공정간 최적 완충재고 설정에 관한 연구
- A study on the Determination of Optimal Buffer Stock in Inter-Process -

황 규 완 *
하 정 진 **

ABSTRACT

There has been increasing interest in modeling the effect of buffer stock in automatic flow lines such as transfer line, assembly line and process line.

The purpose of this paper is to determine the optimal buffer stock for a two-stage process line of industry that minimize a expected cost considering line efficiency and buffer stock.

Analytical method for the simplified model is applied and computer simulation is conducted to real numerical example.

1. 서 론

장치산업의 제조공정은 보편적으로 자동화된 연속라인으로 구성되어 있으며, 이런 흐름라인은 각 공정별 상호종속적인 관계를 가지고 있다. 이와같이 다단계의 연결로 구성되어진 공정은 각 단계간의 불균형으로 인한 생산효율의 저하 및 조업중단의 결과를 초래할 수 있다.[10] 이는 한 공정설비의 중단이 흐름을 정지시켜 고장이 나지 않은 전후의 공정을 중단시키기 때문이다. 이를 방지키 위해서는 각 공정간의 완충재고를 확보해야 한다.

실제로 완충재고를 확보함으로써 한 공정의 중단으로 인한 전체 공정을 멈추게 하는 효과를 감소시킬 수 있다. 그러나 과대한 재고량은 막대한 자금의 사장을 의미하며 너무 적은 재고량 또한 조업 중단을 발생시킬 수 있다.[8]

지금까지 완충재고에 관해서 다수의 모형화에 의한 연구가 수행되어 왔지만 본 연구의 목적은 흐름생산라인의 각 공정간 완충재고의 최적량의 결정을 위해 완충재고의 결정을 위한 요소를 설비고장에 의한 중단, 그리고 과업변화에 의한 중단으로 구분하여 그중에서 설비고장에 따른 완충재고를 결정하여 완충재고의 가동정책에 효율성을 기하고자 한다.

따라서 흐름라인에 있어 완충재고로 인한 생산성분석을 통해 특정장치에 2단계 모델을 적용한 완충재고의 효율성을 해석적인 방법 및 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 방법으로 고찰하고 완충재고의 가동정책에 있어 소요되는 재고비용과 완충재고의 효율로 증가되는 이익을 비교분석하여 적정 완충재고량을 설정하고자 한다.

2. 흐름 생산라인에 대한 고찰

가. 시스템 개요

흐름라인의 생산 시스템은 Fig. 1에서와 같이 직렬로 구성된 n-단계(M_1, M_2, ·····, M_n)와 각 단계 사이에는 한정된 용량(K_1, K_2, ·····, K_{n-1})을 가진 n-1개의 BUFFER(B_1, B_2, ·····, B_{n-1})로 구성되어 있다.

이 시스템에 있어서 소재는 시스템의 외부로부터 들어와 첫번째 단계(M_1)에서 가공된 후 BUFFER(B_1)

* 동아대학교 대학원 산업공학과
** 동아대학교 산업공학과 교수
접수 : 1994년 4월 29일
확정 : 1994년 5월 12일

로 이송되며 이러한 방법으로 모든 단계와 BUFFER를 차례로 거쳐 최종 단계 M_n의 가공이 완료되면 시스템을 떠나게 된다.

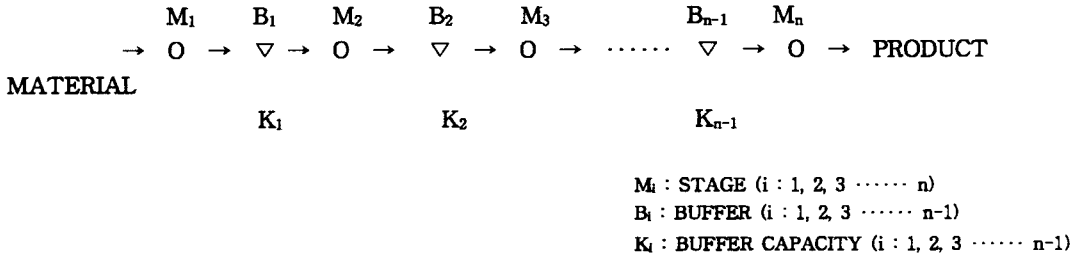

Fig. 1. Flow-Line System

나. 시스템 분석

흐름라인의 분석에는 세가지 기본척도를 사용할 수 있다.[5][9]

A. 평균생산율(AVERAGE PRODUCTION RATE, R_P)

B. 라인효율(LINE EFFICIENCY, E)

C. 생산비용(COST PER ITEM PRODUCTED ON THE LINE, C_{PC})

이의 분석을 위하여 다음과 같은 기본적인 특성을 가정한다.

1) 내부완충재고는 없다.
2) 동기된 흐름라인 시스템이라 부른다.
3) 소재는 시스템의 외부로 부터 들어와 첫번째 단계에서 가공된 후 일정한 시간간격으로 다음 단계로 이동된다.
4) 첫번째 단계에서는 STARVING이 발생치 아니하고 최종단계는 BLOCKING이 발생하지 않는다.

다. 기호설명

T_c : 이론적 CYCLE TIME

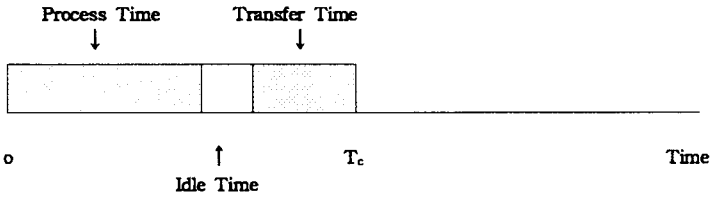

Fig. 2 Component of cycle time at typical workstation on a flow-line

T_p : 실제 평균생산시간
T_d : 고장이 발생할때 수리되는 평균고장시간
T_{dj} : 원인 j에 의한 평균고장시간
F_j : 원인 j에 의한 발생하는 CYCLE당 라인 중지빈도

여기서 한가지 원인으로 라인이 중단될 경우 평균생산시간은 다음과 같으며

$$T_p = T_c + FT_d \quad \cdots\cdots (1)$$

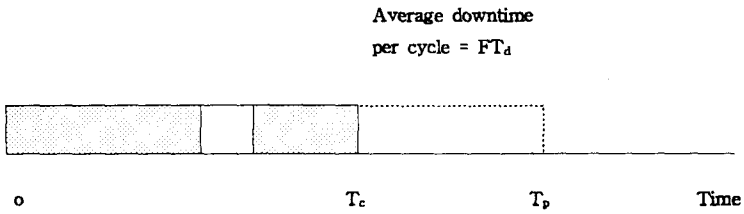

Fig. 3 Component of T_p time at typical workstation on a flow-line

여러가지 원인으로 라인이 중단될 경우 식(2)과 같다.

$$T_p = T_c + \sum_j F_j T_{dj} \quad \cdots\cdots(2)$$

(1) 평균생산율(AVERAGE PRODUCTION RATE, R_P)

흐름-라인분석의 중요한 척도로서 평균생산율(R_P)을 들 수 있다.
이것에는 실제생산율(R_P)와 이론적인 생산율(R_c)로 구분할 수 있으며 고장발생시 가공품의 제거여부에 대별하여 구할 수 있다.

(a) 고장발생시 가공품을 제거하지 않는 경우[7]

실제평균생산율

$$R_P = \frac{1}{T_p} \quad \cdots\cdots(3)$$

이론평균생산율

$$R_c = \frac{1}{T_c} \quad \cdots\cdots(4)$$

(b) 고장발생시 가공품을 작업장에서 제거하는 경우

$$R_P = \frac{1-F}{T_p} \quad \cdots\cdots(5)$$

(2) 라인효율(LINE EFFICIENCY, E)

라인효율은 이론적 CYCLE TIME에 대한 실작업시간의 비로 나타나며 식(6)과 같다.

$$E = \frac{T_c}{T_p} = \frac{T_c}{T_c + FT_d} \quad \cdots\cdots(6)$$

그리고 라인에서 고장이 발생하는 시간비율(D)은 다음과 같다.

$$D = \frac{FT_d}{T_p} = \frac{FT_d}{T_c + FT_d} \quad \cdots\cdots(7)$$

항상 라인 효율과 고장시간율의 합은 1이 된다.

$$E + D = 1 \quad \cdots\cdots(8)$$

(3) 생산비용(COST PER ITEM PRODUCED ON THE LINE, C_{pc})

가공품당 생산비용은 다음과 같다.

$$C_{pc} = C_m + C_L T_p + C_t \quad \cdots\cdots(9)$$

C_m : 단위당 원재료
C_L : 분당 라인가동비
C_t : 단위당 공구비
C_{pc} : 제품단위당 총비용

(4) 라인 중지빈도

(a) 고장발생시 작업장에서 가공품을 제거하지 않는 경우

이 경우 라인의 중지빈도는 n개의 각 작업장에서 매 사이클의 중지빈도의 합과 같다. 즉,

$$F = \sum_{i=1}^{n} P_i \quad \cdots\cdots(10)$$

P_i = 작업장 i에서 고장으로 인해 가공품이 가공되지 못할 확률

만약 $P_1 = P_2 = \cdots\cdots = P_n = P$ 이면

$$F = np \quad \cdots\cdots(11)$$

(b) 고장발생시 작업장에서 가공품을 제거하는 경우

이 경우 가공품은 다음 작업장에 가서 가공되지 못한다.

P_1은 1작업장에서 가공되지 못할 확률이며 $(1-P_1)$은 1작업장에서 가공될 확률을 나타내므로 i번째 작업장에서 가공되지 못할 확률은

$$P_i(1-P_{i-1})(1-P_{i-2}) \cdots\cdots (1-P_2)(1-P_1) \qquad i = 1, 2, \cdots\cdots, n \quad \cdots\cdots(12)$$

즉,

$$P_i \prod_{b=1}^{i-1} (1-P_b) \qquad (i = 1, 2, \cdots\cdots\cdots, n) \quad \cdots\cdots(13)$$

가 된다.

그리고 N 작업장에서 라인 중단없이 가공될 확률은

$$\prod_{b=1}^{n} (1-P_i) \quad \cdots\cdots(14)$$

이고

사이클당 라인 중지빈도는 다음과 같다.

$$F = 1 - \prod_{b=1}^{n} (1-P_i) \quad \cdots\cdots(15)$$

이고

만약 $P_1 = P_2 = \cdots\cdots\cdots\cdots = P_n = P$이면

$$F = 1- (1 - P)^n \quad \cdots\cdots(16)$$

이고 생산율은 다음과 같다.

$$Rp = \frac{1-F}{T_p} \quad \cdots\cdots(17)$$

즉, 고장발생시 작업장에서 가공품이 제거되지 않는 경우보다 생산율은 낮다.

라. 흐름생산라인의 분석

1) 완충재고의 효율

완충재고에 대한 라인의 효율은 다음과 같이 두가지의 상한과 하한을 설정할 수 있다.[3][4]

A. 완충재고가 없는 경우

B. 완충재고가 무한한 경우

(1) 완충재고가 없는 경우

라인의 효율은

$$E_0 = \frac{T_c}{T_c + FT_d} \quad \cdots\cdots(18)$$

이 경우 한 단계의 고장은 전체 라인을 중단시킨다.

(2) 완충재고가 무한한 경우

실제로는 불가능한 경우이며, 전체 라인 효율은 애로단계로 결정될 수 있다.

$$E_k = \frac{T_c}{T_c + F_k T_{dk}} \quad \cdots\cdots(19)$$

그러므로 전체 라인의 효율은

$$E_\infty = \min_k E_k \quad \cdots\cdots(20)$$

으로 나타난다.

그리고, 실제적인 완충재고 효율 E는 다음과 같이 존재하며

$$E_0 < E < E_\infty \quad \cdots\cdots(21)$$

즉 실제적인 완충재고의 효율은 완충재고가 없는 경우보다는 크고 실행불가능한 무한완충재고 보다는 적다. 따라서, 완충재고로 흐름라인의 효율을 증대시키기 위해서는 다음과 같은 기본적 법칙을 적용한 전제를 들 수 있다.[7]

A. 라인은 완충재고로 분리한다.

B. 모든 작업장의 고장확률은 같게 한다.

C. 완충재고를 크게 설계한다. 실제 용량은 평균고장시간으로 결정할 수 있으며 만약 평균고장시간의 비(T_d/T_c)가 크면 더 큰 완충용량을 가져야 한다.

이에 따른 실제 완충재고의 효율(g)은

$$g = \frac{E - E_0}{\sum P_i} = \frac{E - E_0}{1 - E_0} \quad \cdots\cdots(22)$$

즉, 실제 완충재고의 효율은 완충재고가 없을 경우의 전체고장비율과 완충재고로 인한 효율증가율의 비로 나타낼 수 있다.

3. 완충재고에 의한 생산성 분석

가. 2단계 모델의 분석

O → △ → O

STAGE 1 BUFFER STAGE 2

Fig. 4. Two-Stage Line

생산 시스템의 분석에 관해서는 많은 연구가 수행되어 왔으며 Choong ang Gershwin, Gershwin and Beraman들은 가공시간이 결정되거나 혹은 무작위 고장이 일어나지 않은 경우의 해를 제시했고 2단계 시스템에 관해서는 Buzacott[1][2]는 최초로 근사적인 분석적 방법을 제시하였고 Hong[6]은 특수한 경우에 정확한 분석적 해를 구할 수 있는 방법을 제시하였다.

본 연구는 2단계 라인의 효율을 위한 완충재고의 분석을 통하여 시스템의 생산성을 고려하고자 한다, 분석을 위한 기본적인 가정은 다음과 같다.

A. 각 단계의 수리시간 및 고장시간은 기하분포를 따른다.

B. 각 단계는 가동중일때만 주어진 고장분포에 따라 고장이 발생하며 STARVING 혹은 BLOCKING의 상태에 있을 경우에는 고장이 발생하지 않는다.

C. 각 단계 고장 발생시 가공중인 소재는 수리가 계속되는 동안 작업장에 남아 있다가 수리가 완료됨과 동시에 가공을 계속하게 된다. 수리는 고장이 발생함과 동시에 착수할 수 있다.

D. 각 단계의 생산율은 동일하다.

E. 첫번째 단계는 STARVING이 없고 두번째 단계는 BLOCKING이 없다.

1단계의 고장율은 a_1이고 2단계의 고장율은 a_2이며 이때 전체라인의 고장율은 $a=a_1+a_2$이다. 고장 비율 $r = a_2/a_1$로 정의하고 각 단계의 평균 수리율은 P_1과 P_2로 주어진다.

이때 R 시간후의 라인 효율(E)은 다음과 같이 결정된다.

$$E = E_0 + P_1 h(z) \quad \cdots\cdots(23)$$

$$E = E_0 + P_2 h'(z) \quad \cdots\cdots(24)$$

E_0 : 완충재고가 없는 경우의 효율
P_1 : 가동시간 중 각 단계의 수리시간 비율 (i=1, 2)
$h(z)$: 1단계의 수리시간중 BUFFER의 가동효율
$h'(z)$: 2단계의 수리시간중 BUFFER의 가동효율
z : 완충재고량

Z = 0일때의 2단계 시스템의 효율은

$$E_0 = \frac{T_c}{T_c + a_1 T_{d1} + a_2 T_{d2}} \quad \cdots\cdots(25)$$

으로 표시된다.

식(23)의 $P_1h(z)$ 는 효율의 증가를 의미하는데 BUFFER 용량 ($z>0$)이 증가되면 이것도 증가한다. 그리고 단계 1의 고장시간 비율 P1은 다음과 같이 나타난다.

$$P1 = \frac{a_1 + T_{d1}}{T_c + a_1 T_{d1} + a_2 T_{d2}} \quad \cdots\cdots(26)$$

$$h'(z) = \frac{a_1 T_1}{a_2 T_2} h(z) \quad \cdots\cdots(27)$$

그러므로 각 단계의 고장비율은 a_1, a_2와 각 단계의 수리분포, 그리고 BUFFER의 사용효율 h(z)로서 라인의 효율을 측정할 수 있다.

h(z)는 MARKOV CHAIN 분석으로 구할 수 있으며 이것은 단계 둘다 동시에 고장나는 확률을 무시하는 가정을 기초하고 있고 기하고장, 수리분포시에 일정고장, 수리분포인 경우도 포함시켰다.

A) 기하수리분포

i) 평균수리시간이 같을때($T_1 = T_2 = T$)

모수(Parameter)는 다음과 같이 정의된다.

$$C = \frac{1 + r - 1/T}{1 + r - r/T}$$

그러므로 $h(z) = \frac{r(1 - C^z)}{1 - rC^z}$ $(r \neq 1)$ $\cdots\cdots(28)$

$$h(z) = \frac{z/T}{2 + (z - 1)/T} \quad (r = 1) \quad \cdots\cdots(29)$$

T>1일때 C는 지수 근사값으로 접근하므로

$$h(z) = r \frac{[1 - \exp\left\{\frac{z}{T}\left(\frac{r-1}{r+1}\right)\right\}]}{[1 - r\exp\left\{\frac{z}{T}\left(\frac{r-1}{r+1}\right)\right\}]} \quad (r \neq 1) \quad \cdots\cdots(30)$$

$$h(z) = \frac{z/T}{2 + z/T} \quad (r = 1) \quad \cdots\cdots(31)$$

ii) 평균수리시간이 같지 않을 때 ($T_1 \neq T_2$)

$$C = \frac{1 + r - 1/T_2}{1 + r - r/T_1}$$

그러므로

$$h(z) = \frac{rT_2}{T_1}\left(\frac{1-C^z}{1-\frac{rT_2}{T_1}C^z}\right) \quad \left(\frac{rT_2}{T_1} \neq 1\right) \cdots\cdots (32)$$

$$h(z) = \frac{\frac{z}{T_1T_2}}{1/T_1 + 1/T_2 + (z-1)/T_1T_2} \quad \left(\frac{rT_2}{T_1} = 1\right) \cdots\cdots (33)$$

$T_1>1$, $T_2>1$일때 C는 지수근사값에 접근하므로 $r' = \frac{rT_2}{T_1}$

이 된다.

그리고 $\frac{1}{T'} = \frac{1}{T_1T_2}\left(\frac{T_1rT_2}{1+r}\right)$

$$h(z) = r' \frac{\left[1 - \exp\left\{\frac{z}{T'}\left(\frac{r'-1}{r'+1}\right)\right\}\right]}{\left[1 - r'\exp\left\{\frac{z}{T'}\left(\frac{r'-1}{r'+1}\right)\right\}\right]} \quad (r' \neq 1) \cdots\cdots (34)$$

$$h(z) = \frac{z/T'}{2+z/T'} \quad (r' = 1) \cdots\cdots (35)$$

단, $r' = 1$, $T' = (T_1+T_2)/2$일때

b) 일정수리분포

i) 수리시간이 같을때 (T1 = T2 = T)

Z = LT + v 이고 0 ≤ v < T

L은 L ≤ z/T를 만족시키는 가장 큰 정수이고 v는 BUFFER의 잔여분이다.

$$h(z) = r\left(\frac{1+r^L}{1-r^{L+1}}\right) + \frac{v}{T}\frac{r^{L+1}(1-r)^2}{(1-r^{L+1})(1-r^{L+2})} \quad (r \neq 1) \cdots\cdots (36)$$

$$h(z) = \frac{L}{L+1} + \frac{v}{T}\frac{1}{(L+1)(L+2)} \cdots\cdots (37)$$

상기식들은 단계 1, 2가 동시에 수리되는 것을 무시한 것이고, 라인의 효율을 나타내는 식 (23)은 단계 1이 고장중 단계 2가 고장나지 않는 가정이 필요하다.

그러나 실제로 단계 1의 고장시 단계 2가 고장나면 BUFFER 효율은 감소되므로 다음과 같이 표시된다. 라인 효율은 다음과 같다.

$$E = E + P_1h(z)E_2 \cdots\cdots (38)$$

BUFFER의 효율 g는 다음과 같다.

$$g = \frac{P_1h(z)}{P_1+P_2} = \frac{h(z)}{1+rT_2/T_1} \cdots\cdots (39)$$

c) 지수 수리분포

$$h(z) = gz\beta/(gz\beta+1) \qquad \alpha_1 = \alpha_2 \cdots\cdots (40)$$

$$h(z) = \max(F,1)\frac{1-F^{gz\beta}}{1-F^{gz\beta+1}} \quad \alpha_1 \neq \alpha_2 \cdots\cdots (41)$$

$F = \alpha_1 / \alpha_2$
$g = 1$ (지수수리분포)

나. 완충재고의 설정

흐름라인에서의 완충재고는 각 단계의 효율만큼이나 중요하다. 그러므로 너무 큰 완충재고의 설정은 재고비용의 전체이익에 손실을 초래하므로 완충재고의 설정으로 기대되는 라인 효율의 증가와 완충재고의 재고비용을 비교 분석하여 적정 완충재고량을 설정하여야 한다.

4. 수치예

가. 자료는 모회사의 산세공정과 압연공정의 실제 고장자료를 수집하여 분석하였다.
나. 공정도 개요

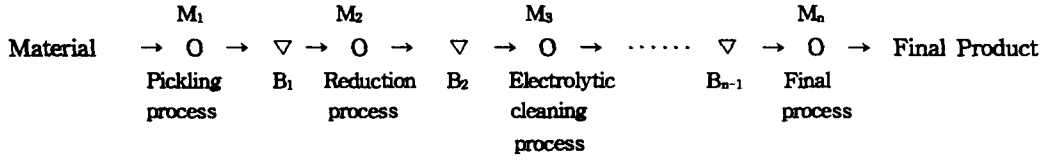

Fig. 4. Model of the Line Process

상기의 공정중 산세공정과 압연공정은 2단계 시스템으로 가정하여 압연공정을 거쳐 나오는 준간제품의 생산량을 증대할 수 있는 완충재고 B_1의 최적량을 설정하기로 한다.
먼저, 두 공정의 초기조건은 다음과 같다.
A) 각 공정의 초기조건은 다음과 같다.
B) 각 공정의 흐름은 자동 TRANSFER 라인으로 흐른다.
C) 각 공정간 운반은 CRANE을 사용한 MANUAL 흐름이며 운반시간은 동일하다.
D) 각 공정중 고장발생시 가공품은 작업장에 남아있다가 수리완료후 재가공된다.

Table 1. 산세, 압연공정의 고장자료

	산세공정(1단계)	압연공정 (2단계)
총가동시간	290160분	290160분
고장건수	92건	62건
사이클타임(T_c)	25분	25분
실가공시간(T_p)	25.356분	25.295분
고장율(a)	0.0079	0.0059
수리율(p)	0.0142679	0.0117176
MTTR(T)	40분	50분
수리분포	지수분포	지수분포
고장분포	지수분포	지수분포
MTBF	3154분	4276분
라인효율(E)	0.98573	0.98828

Table 1에서와 같이 산세공정과 압연공정에서 완충재고량이 없이 가동할 경우 장시간 가동시 압연공정은 STARVING 현상이 발생하여 라인은 중단하게 된다. 그러므로 최초의 완충재고량을 Z=0, $2T_1$ (90), 4T1(180)의 완충재고정책을 정립하여 라인 효율을 비교하였다.

가. 고장 및 수리분포를 기하분포로 가정한 분석적인 결과

고장시간 및 수리시간의 분포가 지수분포를 따르므로 1 CYCLE당의 고장, 수리확률을 계산하여 기하분포로 근사화 시킬 수 있다. 따라서 전술한 식을 적용하면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

Table 2. 완충재고와 라인 효율비교(기하분포)

최대완충량(Z) / 효 율	0	45(T_1)	90($2T_1$)	180($4T_1$)
완충사용량	0	0.2925	0.4420	0.5927
1-단계수리율	0.0142679	0.0142679	0.0142679	0.0142679
완충효율	0	0.004173	0.006306	0.008456
라인효율	0.97417	0.978343	0.980476	0.982626
평균근사완충재고	0	31.83	50.22	73.31

나. 컴퓨터 시뮬레이션

고장 및 수리분포가 지수분포인 경우에는 작업종속적인 경우(Operation dependent failure)에는 해석적인 해가 도출되지 않으므로 Table 1의 고장자료를 기초로 하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하여 완충재고의효율을 계산하였다.

Table 3은 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 완충재고와 라인의 효율을 비교한 것이다.

Table 3. 완충재고와 라인 효율비교(지수분포)

최대완충량 (Z) / 항 목	0	45	90	180	備考
1-단계 효율	0.9754462	0.9839009	0.9878047	0.9911904	*
	0.9754462	0.9838914	0.9877706	0.9909854	**
2-단계 효율	0.9890243	0.9890243	0.9890243	0.9890243	*
	0.9890243	0.9731020	0.9890243	0.9890243	**
라인효율	0.9647400	0.9731020	0.9769629	0.9803113	*
	0.9647400	0.9730925	0.9769291	0.9801087	**
평균완충재고	0	20.61	41.12	75.97	*
	0	20.28	40.15	73.36	**

* 최초 완충량을 최대완충량으로 가정한 경우

** 최초 완충량을 0으로 가정한 경우

Table 3에서 알 수 있는 바와 같이 최초완충량의 변동은 라인효율 및 평균완충재고량에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

따라서 Table 4는 분석적 해법으로 구한 완충재고의 효율과 컴퓨터 시뮬레이션으로 구한 완충재고의 효율을 비교한 것이다.

Table 4. 분석적인 해법과 컴퓨터 시뮬레이션의 결과 비교(라인 효율)

최대완충량(Z) / 완충효율	45	90	180
분석적인 기법 (기하분포)	0.004173	0.006306	0.008456
컴퓨터 시뮬레이션 (지수분포)	0.008362	0.012229	0.0155713

Table 5는 향상되어진 라인 효율과 재고비용의 비교표이다. 완충재고로 인한 순수실제이익을 산출하기 위해 재고량에 대한 재고비용은 은행대출이자(11.5%)를 기준하여 산출하였고 완충재고의 효율로 인한 이익은 생산량 증대로 인한 이익을 계산하여 도출하였다.

완충용량은 Table 5의 결과와 같이 $2T_1(90)$의 완충재고 설정이 최적으로 나타남을 알 수 있다.

Table 5. 완충재고의 재고비용과 효율이익 비교

항 목 / 최대완충량(Z)	재고비용	BUFFER 효율이익	실제이익
0	0	0	0
45	60.375	180.620	120.245
90	120.750	264.146	143.396
180	218.500	336.340	117.840

5. 결 론

장치산업에 있어서의 모든 공정은 흐름라인 시스템으로 이루어져 있으므로 한 단계의 중단은 전체 라인의 중단을 초래하게 된다.

그러므로, 전체 라인의 효율을 증대하기 위하여 완충재고를 설치할 필요가 있다. 그러나 무한한 완충재고는 재고비용의 과다를 초래하므로 적정완충재고의 설정이야말로 대단히 중요하다. 본 연구에서는 2단계 모델에 대하여 모형의 단순화에 따른 해석적 결과와 컴퓨터 시뮬레이션을 행한 결과

1) 완충재고의 변화에 따라 라인의 효율은 영향을 받으며
2) 완충재고의 증가에 따라 생산성은 증가하나 선형적으로 증가하지 않는다.
3) 수리 및 고장분포가 기하분포일 경우 보다 지수분포(시뮬레이션)을 적용한 경우가 완충재고의 효율이 큰 것으로 나타난다.
4) 수치예에서의 완충재고정책은 $2T_1(90)$으로 설정하는 것이 경제적이다.

이와같이 본 연구에서 제시한 완충재고로 증가된 라인효율의 이익과 제공하는 완충재고의 비용 계산으로 최적 완충재고를 설정할 수 있으며, 실제 생산라인에서의 생산성 향상을 기할 수 있으리라 판단된다.

REFERENCES

1. Buzacott, J.A., "Automatic Transfer Line with Buffer Stocks", International Journal of Production Research, Vol. 5, No.3, 1967, p.183-200.
2. Buzacott, J.A., "The Role of Inventory Banks in Flow-Line Production Systems", International Journal of Production Research.
3. E.A.Elsayed, C.C.Hwang., "Analysis of Two-Stage Manufactoring Systems with Buffer Storage and Redudant Machines", Int. J. Prod. Res., Vol. 24, No.1, 1986, p.187-201.
4. Edwardingnall, Alvin, Silver, P.E., "The Output of Two-Stage System with Unreliable Machines and Limited Storage", AIIE Transaction, Vol. 9, No.2, 1977.

5. Hon-Shiang Lau., "The Production Rate of a Two-Stage System with Stochastic Processing Time", Int. J. Prod. Res., Vol. 24, No. 2, 1986, p.401-412.
6. Hong, Y.S., "The Analysis of an Unreliable N-Machine Flow-Line Systems with Random Processing Times", Technical Research Report, Vol. 3, No.2, 1989.
7. Mikell, P. Groover., Automationn Production System and Computer Integrated Manufacturing, Prentice Hall, 1980, p.106-129.
8. Okamura, K., and H. Ymashina., "Analysis of the Effect of Buffer Storage Capacity in Transfer Line System", AIIE Transaction, Vol. 9, No.2, 1977, p.127-135.
9. Toshirouiyama, and Seigo, Ito., "The Maximum Production Rate for an Unbalanced Multi-Server Line System with Finite Buffer Storage", International Journal of Production Research, Vol. 25, No.8, 1987, p.1157-1170.
10. Wallace E. Franck. Jr., and Mohammad A. Quasem., "A Continuous Materials Flow Production Line Model with Station Breakdown", European Journal of Operational Research, Vol. 27, 1986, p.289-300.