Make-To-Order system에서의 가격과 납기 결정

Quotation for price and delivery date in a Make-To-Order production system

김 정 규 김 태 복 홍 유 신

{Jungkyu Kim, Taebok Kim, Yousin Hong}@postech.ac.kr

포항공과대학교 산업공학과

경상북도 포항시 남구 효자동 산 31

Abstract

The present business environment has been incurred much competition by oversupply so that customers have been to have more opportunities in selection of firms to produce required product. Under this circumstance, companies have to provide attractive proposal (for example, low price and on time delivery) to customers as considering their capacity and risk for their survival. Therefore this paper proposes a method to select customer and to propose price and due date for maximum profit in the restricted situation.

서론

과거 수요가 공급을 초과할 때 고객의 선택의 폭은 매우 제한적 이었으며, 기업은 보다 많은 이익을 얻기 위해 기업에 소요되는 비용의 절감에 많은 관심을 가졌었다. 그러나 시간이 지나 공급이 수요를 초과하고 기업간 경쟁이 심화되면서, 고객은 보다 다양한 선택의 폭을 가지게 되었으며 기업은 무한경쟁의 시대로 접어들게 되었다.

이러한 상황에서 기업은 적절한 관리를 통해 기업의 능력을 확보하고, 고객에게 그들이 원하는 조건을 제시 함으로서 보다 많은 이익을 확보하여 생존을 위해 노력하지 지 않으면 안되게 되었다.

본 연구의 목적은 이러한 상황하에서 MTO system을 가진 기업체에 자신의 한계를 고려한 적합한 가격, 납기를 결정방법을 찾아, 각각의 고객에 대한 Dynamic한 quotation을 주면서 기업의 이익을 최대화 할 수 있는 방안을 마련하는 것이다.

관련연구

Dickson[1]은 고객이 공급자를 선택하는 22개의 중요한 요소와 순위를 발표했고, Dempsey[2]는 구매자가 공급자를 선택하는데 있어 3가지의 중요한 요소 Price, Delivery capability, Quality가 Top three안에 들어감을 확인했다. 이후 Weber et al.[3]은 설문조사와 발표된 논문의 조사를 통해, Dickson[1]이 발표한 요소들간의 변화를 조사했으며, 여전히 위의 3가지 요소들이 최상위 구성 요소임을 확인했다.

Easton과 Moodie[5]는 Multi-attribute에 대한 고객선택의 확률로서 Berkson[4]이 제안한 S-shaped multi-attribute Logit 모형을 적용했고, 이를 이용하여 가격과 납기에 대한 Bir ary choice logit model을 제시했다.

Jacobs 와 Wright[6]는 철강업체의 Bottle neck구간인 Hot strip mill에서의 Schedu ing 문제를 다루면서 고가의 부품인 Roller의 교체를 감안하여 유한한 계획 구간을 설정하고 그 기간 동안 생산할 제품의 선택을 위한 Goal programming모형을 제시했다.

Keskinocak[7]는 Quotation과 관련된 3가지의 on-line 모형을 제시하고 있는데 Easton과 Moodie[5]의 논문은 이중 주문을 받자마자 곧 견적을 제시하는 Q-sltq에 해당한다. 이는 Keskinocak[7]이 밝힌 바와 같이 전통적 On-line모형과 함께 극단적인 경우로 평가되고 있다. 그러나 대규모 장비를 갖추고 계속해서 다른 고객에게 주문이 들어오는 일반적인 MTO firm에서 자신의 생산 계획 구간과 Scheduling을 고려하지 않고 즉시 주문에 대한 응답을 한다고는 생각하기 힘들다. 따라서 본 연구는 Keskinocak[7]이 제시한 D-sltq, 즉 일정기간 동안 주문 요청을 받고 이를 계획구간과 Scheduling을 고려하여, 지정된

시간에 함께 응답을 하는 System을 가정한다.

모형의 제시

본 연구에서 감안한 기업의 형태는 고가의 장비를 유지하며, Bottle neck이 존재하는 MTO firm이다. 또한 Jacobs 와 Wright[6]의 논문에서 밝힌 바와 같이 제품 품질에 문제를 일으키는 부품의 교환이나 제공 할 수 있는 Capacity의 한계로 인해 계획구간을 설정 해야 하거나 보다 나은 생산계획을 적용하기 위해 계획구간을 설정하는 기업체를 대상으로 한다. 따라서 주기적으로 주문을 Scheduling하고 이에 대해 계획 구간 이내에서 가장 많은 이익을 발생시키는 주문들을 선별하여 이에 대한 Quotation을 제공하는 것을 목표로 한다.

Notation

j = 나열된 각 주문에 대해 순차적으로 적용한 *Index*

n = 총 주문의 갯수

w_j = 주문 j에 대한 *Work contents*

$Z(x_1, x_2, ...x_n)$ = $(x_1, x_2, ...x_n)$ 조합에 대한 *Total profit*

$\text{Profit}_j(b_j, d_j)$ = j번째 주문의 제시된 가격과 납기 b_j, d_j에 대한 Profit, x_j = 1일 경우만 계산

b_j = 주문 j에 대하여 *Direct cost* 와 *Margin*을 포함하는 계약 가격으로서 결정변수

d_j = 주문 j에 대한 납기로서 결정변수

x_j = 주문 j의 수락여부를 결정하는 결정변수, 0 또는 1의 값

T_j = 주문 j의 납기 지연 시간

q_j = 현재 제시되는 납기 d_j에 대해 *Workcenter*가 가지고 있는 여유 *Work contents*

S = 계획 구간

K = 작업 단위당 직접비

α_1 = 납기 지연에 의해 발생하는 특별비용

α_2 = 납기 지연에 따른 단위당 비용

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = 과거 *Data*로 부터 경험적으로 추론된 고객의 성향을 나타내는 *Coefficient*

A_t = t시간에서 *Workcenter*의 상태, 가동중일때는 1의 값을 휴식중일때는 0의 값을 갖는다

N = j-1까지의 *Firm*에 의해 선택된 *Contingent order*의 수, $N = x_1 + x_2 + ... + x_{j-1}$

k = 2^N개의 고객에 의해 현실화 될수 있는 *Back* log의 번호

i = j-1까지 *Firm*에 의해서 선택되어진 주문들의 순차적인 새로운 *Index*

$B(k)$ = k번째 *Back* log의 구현상태 여기서,

$B(k) = \{b(k)_1, b(k)_2, ..., b(k)_N\}$ 여기서,

$b(k)_i$ = 만일 *order i*가 고객에 의해 선택된다면 1 그렇지 않으면 0

$A(k)_i$ = k번째 *Back* log가 현실화 되었을때 시간 t에서 *Workcenter*의 상태

Model formulation

본 연구는 D-sltq를 가정하기 때문에 특정 Scheduling rule에 구애를 받지 않는다. 따라서 기업에 맞는 적합한 Rule을 선택해 순차적으로 쌓은 후 제약조건하에서 가장 많은 이익을 내는 주문들을 선택하기 위해 선택할 수 있는 주문들의 조합에 대해 검색해나간다.

$$\text{Max} \quad Z(x_1, x_2, ..., x_n) = \sum_{j=1}^{n} (\text{Max Profit}_j(b_j, d_j | (x_1, x_2, ..., x_n)))$$

$$st. \quad \sum_{j=1}^{n} p(b_j, d_j) w_j x_j \le S \qquad (1)$$

$$x_j = 0 \text{ or } 1 \text{ for } j=1,2,...,n$$

여기서 j번째 Profit은 x_j=1일 경우 즉, Firm에서 j번째 주문을 선택했을 경우 계산되며, 주어진 조합에 대하여 Firm에 의해 선택되어 순차적으로 쌓아져 있는 Contingent한 이전 주문들을 고려하여 현 위치에서 가장 이익을 많이 내는 가격과 납기의 수준에서 결정된다. 총 이익은 이 선택된 개별 주문의 이익의 총합이다. 제약 조건은 생산하는 총

주문의 기대 Work contents가 현재 계획하고 있는 기간 S를 초과할 수 없다는 조건이다. 물론 Jacobs 와 Wright[6]의 논문에서처럼 필요에 따라 다양한 제약조건을 추가할 수 있다. 현 위치에서 개별 주문의 이익을 최대화 하는 방안은 Easton과 Moodie[5]의 방식을 따랐으며, 총 이익은 j=1에서부터 순차적으로 계속하여 선택된 주문에 대해 적용 함으로서 얻어진다.

Winning probability $P(b_j,d_j)$는 기업이 제시한 가격 b_j 와 납기 d_j에 대해 고객이 해당 견적을 수락할 확률로서 이에 대한 해당확률은 다음과 같다.

$$p(b_j,d_j)= \left[1+\beta_0 \exp\left(\beta_1 \frac{d_j-w_j}{w_j}+\beta_2\left(\frac{b_j}{Kw_j}-1\right)\right)\right]^{-1} \quad (2)$$

Profit을 구성하는 요소는 가격과, Tardy cost 이며, 이때 가격은 직접비용을 포함한다고 가정한다. Tardy cost에 대한 비용의 계산은 기대 Tardy 기간에 단위 비용을 곱한 것에 납기지연으로 인해 발생하는 특별비용을 더하여 계산하였다[11].

$$\text{Profit}_j(b_j,d_j)= p(b_j,d_j)\left[b_j-\alpha_1 p(q_j<w_j,d_j)-\alpha_2 E(T_j\mid w_j,d_j)\right] \quad (3)$$

P(Q<W,D)는 납기 D와 해당 주문의 작업시간 W가 주어졌을 때 Workcenter가 가지고 있는 여유시간 Q가 W보다 작을 확률로서 납기지연 될 확률을 나타낸다. 이의 작업 j에 대한 적용은 다음과 같다.

$$p(q_j<w_j,d_j)=\sum_{q_j=0}^{w_j-1} p(q_j,d_j) \quad (4)$$

P(Q,D)는 납기 D가 주어질 때 여유시간이 정확히 Q만큼 남을 확률을 말한다. 작업 j에 대한 적용은 다음과 같다.

$$p(q_j,d_j)=\left[p(q_j-1,d_j-1)p(A_{d_j}=0)\right]+\left[p(q_j,d_j-1)(1-p(A_{d_j}=0))\right] \quad (5)$$

$p(A_t=0)$ 는 t시간에 Workcenter가 Idle한 상태일 확률을 나타내며 이는 Firm에 의해 선택되어 순차적으로 그 Winning probability가 계산되어진 j−1까지의 Contingent한 주문들에 대해, 고객에게 선택될 수 있는 모든 가능한 조합을 고려하여 p(B(k))를 계산 함으로서 얻어진다.

$$p(A_t=0)=\sum_{k=1}^{2^N}\overline{A(k)_t}\,p(B(k))$$
$$p[B(k)]=p[b(k)_1,b(k)_2,\ldots,b(k)_N] \quad (6)$$
$$=\prod_{i=1}^{N}\left[b(k)_i\,p(b_i,d_i)+\overline{b(k)_i}\left(1-p(b_i,d_i)\right)\right]$$

P(T|W,D)는 W와 D가 주어졌을 때 정확히 T만큼 납기지연 될 확률을 나타내며 E(T|W,D)는 기대 납기지연의 값이다.작업 j에 대한 적용은 다음과 같다.

$$P(T_j\mid w_j,d_j)= \left[1-p(q_j<w_j,d+T_j)\right]-\left[1-p(q_j<w_j,d_j+T_j-1)\right] \quad (7)$$
$$E(T_j\mid w_j,d_j)=\sum_{T_j=1}^{\infty} T_j\,p(T_j\mid w_j,d_j)$$

위의 모형에서 살펴본 바와 같이 어떤 주문을 선택할 것인가를 결정하기 위해서는 선택할 주문에 대한 가능한 모든 조합에 대해 Full test하는 방법 밖에는 없다. 그 이유는 이전 주문의 선택 유무가 결정되지 않고서는 다음 주문의 납기지연 값들을 계산해 낼 수 없기 때문이다. 이 문제는 Multi-stage mixed integer programming또는 Stochastic knapsack문제와 유사한 형태를 띄게 되는데, 이와 관련하여 좋은 알고리즘의 개발이 필요하다.

수치예제

다음 번 계획구간 내 생산하기 위해 견적이 의뢰된 주문을 각각 4,3,5,5,7,1,2의 Work contents를 가진 7개의 주문이라고 가정하며, 계획 구간은 10 단위기간으로 가정하자.

이때 각각의 주문에 대해 β값을 고객의 성향에 따라 여러 Class로 구분하여 설정하는 것과[7], 각각의 성향에 대해 EDD와 FCFS등

다양한 Scheduling rule을 적용하여 최고의 이익을 내는 값을 찾아내는 것은 바람직하다. 그러나 본 연구에서는 계산의 편리를 위해 모든 주문에 대해 다음과 같이 $\beta_0=0.1$, $\beta_1=0.5$, $\beta_2=0.75$, $K=1$, $\alpha_1=1$, $\alpha_2=1$로 일률적으로 적용하고, Scheduling 순서 역시 위의 순서를 그대로 적용한다고 가정한다.

결과값은 (0,0,1,1,1,1,0)으로서 첫 번째, 두 번째, 마지막 주문에 대해서는 입찰을 포기하고 나머지 주문에 대해서만 견적을 제시하며, 제시된 가격과 납기의 쌍은 차례로 (17,5),(16,9),(22,13),(3,7) 이다. 이에 대한 각각의 Winning probability는 0.6231, 0.5628, 0.5663, 0.1이다. 기대 Work contents는 9.9937이며, 이 수준에서 가질 수 있는 최대 이익의 기대 값은 31.6648이다.

그림 2는 주문에 대해 모두 입찰을 할 때부터 하나도 입찰하지 않는 경우까지의 모든 경우의 수에 대해 순차적으로 계산한 각 기대 이익과 기대 Work contents의 상태를 보여준다. 원안의 값이 채택 된 주문들에 대한 기대값들이다.

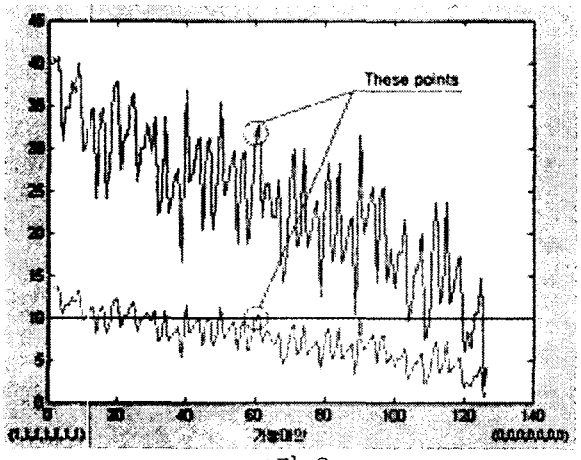

그림 2

결론

본 연구는 계획구간을 정하고 계획 구간 내에 위치할 주문에 대한 주문요구를 미리 받아, 일정시간이 지난 후 모아진 주문에 대한 견적을 주는 MTO firm에 대해, 가능 구간 내 최대이익을 주는 주문을 선별하고, 선택된 주문의 가격, 납기를 결정하는 방법을 제시하였다.

향후 납기 적중률을 반영 할 수 있는 보다 Robust한 Winning Probability의 고안이 필요하며, 아울러 많은 시간을 소요하는 Full-search에 대하여 적절한 값을 제시할 수 있는 보완적인 Heuristic의 개발이 필요하다. 아울러 고객 만족과 기업이미지를 고려하여 포기되는 주문들에 대한 처리 역시 생각해 볼 문제이다.

관련문헌.

[1] G.Dickson, An analysis of vendor selection systems and decisions, Journal of Purchasing(1966) 5-7

[2] G.Dempsey, Vendor selection and the buying process, Industrial Marketing Management 7 (1978) 257-267

[3] C.Weber, J.Current, W.Benton, Vendor selection criteria and methods, European Journal of Operational Research 51 (1991) 2-18

[4] J.Berkson, A statistically precise and relatively simple method of estimating the bioassay with quantal response, based on the logistic function, Journal of the American Statistical Association 48 (1953) 565-599

[5] F.F.Easton, D.R.Moodie, Pricing and lead time decisions for make-to-order firms with contingent orders, European journal of operational research 116 (1999) 305-318

[6] T.L.Jacobs and J.R.Wright, Optimal inter-process steel production scheduling, Comput. Opns Res. 15 6 (1988) 497-507

[7] P.Keskinocak, R.Ravi, S.Tayur, Scheduling and reliable lead-time quotation for orders with availability intervals and lead-time sensitive revenues, Management Science 47 2 (2001) 294-279

[8] C.B.Chapman, S.C.Ward, J.A.Bennell, Incorporating uncertainty in competitive bidding, International Journal of Project Management 18 (2000) 337-347

[9] D.A.Hensher, W.H.Greene, The Mixed Logit Model: The State of Practice and Warnings for the Unwary, The University of Sydney

[10] G.Gessner, W.Kamakura, N.Malhtra, M.Zmijewski, Estimating models with binary dependent variables: Some theoretical and empirical observations, Journal of Business Research 16(1) (1988) 49-65

[11] M.Vig, K.Dooley, Dynamic rules for due-date assignment, International Journal of Production Research 29 (7) (1991) 1361-1377

[12] C.Triki, P.Beraldi, G.Gross, Optimal capacity allocation in multi-auction electricity markets under uncertainty, Computers & Operations Research, 32 2 (2005) 201-217