rationing, Supply Contract, Vendor-Managed Inventory, Production Control, Demand Control, Heuristic

논문접수일 : 2012년 01월 17일 논문게재확정일 : 2012년 04월 20일

논문수정일(1차 : 2012년 02월 28일, 2차 : 2012년 04월 16일)

* 본 연구는 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 KRF-2010-327-B00218).

** 이화여자대학교 경영대학

† 교신저자

1. 서 론

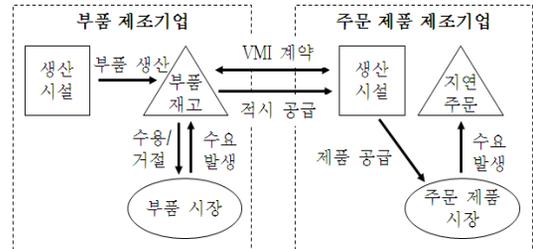
본 논문은 주문 제품 생산 기업(이후 기업 1로 표기)과 제품 생산에 필요한 부품을 계획 생산하는 기업(이후 기업 2로 표기)으로 이루어진 두 단계 공급망에서 생산 통제 및 재고 할당 문제를 다루고 있다. 기업 2는 기업 1과 공급자 주도 재고 보충(vendor-managed inventory, 이하 VMI)에 기반한 공급 계약을 맺고 부품을 공급한다. 즉, 기업 1은 부품 재고를 유지하는 대신 필요한 시점에 부품을 공급받는다. 또한, 부품 외생 수요가 존재한다. 따라서 기업 2는 부품 생산 시점에 대한 의사 결정과 함께, 부품 재고를 기업 1을 위한 재고 보충과 부품 시장의 수요 충족에 분배해야 하는 재고 할당(inventory rationing) 문제에 직면하게 된다.

본 생산 시스템은 제품 수명 주기가 짧은 반도체 칩과 컴퓨터 산업에서 보편적인 생산 방식이다. 부품 생산은 규모의 경제를 추구하고 최종 제품 생산은 고객 주문 접수 후에 시작하는 계획-주문 생산 방식을 통해 반도체/컴퓨터 산업은 제품의 다양성과 제품 수명 주기 단축에 따른 시장 수요 불확실성에 유연하게 대응하면서도 다품종 대량 생산을 통해 공급망의 비용 절감과 고객 서비스 수준 향상을 도모할 수 있게 되었다(Brown et al.[3]).

본 논문은 기업 2가 VMI 계약을 통해 납품하는 동시에 외부에 판매한다는 점에서 주제의 특이성을 갖는다. VMI는 공급업체가 유통업체의 재고 관리를 책임지는 협약으로 1980년대 Wal-Mart와 Proctor and Gamble사가 도입하여 성공적인 성과를 내면서 기업들의 주요한 유통 전략이 되었으며, 최근에는 전자 제조 산업에서도 시장 변동성과 짧은 제품 수명 주기에 효과적으로 대응하기 위해 VMI 전략을 도입하고 있다(Kuk[16]). 한편, 최근의 마케팅 전략 연구는 주문자상표부착 생산 방식과 자가상표부착 생산 방식을 상호 보완하는 융합형 전략이 어느 일방 전략보다 제조 기업의 브랜드 가치 창출에 더욱 효과적일 수 있음을 강조하고 있다(Christopher[5], Fri-

edman[9], Parmigiani[19]).

본 논문의 연구 모형을 도식화 하면 [그림 1]과 같다.



[그림 1] 연구 모형

[그림 1]의 연구 모형은 부품 생산과 수요 통제에 대한 전략적 의사 결정을 요구한다. 예를 들면, 부품 재고를 기업 1의 재고 보충에 과도하게 분배할 경우, 기업 2는 불필요한 재고 비용 지출과 부품 판매에 필요한 재고 확보가 어려워져 기회 손실 비용 부담과 브랜드 강화 측면에서 손해를 볼 수 있다. 부품 판매를 강화할 경우에는 기업 1에 대한 적시 부품 공급에 차질이 생겨 계약 이행의 불확실성을 키울 수 있다. 또한 과도한 부품 생산은 과도한 재고 비용을 야기하고, 반대로 부품 생산이 원활하지 않을 경우 판매 축소로 이어져 기업 2의 수익성을 악화시킬 수 있다.

본 연구 모형은 복수 수요 계층을 갖는 생산 재고 시스템에서 재고 할당과 생산 통제를 연구한 선행 연구들과 밀접한 연관성이 있다. 선행 연구를 분류하기 위해 본 논문에서 사용한 분류 기준은 다음과 같다(<표 1> 참조): 수요 계층(두 계층 또는 일 반화(N)), 재고 부족 처리(지연 주문(B) 또는 기회 손실(L)), 생산 단계(1단계 또는 2단계), 재고 할당 및 생산 정책(고정 값(S) 또는 상태 변수의 함수식(D)), 생산 시간(일정(C) 또는 확률적(P)), 생산 방식(계획 생산 또는 주문 생산). 위 분류 기준을 적용하면 본 논문은 두 수요 계층, 기회 손실, 2단계 생산 방식, 재고 할당 및 생산 정책은 상태 변수의 함수식, 확률적인 생산 시간, 계획 생산과 주문 생

산을 모두 고려한다.

선행 연구들과 비교했을 때 본 연구 모형은 다음과 같은 점들에서 주요한 차이점을 갖는다. 첫째, <표 1>의 선행 연구들은 계층별 수요 분포를 포아송 분포로 가정한다. 그러나 본 논문의 부품 외생 수요는 포아송 분포를 따르지만 기업 1로부터의 부품 수요는 포아송 분포를 따르지 않는다. 왜냐하면, 처리 주문이 존재하는 경우 부품 수요 빈도는 주문 생산 빈도가 되지만 처리 주문이 존재하지 않는 경우 부품 수요 빈도는 주문 수요 빈도가 되기 때문이다. 둘째, <표 1>의 선행 연구에서는 계층별 수요 우선 순위가 계층별 재고 부족 비용의 크기에 의해 결정되고, 비용을 최소화하기 위한 재고 할당이 이루어진다. 그러나 본 논문에서는 계층별 수요 우선 순위가 VMI 공급 계약의 유무에 의해 결정되고, 수익을 최대화하기 위한 재고 할당이 이루어진다. 셋째, 단일 생산 단계를 고려한 <표 1>의 대부분의 선행 연구들과는 달리 본 논문은 두 단계 생산 시스템을 고려한다. 또한, 두 단계 생산 시스템을 연구한 Benjaafar and Elhafsi[1], Benjaafar et

al.[2], ElHafsi[8]는 두 번째 단계의 생산 시간을 고려하지 않는데 반해, 본 논문은 이 시간을 고려하고 있다. 넷째, <표 1>의 선행 연구들에서 고려하고 있는 생산 방식은 계획 생산 방식인데 반해, 본 논문에서는 계획 생산과 주문 생산 방식을 모두 고려한다.

본 논문의 연구 성과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 연구 모형을 마코프 의사 결정 문제로 모형화하고 수치 분석을 통해 최적 부품 생산 및 수요 통제 전략의 함수적 특성을 파악하였다. 둘째, 시스템 파라미터 값들의 변화가 최적 통제 전략의 함수적 특성에 의해 미치는 영향을 분석하였다. 셋째, 휴리스틱 기반의 부품 생산 및 수요 통제 전략을 제안하였다. 넷째, 최적화 모형과 휴리스틱 모형에 대한 수치 분석을 수행한 후 결과 분석을 통해 다양한 전략적 이슈들을 제시하였다.

2. 연구 모형

기업 1의 주문 수요는 포아송 분포를 따르고, 기접수된 주문 건수가 L 이면 이후 발생한 수요는 거절된다. 주문 생산 시간은 지수 분포를 갖는다. 기업 1의 부품 필요 시점은 주문 생산 종료 시점으로 기업 2는 보유 재고를 통해 부품을 공급하며, 이때 R_1 의 매출이 발생한다. 부품이 기업 2에서 기업 1에게 배달되는 과정은 즉각적으로 이루어진다. 주문 생산 종료 시점에 가용 부품 재고가 없는 경우, 기업 2는 즉시 외부에서 구입하여 공급해야 한다. 이 가정은 선행 연구(Carr and Duenyas[4])에서 다루어지고 있다. 부품 외생 수요는 포아송 분포를 따르고, 기업 2의 의사 결정에 의해 수용 또는 거절된다. 부품이 판매되면 매출 R_2 가 발생한다. 부품 생산은 기업 2의 의사 결정에 의해 이루어지며, 생산 시간은 지수 분포를 따른다.

본 논문은 기업 2의 단위 시간당 평균 수익을 최대화하는 부품 생산 및 수요 통제 전략의 구조적 특성을 설명하기 위해 마코프 의사결정 문제(Markov Decision Problem, 이하 MDP로 표기) 모형을 제시

<표 1> 선행 연구 요약

선행연구 (첫 번째 저자만 기술)	수요 계층		재고 부족		생산 단계		재고 생산 정책		생산 시간		생산 방식	
	2	N	B	L	1	2	S	D	C	P	계획	주문
Benjaafar[1]		x		x		x		x		x	x	
Benjaafar[2]	x		x	x		x		x		x	x	
de Vericourt[6]		x	x		x			x		x	x	
Deshpande[7]	x		x		x		x		x		x	
ElHafsi[8]		x		x		x		x		x	x	
Gayon[10]		x	x		x			x		x	x	
Ha[11]		x		x	x			x		x	x	
Ha[12]	x		x		x			x		x	x	
Ha[13]		x		x	x			x		x	x	
Huang[14]		x		x	x			x		x	x	
Ioannidis[15]	x		x	x	x		x			x	x	
Lee[17]		x		x	x		x			x	x	
Melchioris[18]	x			x	x		x		x		x	
본 연구 모형	x			x		x		x		x	x	x

〈표 2〉 주요 용어 정리

용어	용어 설명
$\mu_1^{-1}(\mu_2^{-1})$	주문(부품) 생산 시간의 평균
$\lambda_1(\lambda_2)$	단위 시간당 주문(부품) 수요 빈도
c_H	부품 재고 유지 비용
$R_1(R_2)$	부품 납품(판매) 단가
$c_P(c_B)$	부품 생산(구매) 비용
n_1	지연 주문 크기
n_2	부품 재고 수준
L	기업 1의 고객 주문 최대 수용 크기
(n_1, n_2)	시스템 상태 변수
$v(n_1, n_2)$	상태 변수 (n_1, n_2) 에서 가치 함수
$P(n_1)(S(n_1))$	최적 부품 생산(수요 통제) 함수
γ	상태전이속도, 즉, $\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2$

한다. 최적 정책을 분석하기 위해서는 벨만 방정식을 도출해야 하는데, 단위 시간당 평균 수익 최대화 MDP 모형의 벨만 방정식은 $g + v(i) = \max_{u \in U(i)}$

$\left[c(i, u) + \sum_{j=1}^n p_{ij}^u v(j) \right]$, $i = 1, \dots, n$ 이다. 여기서 i 는 상태 변수, $v(i)$ 는 i 에서 가치 함수 값, g 는 단위 시간당 평균 수익, u 는 i 에 적용된 정책, $U(i)$ 는 i 에 적용 가능한 정책들의 집합, $c(i, u)$ 는 i 에 정책 u 를 적용시켰을 때 기대 수익과 비용, p_{ij}^u 는 정책 u 가 적용되었을 때 i 에서 j 로의 상태 전이 확률이다.

본 MDP 모형의 (n_1, n_2) 에 적용 가능한 정책은 부품의 수요 수용과 생산 여부이다. 이 정책을 (n_1, n_2) 에 적용시켰을 때 기대 비용은 부품의 재고 유지, 구매, 생산 단위 비용이며, 기대 수익은 납품 및 판매를 통한 매출이다, 상태 변수 전이를 일으키는 사건들은 다음과 같다. 첫째, 발생 확률 λ_1/γ 인 주문 수요 사건으로 지연 주문 수가 L 보다 작으면 수용되고, L 이면 거절된다. 둘째, 발생 확률 μ_1/γ 인 주문 생산 사건으로 종료 직후(n_1 은 1 감소), 기업 2는 즉시 부품을 공급하여(n_2 는 1 감소) R_1 의 매출을 올린다. 부품 재고가 없다면 c_B 를 지불하고 부

품을 구입하여 공급한다. 기업 1에서 처리 중인 주문이 없다면 부품 재고에는 변화가 없다. 셋째, 발생 확률 λ_2/γ 인 부품 외생 수요 사건으로 수용해서(n_2 는 1 감소) R_2 의 매출을 올릴지 또는 거절할지에 대한 의사 결정이 요구된다. 넷째, 발생 확률 μ_2/γ 인 부품 생산 사건으로 c_P 비용을 투입하여 부품 한 단위를 생산할지에 대한 의사 결정이 요구된다.

따라서 본 논문의 MDP 모형의 벨만 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 g + v(n_1, n_2) &= \frac{1}{\gamma} [-c_H n_2 + \lambda_1 \{v(n_1 + 1, n_2) \\
 &\times I(n_1 < L) + v(n_1, n_2) I(n_1 = L)\} \\
 &+ \mu_1 \{(v(n_1 - 1, n_2 - 1) + R_1) I(n_1 n_2 > 0) \\
 &+ (v(n_1 - 1, 1, n_2) - c_B) I(n_1 > 0, n_2 = 0) \\
 &+ v(n_1, n_2) I(n_1 = 0)\} \\
 &+ \lambda_2 \max\{v(n_1, n_2), v(n_1, n_2 - 1) + R_2\} \\
 &+ \mu_2 \max\{v(n_1, n_2 + 1) - c_P, v(n_1, n_2)\}].
 \end{aligned} \tag{1}$$

식 (1)에서 $I(\cdot)$ 는 표시 함수를 의미한다.

3. 최적 부품 생산 및 수요 통제 전략의 구조적 특성

식 (1)의 λ_2 와 μ_2 항목으로부터 $P(n_1)$ 과 $S(n_1)$ 을 다음과 같이 정의한다.

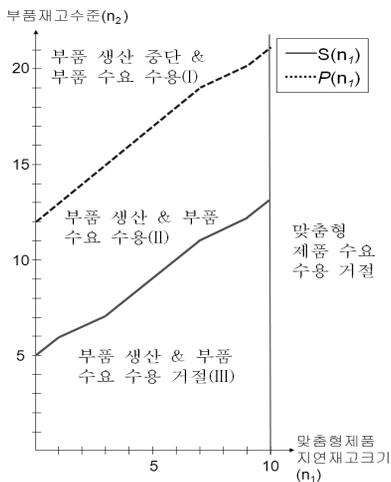
$$P(n_1) := \max \left\{ \begin{array}{l} n_2 : v(n_1, n_2 + 1) - c_P \\ \geq v(n_1, n_2) \end{array} \right\}, \tag{2}$$

$$S(n_1) := \max \left\{ \begin{array}{l} n_2 \geq 1 : v(n_1, n_2) \\ \leq v(n_1, n_2 - 1) + R_2 \end{array} \right\}. \tag{3}$$

$P(n_1)$ 은 n_1 이 주어졌을 때 부품 생산이 유리한 n_2 들 중에서 가장 큰 값, $S(n_1)$ 은 n_1 이 주어졌을 때 부품 수요 거절이 수용보다 유리한 n_2 들 중에서 가

장 큰 값을 의미한다. 따라서 $n_2 \leq P(n_1)$ 이면 부품을 생산하고 부품 수요가 발생했을 때, $n_2 > S(n_1)$ 이면 부품을 판매한다.

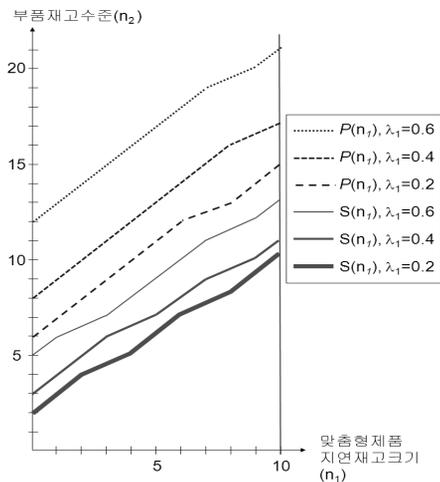
[그림 2]는 $R_1 = 20, R_2 = 25, c_H = 1, c_B = 50, c_P = 10, \lambda_1 = 0.6, \lambda_2 = 0.8, \mu_1 = 1.5, \mu_2 = 1$ 을 이용하여 구한 $P(n_1)$ 과 $S(n_1)$ 을 보여주며, 상태 변수 공간(state space)이 3개의 부분 영역으로 구분됨을 알 수 있다. 예를 들면, (3, 10)에서는 부품을 생산하고 외생 수요를 수용한다. (8, 10)에서는 부품을 생산하고 외생 수요를 거절한다. 이는 현재 시점에 부품 수요를 수용하여 매출을 올리는 것보다 미래 시점에 발생할 기업 1에 대한 부품 공급을 위해 부품 재고를 감소시키지 않아야 함을 알 수 있다. 위 (3, 10)과 (8, 10)의 예에서 보면, 부품 재고가 동일해도 지연 주문 크기에 따라 부품 수요 통제 전략이 달라져야 함을 알 수 있다.



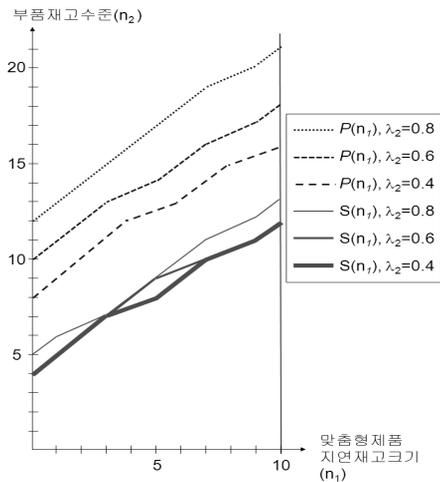
[그림 2] $P(n_1)$ 과 $S(n_1)$ 의 예

[그림 3]과 [그림 4]는 λ_1 과 λ_2 값의 변화가 [그림 2]의 $P(n_1)$ 과 $S(n_1)$ 에 미치는 영향을 보여준다. [그림 3]에서 보면 주문 수요가 감소하면 $P(n_1)$ 과 $S(n_1)$ 은 감소한다. 이는 기업 1로부터 수요가 감소하면 기업 2는 재고 부담을 낮추기 위해 부품 생산을 축소시킴과 동시에 줄어드는 매출을 보전하기

위해 부품 수요 수용을 확대해야 함을 의미한다. 그러나 [그림 3]의 결과는 λ_1 이 감소할 때 $P(n_1)$ 과 $S(n_1)$ 의 감소 크기를 정확히 판단하는 것은 용이하지 않음을 보여준다. [그림 4]를 보면 부품 외생 수요가 감소하면 $P(n_1)$ 과 $S(n_1)$ 은 감소한다. 이는 기업 2가 재고 부담을 낮추기 위해 부품 생산을 축소하고 부품 수요 수용을 확대해야 함을 의미한다. 그러나 수요 감소로 인해 줄어드는 매출을 보전하기 위한 수요 수용 확대 폭이 [그림 3]과 비교해서



[그림 3] λ_1 의 영향



[그림 4] λ_2 의 영향

크지 않음은 주목할 점이다([그림 4]에서 $\lambda_1 = 0.4$ 와 $\lambda_1 = 0.2$ 일 때, $S(n_1)$ 에는 거의 변화가 없음). 위 민감도 분석 결과에 따르면, 기업 2는 λ_2 의 변화에는 수요 통제보다 부품 생산에 미치는 영향을 파악해야 하며, λ_1 의 변화에는 부품 생산 및 수요 통제 모두에 미치는 영향을 분석하는 것이 요구된다. 부품 생산과 수요 통제에 대한 민감도 분석은 제 6장에서 자세히 다룬다.

4. 휴리스틱 부품 생산 및 수요 통제 전략

이번 장에서는 현실 문제에 적용 가능한 휴리스틱 부품 생산 및 수요 통제 전략을 개발한다. 본 휴리스틱은 비 MDP 모형에도 적용 가능하다.

<휴리스틱 1>

선행 연구(Carr and Duenyas[4], Ha[11-13])를 보면 최적 전략은 상태 변수의 전환 곡선(switching curve)으로 주어지고 이 전환 곡선은 상태 변수에 대해 증가 또는 감소한다. [그림 2]의 $P(n_1)$ 과 $S(n_1)$ 은 n_1 에 대해 증가 함수이므로 휴리스틱 1에서는 일차 선형 함수인 $n_2 = n_1 + F_P$ 와 $n_2 = n_1 + F_S$ 을 $P(n_1)$ 과 $S(n_1)$ 에 대한 근사 함수로 사용한다. 따라서 휴리스틱 1의 수행도는 두 일차 선형 함수들의 추정 정확도에 의해 결정된다. Carr and Duenyas [4]는 상태 변수들의 일차 선형 함수로 정의된 휴리스틱이 전환 곡선으로 주어지는 최적 전략을 효과적으로 대체할 수 있음을 수치 실험을 통해 보이고 있다. 휴리스틱 1은 다음과 같다.

- $n_2 \leq n_1 + F_P$ 이면 부품을 생산하고
 $n_2 > n_1 + F_P$ 이면 생산 안함
- $n_2 > n_1 + F_S$ 일 때 부품 수요가 발생하면 수용하고, $n_2 \leq n_1 + F_S$ 이면 거절

F_P 와 F_S 는 음이 아닌 정수 값이다. 휴리스틱 1은 기업 1의 주문 지연 크기 정보를 필요로 한다는

점에서 통합 관점의 전략이라고 할 수 있다. 휴리스틱 1의 벨만 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 g^{(F_P, F_S)} + v^{H_1}(n_1, n_2) &= \frac{1}{\gamma} & (4) \\
 &\times [-c_H n_2 + \lambda_1 \{v^{H_1}(n_1 + 1, n_2)I(n_1 < L) \\
 &+ v^{H_1}(n_1, n_2)I(n_1 = L)\} \\
 &+ \mu_1 \{v^{H_1}(n_1 - 1, n_2 - 1) + R_1\}I(n_1 n_2 > 0) \\
 &+ (v^{H_1}(n_1 - 1, n_2) - c_B)I(n_1 > 0, n_2 = 0) \\
 &+ v^{H_1}(n_1, n_2)I(n_1 = 0)\} \\
 &+ \lambda_2 \{v^{H_1}(n_1, n_2)I(n_2 \leq n_1 + F_S) \\
 &+ (v^{H_1}(n_1, n_2 - 1) + R_2)I(n_2 > n_1 + F_S)\} \\
 &+ \mu_2 \{(v^{H_1}(n_1, n_2 + 1) - c_p)I(n_2 \leq n_1 + F_P) \\
 &+ v^{H_1}(n_1, n_2)I(n_2 > n_1 + F_P)\}
 \end{aligned}$$

$g^{(F_P, F_S)}$ 는 F_P 와 F_S 가 주어졌을 때 휴리스틱 1의 단위 시간당 평균 수익이다.

<휴리스틱 2>

두 번째 휴리스틱은 주문 지연 크기에 대한 정보를 필요로 하지 않고, 고정 완충(buffer) 부품 재고를 이용하여 통제하는 방식이다.

- $n_2 \leq I_P$ 이면 부품을 생산하고 $n_2 > I_P$ 이면 부품 생산 중단
- $n_2 > I_S$ 일 때 부품 수요가 발생하면 이를 수용하고, $n_2 \leq I_S$ 이면 수용 거절

I_P 와 I_S 는 음이 아닌 정수 값이다. 휴리스틱 2의 벨만 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 g^{(I_P, I_S)} + v^{H_2}(n_1, n_2) &= \frac{1}{\gamma} & (5) \\
 &\times [-c_H n_2 + \lambda_1 \{v^{H_2}(n_1 + 1, n_2)I(n_1 < L) \\
 &+ v^{H_2}(n_1, n_2)I(n_1 = L)\} \\
 &+ \mu_1 \{v^{H_2}(n_1 - 1, n_2 - 1) + R_1\}I(n_1 n_2 > 0) \\
 &+ (v^{H_2}(n_1 - 1, n_2) - c_B)I(n_1 > 0, n_2 = 0)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+v^{H_2}(n_1, n_2)I(n_1=0)\} \\
 &+\lambda_2 \{v^{H_2}(n_1, n_2)I(n_2 \leq I_S) + (v^{H_2}(n_1, n_2-1) \\
 &+R_2)I(n_2 > I_S)\} \\
 &+\mu_2 \{(v^{H_2}(n_1, n_2+1)-c_p)I(n_2 \leq I_P) \\
 &+v^{H_2}(n_1, n_2)I(n_2 > I_P)\}
 \end{aligned}$$

여기서 $g^{(I_P, I_S)}$ 는 I_P 와 I_S 가 주어졌을 때 휴리스틱 2의 단위 시간당 평균 수익이다.

5. 수행도 평가 알고리즘

비 MDP 모형에서 최적 정책과 휴리스틱 수행도를 비교하는 것이 불가능하므로 본 논문은 MDP 모형에서 휴리스틱의 효과성을 검증한다. 식 (1), 식 (4), 식 (5)의 g , $g^{(F_P, F_S)}$, $g^{(I_P, I_S)}$ 는 각각의 Value Iteration(VI) 방정식을 정의하고, VI 알고리즘을 적용시켜 구하게 된다. 본 논문은 휴리스틱 1의 VI 방정식을 제시한다. 최적화 모형과 휴리스틱 2의 VI 방정식은 유사하게 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Tv^{H_1^k}(n_1, n_2) &= \frac{1}{\gamma} [-c_H n_2 \\
 &+ \lambda_1 \{v^{H_1^k}(n_1+1, n_2)I(n_1 < L) + v^{H_1^k}(n_1, n_2)I(n_1 = L)\} \\
 &+ \mu_1 \{v^{H_1^k}(n_1-1, n_2-1) + R_1\}I(n_1 n_2 > 0) \\
 &+ (v^{H_1^k}(n_1-1, n_2) - c_B)I(n_1 > 0, n_2 = 0) \\
 &+ v^{H_1^k}(n_1, n_2)I(n_1 = 0)\} \\
 &+ \lambda_2 \{v^{H_1^k}(n_1, n_2)I(n_2 \leq n_1 + F_S) \\
 &+ (v^{H_1^k}(n_1, n_2-1) + R_2)I(n_2 > n_1 + F_S)\} \\
 &+ \mu_2 \{(v^{H_1^k}(n_1, n_2+1) - c_p)I(n_2 \leq n_1 + F_P) \\
 &+ v^{H_1^k}(n_1, n_2)I(n_2 > n_1 + F_P)\}
 \end{aligned} \tag{6}$$

식 (6)에서 $v^{H_1^k}$ 는 알고리즘의 k 번째 단계에서 구한 가치 함수 v^{H_1} 의 추정치이다. 다음에 제시된 VI 알고리즘은 특정 오차 범위 내에서 v^{H_1} 와 $g^{(F_P, F_S)}$ 를

구하게 된다.

<Value Iteration 알고리즘>

알고리즘의 종료 조건을 ϵ 으로 둔다.

1) 초기화 단계 : 각 상태 변수 (n_1, n_2) 에 대해

$$v^{H_1^0}(n_1, n_2) = 0 \text{로 둔다.}$$

2) 가치 반복 단계 : $v^{H_1^k}$ 에 식 (6)을 적용하여 $Tv^{H_1^k}$ 를 구한다.

3) 종료 검증 단계 :

$$d_{\min}^k = \min_{(n_1, n_2) \in \Gamma} \{Tv^{H_1^k}(n_1, n_2) - v^{H_1^k}(n_1, n_2)\}$$

$$d_{\max}^k = \max_{(n_1, n_2) \in \Gamma} \{Tv^{H_1^k}(n_1, n_2) - v^{H_1^k}(n_1, n_2)\}.$$

$d_{\max}^k - d_{\min}^k \geq \epsilon$ 이면 $v^{H_1^{k+1}}(n_1, n_2) = Tv^{H_1^k}(n_1, n_2)$ 로 놓고 단계 2로 간다. $d_{\max}^k - d_{\min}^k < \epsilon$ 이면 평가 단계로 간다.

4) 평가 단계 : v^{H_1} 를 $Tv^{H_1^k}$ 로, $g^{(F_P, F_S)}$ 를 $(d_{\min}^k + d_{\max}^k)/2$ 로 추정한다.

기업 1의 주문 최대 허용개수는 L 이기 때문에

<표 3> 수치 실험을 위한 예제 구성

그룹	예제	세부 내용		
1	1~5	$R_1 < R_2$	$\mu_1 > \mu_2$	λ_1 0.1씩 증가
2	6~10	$R_1 < R_2$	$\mu_1 > \mu_2$	λ_2 0.1씩 증가
3	11~15	$R_1 > R_2$	$\mu_1 > \mu_2$	λ_1 0.1씩 증가
4	16~20	$R_1 > R_2$	$\mu_1 > \mu_2$	λ_2 0.1씩 증가
5	21~25	$R_1 < R_2$	$\mu_1 < \mu_2$	λ_1 0.1씩 증가
6	26~30	$R_1 < R_2$	$\mu_1 < \mu_2$	λ_2 0.1씩 증가
7	31~35	$R_1 > R_2$	$\mu_1 < \mu_2$	λ_1 0.1씩 증가
8	36~40	$R_1 > R_2$	$\mu_1 < \mu_2$	λ_2 0.1씩 증가
9	41~45	$R_1 < R_2$	$\mu_1 > \mu_2$	R_1 5씩 증가
10	46~50	$R_1 < R_2$	$\mu_1 > \mu_2$	R_2 2.5씩 증가
11	51~55	$R_1 < R_2$	$\mu_1 > \mu_2$	c_H 0.5씩 증가
12	56~60	$R_1 < R_2$	$\mu_1 > \mu_2$	c_P 2씩 증가
13	61~65	$R_1 < R_2$	$\mu_1 > \mu_2$	c_B 10씩 증가

$n_1 \leq L$ 이다. 또한 $n_2 > n_1 + F_S$ 이면 부품 수요가 수용되기 때문에 $n_2 \leq L + F_S$ 이다. 따라서 상태 변수 공간 $\Gamma = \{(n_1, n_2); n_1 \leq L, n_2 \leq L + F_S\}$ 은 유한 집합이 되고, Γ 내의 모든 상태 변수들은 시스템 전이에 의해 상호 교류(communicate)하게 된다. 따라서 마코프 체인은 irreducible하게 되어 unichain이 된다. 따라서 Puterman[20]의 Theorem 8.5.4에 의해 VI 알고리즘은 유한 단계안에 $g^{(F_P, F_S)}$ 를 구할 수 있다.

$g^{(F_P, F_S)}$ 를 최대화시키는 F_P 와 F_S 를 F_P^* 와 F_S^* 라고 하면(즉, $(F_P^*, F_S^*) = \operatorname{argmax}_{(F_P, F_S)} \{g^{(F_P, F_S)}\}$), 이 값들은 F_P 와 F_S 의 가능한 값들의 조합에 대해 VI 알고리즘을 반복적으로 수행하는 2차원 탐색을 통해 구할 수 있다.

6. 수치 실험

이번 장에서는 최적 정책과 휴리스틱 1과 휴리스틱 2의 수행도를 비교한다. <표 4>~<표 6>은 수치 실험 결과를 보여주며, 이 표들에서 열 15의 %는 $(g - g^{(F_P^*, F_S^*)})/g \times 100$, 열 19의 %는 $(g - g^{(I_P^*, I_S^*)})/g \times 100$ 을 나타낸다. <표 4>~<표 6>의 총 65개의 예제들은 13개 그룹으로 구성되었다(<표 3> 참조). 본 수치 실험에서 $L=10$, $\epsilon=0.001$ 으로 고정시켰다.

<표 4>~<표 6>의 결과는 기업 2가 기업 1과 통합적으로 전략을 수립하면, 독자적으로 수립할 때보다 더 큰 수익을 기대할 수 있음을 보여준다. 휴리스틱 1은 <표 4>의 18개 예제에서 최적 정책과 동일한 수행도를 보이고 두 예제에서 0.17%와

<표 4> $\mu_1 > \mu_2$ 일 때 수치 실험 결과

	R_1	R_2	c_H	c_P	c_B	λ_1	μ_1	λ_2	μ_2	g	$g^{(F_P^*, F_S^*)}$	F_P^*	F_S^*	%	$g^{(I_P^*, I_S^*)}$	I_P^*	I_S^*	%
1	20	25	1	10	40	0.4	1.5	0.6	1	5.75	5.74	5	1	0.17	5.56	6	2	3.30
2	20	25	1	10	40	0.5	1.5	0.6	1	5.40	5.40	7	2	0.00	5.08	7	3	5.93
3	20	25	1	10	40	0.6	1.5	0.6	1	4.63	4.63	8	3	0.00	4.31	9	4	6.91
4	20	25	1	10	40	0.7	1.5	0.6	1	3.42	3.42	10	4	0.00	3.10	11	5	9.36
5	20	25	1	10	40	0.8	1.5	0.6	1	1.60	1.59	13	6	0.63	1.34	14	7	16.25
6	20	25	1	10	40	0.6	1.5	0.4	1	3.49	3.49	6	2	0.00	3.18	7	3	8.88
7	20	25	1	10	40	0.6	1.5	0.5	1	4.11	4.11	7	3	0.00	3.78	8	4	8.03
8	20	25	1	10	40	0.6	1.5	0.6	1	4.63	4.63	8	3	0.00	4.31	9	4	6.91
9	20	25	1	10	40	0.6	1.5	0.7	1	5.04	5.04	9	3	0.00	4.72	10	4	6.35
10	20	25	1	10	40	0.6	1.5	0.8	1	5.33	5.33	11	3	0.00	5.01	12	4	6.00
11	25	20	1	10	40	0.4	1.5	0.6	1	5.61	5.61	5	2	0.00	5.36	5	2	4.46
12	25	20	1	10	40	0.5	1.5	0.6	1	5.93	5.93	6	2	0.00	5.63	6	3	5.06
13	25	20	1	10	40	0.6	1.5	0.6	1	5.95	5.95	7	3	0.00	5.63	8	4	5.38
14	25	20	1	10	40	0.7	1.5	0.6	1	5.56	5.56	9	4	0.00	5.23	10	5	5.94
15	25	20	1	10	40	0.8	1.5	0.6	1	4.62	4.62	11	6	0.00	4.36	12	7	5.63
16	25	20	1	10	40	0.6	1.5	0.4	1	5.24	5.24	6	3	0.00	4.91	7	4	6.30
17	25	20	1	10	40	0.6	1.5	0.5	1	5.63	5.63	6	3	0.00	5.30	7	4	5.86
18	25	20	1	10	40	0.6	1.5	0.6	1	5.95	5.95	7	3	0.00	5.63	8	4	5.38
19	25	20	1	10	40	0.6	1.5	0.7	1	6.21	6.21	8	3	0.00	5.89	9	4	5.15
20	25	20	1	10	40	0.6	1.5	0.8	1	6.42	6.42	8	3	0.00	6.10	9	4	4.98
% 평균값														0.04				6.60

〈표 5〉 $\mu_1 < \mu_2$ 일 때 수치 실험 결과

	R_1	R_2	c_H	c_P	c_B	λ_1	μ_1	λ_2	μ_2	g	$g^{(F_r^*, F_s^*)}$	F_P^*	F_S^*	%	$g^{(I_r^*, I_s^*)}$	I_P^*	I_S^*	%
21	20	25	1	10	40	0.4	1	0.6	1.5	8.33	8.26	3	0	0.84	7.95	4	1	4.56
22	20	25	1	10	40	0.5	1	0.6	1.5	8.72	8.60	3	0	1.38	8.36	4	1	4.13
23	20	25	1	10	40	0.6	1	0.6	1.5	9.00	8.76	3	0	2.67	8.64	5	1	4.00
24	20	25	1	10	40	0.7	1	0.6	1.5	9.25	8.77	4	0	5.19	8.87	6	2	4.11
25	20	25	1	10	40	0.8	1	0.6	1.5	9.36	8.56	4	0	8.55	9.09	6	2	2.88
26	20	25	1	10	40	0.6	1	0.4	1.5	7.03	6.76	2	0	3.84	6.67	4	1	5.12
27	20	25	1	10	40	0.6	1	0.5	1.5	8.06	7.81	3	0	3.10	7.65	4	1	5.09
28	20	25	1	10	40	0.6	1	0.6	1.5	9.00	8.76	3	0	2.67	8.64	5	1	4.00
29	20	25	1	10	40	0.6	1	0.7	1.5	9.94	9.70	4	0	2.41	9.51	6	1	4.33
30	20	25	1	10	40	0.6	1	0.8	1.5	10.80	10.54	5	0	2.41	10.39	6	2	3.80
31	25	20	1	10	40	0.4	1	0.6	1.5	7.70	7.67	2	0	0.39	7.38	3	1	4.16
32	25	20	1	10	40	0.5	1	0.6	1.5	8.64	8.52	3	0	1.39	8.26	4	1	4.40
33	25	20	1	10	40	0.6	1	0.6	1.5	9.55	9.31	3	0	2.51	9.10	4	2	4.71
34	25	20	1	10	40	0.7	1	0.6	1.5	10.33	9.89	3	0	4.26	9.99	5	2	3.29
35	25	20	1	10	40	0.8	1	0.6	1.5	10.97	10.21	3	0	6.93	10.66	6	2	2.83
36	25	20	1	10	40	0.6	1	0.4	1.5	8.34	8.13	2	0	2.52	7.89	4	1	5.40
37	25	20	1	10	40	0.6	1	0.5	1.5	8.94	8.68	3	0	2.91	8.52	4	2	4.70
38	25	20	1	10	40	0.6	1	0.6	1.5	9.55	9.31	3	0	2.51	9.10	4	2	4.71
39	25	20	1	10	40	0.6	1	0.7	1.5	10.11	9.84	3	0	2.67	9.72	5	2	3.86
40	25	20	1	10	40	0.6	1	0.8	1.5	10.66	10.35	4	0	2.91	10.26	5	2	3.75
% 평균값														3.10			4.19	

0.63%의 %차이를 보인다. 또한, 휴리스틱 1은 <표 6>의 12개 예제에서 최적 정책과 동일한 수행도를 보인다. 특히 예제 54와 55에서 휴리스틱 1의 %차이는 각각 0%와 2.8%인데 반해 휴리스틱 2의 %차이는 15.1%와 24.94%로 휴리스틱 1과 큰 차이를 보인다. 예제 54와 55는 다른 예제들에 비해 부품 재고 유지 비용이 2.5배와 3배인데, 부품 재고 유지 비용이 클수록 기업 2는 기업 1과의 통합 전략 구현을 통해 수익성 개선을 도모할 수 있음을 알 수 있다.

휴리스틱 2는 $\mu_1 < \mu_2$ 일 때 $\lambda_1 = 0.7, 0.8$ 인 4개 예제에서만 휴리스틱 1보다 더 나은 결과를 보였다. 이 예제들에 대한 $P(n_1)$ 과 $S(n_1)$ 은 기울기가 0에 가까운 형태가 되는데 이는 일차 선형 함수의 통제

전략을 갖는 휴리스틱 1보다는 고정 완충 재고의 통제 전략을 갖는 휴리스틱 2에 더 가깝다고 볼 수 있다. 따라서 부품 생산 속도가 주문 생산 속도보다 빠르고, 기업 1의 자원 활용도(λ_1/μ_1)가 높은 경우, 부품 재고 수준만을 고려하는 통제 전략이 더 효율적일 수 있음을 주목할 필요가 있다. 그룹 1과 그룹 5, 그룹 2와 그룹 6, 그룹 3과 그룹 7, 그룹 4와 그룹 8의 결과를 비교하면, 휴리스틱 1은 $\mu_1 < \mu_2$ 일 때보다 $\mu_1 > \mu_2$ 일 때, 휴리스틱 2는 $\mu_1 > \mu_2$ 일 때보다 $\mu_1 < \mu_2$ 일 때 더 효율적이었다. 따라서 통합 전략의 필요성은 주문 생산 속도가 부품 생산 속도보다 빠른 상황에서 더욱 요구된다. 반대의 경우 기업 2가 통합 전략을 통해 기대할 수 있는 수익성 도모 효과는 크지 않을 수 있음을 주목할 필요가 있다.

〈표 6〉 비용/수익 파라미터에 대한 민감도 분석

	R_1	R_2	c_H	c_P	c_B	λ_1	μ_1	λ_2	μ_2	g	$g^{(F_P^*, F_S^*)}$	F_P^*	F_S^*	%	$g^{(I_P^*, I_S^*)}$	I_P^*	I_S^*	%
41	20	25	1	10	40	0.58	1.4	0.6	1	4.93	4.91	8	2	0.41	4.56	9	4	7.51
42	25	25	1	10	40	0.58	1.4	0.6	1	7.83	7.81	8	2	0.26	7.46	9	4	4.73
43	30	25	1	10	40	0.58	1.4	0.6	1	10.73	10.71	8	2	0.19	10.36	9	4	3.45
44	35	25	1	10	40	0.58	1.4	0.6	1	13.63	13.61	8	3	0.15	13.26	9	4	2.71
45	40	25	1	10	40	0.58	1.4	0.6	1	16.52	16.51	8	3	0.06	16.16	9	4	2.18
46	20	25	1	10	40	0.43	1.4	0.6	1	5.75	5.74	6	2	0.17	5.49	6	2	4.52
47	20	27.5	1	10	40	0.43	1.4	0.6	1	6.85	6.85	6	1	0.00	6.61	7	2	3.50
48	20	30	1	10	40	0.43	1.4	0.6	1	7.98	7.98	6	1	0.00	7.74	7	2	3.01
49	20	32.5	1	10	40	0.43	1.4	0.6	1	9.14	9.14	7	1	0.00	8.87	7	2	2.95
50	20	35	1	10	40	0.43	1.4	0.6	1	10.31	10.31	7	1	0.00	10.01	7	2	2.91
51	25	30	1	10	40	0.5	1.4	0.6	1	10.07	10.06	7	2	0.10	9.71	8	3	3.57
52	25	30	1.5	10	40	0.5	1.4	0.6	1	7.95	7.93	6	1	0.25	7.52	6	2	5.41
53	25	30	2	10	40	0.5	1.4	0.6	1	6.3	6.3	5	1	0.00	5.74	5	2	8.89
54	25	30	2.5	10	40	0.5	1.4	0.6	1	4.88	4.88	4	1	0.00	4.14	5	2	15.16
55	25	30	3	10	40	0.5	1.4	0.6	1	3.57	3.47	4	1	2.80	2.68	4	2	24.93
56	25	30	1	10	40	0.5	1.4	0.6	1	10.07	10.06	7	2	0.10	9.71	8	3	3.57
57	25	30	1	12	40	0.5	1.4	0.6	1	8.24	8.24	7	2	0.00	7.88	8	3	4.37
58	25	30	1	14	40	0.5	1.4	0.6	1	6.42	6.42	7	2	0.00	6.06	8	3	5.61
59	25	30	1	16	40	0.5	1.4	0.6	1	4.62	4.62	6	2	0.00	4.27	7	3	7.58
60	25	30	1	18	40	0.5	1.4	0.6	1	2.84	2.83	6	2	0.35	2.49	7	3	12.32
61	25	30	1	10	40	0.6	1.4	0.6	1.2	9.95	9.94	9	2	0.10	9.51	10	3	4.42
62	25	30	1	10	50	0.6	1.4	0.6	1.2	9.54	9.54	9	2	0.00	9.13	10	4	4.30
63	25	30	1	10	60	0.6	1.4	0.6	1.2	9.27	9.25	9	3	0.22	8.83	11	4	4.75
64	25	30	1	10	70	0.6	1.4	0.6	1.2	9.02	9.02	10	3	0.00	8.54	11	4	5.32
65	25	30	1	10	80	0.6	1.4	0.6	1.2	8.79	8.79	10	3	0.00	8.26	11	5	6.03
% 평균값														0.21				6.15

<시간 파라미터에 대한 민감도 분석>

λ_1 의 증가는, F_P^* , F_S^* , I_P^* , I_S^* 를 증가시키는데 부품 생산은 늘리고 부품 수요 수용은 감소시켜야 함을 보여준다. 증가폭은 $\mu_1 < \mu_2$ 일 때보다 $\mu_1 > \mu_2$ 일 때 더 컸다. 특히, $R_1 > R_2$ 인 그룹 3~그룹 4보다 $R_1 < R_2$ 인 그룹 1~그룹 2의 증가폭이 더 컸다. λ_2 가 증가하면, F_P^* 과 I_P^* 는 증가하나 F_S^* 과 I_S^* 에는 거의 변화가 없는데, 부품 생산은 늘리고 수요 통제에는 변화가 없음을 알 수 있다. 증가폭은 $\mu_1 < \mu_2$

일 때보다 $\mu_1 > \mu_2$ 일 때 더 크며, $R_1 > R_2$ 인 그룹 3~그룹 4보다 $R_1 < R_2$ 인 그룹 1~그룹 2에서 증가폭이 더 컸다. $\mu_1 < \mu_2$ 일 때 F_P^* , F_S^* , I_P^* , I_S^* 보다 $\mu_1 > \mu_2$ 일 때 F_P^* , F_S^* , I_P^* , I_S^* 가 더 컸다. 이는 부품 생산 속도가 빨라지면 생산을 줄이거나 수요 수용을 확대해야 함을 보여준다. 또한, λ_1 의 증가에 따른 F_P^* , F_S^* , I_P^* , I_S^* 의 증가 폭은 $\mu_1 < \mu_2$ 보다 $\mu_1 > \mu_2$ 일 때 더 컸다. 그룹 1과 그룹 3, 그룹 2와 그룹 4, 그룹 5와 그룹 7, 그룹 6과 그룹 8을 비교하면

F_p^* 과 I_p^* 는 $R_1 > R_2$ 일 때보다 $R_1 < R_2$ 일 때 더 크고, F_s^* 과 I_s^* 는 $R_1 < R_2$ 일 때보다 $R_1 > R_2$ 일 때 더 컸다. 이는 판매 가격이 납품 단가보다 높은 경우, 반대인 경우보다 부품 생산을 더 확대하고 부품 수요를 더 많이 수용해야 함을 보여준다. 또한, λ_1 의 증가에 따른 F_p^* , F_s^* , I_p^* , I_s^* 의 증가 폭은 $R_1 > R_2$ 일 때보다 $R_1 < R_2$ 일 때 더 컸다.

<비용/수익 파라미터에 대한 민감도 분석(<표 6> 참조)>

R_1 이 증가하면, 휴리스틱 1과 2의 %차이는 감소하고, F_s^* 는 증가하는 경향이 있지만 F_p^* , I_p^* , I_s^* 에는 변화가 없다. 납품 단가가 증가하는 경우 휴리스틱 1은 부품 생산 확대 대신, 수요 통제를 강화함으로써 더 많은 부품 재고를 주문 생산에 할당하는 것을 알 수 있다. 납품 단가 증가가 I_p^* , I_s^* 에 영향을 미치지 못한 원인은 휴리스틱 2가 기업 1과는 독립적인 통제 전략이기 때문인 것으로 추정된다. R_2 가 증가하면, 휴리스틱 1과 2의 %차이는 감소하였다. 또한, 휴리스틱 1의 경우 F_p^* 는 증가하고 F_s^* 는 감소하는데, 부품 생산을 확대하고 수요 수용 확대를 통해 수익 증대를 도모하는 것을 알 수 있다. 휴리스틱 2의 경우 I_p^* 는 증가하고 I_s^* 에는 변화가 없는데 부품 수요 통제는 변화를 주지 않고 부품 생산만 확대하는 것을 알 수 있다.

c_H 가 증가하면 휴리스틱 2의 %차이는 증가하고, F_p^* , F_s^* , I_p^* , I_s^* 는 감소하였다. 즉, 휴리스틱 1과 2 모두 부품 재고 비용 부담을 줄이기 위해 부품 생산은 축소하고 수요 수용은 확대하는 것을 알 수 있다. c_p 가 증가하면 F_p^* 와 I_p^* 는 감소하지만 F_s^* 와 I_s^* 에는 변화가 없다. 즉, 휴리스틱 1과 2 모두 부품 생산은 축소하지만, 수요 통제는 동일하게 가져감을 알 수 있다. c_B 가 증가하면 휴리스틱 2의 %차이는 증가하고, F_p^* , F_s^* , I_p^* , I_s^* 도 증가하였다. 즉, 부품 구매 비용이 증가할 경우, 휴리스틱 1과 2 모두

부품 생산을 확대하고 수요 통제를 강화함으로써 주문 생산을 위한 부품 재고를 더 많이 확보하는 것을 알 수 있다.

7. 결 론

본 논문은 공급 계약을 통해 기업 1이 필요로 하는 부품을 공급하고 있는 기업 2가 외부 수요가 존재하는 상황에서 부품 생산 통제와 부품 재고 할당을 통합적 차원에서 관리하는 문제를 제안하고 통제 전략의 특성들과 전략적 이슈들을 분석하였다. 경쟁 기반과 협업 기반 생산 방식의 융합이 어느 일방의 전략보다는 제조 기업의 브랜드 가치 창출에 더욱 효과적일 수 있음을 보여주는 최근 마케팅 전략 연구는 기업들에게 시사하는 바가 크다. 본 논문의 연구 모형은 반도체 칩과 컴퓨터처럼 제품의 수명 주기가 짧고 시장 변동성이 큰 산업뿐만 아니라 OEM 방식을 통한 사업 지속성 확보 노력에 비해 독자 브랜드 판매 구축을 위한 전략적 활동에는 상대적으로 열악한 중소기업에 적합한 연구 모형으로 볼 수 있다. 수리적 분석을 위해 제약이 따르는 가정들을 반영하였으나 향후 연구에서는 이 가정들을 현실 문제에 적용 가능한 수준으로 완화한 분석을 수행하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Benjaafar, S. and M. Elhafsi, "Production and inventory control of a single product assemble-to-order system with multiple customer classes," *Management Science*, Vol.52(2006), pp.1896-1912.
- [2] Benjaafar, S., M. Elhafsi, and T. Huang, "Optimal control of a production-inventory system with both backorders and lost sales," *Naval Research Logistics*, Vol.57(2010), pp.252-265.
- [3] Brown, A., H. Lee, and R. Petrakian, "Xilinx improves its semiconductor supply chain us-

- ing product and process postponement," *Interfaces*, Vol.30(2000), pp.65-80.
- [4] Carr, S. and I. Duenyas, "Optimal admission control and sequencing in a make-to-stock/make-to-order production system," *Operations Research*, Vol.48(2000), pp.709-720.
- [5] Christopher, M., *Logistics and Supply Chain Management : Creating Value-Adding Networks*, Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 2005.
- [6] de Vericourt, F. and Y. Karaesmen, "Stock allocation for a capacitated supply chain," *Management Science*, Vol.48(2002), pp.1486-1501.
- [7] Deshpande, V., M.A. Cohen, and K. Donohue, "A threshold inventory rationing policy for service-differentiated demand classes," *Management Science*, Vol.49(2003), pp.683-703.
- [8] Elhafsi, M., "Optimal integrated production and inventory control of an assemble-to-order system with multiple non-unitary demand classes," *European Journal of Operational Research*, Vol.194(2009), pp.127-142.
- [9] Friedman, L.G., *Go To Market Strategy : Advanced Techniques and Tools for Selling More Products to More Customers More Profitably*, Butterworth-Heinemann, Woburn, MA, 2002.
- [10] Gayon, J.P., F. de Vericourt, and F. Karaesman, "Stock rationing in a make-to-stock queue with information on the production status," unpublished, 2004.
- [11] Ha, A.Y., "Inventory rationing in a make-to-stock production system with several demand classes and lost sales," *Management Science*, Vol.43(1997a), pp.1093-1103.
- [12] Ha, A.Y., "Stock rationing policy for a make-to-stock production system with two priority classes and backordering," *Naval Research Logistics*, Vol.44(1997b), pp.457-472.
- [13] Ha, A.Y., "Stock rationing in an $M/E_k/1$ make-to-stock queue," *Management Science*, Vol.46(2000), pp.77-87.
- [14] Huang, B. and S. Iravani, "A make-to-stock system with multiple customer classes and batch ordering," *Operations Research*, Vol.56(2008), pp.1312-1320.
- [15] Ioannidis, S., "An inventory and order admission control policy for production systems with two customer classes," *International Journal of Production Economics*, Vol.131(2011), pp.663-673.
- [16] Kuk, G., "Effectiveness of vendor-managed inventory in the electronics industry : determinants and outcomes," *Information and Management*, Vol.41(2004), pp.645-654.
- [17] Lee, J. and Y. Hong, "A stock rationing policy in a (s, S)-controlled stochastic production system with 2-phase coxian processing times and lost sales," *International Journal of Production Economics*, Vol.83(2003), pp.299-307.
- [18] Melchior, P., R. Dekker, and M.J. Kleijn, "Inventory rationing in a (s, Q) inventory model with lost sales and two demand classes," *Journal of the Operational Research Society*, Vol.51(2000), pp.111-122.
- [19] Parmigiani, A., "Why do firms both make and buy? an investigation of concurrent sourcing," *Strategic Management Journal*, Vol.28(2007), pp.285-311.
- [20] Puterman, M., *Markov Decision Processes*, John Wiley and Sons, 2005.