韓國經營科學會誌
第20卷 第1號
1995年 4月

불확실한 수율과 수요를 고려한 반도체 생산라인에서의 최적 투입량 결정모형*

박광태** · 안봉근***

A Model for determining Optimal Input Quantity in a Semiconductor Production Line considering Yield Randomness and Demand Uncertainty*

Kwangtae Park** · Bong-Geun Ahn***

Abstract

In this paper, we have developed a model to determine the input quantity to be processed at each stage of a multi-stage production system in which the yield at each stage may be random and may need reworking at that stage. Yield randomness, especially in a semiconductor industry, is a most challenging problem for production control. The demand for final product is uncertain. We have extended the model proposed in Park and Kim[9] to consider a multiple number of reworkings which can be done at any stage prior to or at the stage whose output is bad, depending on the level of the defect.

* 본 논문은 1994년도 주식회사 동방공업의 연구비 지원에 의해 이루어진 것입니다. 본 논문의 심사를 맡아 유익한 조언을 하여주신 익명의 심사자께 감사드립니다.
** 영남대학교 경영학과
*** 계명대학교 경영학과

1. 서 론

본 연구에서는 다단계 생산시스템에서의 각 단계별 투입량을 결정하는 문제를 다루고 있다. 여기서 다루는 다단계 생산시스템의 각 단계별 수율(Yield rate)은 불확실하여 재작업을 필요로 하는 경우가 발생할 수 있다. 또한 최종 제품에 대한 수요도 불확실하여 사전에 알 수가 없다.

재작업이 허용되지 않고 수요가 확실하게 주어지는 다단계 생산시스템에 대해서는 Lee와 Yano[6]가 최적 투입량 결정규칙을 제시하고 있다. Lee와 Yano의 연구를 박과 김[9]은 확장하여 재작업이 허용되고 수요가 불확실한 경우까지 고려할 수 있는 모형을 제시하고 있다. 그렇지만 수율이 불확실한 바로 그 단계에서의 재작업만을 허용하고 또한 재작업도 단 한번 행해지는 것으로 간주하여 이 한 번의 재작업 후에도 불량인 것은 폐기처분하는 것으로 가정하고 있다.

본 연구에서는 이를 더욱 확장하여 불량이 발생한 경우의 재작업이 불량정도에 따라 불량이 발생한 그 단계 또는 이전의 어느 단계에서든 이루어지도록 허용되고 또한 재작업도 여러 번 허용될 수 있는 모형을 제시하려고 한다. 예를 들어 이전의 단계에서 발생한 불량이 현 단계의 검사에 의해 발견되고 불량의 정도에 따라 해당되는 특정 수리가 이루어지는 단계로 보내지는 반도체 생산라인의 경우에 이러한 모형을 적용할 수 있을 것이다. 본 논문은 모두 4장으로 구성되어 있다. 2장에서는 개발된 모형을 제시하고 3장에서는 적용예를 보여줄 것이다. 끝으로 4장에서는 결론 및 추후 연구방향을 언급할 것이다.

2. 모형의 개발

2.1 재작업이 한 번 허용되는 경우

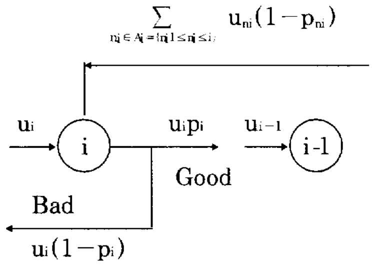
본 논문에서 고려하는 모형도 역시 다단계(N단계) 생산시스템이다. 각 단계에서의 수율은 불확실하여 재작업을 필요로 한다. 그러나 재작업은 불량의 정도에 따라 불량이 발생한 단계 또는 이전의 어는 단계에서든 이루어질 수 있는 것으로 가정한다. 여기서도 박과 김[9]의 연구와 마찬가지로 경험적 또는 이론적 수율 분포로부터 얻어진 평균 수율개념을 이용하고 있다. 이 수율은 기술이 개발될 수록 S자 곡선을 따라 향상되는 경향이 있다. 이 수율을 나타내기 위해 흔히 베타분포가 이용되고 있다. 그리고 각 단계에서의 수율분포는 상호독립인 것으로 가정한다.

여기서는 단일제품을 고려하고 있으며 그 제품은 사전에 정해진 생산공정을 따라 처리되고 최종제품에 대한 수요도 불확실하여 분포를 가지는 것으로 가정한다.

여기서의 결정사항은 이러한 상황을 고려하여 생산비용, 재고비용, 재작업비용 그리고 품절비용으로 구성된 총비용을 최소로 하는 각 단계별 투입량을 결정하는 것이다.

다단계 생산시스템에서의 제품흐름을 특정한 단계를 중심으로 나타내면 [그림 1]과 같다.

각 단계는 N에서 1까지 역순으로 표시되어 단계 1은 생산의 마지막 단계를 의미하도록 되어 있다. 단계 i에서의 결정사항은 투입량 u_i이다. 단계 i에서의 투입량은 단계 i+1에서 얻어진 양품(y_i+1)과 단계 i부터 1까지의 불량품 중 단계 i에서의 재작업을 통해 얻어진 양품을 합해 놓은 것이다. 단계 i에서의 수율은 p_i이고



[그림 1] 다단계 시스템에서의 단계 i

단계 i에서의 재작업으로부터 얻어진 양품비율은 r_i이다. 그리고 모든 반제품의 초기재고는 0으로 가정한다.

모형의 개발을 위해 고려되는 비용은 다음과 같다.

1) w_i : 단계 i에서의 단위당 생산비용

2) h_i : 단계 i에서 생산되었지만 다음단계에서 사용되지 않은 단위당 재고처분비용

3) S_i : 단계 i에서의 단위당 재작업비용

4) π : 최종단계에서의 품절비용

이제 우리가 고려하는 상황을 다음과 같이 모형화할 수 있다.

$$\min_{u_1,\ u_2,\ \cdots,u_N,} \quad E\left\{\sum_{i=1}^{N}\left[w_i\ u_i+S_i \sum_{n_i\in A_i=\{n|1\le n\le i\}}(1-p_{ni})u_{ni}+h_{i+1}(y_{i+1}-u_i)\right] +h_1\ \max(y_1-D,\ 0)+\pi\ \max(0,\ D-y_1)\right\}$$

$$\text{s.t. } y_i=u_ip_i+r_i\sum_{n_i\in A_i=\{n|1\le n\le i\}}u_{ni}(1-p_{ni}) \qquad i=1,\cdots,N$$

$$0\le u_i\le y_{i+1} \qquad i=1,\cdots,N$$

이 모형은 y_{i+1}이 알려지기 전에 결정변수 u_i의 값을 정하도록 요구하고 있다. 그러나 현실적으로는 y_{i+1}이 알려질 때까지 u_i의 값을 정할 필요가 없다. 이러한 상황을 반영하기 위하여 아래에서 설명되는 것처럼 동적계획모형을 개발할 수 있다.

모형에서 $C_i(y_{i+1})$은 단계 i부터 단계 1까지 생산시스템을 최적으로 운영할 때의 기대비용을 나타낸다. 따라서 $C_N(y_{N+1})$이 바로 전체 생산시스템을 운영하는 최소비용이다. 여기서 단계 i에서의 투입량은 이전 단계 i+1에서의 산출량을 초과할 수 없다. 동적계획모형은 최종단계와 중간단계로 나누어 표현된다. 각 단계도 그 단계에서의 재작업을 포함하는지의 여부에 따라 각기 나누어 설명된다.

1) 최종단계 (i=1)

경우 a) $A_1=\phi$ (최종단계 1에서의 재작업이 없는 경우)

$$y_1=u_1p_1$$

$$C_1(y_2) \quad \min_{0\le u_1\le y_2}\ [w_1u_1+h_2(y_2-u_1) +h_1\int_0^{u_1p_1}(u_1p_1-D)f(D)dD +h_1\int_{u_1p_1}^{\infty}(D-u_1p_1)f(D)dD$$

u^*_1를 구하기 위해 $C_1(y_2)$를 u_1에 관하여 미분한 후 그 값을 0으로 두면 다음과 같이 그 값을 얻을 수 있다.

$$u^*_1=\frac{1}{p_1}F^{-1}\left(\frac{h_2+\pi p_1-w_1}{(h_1+\pi)p_1}\right)$$

여기서 $h_2+\pi p_1\ge w_1$이고 $h_2-w_1\le h_1p_1$임을 유의하라.

경우 b) $A_1=\{1\}$ (최종단계 1에서의 재작업만 있는 경우)

$$y_1 = u_1 p_1 + u_1(1 - p_1) r_1$$
$$= u_1[p_1 + (1 - p_1) r_1] = u_1 q_1$$

$$C_1(y_2) \min_{0 \le u_1 \le y_2} [w_1 u_1 - s_1 u_1 (1 - p_1) + h_2(y_2 - y_1) + h_1 \int_0^{u_1 q_1} (u_1 q_1 - D) f(D) dD + \pi \int_{u_1 q_1}^{\infty} (D - u_1 q_1) f(D) dD$$

u^*_1를 구하기 위해 경우 a)와 같이 $C_1(y_2)$를 u_1에 관하여 미분한 후 그 값을 0으로 두면 다음과 같이 그 값을 얻을 수 있다.

$$u^*_1 = \frac{1}{q_1} F^{-1}\left(\frac{h_2 + \pi q_1 - w_1 - s_1(1 - p_1)}{(h_1 + \pi) q_1}\right)$$

여기서 $h_2 + \pi q_1 \ge w_1 + s_1(1 - p_1)$이고 $h_2 - w_1 - s_1(1 - p_1) \le h_1 q_1$임을 유의하라

2) 중간단계 (i≠1)

경우 a) $A_i \ne \phi$ (중간단계 i에서 재작업이 일어나는 경우)

① $A_i = \{1, 2, \cdots, i-1\}$의 부분집합 (중간단계 i에서의 재작업은 포함되지 아니한 경우)

$$y_i = u_i p_i + r_i \sum_{n_i \in A_i = \{n_i \mid 1 \le n_i < i\}} u_{ni}(1 - p_{ni})$$

$$C_i(y_{i+1}) = \min_{0 \le u_i \le y_{i+1}} [w_i u_i + s_i \sum_{n_i \in A_i = \{n_i \mid 1 \le n_i < i\}} u_{ni}(1 - p_{ni}) + h_{i+1}(y_{i+1} - u_i) + C_{i-1}(y_i)]$$

여기서

$$C_{i-1}(y_i) = w_{i-1} u^*_{i-1} + s_{i-1} \sum_{n_{i-1} \in A_{i-1} = \{n_{i-1} \mid 1 \le n_{i-1} < i-1\}} u^*_{i-1}(1 - p_{n_{i-1}})$$
$$+ h_i(u_i p_i + r_i \sum_{n_i \in A_i = \{n_i \mid 1 \le n_i < i\}} u^*_{ni}(1 - p_{ni}) - u^*_{i-1})$$
$$+ C_{i-2}(u^*_{i-1} p_{i-1} + r_{i-1} \sum_{n_{i-1} \in A_{i-1} = \{n_{i-1} \mid 1 \le n_{i-1} < i-1\}} u^*_{n_{i-1}}(1 - p_{n_{i-1}}))$$

이므로

$\frac{\partial C_{i-1}(y_i)}{\partial u_i} = h_i p_i$이다. 따라서 최종적으로 다음의 결과를 얻게 된다.

$$\frac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i} = w_i - h_{i+1} + h_i p_i$$

우리가 구하고자 하는 u^*_i의 값은 다음과 같이 두 경우로 나누어 주어진다.

$$\begin{cases} \frac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i} > 0 \Rightarrow u^*_i = \dfrac{u^*_{i-1} - r_i \sum_{n_i \in A_i = \{n_i \mid 1 \le n_i < i\}} u^*_{ni}(1 - p_{ni})}{p_i} \\ \frac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i} < 0 \Rightarrow u^*_i = y_{i+1} \end{cases}$$

② $A_i = \{1, 2, \cdots, i\}$의 부분집합(중간단계 i에서의 재작업도 포함된 경우)

$$y_i = u_i p_i + r_i \sum_{n_i \in A_i = \{n_i \mid 1 \le n_i \le i\}} u_{ni}(1 - p_{ni})$$
$$= u_i q_i + r_i \sum_{n_i \in A_i = \{n_i \mid 1 \le n_i < i\}} u_{ni}(1 - p_{ni})$$

여기서 $q_i = p_i + (1 - p_i) r_i$이다. 경우 a)와 같은 방법으로 하여

$$\frac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i} = w_i + s_i(1 - p_i) - h_{i+1} + h_i q_i$$

를 얻게 된다. 여기서도 우리가 구하고자 하는 u^*_i의 값은 다음과 같이 두 경우로 나누어 주어진다.

$$\begin{cases} \frac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i} > 0 \Rightarrow u^*_i = \dfrac{u^*_{i-1} - r_i \sum_{n_i \in A_i = \{n_i \mid 1 \le n_i < i\}} u^*_{ni}(1 - p_{ni})}{q_i} \\ \frac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i} < 0 \Rightarrow u^*_i = y_{i+1} \end{cases}$$

경우 b) $A_i = \phi$ (중간단계 i에서 재작업이 일어나지 않는 경우)

$$y_i = u_i p_i$$

경우 a)와 같은 방법으로 하여

$$\frac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i}=w_i-h_{i+1}+h_i q_i$$

를 얻게 된다. 여기서도 우리가 구하고자 하는 u^*_i의 값은 다음과 같이 두 경우로 나누어 주어진다.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i}>0=u^*_i=\dfrac{u^*_{i-1}}{p_i} \\ \dfrac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i}<0=u^*_i=y_{i+1} \end{cases}$$

2.2 재작업이 여러번 허용되는 경우

1) 최종단계 (i=1)

M_{ni}를 단계 ni에서 불량으로 판명된 것을 양품으로 만들도록 허용된 총 재작업수라 하자. 이처럼 다수의 재작업을 요하는 경우 재작업이 한 번 허용된 경우에 주어진 y_i 대신에 아래에서 정의된 y_i를 이용하면 된다. 이것은 기하분포(Geometric Distribution)의 원리를 이용하여 쉽게 보일 수 다.

<u>경우 a)</u> $A_1=\phi$ (최종단계 *1*에서의 재작업이 없는 경우)

이 경우는 재작업이 한 번 허용된 경우와 동일하다.

<u>경우 *b*)</u> $A_1=\{1\}$ (최종단계 *1*에서의 재작업만 있는 경우)

$$y_1=u_1p_1+\sum_{j=1}^{M1}u_1\ (1-p_1)^j\ r_1^j$$

$$=u_1\ [p_1+\sum_{j=1}^{M1}(1-p_1)^j\ r_1^j]=u_1q_1$$

이 경우 q_1의 정의가 재작업이 한 번 허용된 경우와 다름에 유의하라.

2) 중간 단계$(i\neq 1)$

<u>경우 *a*)</u> $A_i\neq\phi$ (중간단계 i에서 재작업이 일어나는 경우)

① $A_i=\{1, 2,\cdots,i-1\}$의 부분집합 (중간단계 i에서의 재작업은 포함되지 아니한 경우)

$$y_i=u_ip_i+\sum_{ni}\ \sum_{j=1}^{Mni}u_{ni}\ (1-p_{ni})^j\ r_i^j$$

이 경우 n_i는 1부터 i−1까지임을 유의하라.

$$C_i(y_{i+1})=\min_{0\le u_i\le y_{i+1}}\ [w_i\ u_i+s_i\ \sum_{n1}\ \sum_{j=1}^{Mni}u_{ni}(1-p_{ni})^j r_i^{j-1}]$$
$$+h_{i+1}(y_{i+1}-u_i)+C_{i-1}(y_i)$$

여기서

$$C_{i-1}(y_i)=w_{i-1}u^*_{i-1}\ +s_{i-1}\ \sum_{n_{i-1}}\sum_{j=i}^{M_{n_{i-1}}}u_{ni}\ (1-p_{ni})^j\ r_i^{j-1}$$
$$+h_i(u_ip_i+\sum_{ni}\ \sum_{j=i}^{Mni}u_{ni}\ (1-p_{ni})^j\ r_i^j-u^*_{i-1})$$
$$+C_{i-2}u^*_{i-1}p_{i-1}+\sum_{n_{i-1}}\sum_{j=i}^{M_{n_{i-1}}}u^*_{n_{i-1}}(1-p_{n_{i-1}})^j\ r_i^{j-1}$$

이므로

$$\frac{\partial C_{i-1}(y_i)}{\partial u_i}=h_ip_i$$

이다. 따라서 최종적으로 다음의 결과를 얻게 된다.

$$\frac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i}=w_i-h_{i+1}+h_ip_i$$

우리가 구하고자 하는 u^*_i의 값은 다음과 같이 두 경우로 나누어 주어진다.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i}>0\Rightarrow u^*_i=\dfrac{u^*_{i-1}-\sum_{ni}\ \sum_{j=1}^{Mni}r_i^ju_{ni}(1-p_{ni})^j}{p_i} \\ \dfrac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i}<0\Rightarrow u^*_i=y_{i+1} \end{cases}$$

② $A_i=\{1, 2,\cdots, i\}$의 부분집합 (중간단계 i에서의 재작업도 포함된 경우)

$$y_i=u_iq_i+\sum_{ni}\ \sum_{j=1}^{Mni}u_{ni}(1-p_{ni})^j r_i^j$$

여기서 $q_i=p_i+\sum_{j=1}^{M_i}\ (1-p_i)^j\ r_i^j$

이다. 경우 a)와 같은 방법으로 하여

$$\frac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i}=w_i-s_i\sum_{j=1}^{M_i}u_i(1-p_i)^j r_i^{j-1}-h_{i+1}+h_i q_i$$

을 얻게 된다. 여기서도 우리가 구하고자 하는 u^*_i의 값은 다음과 같이 두 경우로 나누어 주어진다.

$$\begin{cases}\dfrac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i}>0\Rightarrow u^*_i=\dfrac{u^*_{i-1}-\sum_{ni}\sum_{j=1}^{M_{ni}}r_i^j u_{ni}(1-p_{ni})^j}{q_i}\\[2ex] \dfrac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i}<0\Rightarrow u^*_i=y_{i+1}\end{cases}$$

<u>경우 b)</u> $A_i=\phi$ (중간단계 i에서 재작업이 일어나지 않는 경우)

$$y_i=u_i p_i$$

<u>경우 a)</u>와 같은 방법으로 하여

$$\frac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i}=w_i-h_{i+1}+h_i q_i$$

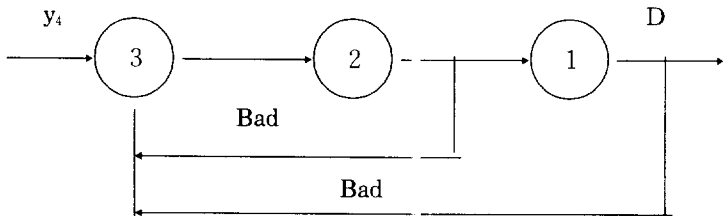
를 얻게 된다. 여기서도 우리가 구하고자 하는 u^*_i의 값은 다음과 같이 두 경우로 나누어 주어진다.

$$\begin{cases}\dfrac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i}>0\Rightarrow u^*_i=\dfrac{u^*_{i-1}}{q_i}\\[2ex] \dfrac{\partial C_i(y_{i+1})}{\partial u_i}<0\Rightarrow u^*=y_{i+1}\end{cases}$$

이상으로 설명된 것을 요약하여 최적해를 구하는 방법을 설명하면 먼저 1)최종단계에서 주어진 것처럼 u^*_1를 결정한다. 다음에 2)중간단계에서 주어진 것처럼 u^*_2, $u^*_3,\cdots$, u^*_N를 차례대로 결정해 나간다.

3. 수치예

[그림 2]에 주어지는 3단계 시스템을 고려해 보자. 단계 1과 단계 2에서 불량으로 판명된 것은 단계 3에서 재작업을 한다고 가정하자. 각 단계에서 필요한 자료는 [표 1]과 같다.



[그림 2] 3단계 시스템

〈표 1〉 수치예의 자료

단계 / 비용및 비율	단계 3	단계 2	단계 1
단위당 생산비용	0.50	0.63	0.82
단위당 재작업비용	0.20	0.35	0.50
단위당 재고처분비용	0.05	0.10	0.20
단위당 재고고갈비용	N/A	N/A	2.50
수율	0.75	0.82	0.91
재작업 성공율	0.70	0.75	0.80

최종제품에 대한 수요는 다음의 확률분포를 따르는 것으로 가정하자.

$$f(D)=\frac{1}{7000}e^{-\frac{1}{7000}D},\ D>0$$

[그림 2]로 부터

$y_1=u_1p_1$

$y_2=u_2p_2$

$y_3=u_3p_3+r_3\{u_2(1-p_2)+u_1(1-p_1)\}$

임을 알 수 있다. 그리고 y_4는 단계 3에서의 원료 투입량을 나타낸다.

1) 단계 1

$$C_1(y_2)=\min_{0\le u_1\le y_2}[w_1u_1+h_2(y_2-u_1)+h_1\int_0^{u_1p_1}(u_1p_1-D)f(D)dD+\pi\int_{u_1p_1}^{\infty}(D-u_1p_1)f(D)dD]$$

2절에서 설명된 대로 u^*_1를 아래와 같이 구할 수 있다.

$$u^*_1=\frac{1}{p_1}F^{-1}\left(\frac{h_2+\pi p_1-w_1}{(h_1+\pi)p_1}\right)=7708$$

2) 단계 2

$$C_2(y_3)=\min_{0\le u_2\le y_3}[w_2u_2+h_3(y_3-u_2)+C_1(y_2)]$$

이고

$$\frac{\partial C_2(y_3)}{\partial u_2}=w_2+h_3[(1-p_2)r_3-1]+h_2p_2>0$$

이므로 우리가 구하고자 하는 u^*_2의 값은 다음과 같이 주어진다.

$$u^*_2=\frac{u^*_1}{p_2}=9400$$

3) 단계 3

$$C_3(y_4)=\min_{0\le u_3\le y_4}[w_3u_3+h_4(y_4-u_3)+C_2(y_3)]$$

이고

$$\frac{\partial C_3(y_4)}{\partial u_3}=w_3-h_4+h_3p_3>0$$

이므로 우리가 구하고자 하는 u^*_3의 값은 다음과 같이 주어진다.

$$u^*_3=\frac{u^*_2-r_3(u^*_2(1-p_2)+u^*_1(1-p_1))}{p_3}=10306$$

4. 결론 및 추후 연구방향

이상으로 최종제품에 대한 수요가 불확실하고 재작업도 불량이 발생한 단계에서 이루어지는 것이 아니라 불량의 정도에 따라 해당 단계 또는 이전의 어느 단계에서든 이루어질 수 있는 경우에 대해 고려할 수 있도록 모형을 확장하였다. 뿐만 아니라 재작업도 한 번만 이루어지는 것이 아니라 상황에 따라 여러 번의 재작업이 가능할 수 있도록 하였다. 이처럼 본 논문은 박과 김[9]의 연구를 더욱 확장했다는 데 그 의의를 찾아볼 수 있다.

추후 연구방향으로는 수율의 분포 그 자체를 고려할 수 있는 모형을 제시함으로써 Lee와 Yano[6]에서 제시한 더욱 현실적인 상황을 고려할 수 있을 것이다. 다른 대안적 접근 방법으로서 수율의 과거자료로부터 시계열 분석등을 통해 수율의 예측치를 이용해 본 논문에서 제시된 모형을 확장할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] Dance, D. and R. Jarvis, "Using Yield Models to Accelerate Learning Curve Progress," *IEEE Trans. on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 5 (1992), pp. 41-46.

[2] Fromm, H., C. Dillenberger and A. Wollensak, "Optimization in Microelectronics Manufacturing," *Optimization in Industry,* John Wiley & Sons, West Sussex, England, 1993.

[3] Gerchak, Y., M. Parlar and R. G. Vickson, "Periodic Review Production Models with Variable Yield and Uncertain Demand," *IIE Trans.,* Vol. 20 (1988), pp. 144-150.

[4] Henig, M. and Y. Gerchak, "The Structure of Periodic Review Policies in the Presence of Random Yield," *Opns. Res.,* Vol. 38 (1990), pp. 634-643.

[5] Johnson, L. A. and D. C. Montgomery, *Operations Research in Production Planning, Scheduling, and Inventory Control,* John Wiley & Sons, New York, 1974.

[6] Lee, H. L. and C. A. Yano, "Production Control in Multistage Systems with Variable Yield Losses," *Opns. Vol. 36 (1988), pp. 269-278.*

[7] Mazzola, J. B., W. F. McCoy and H. M. Wagner, "Algorithms and Heuristics for Variable Yield Lot Sizing," Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 34 (1987), pp. 67-86.

[8] Moinzadeh, K. and H. L. Lee, "A Continuous Review Inventory Model with Constant Resupply Time and Defective Items," *Naval Research Logistics Quarterly,* Vol. 34 (1987), pp. 457-468.

[9] Park, Kwangtae and Yun Sang Kim, "Input Quantity Control in a Multi-Stage Production System with Yield Randomness, Rework and Demand Uncertainty," Korean OR/MS Society, Vol. 18 (1993), pp. 151-157.

[10] Rosenblatt, M. J. and H. L. Lee, "Economic Production Cycles with Imperfect Production Processes," *IIE Trans.,* Vol. 18 (1986), pp. 48-55.

[11] Sepehri, M., E. A. Silver and C. New, "A Heuristic for Multiple Lot Sizing for an Order under Variable Yield," *IIE Trans.,* Vol. 18 (1986), pp. 63-69.

[12] Shih, W., "Optimal Inventory Policies when Stockouts Result from Defective Products," *Int. J. Prod. Res.,* Vol. 18 (1986), pp. 677-686.

[13] Stapper, C. H., "Fact and Fiction in Yield Modeling," *Microelectronics J.,* Vol. 20 (1989), pp. 129-151.

[14] Wein, A. S., "Random Yield, Rework and Scrap in a Multistage Batch Manufacturing Environment," *Opns. Res.,* Vol. 40 (1992), pp. 551-563.

[15] Yao, D. D., "Optimal Run Quantities for an Assembly System with Random Yields," *IIE Trans* Vol. 20 (1988), pp. 399-403.