

수시접수 및 학습효과를 고려한 기간별 재발주 모형에 관한 연구

- The Study of Time Phased Reorder Models for
Non-instantaneous Receipt with Learning Effect -

남호기*
HoKi Nam

Abstract

Time phased reorder models for non-instantaneous receipt was presented in a recent paper [1]. This paper extends the models under learning effects and learning retention after breaks. The result of this model show that learning and learning retention significantly influence the amount of inventory and production lot size. Sample example demonstrate the application of the proposed methodology.

1. 서론

Part Period Balancing (PPB) 로드싸이즈 설정방법은 MRP시스템에서 주로 사용되어온 경험적인 해법이다 그러나 time phased 재발주모형에서 주문량의 도착시점이 기간초에 즉시접수 (instantaneous receipt)되는 경우이다. 일반적으로 회사내부 생산일 경우나 외부의 주문일지라도 긴밀한 상호협력 관계일 경우 제품의 소모가 생산중에도 일정하게 발생될 수도 있으므로 상품 인도시기가 즉시가 아닌 수시접수 (non-instantaneous)도 가능하다. 외부납품의 경우는 운반 로트를 감안하여 제품소모가 연속적이지 않고 한꺼번에 발생될 수도 있다. 본 논문은 상품인도 시기가 수시접수하는 경우를 다루며 기존 PPB 결정방법에서 사용되는 즉시접수는 지나친 재고유지 비용이 발생될 수도 있다.

Time phased 재발주 모형을 다룬 기존의 연구[1]는 생산비용이 일정하다는 조건만 고려되었으나, 일반적으로 생산량이 증가되면 학습효과로 인해 제품 하나를 만드는데 사용되는 시간(이나 비용)이 감소하는 경향이 있다. 이 생산시간의 감소는 또한 재고유지 비용에도 영향을 미친다. 한편으로는 제품생산의 일시적 중단으로 인해 학습의 망각도 발생될 수 있는 것이 일반적인 현상이다.

이 논문에서는 기존의 time phased 재발주모형[1]의 확장 모형으로서 생산량이 증가됨으로서 발생되는 학습효과와 생산중단으로 인한 학습보존율을 감안하여, 새로운 모형을 제시할 것이다. 참고문헌 [1]에서 사용된 예제문제를 이용하여 그 차이점을 상세히 서술할 것이다.

* 인천대학교 산업공학과 교수

2. 기존연구의 고찰

2-1. 학습효과

참고문헌 [2]에 정의된 학습곡선은 “제품의 생산이 곱이 될 때마다, 새로운 제품의 평균생산비용(이나 시간)이 앞의 평균 생산시간에 비교해서 일정한 퍼센트(%) 만큼 감소한다. 이 일정한 %를 학습곡선의 비율이라고 한다.” 수학적으로는 학습곡선은 아래와 같이 표현한다.

$$Y_X = Y_1 X^{-b} \quad (1)$$

여기서, Y_X 는 처음 X 개를 생산하는데 걸리는 평균 생산시간,

Y_1 은 첫 번째 제품을 생산하는데 걸리는 시간,

b 는 학습곡선율 계수,

X 는 생산량

만약 생산 중단후 다시 생산을 할 경우 지금까지의 학습율들이 생산중단후 100% 보존이 될 경우는 계속 생산하는 경우와 학습효과가 같으나 일반적으로 생산중단후 일부의 학습이 망각되므로 제품 생산시간을 증가하는 경향이 있다. 즉 생산중단으로 학습망각이 발생되어 평균 생산시간의 증가를 가져온다.

일반적으로 q_i 을 생산하는데 걸리는 평균생산시간은 참고문헌 [3]에 따르면,

$$t_i = Y_1 \left[(q_i + \alpha \sum_{j=1}^{i-1} q_j)^{1-b} - (\alpha \sum_{j=1}^{i-1} q_j)^{1-b} \right] \quad (2)$$

여기서, α 는 생산중단후 학습보존률,

q_i 는 인접해있는 생산중단사이에서 생산량

2-2. Time phased 재발주 모형

기존의 PPB 로트사이즈 결정방법은 Dilworth와 Lowe [4] 논문에서 사용된 예제을 이용 비교분석 한다.

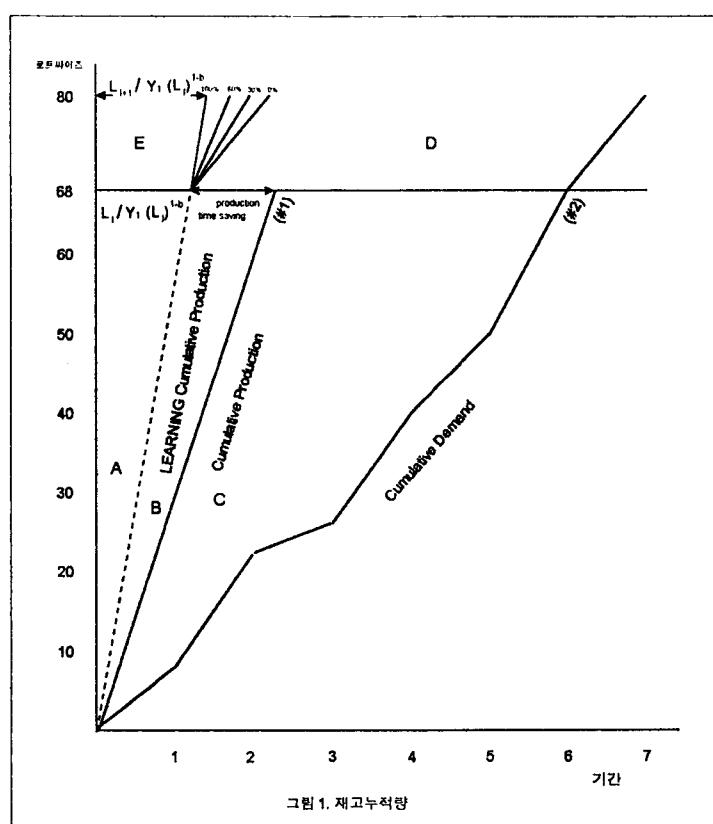
기간	요구량(units)
1	8
2	14
3	4
4	14
5	10
6	18

<표 1> Dilworth & Lowe [4]의 예제

<그림1> 은 상기 예제에서 로트크기를 68개로 생산했을시 발생되는 재고의 누적량이다. 이 경우 로트크기는 기간 1에서 6까지 요구량을 함께 생산하는 경우이다. 생산률이 기간동안 일정하게 30개 (생산율) 이므로 누적생산선 (cumulative production)은 <그림 1>에서 #1에 표시되

어 있다. 로트크기 68개을 생산하는데 소요되는 기간은 대략 2.27 (68/30) 기간이다. 아울러 누적소요량 (cumulative demand) 도 <그림 1>에서 #2로 나타낸다 . <그림 1> 에서 C 부분는 누적생산량과 누적소요량의 차이분인 누적재고량이다.

PPB나 다른 MRP시스템에서 로트크기 결정시 제품의 인도시기를 첫 번째 기간초에 모두 접수되는 가정이므로, 누적생산선이 수지인 즉 Y축을 나타내므로 로트크기를 68개로 생산할때 재고누적량은 <그림 1> 에서 A, B 및 C 부분 면적 모두를 합한 것이다. 즉시접수과 수시접수 차이에 따라 재고누적의 과잉($\Delta + B$ 만큼)이 발생되며, 이 과잉재고는 로트크기 결정시 큰 영향을 미친다.



<그림 1> 재고누적량

3. 개선된 재발주 모형 (Proposed Reorder Models)

3-1. 가정

- (1) 고정비(S)가 매번 생산착수시 발생한다
- (2) 재고유지비(C)는 일정기간에 한 제품에 대해 발생하며 평균 재고비용이다
- (3) 로트사이즈(L)는 이산된 정수기간의 요구량을 만족한다.
- (4) 요구량은 기간별로 일정하지 않다.
- (5) 일정기간내 제품소모는 계속적으로 발생된다.
- (6) 생산률(P_r)은 요구량보다 크다.

3-2. 학습효과를 고려한 재발주 모형

앞 예제에서는 생산률이 기간별 30개로 일정하다고 가정을 했으나, 학습효과를 고려할 때 기간별로 생산률이 증가하는 것이 일반적이다. 따라서 <그림 1>의 점선은 학습효과를 고려한 누적생산 기율기(learning cumulative production)이며 생산률이 증가 함으로 인해 다소 추가의 누적재고량 (B부분)이 발생하였다. 반면 68개를 계속 생산시 총 평균 생산시간의 감소가 발생하므로 인해 총 생산비용의 절감률을 초래하였다. 또한 68개의 생산후 일정시간 생산을 중단후 다시 생산할 경우 휴식(break)으로 인해 학습효과에 영향을 준다. 지금까지 보존해온 학습을 얼마나 보존하는가에 따라서 차후의 제품 단위당 생산시간에 영향을 줄것이라고 예상된다. <그림 1>의 윗 부분에서는 학습보존률(α)에 따른 누적생산곡선을 대략적으로 표시한 것이다.

기존의 생산 로트크기 결정시는 재고유지비용과 착수비용의 절충(trade-off)으로 결정되었으나, 학습효과를 고려시는 제품 생산시간의 감소로 인한 제품 생산비용 감소도 함께 고려하여야 한다. 즉 로트사이즈 결정은 착수비용, 재고유지비용과 생산비용절감의 절충으로 결정된다.

3-3. 해법

Dilworth & Lowe [4] 연구의 생산조정 (production adjustment)에 따르면 <그림 1>에서 즉시접수시 재고누적량은 면적 ($A + B + C$)을 나타내며

$$\text{총면적 } (A + B + C) = \sum_{i=1}^n d_i(i-1/2) \quad (3)$$

여기서, d_i 는 기간 i 에서의 요구량,

n 은 계획기간 동안 기간의 수이다.

총면적 ($A + B + C$)에서 A 부분을 삭제함으로서 각 로트크기별 재고누적량을 구한다. 우선 면적 A 을 대략 구하면

$$\text{면적 } A = \frac{1}{2} L_i / Y_i(L_i)^{1-t} \quad (4)$$

각 로트크기별 재고누적량 계산은

$$\begin{aligned} \text{면적 } (B + C) &= \text{총면적 } (A + B + C) - \text{면적 } A \\ &= \sum_{i=1}^n d_i(i-1/2) - \frac{1}{2} L_i / Y_i(L_i)^{1-t} \end{aligned} \quad (5)$$

수시접수 PPB의 여러 해법중에서 본 논문에서는 2 가지 접근방법, 누적비용절차와 충분비용절차를 다룬다.

3-3-1. 누적비용절차

누적비용절차는 전형적인 PPB 해결기법으로 기간별 누적유지비용이 착수비용과 생산절감 비용의 합이 같을때까지 계속 로트사이즈를 증가해 가는 방법이다. 전형적인 PPB 방법을 적용하려면 정확한 재고누적량이 각 로트사이즈 별로 계산되어야 한다. 앞의 예제에서 만약 기간 7에 12개 요구량이 요구될 경우 로트사이즈 결정방법은 2 가지로 가능하다. 첫째 기간 1에서 6까지 요구량 68개를 생산하고, 기간 7에서 요구량 12개 생산하는 방법과, 둘째 기간 1에서 7 기간까지 필요한 전요구량 80개를 함께 생산하는 방법으로 나눌 수 있다. <그림 1>에서 로트사이즈를 80개로 할 경우의 재고누적량은 면적 $B + C + D$ 이다. trial 로트사이즈의 조건은

기간	(1) 요구량	(2) Trial Lot Size L_i	(3) Part Periods $d_i(i - \frac{1}{2})$	(4) Part Period	(5) Production adjustment	(6) Production saving	(4)-(5)-(6) Adjusted Cumulative Part Periods
1	8	8	4	4	0.7768	0.725	2.4982
2	14	22	21	25	5.038	2.754	17.208
3	4	26	10	35	6.8588	3.391	24.7502
4	14	40	49	84	15.206	5.731	63.063
5	10	50	45	129	22.9675	7.48	98.5525
6	18	68*	99	238	40.5416	10.743	176.7154
7	12	80	78	306	54.744	12.984	238.272

$$\text{단, } (4) \sum d_i(i - \frac{1}{2})$$

$$(5) \frac{1}{2}L_i/Y_1(L_i)^{1-b}$$

$$(6) K \cdot (L_i/R - Y_1(L_i)^{1-b})$$

K : 제품 생산 시간을 금액으로 환산하는 상수

\$10/기간

a : 100% learning retention

생산 Lot Size : 68개

<표 2> 누적 비용 절차

$$\sum_{i=1}^n [d_i(i - \frac{1}{2})] - \frac{1}{2}L_i/Y_1(L_i)^{1-b} - K[(L_i/R - Y_1(L_i)^{1-b})] \leq S/C \quad (6)$$

여기서, $L_i = \sum_{j=1}^i d_j$ 이다.

<표 2>은 앞 예제의 계산과정을 나타낸다. 이 접근법은 Dilworth & Lowe [4] 방법과 같은 절차이다. 누적비용절차 방법을 이용하면 누적 part periods에서 학습효과로서 발생되는 생산비용절감률 뺀 값이 180 이하까지 iteration이 계속된다. <표 2>에서 알수있는 것같이 로트싸이즈를 68개에서 80개로 증가시킨 경우 전체 재고누적분에서 제품생산비용 절감분을 제외한 부분이 180을 초과함으로, 로트싸이즈는 68개이며 기간 1에서 생산착수가 발생된다. 다음 로트는 기간 7에서 나머지 12개를 생산할것이다

3-3-2. 중분비용절차

중분비용절차 해결방법 PPB {Boe & Yilmaz [5], Freeland & Colley [6], Gaither [7], Groff [8]} 는 단지 마지막 요구량을 만족하기 위하여 로트싸이즈가 증가할 때 발생되는 중분재고량만 고려한다. 중분재고량이 착수비용 절감과 생산비용 절감보다 적을 경우 trial 로트가 accept 된다.

로트싸이즈가 증가할수 있는 조건은

$$d_i(i - \frac{1}{2}) - \frac{1}{2}Y_1[(L_i)^{2-b} - (L_{i+1})^{2-b}] - K[L/R - Y_1(L_i)^{1-b}] \leq S/C \quad (7)$$

식 (7)에서 왼쪽부분의 첫 번 및 두 번째 term은 <그림 1>의 윗 부분에서 D 면적을 나타낸다.

<표 3>은 증분비용절차의 계산과정을 나타낸다. 이 경우 증분비용절차의 경우 최종 로트사이즈가 80개이며 이 로트사이즈는 누적비용 절차방법의 로트사이즈 68과는 다른 결과를 나타낸다.

기간	(1) 요구량	(2) Trial Lot Size L_i	(3) Part Periods $d(i - \frac{1}{2})$	(4) Incremental Production adjustment	(5) Production saving	(3)-(4)-(5) Adjusted Cumulative Part Periods
1	8	8	4	0.7768	0.725	2.4982
2	14	22	21	4.2612	2.754	13.9848
3	4	26	10	3.6528	3.391	2.9562
4	14	40	49	8.3472	5.731	34.92
5	10	50	45	7.7615	7.48	29.7585
6	18	68	99	17.5741	10.743	70.6829
7	12	80*	78	14.2024	12.984	50.8136

$$\text{단 } (4) \frac{1}{2}L_i/Y_1(L_i)^{1-b} - \frac{1}{2}L_{i+1}/Y_1(L_{i+1})^{1-b}$$

$$(5) K(L_i/R - Y_1(L_i)^{1-b})$$

K : 제품 생산 시간을 금액으로 환산하는 상수

\$10/기간

a : 100% learning retention

생산 Lot Size : 80개

<표 3> 증분 비용 절차

4. 결론

이 논문은 생산량이 증가됨으로서 발생되는 학습효과와 생산중단으로 인한 학습보존율을 새로운 변수로 추가하여, 기존 PPB 로트사이즈 결정방법을 확장하여 모형이 제시되었다. 또한 누적비용절차 및 증분비용절차를 이용 각각 분석한 결과 로트사이즈의 차이가 발생되었다. 본 논문에서 학습효과로 인한 생산 로트사이즈가 현격히 차이가 있는 것으로 판단되며 특히 학습률이 높고 생산중단후 학습보존율이 높을 경우 제품의 생산시간이 단축이나 제품생산비용 절감으로 인해 학습효과를 고려않을 시보다 로트사이즈가 커짐을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. L. Laforge and S. Barman. " Time-phased reorder models for non-instantaneous receipt " INT. J. PROD. RES. 24, NO. 6, 1349-1361 (1986).
- [2] R. Nanda. " Using learning curves in integrations of production resources " Fall IE Conf. Proc. 376-380 (1979).
- [3] G. Adler and R. Nandan. " The effects of learning on optimal lot size determination single product case. " AIIE Trans. 6, 14-20 (1974).
- [4] J. Dilworth and T. Lowe. " A part-period algorithm for production lot sizing " Production and Inventory Management. 21, 84 (1980).
- [5] W. Boe and C. Yilmaz. "The incremental order quantity " Production and Inventory Management. 24, 94 (1983)
- [6] J. Freeland and J. Colley. " A simple heuristic method for lot sizing in a time-phased reorder system " Production and Inventory Management. 23, 15 (1982).
- [7] N. Gaither " An improved lot-sizing model for MRP systems " Production and Inventory Management. 24, 10 (1983).
- [8] G. Groff " A lot-sizing rule for time-phased component demand " Production and Inventory Management. 21, 47 (1979).