

경쟁적 공급사슬 환경에서 생산 원가 분석 및 경제적 주문량의 변화를 통한 생산자/수요자 협상 모델

Manufacturer/Buyer Coordinating Model under Analyzing Manufacturing Cost and Adjusting Economic Order Quantity in Competitive Market.

최윤락, 한주윤, 정봉주
연세대학교 산업시스템공학과
rock1945@yonsei.ac.kr

Abstract

단일 기업의 내부적인 공급 사슬 환경이 아닌 정보의 공유가 없는 일정한 수의 생산자들과 수요자들로 이루어진 경쟁적인 공급 사슬 환경에서는 각각의 생산자와 수요자들은 상대방의 가격에 대한 정보만을 가지고 의사결정을 하는 것이 일반적이다. 이러한 공급 사슬 환경에서 자신의 이익을 최대화시키며, 경쟁적인 상대방과의 협상을 효율적으로 하기 위해서는 자신의 시스템에 대한 정확한 수리적인 모델이 필요하다. 수요자의 경우, 시장 판매 가격은 제품의 구매 원가와 관련이 있으며 제품의 구매 원가는 제품의 수요에 커다란 영향을 미친다. 이러한 제품 수요의 변화는 수요자가 생산자에게 요구하는 경제적 주문량과 밀접한 관련성을 지닌다. 또한 생산자의 경우, 생산 공정의 변화가 생산 원가에 영향을 미치기 때문에 수요자가 주문하는 경제적 주문량의 변화에 따라 정확한 생산 원가의 산출이 필요하다.

본 논문에서는 생산자와 수요자의 측면에서 각각의 이익을 최대화할 수 있는 수리적인 모델을 제시한다. 수요자 측면에서는 경쟁 시장 환경 기반의 수요량과 시장 가격을 바탕으로 최적의 주문량 및 가격을 결정하는 모델을 제시하고, 생산자 측면에서는 수요자의 주문량을 만족시켜주기 위해 생산시스템의 성능 요소를 반영한 생산 원가 산출 모델을 이용하여 납기일 내에 수요자의 주문량을 만족시키기 위한 최적 생산 원가를 산출하는 모델을 제시한다. 제시한 두 가지 모델을 이용하여 생산자와 수요자는 제품에 대한 가격 협상을 통해 각각의 이익을 증진시킬 수 있는 의사결정이 가능하다.

1. 서론

생산 기술과 정보 기술의 발전은 급속한 생산 환경의 변화를 가져왔다. 또한 인터넷과

정보 기술의 발달은 공급사슬 내에서 정보의 공유를 확대시켰고, 이로 인하여 공급사슬 내부 생산자의 생산량 및 생산원가의 결정에 관한 문제들을 비교적 정확하게 결정할 수 있게 되었다. 그러나, 단일 기업의 내부적인 공급 사슬 환경이 아닌 정보의 공유가 없는 일정한 수의 생산자들과 수요자들로 이루어진 경쟁적인 공급사슬 환경에서는 각각의 생산자와 수요자들은 상대방의 가격에 대한 정보만을 지니고 의사결정을 하는 것이 일반적이다.

경쟁적 시장 환경하에 있는 수요자의 경우, 수요자의 판매가격에 따라 제품에 대한 시장의 수요량이 변화한다. 따라서, 수요자의 생산자에 대한 경제적 주문량 또한 이에 따라 변화해야 한다. 즉, 수요자는 시장의 수요 변화에 따라 결정된 시장 가격과 경제적 주문량을 생산자에게 제시한다. 생산자들은 수요자가 제시한 가격, 주문량, 납기 약속일에 대한 정보만을 가지고 수요자의 주문에 즉각적으로 응대하기 위해서는 “고객의 주문량을 납기일까지 생산할 수 있는가?”와 “해당 주문에 대한 실제적인 생산 비용은 얼마인가?”와 같은 두 가지 질문에 대한 해답을 즉각적으로 도출해내야 한다. 첫 번째 질문은 일반적인 스케줄링 문제의 해답과 거의 유사하기 때문에 빠른 대답이 용이하지만, 두 번째 질문의 경우 생산 시스템의 성능 및 재고비용 등을 반영한 생산 원가의 산출이 이루어져야 하기 때문에 즉각적인 대답이 매우 어렵다. 또한 첫 번째 질문에 대한 해답을 제공하는 것은 고객의 주문을 받느냐 못 받느냐의 가부의 결정과 관련된 간단한 부분이지만, 두 번째 질문에 대한 해답은 수요자와의 가격 협상과 관련된 매우 복잡하고 민감한 부분이다. 수요자들은 생산자에게 주문을 할 경우 이러한 문제들에 대해 매우 즉각적인 대답을 원하기 때문에(Moodie, 1999) 생산자는 질문에 대한 해답을 즉각적으로 산출해낼 수 있어야 한다. 생산자가 이러한 문제에 대한 대답을 즉각적으로

할 수 있다면, 새로운 생산 원가의 도출이 가능하고, 새로운 생산 원가는 생산자의 판매원가에 반영되어 다시 수요자측에 제시된다. 수요자는 생산자에게 제시 받은 새로운 생산원가를 바탕으로 새로운 판매가격을 생성하고 그 판매가격을 이용하여 시장의 수요량을 예측하여 새로운 경제적 주문량을 결정하게 된다.

본 연구에서는 경쟁적 공급사슬환경에서 생산원가 분석 모델과 경제적 발주량의 변화를 통한 생산자와 수요자의 협상 모델을 제시하였다. 수요자의 경우 경제적 주문량을 결정할 때 재고비용 및 주문비용을 고려하여 경쟁적 시장 환경하에서 판매 가격에 따른 시장 수요의 변화에 따라 실시간으로 경제적 주문량을 결정한다. 또한 생산자는 실제적으로 생산에 소요되는 비용인 직접 노무비, 직접 재료비, 직접 공정비 및 주문 접수 후 생산 전까지의 원자재 재고비와 생산 후 납기일까지의 완제품 재고비로 구성된 직접 재고비로 이루어진 최적 생산 원가 추정 모델을 이용하여 수요자의 주문량을 납기일까지 생산할 경우의 최적 생산 원가를 결정한다. 제안된 최적 생산 원가 추정 모델은 생산 기간 동안의 생산 시스템의 상황과 성능을 반영하고 있어서 생산 원가의 산출과 주문의 확약에 대해 정확한 결과를 보여준다.

2. 기존 연구 현황

기존 연구 현황은 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 먼저 경쟁적 시장 환경에서의 수요량에 따른 시장 가격 결정 및 경제적 주문량을 결정하는 문제에 대한 연구가 있다. 경쟁적 시장 환경 분야의 경우 미시 경제학에서 많이 연구되어 왔으며, 경제적 주문량 결정에 관해서는 일반적으로 널리 알려진 EOQ 모델이 대표적이다. Guth(1997)는 경쟁적 시장 환경하에서 판매자의 이익을 최대화 하는 새로운 모델을 제안하였으며, Lovell (2003)은 경쟁적 시장 환경하에서 경제적 생산량 모델을 이용하여 생산량을 결정하고 시장 가격을 결정하는 연구를 했다. 본 연구에서는 Lovell의 연구에서 제시한 모델을 기반으로 게임이론을 첨가한 수요자의 경제적 주문량 결정 모델을 제안하였다. Bylka(2003)는 공급자와 생산자의 측면에서 경쟁적인 시장 환경과 협조적인 시장환경에서의 생산량 및 분배량을 결정하는 연구를 했다.

다음으로 생산 원가 계산에 대한 연구는 원가 모델의 적용 방식에 따라 일반적인 생산 공정에 적용한 범용적인 모델을 개발하는 연구 분야와 특정 생산 공정에 맞도록 수정된 모델

을 개발하는 연구 분야로 나뉘어 진다. 생산 공정에 범용적으로 적용이 가능한 생산 원가를 추정하는 모델에 대한 연구로는 Bloch(1992), Dance(1996), Aderoba(1997) 및 Boons(1998) 등의 연구가 있다. Aderoba(1997)는 자신이 제안한 일반적인 원가 추정 모델이 job-shop에 적용 가능하도록 활동 영역을 네 가지로 나누고 각 영역에 주로 해당하는 활동을 이용하여 모델을 구성하였다. Boons(1998)는 프로세스의 선 후행 관계 및 BOM 구조를 통한 생산량의 결정에 대한 행렬을 기반으로 한 공정 모델을 통해 복잡한 생산 시스템에 대한 원가 산출 모델을 개발하였다. Boons(1998)의 연구는 생산 공정의 프로세스를 중심으로 모델이 구성되었기 때문에 자세한 생산 스케줄과 생산 순서를 고려할 수 있으며, 중장기 생산 계획과 통합된 원가 추정이 가능하다는 장점이 있다. 특정 공정에 대한 생산 원가 모델에 대한 연구로는 Ongs(1995), Chang(1997) 및 Scheffler(1998) 등의 연구가 있다. 각 생산 공정의 특성을 반영한 모델이 개발되었으며, 이러한 연구는 실제적인 산업 현장의 적용성이 높기 때문에 많이 이루어지고 있다. 생산 원가의 산출과 관련하여 위와 같이 다양한 측면에서 여러 가지 접근 방식으로 많은 연구가 이루어지고 있지만, 최근 대두되고 있는 ATP(Available to Promise)의 개념에 입각하여 고객인 수요자와 실시간으로 협상이 가능하도록 생산 시스템의 성능을 이용하여 제품의 원가 추정과 생산 시기 및 생산량을 결정해주는 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서, 본 연구에서는 판매가격에 따른 경제적 주문량 결정 모델과 생산원가 산출을 위해 생산 시스템의 성능 요소를 고려한 모델을 제시한다.

3. 수요자 협상 모델

본 논문에서는 경쟁적 시장 환경하에서 시장 판매가격에 의해 결정되는 연간 수요량을 바탕으로 전통적인 경제적 주문량 모델을 이용하여 수요자의 주문량과 가격을 생산자에 제시하는 모델을 제안한다.

3.1 전통적인 경제적 주문량 모델

수요자는 연간 판매량 D 를 만족시키기 위하여 주문량 Q 를 주문한다. 이 경우 주문비용과 연간 재고 유지비용이 발생한다. 경제적 주문량은 이 두 비용의 합을 최소화하는 주문량으로 결정된다.

$$C = KD + \frac{Q}{2}(H) + \frac{D}{Q}(S) \quad (1)$$

- C : 연간 총 비용
- Q : 주문량
- H : 제품당 재고 유지비용
- D : 연간 수요
- S : 주문비용
- K : 제품당 구매 비용

경제적 주문량은 다음 식(2)와 같이 결정된다.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad (2)$$

3.2 경쟁적 시장 환경

경쟁적 시장 환경하에서 시장 수요함수는 게임이론에서의 동종 동질의 상품을 판매하는 쿠르노 게임(Cournot 복점모델)에서 n 개의 기업이 동종 동질의 제품을 취급하고 있는 경쟁적 시장으로 모델의 확장이 가능하다. n 개의 기업이 동종 동질의 제품을 취급하고 있는 경쟁적 시장 하에서의 시장 수요함수는 다음 식(3)과 같다.

$$P = a - b \sum_{i=1}^n d_i \quad (3)$$

- P: 시장 수요에 대한 판매 가격
- d_i : 기업 i 에 대한 시장 수요
- a, b: 경쟁 시장 하에서 가정 변수

기업의 한계 비용을 m 이라 하면 기업 i 의 총 비용은 $TC_i = md_i$ 이다. 기업 i 의 총 이윤은 다음 식(4)와 같다.

$$\Pi_i = Pd_i - md_i = [a - b(d_1 + d_2 + \dots + d_n)]d_i - md_i \quad (4)$$

위의 식(4)를 d_i 에 관하여 편미분하고 정리하면 다음 식(5)가 도출된다.

$$d_i = \frac{1}{2} \left\{ \frac{a-m}{b} - d_1 - \dots - d_{i-1} - d_{i+1} - \dots - d_n \right\}, \quad \text{단, } i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

n 개의 기업이 동일한 비용함수를 가지므로 n 개의 기업은 동일한 수요량을 가진다. 동일한 수요량을 d^* 라 가정하여 식(5)에 대입하면

$$d^* = \frac{a-m}{b(n+1)} \quad (6)$$

이 된다. 따라서 전체 수요량 D 는 식 (7)과 같이 결정된다.

$$D = \frac{n(a-m)}{b(n+1)} \quad (7)$$

전체 수요량 D 를 식 (3)에 대입하면 시장가격 P 는 다음 식(8)과 같다.

$$P = a - \frac{n(a-m)}{(n+1)} \quad (8)$$

이 된다.

결국 n 개의 기업이 무한으로 늘어나게 되면 시장 가격과 각 개별 기업의 수요량은

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P = m \quad (9)$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} d = \frac{a-m}{b} \quad (10)$$

이 된다.

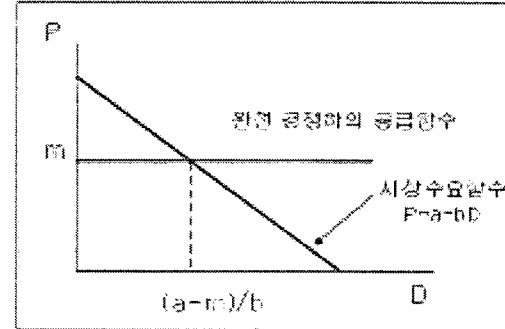


그림 1. 완전 경쟁하의 균형

즉, 시장 판매 가격은 제품의 구매 원가에 의해 결정된다. 결국 위의 그림1. 에서와 같이 제품의 구매 원가에 의해 결정된 시장 판매 가격은 제품의 수요량을 결정하는데 직접적인 영향을 미친다.

3.3 경쟁적 시장 환경에서의 경제적 주문량 모델

기존의 경제적 주문량 모델에서는 수요율이 일정하고 확실히 알려져 있다고 가정한다. 따라서, 일단 결정된 경제적 주문량은 새로운 대안이 제시되었을 경우 이 대안으로 인해 변화하는 수요량에 대해서 주문량을 조정하는 것은 불가능하다. 본 논문에서는 전통적인 경제적 주문량과 경쟁적 시장 환경하에서의 가격 결정과 수요량 결정 모델 식 (2), (9)와 (10)을 이용하여 새로운 구매 원가에 의해 변화된 수요량을 바탕으로 한 경제적 주문량을 결정하는 식 (11)을 제안한다.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2(a-m)S}{Hb}} \quad (11)$$

4. 생산자 협상 모델

4.1 생산 원가 추정 모델

생산 원가 추정 모델은 크게 네 가지 부분

으로 이루어져 있다. 네 가지 부분은 직접 노무비, 직접 공정비, 직접 재료비 및 재고비이며, 재고비는 원자재의 재고비용과 완제품의 재고비용으로 나뉜다. 네 가지 비용에 대해 독립적으로 원가 산출 모델이 모델링 되었지만, 네 가지 모델은 서로 연관성을 지니고 있다.

본 연구에서 제안하는 모델에 대한 기본적인 가정은 다음과 같다. 모델의 기반이 되는 생산 시스템은 연속적인 공정이며, 단순 BOM (Bill of Material) 구조를 지니는 제품으로 원자재의 투입은 첫 번째 기계에서만 일어난다. 생산 시스템에서 일반적으로 언급되는 기계의 개별 공정시간(cycle time)은 기계에서 원자재가 가공되는 작업시간(processing time)과 동일하며, 재공의 경우 각 기계 앞에서 대기하는 원자재를 의미한다. 생산량(throughput)의 경우 기계가 단위 시간(하루)동안 생산하는 제품 혹은 재공의 총량을 의미한다. 전체 생산 기간은 고객의 주문을 받은 시점에서 고객이 제시한 납기일까지이다. 각 기계의 시간당 운영 비용(operation cost)도 상이하며, 각 기계는 시간당 임금이 상이한 작업자(w)를 상이하게 지니고 있다. 마지막으로 각 기계는 제품을 하나 생산할 때마다 고정 비용(setup cost)이 존재한다. 마지막으로 원자재의 구입비용이 존재하며, 재공의 경우 각 기계 별로 하루 단위의 재공 비용이 존재한다.

직접 노무비 모델: 직접 노무비 모델은 각 기계에 할당된 작업자의 전체 작업 시간에 작업시간당 노무비를 곱한 방식으로 이루어진다. 시간당 임금이 상이한 개별 작업자의 비용을 따로 계산할 수 있으며, 실제적으로 작업이 이루어진 양만큼 노무비가 계산되므로 작업량이 많아질수록 직접 노무비가 증가한다. 직접 노무비 모델에 대한 식은 다음 식 (12)과 같다.

$$\sum_{t=1}^d \sum_{m=1}^l \sum_{w=1}^k tpt_{tm} \cdot lc_{mw} \quad (12)$$

tpt_{tm} : 기간 t 에서 기계 m 의 전체 공정시간
 lc_{mw} : 기계 m 에서 작업자 w 의 노무비

직접 운영비 모델: 직접 운영비 모델은 변동비용인 각 기계의 시간당 운영비와 고정비용인 생산량에 따른 준비비용으로 이루어져 있다. 직접 노무비와 마찬가지로 생산시간이 증가하고, 생산량이 많아질수록 직접 운영비가 증가한다. 직접 운영비 모델에 대한 식은 다음 식 (13)와 같다.

$$\sum_{t=1}^d \sum_{m=1}^l (tpt_{tm} \cdot oc_m + TH_{tm} \cdot sc_m) \quad (13)$$

TH_{tm} : 기간 t 에서 기계 m 의 생산량

oc_m : 기계 m 의 운영비

sc_m : 기계 m 의 고정비

직접 재료비 모델: 직접 재료비 모델은 재공 비용과 원자재 구입 비용으로 이루어진다. 생산 시스템에서 유지하고 있는 재공이 많을수록 비용이 증가한다. 전체적인 원자재의 구입량으로 구매 비용을 구하는 것이 아니라 실제적으로 생산이 이루어진 완제품에 해당 하는 원자재의 양만큼만 구매된 비용을 산출 하였다. 직접 재료비 모델에 대한 식은 다음 식 (14)과 같다.

$$\sum_{t=1}^d \left[\sum_{m=1}^l (WIP_{tm} - TH_{tm}) \cdot wc_m + TH_{t,(m-1)} \cdot rm_{pc} \right] \quad (14)$$

WIP_{tm} : 기간 t 에서 기계 m 의 재공

wc_m : 기계 m 의 재공비

rm_{pc} : 원자재 구매비

직접 재고비 모델: 직접 재고비 모델은 생산이 일어나기 전에 대기하고 있는 원자재에 대한 재고비와 생산이 이루어진 완제품에 대한 재고비로 이루어진다. 따라서, 주문량에 대한 생산이 늦게 끝날 경우 원자재의 재고비가 증가하고, 생산이 일찍 끝날 경우 완제품에 대한 재고비가 증가한다. 직접 재고비 모델에 대한 식은 다음 식 (15)와 같다. 그림 2는 직접 재고비와 재공비용의 관계에 대한 간단한 개념도이다.

$$\sum_{t=1}^d TH_{t,(m-1)} \cdot fgfc(d-t) + \sum_{t=1}^d mq_t \cdot rmhc \quad (15)$$

$fgfc$: 완제품의 재고 유지비

mq_t : 기간 t 에서 원자재량

$rmhc$: 원자재 재고 유지비

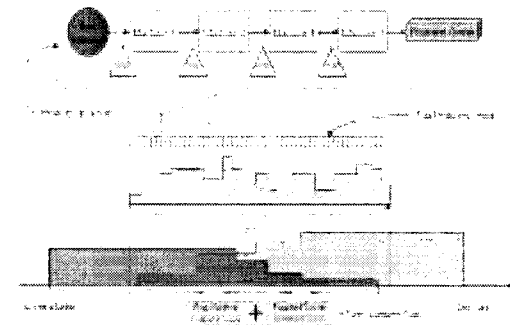


그림 2. 직접 재고 유지비용 와 재공 유지비용

4.2 최적 생산 원가 모델

최적 생산 원가 모델은 앞 장에서 논의한 생산 원가 추정 모델을 기반으로 다음과 같이 구성된다. 식 (16)는 최적 생산 원가 모델의 목적함수이며, 이것은 네 가지 생산 원가 추정 모델을 합한 것이다. 식 (17)~(23)까지는 제약 조건이다. 식 (17)은 선행 기계의 생산량이 후행 기계의 재공이 되는 균형 방정식이며, 그림 3. 은 이와 관련된 생산 시스템의 개념이다. 식 (18)은 마지막 기계의 생산량만큼 다음 기간에 투입되는 원자재를 의미하며, 식 (19) 투입되는 원자재에 의해 감소하는 전체 원자재를 의미한다. 식 (20)는 전체 생산량이 주문량을 만족시키는 조건이며, 식 (21)은 각 기계의 매일 매일의 공정시간에 대한 생산 용량에 대한 제한 조건이다. 이 부분의 경우 이미 설정된 다른 작업에 의해 기계의 생산용량이 결정되어 있을 수 있다고 가정 하였다. (선행 작업이 존재) 식 (22)은 각 기계의 하루 동안의 작업량과 한 제품에 대한 작업시간을 이용하여 각 기계의 생산량을 결정해주는 제약조건이다. 마지막으로 식 (23)은 특정 기계의 생산량은 그 기계가 가지고 있는 재공을 초과하여 생산할 수 없는 제약조건이다.

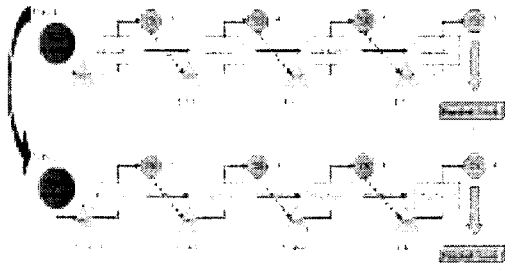


그림 3. 생산시스템의 구조

$$\min \sum_{t=1}^d \left\{ \sum_{m=1}^k \left(\sum_{w=1}^k \text{ipt}_{tm} \cdot \text{ic}_{mw} + \text{pt}_{tm} \cdot \text{oc}_m + \text{TH}_{tm} \cdot \text{sc}_m + (\text{WIP}_{tm} - \text{TH}_{tm}) \cdot \text{wc}_m \right) + \text{TH}_{1,(m=d)} \cdot \text{rmpc} + \text{TH}_{1,(m=d)} \cdot \text{fgho}(d-t) + \text{mq}_1 \cdot \text{rnhq} \right\} \quad (16)$$

subject to

$$\text{WIP}_{tm} = \text{WIP}_{(t-1),m} + \text{TH}_{(t-1),(m-1)} - \text{TH}_{(t-1),m} \quad (17)$$

$$\text{WIP}_{1,(m=1)} = \text{TH}_{(1-1),(m=1)} \quad (18)$$

$$\text{mq}_t = \text{mq}_{t-1} - \text{WIP}_{1,(m=1)} \quad (19)$$

$$\text{oq} = \sum_{t=1}^d \text{TH}_{1,(m=d)} \quad (20)$$

$$0 \leq \text{ipt}_{tm} \leq \max_ \text{ipt}_{tm} \quad (21)$$

$$\text{TH}_{tm} = \frac{\text{ipt}_{tm}}{\text{pt}_m} \quad (22)$$

$$\text{TH}_{tm} \leq \text{WIP}_{tm} \quad (23)$$

- t : 기간 ($0 \leq t \leq d$)
- m : 공정중인 기계 ($0 \leq m \leq l$)
- w : 작업자 ($0 \leq w \leq k$)
- oq : 주문량
- $\max_ \text{ipt}_{tm}$: 기간 t 에서 기계 m 의 최대 총 공정시간
- pt_m : 기계 m 의 공정 시간

5. 생산자/수요자 협상

본 논문에서 제안한 생산자/수요자 협상 모델을 이용하여 협상하는 과정은 다음과 같다.

표1. 생산자/수요자 협상 과정

수요자 측면	생산자 측면
Step0-1. 경쟁적 시장의 균형에 의해 결정된 수요량을 이용하여 산출된 경제적 주문량, 판매가격 및 납기일을 생산자 측에 제시.	Step0-2. 제안된 최적생산 원가모델에 의해 산출된 가능 납기일과 생산 원가 산출. 납기 내 생산가능하면 Go to Step1. 납기 내 생산불가능하면 Go to Step3.
Step1. 납기일 내 생산가능 -생산원가/구매원가 ≤ 1 수요자측에 납기 약속. -생산원가/구매원가 > 1 수요자측에 새로운 구매원가제시. (새로운 대안) Go to Step2.	
Step2. 생산자 측에서 제시한 새로운 대안 (구매가격)에 의해 결정된 시장 수요량을 이용하여 산출된 경제적 주문량, 판매가격 및 납기일을 생산자 측에 제시. Go to Step0-2.	
Step3. 납기일 내 생산 불가능 -생산원가/구매원가 ≤ 1 수요자측에 납기 내 생산가능량 제시. Go to Step4-1. -생산원가/구매원가 > 1 협상결렬. (새로운 대안 필요) Go to Step4-2.	
Step4-1. 생산자 측에서 제시한 새로운 대안 (납기 내 생산량)에서 부족한 주문량을 새로운 생산자와 협상.	Step4-2. 새로운 수요자와 협상.

우선 수요자와 생산자의 제안에 필요한 값들을 산출한 후 수요자의 주문량을 생산자가 납기 내에 생산 가능하고 생산원가가 구매원가보다 작을 경우, 즉시 납기 약속을 하고 생산원가가 구매원가보다 클 경우에는 수요자측에 새로운 구매가격을 제시한다. 수요자는 새로운 대안을 이용하여 새로운 주문량, 구매가격 및 납기일을 산출한다. 납기 내 생산 불가능한 경우에는 생산자는 생산원가가 구매원가보다 작

을 경우, 납기 내 생산 가능량을 수요자측에 제안하고, 생산원가가 구매원가보다 클 경우에는 새로운 수요자와 협상한다.

6. 수치 예제

다음과 같이 시장 수요량 다른 두 개의 수요자는 표2. 과 같다.

표2. 시장 수요 함수 파라 미터

	a	b	H	S
수요자 1	6000	1	10	200
수요자 2	10000	1	10	200

위의 표를 이용하여 3장에서 제안한 수요자 협상 모델에 의해서 다음 표 3. 와 같이 구매가격, 경제적 주문량 및 납기일을 산출해 낼 수 있다.

표3. 생산자에 대한 수요자 제안 정보

	m	K	D	Q	납기일
수요자 1	1900	1800	4100	405	37 일
수요자 2	1900	1800	8100	569	25 일

수요자 협상 모델에 의해 산출된 구매가격, 경제적 주문량 및 납기일 등은 다음의 표 4. ~ 9. 와 같은 비용과 공정시간을 가지는 생산자에게 제시된다. 매 기간의 각 기계 별 최대 공정시간은 5~10 사이의 값을 가진다.

표4. 각 기계 별 공정 비용

	기계 1	기계 2	기계 3	기계 4
작업자 1	400	500	400	500
작업자 2	400	500	500	500
작업자 3	0	500	500	500
작업자 4	0	300	0	0
작업자 5	0	500	0	0

표5. 각 기계 별 제공 유지비

	기계 1	기계 2	기계 3	기계 4
제공비	1	3	2	4

표6. 각 기계 별 고정비용

	기계 1	기계 2	기계 3	기계 4
고정비	10	11	10	11

표7. 각 기계 별 운영비

	기계 1	기계 2	기계 3	기계 4
운영비	300	270	300	250

표8. 원자재 및 완제품의 재고 및 구입비용

원자재의 구입비	1
원자재의 재고비	0.1
완제품의 재고비	0.9

표9. 각 기계 별 공정 시간

	기계 1	기계 2	기계 3	기계 4
공정시간	2.2	2.3	2.1	2.4

4장에서 제안한 생산자 협상 모델을 이용하여 다음과 같은 결과를 산출해 낼 수 있다.

표10. 수요자1의 제안에 대한 기계 별 생산량

	기계1	기계2	기계3	기계4
1	0	21	0	23
2	0	9	0	7
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	1	0
12	0	0	14	1
13	1	0	14	14
14	14	1	15	14
15	14	14	17	15
16	15	14	14	17
17	17	15	11	14
18	14	17	19	11
19	11	14	17	18
20	19	11	14	17
21	17	18	11	14
22	14	17	16	11
23	11	14	14	16
24	18	11	17	14
25	14	18	17	17
26	17	14	16	8
27	8	17	19	16
28	16	8	16	18
29	18	16	8	18
30	18	18	16	8
31	8	16	17	16
32	16	8	19	17
33	17	16	8	19
34	19	17	16	8
35	0	19	17	16
36	0	0	19	17
37	0	0	0	19

표11. 수요자1의 제안에 대한 기계 별 재공량

	기계1	기계2	기계3	기계4
1	30	30	30	30
2	25	9	51	7
3	7	0	50	0
4	0	0	50	0
5	0	0	50	0
6	0	0	50	0
7	0	0	50	0
8	0	0	50	0
9	0	0	50	0
10	0	0	50	0
11	0	0	50	0
12	0	0	59	1
13	1	0	35	14
14	14	1	31	14
15	14	14	17	15
16	15	14	16	17
17	17	15	14	14
18	14	17	12	11
19	11	14	17	18
20	18	11	14	17
21	17	18	11	14
22	14	17	12	11
23	11	14	17	16
24	18	11	17	14
25	14	16	11	17
26	17	14	21	8
27	8	17	19	16
28	16	8	13	18
29	18	16	8	18
30	18	18	16	8
31	8	16	15	16
32	16	8	19	17
33	17	16	8	19
34	19	17	16	8
35	0	19	17	16
36	0	0	19	17
37	0	0	0	19

표10. 은 수요자1의 주문량을 최적의 원가로 납기일 내에 생산해 내기 위한 생산자의 각 기계의 매일 생산량을 나타내고 있다. 생산원

가를 줄이기 위해 납기일에 맞추어 생산이 일어난다. 이 결과는 서론에서 생산자에게 제기되었던 질문 중에 하나인 고객의 주문을 납기 내에 생산이 가능한지에 대한 해답이 될 수 있다. 또한 이 결과값은 생산 스케줄로 사용될 수 있다. 표11. 는 수요자의 주문량을 최적 원가로 납기일 내에 생산해 내기 위한 각 기계별의 제공량을 나타내고 있다.

표12. 수요자2의 제안에 대한 납기내 기계별 최대생산량 표13. 수요자2의 제안에 대한 기계 별 최대 생산 제공량

기계1	기계2	기계3	기계4	기계1	기계2	기계3	기계4		
1	9	21	20	23	1	30	30	30	30
2	18	18	21	27	2	23	18	31	27
3	19	18	19	21	3	27	18	28	21
4	21	17	26	19	4	21	19	27	19
5	19	19	17	24	5	19	23	18	26
6	24	21	12	19	6	24	23	20	19
7	19	23	16	12	7	19	26	29	12
8	12	22	15	16	8	12	22	36	16
9	16	12	25	15	9	16	12	43	15
10	15	16	16	25	10	15	16	30	25
11	25	15	17	16	11	25	15	30	16
12	16	19	18	17	12	16	25	28	17
13	17	21	20	18	13	17	22	29	18
14	18	18	17	20	14	18	18	30	20
15	20	14	17	17	15	20	18	31	17
16	17	24	23	17	16	17	24	28	17
17	17	15	26	23	17	17	17	23	23
18	23	19	18	26	18	23	19	18	26
19	26	23	19	18	19	26	23	19	18
20	18	23	19	19	20	18	26	23	19
21	19	21	17	19	21	19	21	27	19
22	14	19	18	17	22	19	19	31	17
23	0	14	27	18	23	17	14	32	18
24	0	0	19	27	24	18	0	19	27
25	0	0	0	19	25	27	0	0	19

표12. 는 수요자2의 주문량을 생산자가 표14. 의 수요자2의 제안의 결과와 같이 납기 내에 만족시켜주지 못하기 때문에 수요자2가 제시한 납기일 내의 최대 생산량을 산출하기 위해 생산자가 생산시스템을 최대로 가동했을 때의 각 기계 별 생산량이다. 표13. 은 납기내 최적원가로 최대 생산을 하기 위한 각 기계 별 제공량을 나타낸다.

표14. 는 표10. 과 표12. 의 생산량으로 생산했을 때의 최적화된 총생산원가이다. 4장에서 제시한 생산자 원가 모델의 목적함수 값이다. 이 결과값은 서론에서 생산자에게 제기되었던 질문 중에 두 번째인 해당 주문에 대한 실제적인 생산 비용은 얼마인가에 대한 해답이 될 수 있다. 생산자는 수요자의 주문에 대해 표14. 와 같은 결과값을 가지고 협상할 수 있다. 즉, 수요자1의 주문량에 대해서는 납기일 내에 생산이 가능하지만 생산원가가 수요자의 구매원가보다 높으므로 새로운 구매원가를 수요자측에 제시하게 되고, 수요자2에 대해서는 납기 내

생산이 불가능하므로 납기 내 생산 가능량을 수요자측에 제시한다.

표14. 생산자/수요자 협상 정보

	총 생산 원가	개당 생산원가	생산원가 /구매원가	결과
수요자 1 제안에 대해	757122	1869.43	1.03	새로운 대안(원가) 제시
수요자 2 제안에 대해	납기 내 생산 불가능 납기 내 생산 가능량(492 개) 및 원가 제시(1900 원)			새로운 대안 필요

따라서, 수요자측은 생산자로부터 제시 받은 새로운 대안에 대해 협상하기 위해 다음 표 15. 과 같이 $m=2000$ 일 때의 새로운 구매가격, 경제적 주문량 및 납기일을 산출한다.

표15. 수요자의 새로운 대안

	m	K	D	Q	납기일
수요자1	2000	1900	4000	400	36 일
수요자2	2000	1900	8000	566	25 일

수요자1의 경우 생산자가 제시한 새로운 생산원가를 수용하기 위한 새로운 구매원가(1900)에 의해 시장가격(2000) 또한 상승하였다. 그러나 시장 가격의 상승은 시장 수요량은 감소하였지만 다음 표16. 에서와 같이 수요자1은 순이익이 계속 발생하였다. 따라서, 수요자1은 생산자의 새로운 제안을 받아들이고 생산자는 납기 약속을 한다. 그러나, 수요자2의 경우에는 새로운 구매원가를 수용하기 위해 시장가격을 상승시켰으나 시장의 수요는 생산자의 납기 내 생산 가능량으로 완전히 만족시킬 만큼 줄어들지 않았다. 그러나, 생산자의 생산원가(1900)와 수요자의 구매원가(1900)가 같아짐으로써 수요자는 생산자의 납기 내 생산 가능량을 주문하고 나머지 주문량은 새로운 생산자와 협상한다.

표16. 총 이익의 변화

	대안	수요자	생산자	총 이익
수요자 1 의 제안	기존안	405950	-284696	121254
	수정안	396000	135086	531086
수요자 2 의 제안	기존안	N/A	804308	N/A
	수정안	0	637170	637170

수요자1의 순이익은 위의 표16. 과 같이 새로운 대안으로는 감소하지만 생산자의 순이익이 증가함으로써 전체적으로 순이익이 증가하였다. 또한, 수요자2의 기존 제시 안은 생산자의 측면에서는 실행 불가능 하였지만 수요자와의 협상을 통해 협상 가능하고, 생산자와 수요자는 새로운 이익을 창출해 낼 수 있다.

7. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 수요자와 생산자 측면을 고려하여 모델을 제안하였다. 수요자 측면으로, 경쟁적 시장 환경하에서 전통적인 경제적 주문량 모델과 시장 환경에 따른 수요량의 변화를 바탕으로 경제적 주문량과 구매 가격을 결정할 수 있는 모델을 제안하였고, 생산자 측면에서는 생산 시스템의 성능 요소를 바탕으로 최적 생산 원가를 산출하고, 납기일을 파악할 수 있는 모델을 제안하였다.

수요자측면에서 제안한 모델을 이용하여 현실적인 경제적 주문량 및 구매가격을 생산자측에 제시하며, 이는 경쟁적 시장 환경하에서의 생산자와의 협상에서 전략적 대안이 된다. 생산자 측면에서는 최적 생산원가 모델에서 산출된 생산원가와 수요자측으로부터 제시 받은 구매가격과의 비교를 통해 납기확약 여부를 판단하거나 새로운 구매가격과 생산량의 제시를 통해 수요자측과의 협상이 가능하다.

기존의 연구에서는 수요자 측면에서 경제적 주문량 결정 시 재고비와 주문비만을 고려하고 있지만, 본 연구에서는 구매 원가의 변화에 따라 수요량이 변화함으로써 구매원가가 고려된 경제적 주문량을 결정할 수 있다. 이는 생산자가 제시한 새로운 대안에 대해 협상이 가능하게 한다. 또한, 생산자의 측면에서는 기존에는 생산시스템의 변화요소를 고려하고 있지 않기 때문에 납기확약이 불가능하였지만 본 논문에서 제안한 최적 생산 원가 모델은 생산 시스템의 성능 요소를 고려하여 실시간으로 납기 확약이 가능하다. 이는 생산자가 수요자와의 협상이 가능하도록 제품의 원가 추정과 생산 시기 및 생산량을 결정해줄 수 있다. 즉 공급사슬내의 각 객체들은 협상을 통해 각각의 이익 증진이 가능하다.

향후 연구 방향으로는 공급사슬 내에 여러 생산자와 수요자가 존재할 때 각각의 대안들이 각각의 생산자와 수요자의 이익을 최대화하고 수요자들의 주문량과 생산자들의 생산량을 결정하는 통합 최적화 모델을 개발함으로써 실시간으로 생산자와 수요자가 협상을 통해 각각의

주문량과 생산량을 최적화하고 이익을 최대화할 수 있다.

Acknowledgement

본 연구는 한국 과학 재단 지정 인천대학교 동북아전자물류센터의 지원에 의한 것임.

References

1. Aderoba, A. (1997). A generalized cost-estimation model for job shops. *International Journal of Production Economics*, 53(3), 257-263.
2. Bloch, C., & Ranganathan, R. (1992). Process based cost modeling. *IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology*, 15(3), 288-294.
3. Boons, A.N.A.M. (1998). Product costing for complex manufacturing systems. *International Journal of Production Economics*, 55(3), 241-255.
4. Bylka, S. (2003). Competitive and cooperative policies for the vendor-buyer system. *International Journal of Production Economics*, 81-82, 533-544
5. Chang, Y.S., Tjiang, C.K.G., & Besant, C.B. (1997). Cost analysis for semiconductor wafer fabrication. *Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Industrial Engineering* (pp. 1113-1118).
6. Dance, D.L., Floria, T.D., & Jimenez, D.W. (1996). Modeling the cost of ownership of assembly and inspection. *IEEE Transactions on Components Packaging & Manufacturing Technology Part C*, 19(1), 57-60.
7. Güth, W., & Huck, S. (1997). A new justification of monopolistic competition. *Economics Letters*, Volume 57, Issue 2, 177-182
8. Lovell, M.C. (2003). Optimal lot size, inventories, prices and JIT under monopolistic competition. *International Journal of Production Economics*, 81-82, 59-66
9. Moodie, D.R. (1999). Demand management: The evaluation of price and due date negotiation strategies using simulation. *Production and Operations Management*, 8(2), 151-162.
10. Ong, N.S. (1995). Manufacturing cost estimation for PCB assembly : An activity-based approach. *International Journal of Production Economics*, 38(2-3), 159-172.
11. Scheffler, M., Ammann, D., Thiel, A., Habiger, C., & Tröster, G. (1998). Modeling and optimizing the cost of electronic system. *IEEE Design & Test of Computers*, 15(3), 20-26.
12. Shehab, E.M., & Abdalla, H.S. (2001). Manufacturing cost modeling for concurrent product development. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 17(4), 341-353.
13. 한동근 (1997), 게임이론 -전략적 의사결정의 이론과 응용, 경문사