經營論集, 第 40 卷 1・2號 (2006年 6月)

가동준비시간을 고려한 복수제품의 경제적 생산량 모형

김 성 철*

본 논문에서는 복수제품이 순환정책에 의하여 하나의 기계에서 생산되며 가동준비비용과 가동준비시간이 동시에 고려되는 경우에 있어서 새로운 주기시간의 개념을 적용하여 경제적 생산량을 산정하는 방법을 제시하였다. 또한 그 결과로 가동준비시간의 증가는 재고량과 더불어 총 재고관련 비용을 현저히 증가시킴을 제시하였다.

I. 서 론

제조시스템에서 기계는 많은 경우에 복수의 제품을 배치(batch)로 생산한다. 기계는 여러 종류의 제품을 생산계획(production planning)에 준하여 한 번에 한 제품씩 계획된 생산량만큼 순차적으로 생산한다. 제조시스템은 각 제품에 대하여 충분한 재고를 유지하여 다른 제품을 생산하는 동안에도 시장이나 하위 단계(downstream stage) 생산시스템의 수요에 부응하여 재고가 고갈(stockout)되는 경우가 없도록 하여야 한다. 그러므로 이러한 제조시스템에 있어서는 주어진 제품들을 어떠한 순서로 생산하고 각 제품의 재고는 얼마나 유지하여야 하는가는 매우 중요한 생산계획문제이다.

그럼에도 불구하고 실제로는 이에 대한 이해가 충분하지 못하다. 예를 들어보자. 실제 현장에서는 적절하지 못한 생산계획으로 인하여 현재 생산 중인 제품을 계획량을 마치지 않고도 생산을 중단시키고 긴급한(endangered) 수요의 다른 제품을 생산하게 한다. 또한 수요에 대응하기 위하여 과도하게 재고를 유지시키고 기계의 이용율(utilization)을 높이기 위하여 추가 설비의 도입을 반대하기도 한다.

*덕성여자대학교 경영학과 교수

그러므로 본 논문에서는 복수 제품의 경제적 생산량(EPQ; economic production quantity) 모형을 다룬다. 특히 복수 제품의 가동준비비용(setup cost)뿐만 아니라 가동준비시간(setup time)도 동시에 고려하며 Bradley와 Conway(2003)의 두 단계 제조시스템에서 적용된 주기시간을 이용한 접근방법을 제시한다. 가동준비시간은 1980년대 적시생산시스템(JIT; just-in-time production)이 전 세계적으로 산업계를 풍미하면서 관심의 대상이 되어 왔다. 특히 가동준비시간의 감소는 배치 크기를 감소하며 결과적으로 재공품 재고(work-in-process inventory)를 감소시킨다. 그러므로 복수의 제품을 생산하는 제조시스템에 있어서는 가동준비시간은 제조시스템의 품질을 결정하는 중요한 요인의 하나이다.

본 논문에서는 복수의 제품에 대하여 순환정책(cycle policy)을 적용한다. 순환정책이란 일정한 주기(cycle)를 두고 주어진 주기시간 안에 각 제품을 순차적으로 차례로 한 번씩 제조하는 것을 말하며 수요가 확정적(deterministic)인 경우나 확률적(stochastic)인 경우에 모두 적용되고 있다(대표적으로 Sykes 1970, Elmaghraby 1978). 특히 수요가 확률적인 경우에는 문제의 복잡성에 의하여 순환정책이 주된 제조정책이 되고 있다(Avi-Itzhak et. al., 1965, Sykes, 1970). 수요가 확정적인 경우에도 순환정책은 중요한 제조정책이 되고 있다(Eisenberg 1971, Elmaghraby 1978, Bradley와 Conway 2003). 순환정책은 재고관련비용을 최소화시키는 최적정책이 아님에도 불구하고 적용하기 편리함에 그 유용성이 있다고 할 수 있다. 반복적 방법(iterative method), 동적계획법(dynamic programming), 정수선형계획법(ILP; integer linear programming) 등을 적용하여 재고관련비용을 최소화하고자 하는 최적화를 추구하는 다양한 모형(Doll과 Whybark 1973, Elmaghraby 1978, Haessler 1971, Parsons 1966)들이 존재함에도 불구하고 이들은 이론적이며 이해하기 힘들고 더욱이 현장에서 실무진이 이를 이해하고 적용한다는 것은 불가능하다. 그러므로 순환정책은 최적 경제적 생산량을 산정하는데 쉽게 적용이 가능한 정책으로 제시될 수 있다.

제2장에서는 문제의 이해를 위하여 두 종류의 제품으로 구성된 제조시스템을 다룬다. 제3장에서는 제2장의 결과를 복수제품으로 연장한다. 제4장에서는 수치적 예를 제시한다. 제5장에서는 결어로서 마감한다.

II. 두 종류의 제품으로 구성된 경우

제조시스템은 하나의 기계로 구성되어 있으며 순환정책에 의하여 주어진 기계는 제품 1과 제품 2를 같은 순서로 반복적으로 생산한다. 그러므로 기계는 제품 1을 일정기간 생산하고 설정된 계획량을 완료하면 가동준비시간을 갖고 가동준비가 완료되면 제품 2를 생산하게 된다. 이제 다시 제품 2의 생산이 완료되면 다시 가동준비시간 후에 제품 1을 생산하는 과정을 되풀이 하게 되며 경우에 따라서는 유휴(idle)시간도 존재한다.

이제 단위기간에 있어서 제품 i, $i = 1, 2$의 수요율(demand rate)를 D_i, 기계의 제품 i에 대한 생산율(production rate)을 P_i, 제품 1을 생산하던 기계가 제품 2를 생산하기 위하여 소요되는 가동준비비용을 C_1, 가동준비시간을 S_1, 제품 2를 생산하던 기계가 제품 1을 생산하기 위하여 소요되는 가동준비비용을 C_2, 가동준비시간을 S_2라 하자. 또한 I를 기계의 유휴시간이라 하자.

제품 i의 생산량을 Q_i라 정의하면 생산량 Q_1과 Q_2는 의사결정변수가 된다. 이제 T_i를 제품 i를 생산하는 기간, $I_i^{\max}$를 제품 i의 최대 재고량이라고 정의하면 제품 i가 생산되는 기간, 즉 T_i 동안에는 생산과 소비가 동시에 일어나므로 다음의 결과는 매우 잘 알려져 있다.

$$I_i^{\max} = \frac{Q_i}{P_i}(P_i - D_i) = Q_i\left(1 - \frac{D_i}{P_i}\right), \tag{2.1}$$

$$T_i = \frac{Q_i}{P_i} = \frac{I_i^{\max}}{P_i - D_i}, \qquad i = 1,\ 2. \tag{2.2}$$

또한 한 주기는 T_1, S_1, T_2, S_2의 네 활동으로 구성되어 주기시간을 T라 하면 $T = T_1 + S_1 + T_2 + S_2$가 되며 경우에 따라서는 유휴시간 I를 포함하게 된다. 그러나 유휴시간 I는 주기시간을 증가시키며 일반적으로 재고량을 증가시키는 결과를 수반한다.

이제 h_i를 제품 i의 재고유지비용, 즉 제품 i 한 단위를 한 단위기간 유지하는데 소요되는 비용이라고 정의하면 순환정책 하에서 총 재고관련 비용을 최소화시키는 최적화 모형은 다음과 같이 수립될 수 있다.

$$
\begin{aligned}
\text{Min.}\ \ K &= h_1 \frac{I_1^{\max}}{2} + C_1 \frac{D_1}{Q_1} + h_2 \frac{I_2^{\max}}{2} + C_2 \frac{D_2}{Q_2} \\
&= \frac{h_1}{2} Q_1 \left(1 - \frac{D_1}{P_1}\right) + C_1 \frac{D_1}{Q_1} + \frac{h_2}{2} Q_2 \left(1 - \frac{D_2}{P_2}\right) + C_2 \frac{D_2}{Q_2} \\
\text{s.t.}\quad & \frac{D_1}{P_1} + \frac{D_2}{P_2} + S_1 \frac{D_1}{Q_1} + S_2 \frac{D_2}{Q_2} \le 1 \\
& \frac{Q_1}{D_1} = \frac{Q_2}{D_2}.
\end{aligned}
\tag{2.3}
$$

최적화 모형(2.3)의 첫 번째 제약식은 도출되는 생산량 Q_1과 Q_2가 기계의 생산능력과 요구되는 가동준비시간을 만족시켜야 함을 의미한다. 만약 $\frac{D_1}{P_1} + \frac{D_2}{P_2} > 1$이면 주어진 생산시스템은 실행 불가능하다. 두 번째 제약식은 순환정책에 의한 결과로 결과적으로 변수를 하나로 치환할 수 있게 하여 주어진 최적화 문제를 매우 쉽게 해결할 수 있도록 한다. 그러므로 첫 번째 제약식을 잠시 고려하지 않으면 주어진 최적화 문제는 다음과 같이 하나의 변수를 갖는 모형으로 치환될 수 있다.

$$
\begin{aligned}
\text{Min.}\ \ K = & \frac{Q_1}{2}\left[h_1 \left(1 - \frac{D_1}{P_1}\right) + \frac{D_2}{D_1} h_2 \left(1 - \frac{D_2}{P_2}\right)\right] \\
& + \frac{D_1}{Q_1} (C_1 + C_2).
\end{aligned}
\tag{2.4}
$$

제품 1의 생산량 Q_1에 대하여 목적함수(2.4)의 2계 도함수(second derivative)를 구하면 그 결과로 식(2.4)가 생산량 Q_1에 대하여 볼록(convex)함수임을 쉽게 보일 수 있다. 식(2.3)에서 총 재고관련 비용함수가 생산량 Q_1과 Q_2에 대하여 상호 대칭

(symmetry)이므로 생산량 Q_2에 대하여도 볼록성이 성립됨을 쉽게 알 수 있다. 그러므로 총 재고관련 비용함수의 생산량 Q_1에 대한 1계 도함수(first derivative)에 의하여 제품 1의 경제적 생산량 Q_1을 유도할 수 있으며 두 번째 제약식에 의하여 제품 2의 경제적 생산량 Q_2를 구할 수 있다. 참고로 식(2.3)의 목적함수의 생산량 Q_1과 Q_2에 대한 결합(joint) 볼록성도 주어진 함수의 헤시안(Hessian) 행렬에 의하여 쉽게 유도될 수 있다.

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2D_1(C_1 + C_2)}{h_1(1-\frac{D_1}{P_1}) + \frac{D_2}{D_1}h_2(1-\frac{D_2}{P_2})}},$$

$$Q_2 = \frac{D_2}{D_1}Q_1. \tag{2.5}$$

만약 식(2.5)에서 얻어진 생산량 Q_1과 Q_2가 식(2.3)의 첫 번째 제약식을 만족하지 못하면 얻어진 생산량 Q_1과 Q_2는 실행가능하지 않으며 이 경우에는 다음과 같이 생산량 Q_i, i =1.2가 결정될 수 있다.

$$Q_i = D_i \times \frac{S_1 + S_2}{1-(\frac{D_1}{P_1}+\frac{D_2}{P_2})}, \quad i = 1,2. \tag{2.6}$$

이에 반하여 본 논문에서는 생산량 Q_1과 Q_2가 식(2.3)의 첫 번째 제약식을 만족하지 못하는 경우 즉 얻어진 생산량 Q_1과 Q_2는 실행가능하지 않는 경우 두 단계 제조시스템에서 적용된 주기시간(Bradley와 Conway, 2003)의 개념을 도입하고자 한다. 이러한 접근은 주어진 최적화 문제를 해결함과 동시에 가동준비시간에 대한 이론적 결과를 동시에 제시한다.

이제 제품 i, i = 1, 2,의 생산기간 T_i와 주기시간 T는 다음이 성립한다.

$$T_i = T\frac{D_i}{P_i}, \qquad i = 1, 2. \tag{2.7}$$

$$T = T\left(\frac{D_1}{P_1} + \frac{D_2}{P_2}\right) + S_1 + S_2,$$

$$= \frac{S_1 + S_2}{1 - \frac{D_1}{P_1} - \frac{D_2}{P_2}}. \tag{2.8}$$

식(2.8)의 결과는 주기시간 T가 가동준비시간의 합 S_1+S_2에 비례함을 보여주고 있다. 그러므로 가동준비시간이 증가하면 제품1과 2의 재고량 또한 이에 비례하여 증가함을 알 수 있다.

제품 i의 최대 재고량 $I_i^{\max}$, $i = 1, 2$에 대하여는 다음이 성립한다. 여기에서 유휴시간 I 또한 고려될 수 있음을 유의한다.

$$I_1^{\max} = (P_1 - D_1)T_1$$

$$= (S_1 + S_2)\frac{D_1(P_1 - D_1)}{P_1 - D_1 - \frac{P_1 D_2}{P_2}},$$

$$I_2^{\max} = (S_1 + S_2)\frac{D_2(P_2 - D_2)}{P_2 - D_2 - \frac{P_2 D_1}{P_1}}. \tag{2.9}$$

그러므로 식(2.1)에 의하여 제품 i의 주문량 Q_i는 다음과 같다.

$$Q_i = \frac{I_i^{\max}}{1 - \frac{D_i}{P_i}}, \qquad i = 1, 2. \tag{2.10}$$

식(2.10)에 의하여 얻어지는 생산량 Q_i는 주어진 주기시간 T를 고려할 때 최대 재고량 $I_i^{\max}$를 최소화하는 실행가능한 생산량으로 결과적으로 주기시간 T에 대하여 재고량을 최소화하는 생산량이다. 그러므로 식(2.5)로부터 얻어진 생산량 Q_1과 Q_2가 식(2.3)의 첫 번째 제약식을 만족시키지 못하는 경우에는 식(2.10)에 의하여 생산량

Q_1과 Q_2가 결정될 수 있다. 이는 총 재고관련 비용함수가 생산량 Q_1과 Q_2에 대하여 볼록함수임에 의하며 생산량이 증가하는 반면 가동준비 횟수는 감소하게 된다.

이제 주어진 순환정책 하에서 제품 1과 제품 2의 최적 경제적 생산량 Q_1^*와 Q_2^*를 구해보자. 이를 산정하는 절차는 다음과 같이 요약될 수 있다.

step1: 식(2.5)에 의하여 Q_1과 Q_2를 구한다.

만약 $\frac{D_1}{P_1} + \frac{D_2}{P_2} + S_1 \frac{D_1}{Q_1} + S_2 \frac{D_2}{Q_2} \leq 1$이면

$Q_1^* = Q_1, \quad Q_2^* = Q_2$이며

$\frac{D_1}{P_1} + \frac{D_2}{P_2} + S_1 \frac{D_1}{Q_1} + S_2 \frac{D_2}{Q_2} > 1$이면 step2로 간다.

step2: 식(2.10)에 의하여 Q_1과 Q_2를 구한다. $Q_1^* = Q_1, \quad Q_2^* = Q_2$가 된다.

주어진 알고리즘에 의하여 얻어지는 제품 1과 제품 2의 최적 경제적 생산량 Q_1^*와 Q_2^*는 순환정책 하에서 최적 경제적 생산량이 된다. 또한 주어진 생산량은 다른 최적화 알고리즘 예를 들어 반복적 방법을 적용하는데 총 재고관련 비용을 산정하는데 상한(upper bound)값으로 적용될 수 있으며 두 제품 각각 독립적으로 산정되는 경제적 생산량 Q_1과 Q_2는 총 재고관련 비용의 하한(lower bound)값으로 적용될 수 있을 것이다.

III. 복수제품으로 구성된 경우

이제 기계는 n종류의 제품 즉 제품 1, $\cdots$, n을 순환하며 순차적으로 생산을 수행한다. 그러므로 제품 i, $i = 1, \cdots, n$에 대하여 수요율 D_i, 생산율 P_i, 재고유지비용 h_i, 가동준비비용 C_i, 가동준비시간 S_i를 정의한다. 마찬가지로 I를 기계의 유휴시간이라 하자. 또한 제품 i의 생산량을 Q_i, 제품 i를 생산하는 기간을 T_i, 제품 i의 최대 재고량을 $I_i^{\max}$라고 정의한다. 제2장에서와 같이 다음이 성립한다.

$$I_i^{\max} = \frac{Q_i}{P_i}(P_i - D_i) = Q_i(1 - \frac{D_i}{P_i}), \tag{3.1}$$

$$T_i = \frac{Q_i}{P_i} = \frac{I_i^{\max}}{P_i - D_i}, \qquad i = 1, \cdots, n. \tag{3.2}$$

또한 총 재고관련 비용을 최소화시키는 최적화 모형은 다음과 같이 모형화된다.

$$\text{Min. } K = \sum_{i=1}^{n} \{ \frac{h_i}{2} Q_i(1 - \frac{D_i}{P_i}) + C_i \frac{D_i}{Q_i} \}$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^{n} \{ \frac{D_i}{P_i} + S_i \frac{D_i}{Q_i} \} \le 1$$

$$\frac{D_1}{Q_1} = \frac{D_i}{Q_i}, \qquad i = 2, \cdots, n. \tag{3.3}$$

모형(3.3)으로 표현되는 최적화 문제는 첫 번째 제약식을 잠시 고려하지 않음으로서 다음과 같은 하나의 변수를 갖는 최적화 문제로 변형된다.

$$\text{Min. } K = \frac{Q_1}{2D_1} \sum_{i=1}^{n} h_i D_i(1 - \frac{D_i}{P_i}) + \frac{D_1}{Q_1} \sum_{i=1}^{n} C_i. \tag{3.4}$$

그러므로 식(3.4)를 최소화하는 생산량 Q_i, i=1, $\cdots$, n을 쉽게 유도될 수 있다.

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2 D_1^2 \sum_{i=1}^{n} C_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i D_i(1 - \frac{D_i}{P_i})}},$$

$$Q_i = \frac{D_i}{D_1} Q_1. \tag{3.5}$$

만약 식(3.5)가 식(3,3)의 최적화 문제의 첫 번째 제약식을 만족시키지 못하면 제품 i, $i = 1, \cdots, n$,에 대하여 다음을 순차적으로 유도할 수 있다.

$$T_i = T\frac{D_i}{P_i}, \tag{3.6}$$

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_i}{1-\sum_{i=1}^{n}\frac{D_i}{P_i}}, \tag{3.7}$$

$$I_i^{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_i}{1-\sum_{i=1}^{n}\frac{D_i}{P_i}}\left(D_i - \frac{D_i^2}{P_i}\right), \tag{3.8}$$

$$Q_i = \frac{I_i^{\max}}{1-\frac{D_i}{P_i}}. \tag{3.9}$$

그러므로 주어진 순환정책 하에서 제품 i, $i=1, \cdots, n$,에 대하여 경제적 생산량 Q_i^*를 구하는 절차는 다음과 같이 요약될 수 있다.

step1: 식(3.5)에 의하여 Q_i, $i=1, \cdots, n$을 구한다.

만약 $\sum_{i=1}^{n}\left\{\frac{D_i}{P_i} + S_i\frac{D_i}{Q_i}\right\} \le 1$이면 $Q_i^* = Q_i$, $i=1, \cdots, n$,이고

만약 $\sum_{i=1}^{n}\left\{\frac{D_i}{P_i} + S_i\frac{D_i}{Q_i}\right\} > 1$이면 step2로 간다.

step2: 식(3.9)에 의하여 Q_i, $i=1, \cdots, n$을 구한다. $Q_i^* = Q_i$가 된다.

IV. 수치 예

먼저 두 제품으로 구성된 경우를 보기로 하자. 기본적인 자료는 다음과 같다.

<표 1> 두 제품에 대한 자료

제품	수요율(Di)	생산율(Pi)	재고유지비용(hi)	가동준비비용(Ci)
1	10,000	25,000	10	20
2	5,000	10,000	20	15

주어진 자료에 대하여 몇 가지 가동준비시간에 따른 수행도가 다음에 정리되어 있다.

<표 2> 경제적 생산량과 총비용

예	제품	가동준비시간(Si)	제약식 1	경제적 생산량(Qi*)	총비용(K)
1	1	1/600	0.9991	252.26	2774.89
	2	1/1200		126.13	
2	1	1/600	1.0321	333.33	2883.33
	2	1/600		166.67	
3	1	1/400	1.0487	375.0	2995.83
	2	1/800		187.5	

위의 결과에서 예 1은 모형(2.3)의 첫 번째 제약식을 만족시키므로 식(2.5)에 의하여 경제적 생산량을 산정하였다. 단위기간 동안 여유시간은 0.0009이며 총 재고관련 비용은 2774.89이다. 예 2와 예 3은 모형(2.3)의 첫 번째 제약식을 만족시키지 못하므로 식(2.11)에 의하여 경제적 생산량이 산정되었으며 두 경우 모두 여유시간은 0이다. 총 비용은 예 2의 경우는 2993.33, 예 3의 경우는 2995.83이다. 식(2.8), 식(2.10), 식(2.11)로부터 생산량은 주기시간에 비례함을 알 수 있으며 예 1, 예 2, 예 3으로부터 가동준비시간의 증가는 생산량을 현저히 증가시켜 결과적으로 재고량을 현저히 증가시키며, 나아가 총 재고관련 비용은 더 높은 비율로 증가하며 주어진 결과가 볼록성을 만족시키는 것을 알 수 있다.

참고로 실행가능성은 고려하지 않고 두 제품을 각각 독립적으로 고려하여 경제적 생산량을 구하면 Q_1=258.2, Q_2=122.5, 그리고 총 재고관련 비용은 2773.94가 되어 순환정책하의 총 재고관련 비용 2774.89와 근소한 차이를 보임을 알 수 있다.

이제 5개의 제품을 고려하여 보자. 기본적인 자료는 아래와 같다.

<표 3> 5가지 제품에 대한 자료

제품	수요율(Di)	생산율(Pi)	재고유지비용(hi)	가동준비비용(Ci)
1	1,000	5,000	30	50
2	200	2,000	50	100
3	500	2,500	20	40
4	2,000	10,000	10	20
5	400	4,000	30	30

위 자료에 있어서 모형(3.3)의 첫 번째 제약식을 만족시키는 경우와 만족시키지 못하는 두 종류의 가동준비시간에 대하여 그 결과가 아래에 제시되어 있다.

<표 4> 경제적 생산량과 총비용

예	제품	가동준비시간(Si)	제약식 1	경제적 생산량(Qi*)	총비용
1	1	0.002	0.9982	90.8153	5775.85
	2	0.005		18.1631	
	3	0.003		45.4077	
	4	0.007		181.6306	
	5	0.001		36.3261	
2	1	0.003	1.0422	110	5910.82
	2	0.006		22	
	3	0.004		55	
	4	0.008		220	
	5	0.001		44	

두 제품의 경우와 마찬가지로 예1의 경우에는 모형(3.3)의 첫 번째 제약식을 만족시키며 식(3.5)에 의하여 경제적 생산량이 산정되었으며 단위기간에 있어서 여유시간의 비율이 0.0018임을 쉽게 알 수 있다. 예 2의의 경우에는 모형(3.3)의 첫 번째 제약식을 만족시키지 못하므로 식(3.9)를 이용하며 여유시간은 없고 생산량은 증가하며 결과적으로 재고량과 총 재고관련 비용이 증가함을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 순환정책 하에서 복수 제품을 생산하는 기계에 있어서 가동준비비용과 가동준비시간을 모두 고려하여 경제적 생산량을 산정하는 방법에 있어서 주기시간을 적용하는 개념을 제시하였다. 가동준비시간의 증가는 경제적 생산량을 증가시켜 결과적으로 재고량과 총 재고관련 비용을 현저히 증가시킴을 제시하였다.

참고문헌

Avi-Itzhak, B, W.L. Maxwell, and L.W. Miller (1965), "Queueing with Alternating Priorities," *Operations Research*, Vol. 14, 306-318.

Bradley, J.R. and R.W. Conway (2003), "Managing Cyclic Inventories," *Production and Operations Management*, Vol. 12, No. 4, 464-479.

Doll, C.L. and D.C. Whybark (1973), "An Iterative Procedure for the Single-Machine Multi-Product Lor Scheduling Problem," *Management Science*, Vol. 20, No. 1, 50-55.

Eisenberg, M. (1971), "Two Queues with Changeover Times," *Operations Research*, Vol. 17, 386-401.

Elmaghraby, S. (1978), "The Economic Lot Scheduling Problem (ELSP): Review and Extensions," *Management Science*, vol. 24, No. 6, 587-598.

Haessler, F. (1971), "A note on Scheduling a Multi-Product Single-Machine System for an Infinite Planning Period," *Management Science*, Vol. 18, No. 4, 240-241.

Parsons, R.J. (1966), "Multiproduct Lot Size Determination When Certain Restrictions are Active," *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 17, No. 7, 360-363.

Sykes, J.S. (1970), "Simplified Analysis of an Alternating Priority Queueing Model with Setup Times," *Operations Research*, Vol. 18, 1182-1192.

An EPQ Model for Multi-Product with Setup Times

Sung-Chul Kim*

In this paper, we developed an EPQ model for multi-product applying cycle time. Products are produced by a single machine based on cycle policy and we considered both the setup costs and setup times. The results can be easily understood and implemented.

Keywords: production planning, economic order quantity, cycle policy, setup cost, setup time, cycle time

*Professor, Department of Business Administration, Duksung Women's University, Seoul