'90 韓國自動制御學術會議論文集 1990. 10.26~27

분할기법을 이용한 직렬 생산라인의 근사화 해석

서 기 성° 강 재 현 이 창 훈 우 광 방

연세대학교 전기공학과

Approximate Analysis of the Serial Production Lines

Ki-Sung Seo Jae-Hyun Kang Chang-Hoon Lee Kwang-Bang Woo

Dept. of Electrical Engineering

Yonsei University

ABSTRACT

This paper presents an approximate analysis of the serial production lines using decompositon technique. A serial production line consists of a series of unreliable machines separated by finite buffers. The serial production line is evaluated by approximation method, the results of which are compared with those examined by the discrete time event simulation. , based on this approximation method, a gradient technique is proposed, which improves the efficiency of an operation of production line through the re-allocation of buffers.

1. 서 론

직렬 생산 라인(serial production line)은 부품 가공이나 조립을 위한 기계들이 버퍼로 분리되어 있는 일련의 생산라인으로서 산업계에서 가장 흔히 사용되고 있는 시스템이다. 이러한 생산라인에서는 부품이 모든 기계들에 의해 순차적으로 가공되며, 기계의 고장에의해 생산라인의 성능이 크게 영향을 받는다. 생산라인의 성능은 평균버퍼수준과 생산율로서 대표되며, 이들 파라미터를 구해봄으로써 기존의 생산라인을 분석하고 실제의 생산 환경과 비교하여 생산 시스템의 문제점 검토와, 해결 방안을 제시할 수 있다. 또, 새로운 생산 시스템을 설계할 경우에도 생산라인의 성능 파라미터들을 미리 구할 수 있어 설계에 필요한 사항들에 대한 정보의 수집과 변경이 용이하다.

생산라인의 성능을 구하는 수단으로는 이산사건(discrete-event) 시뮬레이션을 통한 방법과 수학적 분석 방법이 많이 이용되고 있다. 시뮬레이션 방법은 모델이 복잡하여 분석적인 방법으로 구하기 힘든 경우에 유용하나 대상 모델을 일반화 시키기가 어렵다. 또, 시뮬레이션의 정확성 여부가 프로그래머의 판단과 기술에 좌우되며, 계산 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 반면 수학적 분석 방법은 정확성이 보장되고, 모델의 일반화가 쉬우나 생산라인이 길이가 긴 경우에는 사용하기가 어렵다.

본 연구에서는 수학적 분석 방법으로 기계 고장과 기계간의 버퍼 용량이 유한한 생산라인을 모델링하고 이를 근사적(approximate)으로 해석한다. 여기서 고려하는 시스템은 일련의 기계와 버퍼가 연속적으로 연결되어 구성된 것으로서 한 기계가 고장났을때 그 기계에서의 고장뿐이 아니라 이로 인해 전후의 기계들이 영향을 받아 차단(blocking)과 굶핍(starvation) 현상이 일어 날 수 있다. 이러한 현상으로 인해 생산라인의 성능 해석이 복잡해지며 길이가 긴 생산라인의 경우에는 수학적으로 분석하기가 매우 어렵다.

이러한 문제에 대해서 오랫동안 연구가 진행되어 왔으나 [1] [2], 시스템의 규모가 커지면 기계와 버퍼의 상태 변화를 나타내는 Markov 천이 행렬이 복잡해지므로 해석적인 해를 구하기가 어렵다. 따라서 이미 정확한 해가 나와있는 하나의 버퍼를 포함한 두개의 기계로 구성된 기계집합에 대한 결과를 이용하여 길이가 긴 생산라인을 근사적으로 해석하는 분할 기법이 제안되었다 [3] [4].

본 논문에서는 이 기법을 사용하여 시스템의 성능 파라미터들을 구하였으며, 이를 이산사건 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 얻어진 결과는 근사화 방법이 수렴속도가 매우 빠르고, 매우 정확함을 보여준다. 한편, 기존 생산라인의 변경이나 새로운 생산라인의 설계시에 버퍼의 할당 문제가 시스템의 성능을 좌우한다. [5] 따라서 본 연구에서는 근사화 방법을 기초로하여 주어진 생산라인의 성능을 분석하고 이를 향상시키기 위하여 버퍼를 재할당하는 알고리즘을 제안하다. 또한 이 방법은 최적에 가까운 성능을 얻기 위하여 시스템의 설계시에 쓰일 수 있다.

2. 생산라인의 모델링

2.1 생산라인의 특성

자동생산 시스템에서 대표적이며 가장 중요한 분야중의 하나는 부품 가공을위한 기계들이 버퍼으로 분리된 일련의 라인으로 배열되고 이 순서에 따라 작업을 수행하는 직렬생산라인이다. 생산라인에 유입되는 부품은 첫번째 기계 M1 으로 이송되어 가공된 후, 첫번째 버퍼 B1 을 거쳐, 그 다음 두번째 기계 M2 로 이송된다. 이러한 절차가 반복되어 마지막 기계 Mm를 통해 부품 가공이 완료된다(그림 1.)

이 시스템의 특성은 다음과 같다.

1) m개의 기계와 그 사이에 있는 (m-1)개의 버퍼로 구성되어 있다.
2) 각 기계는 정상과 고장의 두가지 상태를 가진다. 정상상태는 부품을 가공, 처리할 수 있는 상태이며, 고장상태는 작업이 불가능하며 수리를 필요로 하는 상태이다. 각각 고장율 Pi 와, 수리율 Ui 가 주어진다.
3) 고장은 기계가 동작중일때만 일어나는 동작-의존(operation-dependent) 고장이라고 가정한다. (대부분의 기계 고장은 동작-의존 고장이라고 알려져 있다. [2])
4) 모든 버퍼는 유한 용량을 가진다.
   즉, $1 < Ni < \infty$, $i = 1, \ldots, m-1$
5) 각 기계의 가공시간이 같은 동종라인(homogeneous line)이라고 가정한다.

그림 1. 직렬생산 라인의 구조
Fig. 1. Structure of serial production line

이러한 시스템이 주어졌을때 평균 생산율 : 마지막 기계 Mm에서 단위 시간당 생산되는 평균 생산품의 수, 평균 버퍼 수준 : 단위 시간당 버퍼내에 존재하는 부품의 수 등은 이 생산라인의 성능을 측정하는데 매우 중요한 평가지수가 된다. 이러한 평가지수는 기계 고장에 의해 깊은 영향을 받는다. 어느 한 기계가 고장조건에 들어가면 상위(upstream) 버퍼내의 부품수는 증가하게 되고 하위(downstream) 버퍼는 감소한

다. 이 조건이 계속되면 상위 버퍼는 꽉 차게 되고, 그 결과로 상위 머신은 차단(blocking)될 수 있다. 마찬가지로 하위 저장공간은 비게되며 하위 기계는 궁핍(starvation)된다.

위와 같은 문제들은 생산라인의 성능에 매우 큰 영향을 미치며, 생산라인의 길이가 긴 경우에는 정확한 해를 구하기가 매우 어렵다. 따라서 분할 기법을 사용하여 근사화된 해를 구한다. 본 연구에서 고려하는 시스템은 각 기계에서의 가공시간이 같은 동종라인(homogeneous line)이며, MTTF(Mean Time to Failure) 와 MTTR(Mean Time to Repair) 가 지수적으로 분포되어 있다고 가정한다.

2.2 생산라인의 연속적 모델

생산라인에 있는 이산 부품(discrete part)들의 가공흐름을 연속적으로 근사화한다. 따라서 시간 t 에서 각 버퍼 Bi 에 있는 양을 Hi(t) 라 하면, 이것은 구간 [0,Ci] 에 있는 실수값을 취한다.

연속 모델의 양식은 다음과 같이 정의 된다.

1) 각 기계는 정상(또는 동작)상태와 고장(또는 수리)상태중의 하나의 상태를 가진다. Ai(t) 가 시간 t 에서 기계 Mi 의 상태를 나타낸다고 하자.

   Ai(t) = 1 : 기계 Mi 가 동작상태
   Ai(t) = 0 : 기계 Mi 가 수리상태

2) 상위 기계중의 하나가 고장나고 이 기계와 기계 Mi 사이의 버퍼가 비었으면 기계 Mi 는 궁핍된다.

   $\exists j<i$ s.t. Ai(t) = 0 , Hk(t) = 0
   모든 k = j,...,i-1 .

   하위 기계중의 하나가 고장나고 이 기계와 기계 Mi 사이의 버퍼가 꽉 찼으면 기계 Mi 는 차단된다.

   $\exists j>i$ s.t. Ai(t) = 0 , Hk(t) = Ck
   모든 k = i,..,j-1

3) si(t) 와 bi(t) 를 기계 Mi 의 궁핍과 차단조건이다. 기계 Mi 가 궁핍이면 si(t) = 1, 그렇지 않으면 si(t) = 0. 기계 Mi 가 차단이면 bi(t) = 1, 그렇지 않으면 bi(t) = 0. 기계가 궁핍되거나 차단되었을때를 idle 이라고 한다.
4) 기계가 동작중이면서 궁핍 또는 차단되어있지 않으면 작업 상태라고 말하며, 상위 버퍼 Bi-1 로 부터 하위 버퍼 Bi 로 연속적인 비율 W 을 통해 부품을 가공하고 이송한다. 가공율은 가공시간의 역수이다. 즉, W = 1/T.
5) 한 기계가 작업중일때 이 기계는 고장날 수 있다. 기계 Mi 의 고장까지의 시간은 비율 Pi 로서 지수분포되어 있다.

   또, 기계가 고장나면 수리상태로 들어간다. 기계 Mi 를 수리하는 시간은 비율 Ui 로서 지수분포되어있다.

2.3 연속 모델의 분석

생산라인 L 에 대한 연속 모델에서 성능 파라미터들간의 관계를 표현하기 위하여 먼저, 다음과 같이 성능 파라미터에 대해 정의한다 : ei 는 기계 Mi 의 독립적인 효율, Ei 는 기계 Mi 의 효율(차단과 궁핍을 고려한), Xi 는 기계 Mi 의 생산율, pli 는 기계 Mi 가 idle 일 확률, psi 는 기계Mi 가 궁핍일 확률, pbi 는 기계 Mi 가 차단일 확률, pfi 는 기계 Mi 가 고장조건에 확률을 나타낸다.
여기서 기계 Mi 의 독립적인 효율을 나타내는 ei 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$ei = Ui/(Pi+Ui) \quad (1)$$

기계의 생산율과 효율은 다음 관계를 가진다

$$Xi = W \cdot Ei \quad (2)$$

유입량의 보존관계에서 아래의 식이 성립한다.

$$X1 = X2 = \ldots = Xi = \ldots = Xk \quad (3)$$

식 (2) 와 (3) 으로부터 다음 식을 얻는다.

$$E1 = E2 = \ldots = Ei = \ldots = Ek \quad (4)$$

기계 Mi 는 작업상태, 고장상태, idle 상태의 세가지 중의 하나를 가지므로, 상태간의 확률은 다음 관계를 가진다.

$$pli + Ei + pfi = 1 \quad (5)$$
$$Pi \cdot Ei = Ui \cdot pfi \quad (6)$$

식 (1), (5), (6) 으로부터,

$$Ei = ei\ (1 - pli) \quad i = 1,\ldots,k \quad (7)$$

여기서, 한 기계가 동시에 궁핍되거나 차단될 확률은 0 이므로, 식 (7) 은 다음과 같이 표현된다.

$$Ei = ei\ (1 - psi - pbi) \quad i = 1,\ldots,k \quad (8)$$

3. 분할(decompositon) 기법을 사용한 근사화 해석

3.1 분할 기법의 분석

연속 모델의 성능 파라미터는 하나의 버퍼와 두개의 기계로 구성된 기계집합쌍의 경우, 기존의 연구 결과로 부터 쉽게 얻어질 수 있다[5]. 그러나 이개념은 긴 생산라인에 대해서는 확장되지 않기 때문에 근사화가 필요하게 된다. 분할의 원리는 다음과 같다. K 개의 기계를 가진 라인 L 을 K-1 개의 기계집합쌍을 포함한 라인 L(i) 의 집합으로 나눈다. 각 라인 L(i) 는 버퍼 B(i) 로 분리된 상위 기계 Mu(i) 와 하위 기계 Md(i) 로 구성된다. 분할의 원리는 라인 L(i) 에서 버퍼 B(i) 의 가공품 흐름 양식이 라인 L의 버퍼 Bi에서의 흐름에 근접하게 매치된다는 점이다. 기계 Mu(i)는 라인 L에서 Bi의 상위 부분을 나타내고, 기계 Md(i)는 Bi의 하위 부분을 나타낸다. 또, 라인 L(i) 에서 양쪽 기계의 가공율이 라인 L 의 기계와 같도록 선택하고, 라인 L(i) 에서 버퍼 B(i) 의 용량과 라인 L 에서 버퍼 Bi 의 용량을 같게 한다. 4 개의 기계를 가진 라인에 대한 분할이 그림 2 에 나와 있다. 이 그림에서 상위와 하위 기계의 고장율은 Pu(i), Uu(i), 그리고 수리율은 Pd(i), Ud(i) 로 표시한다.

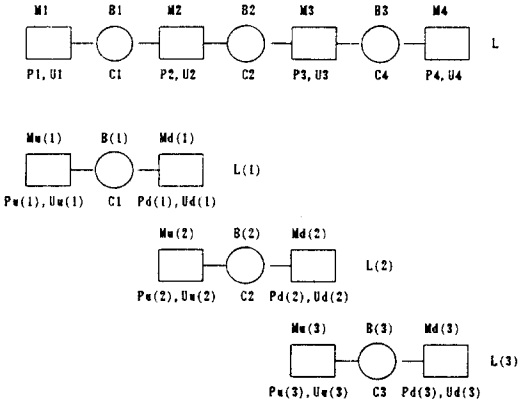

그림 2. 4 개의 기계들로 구성된 라인의 분할
Fig. 2. Decomposition of the four-machine line

각 라인 L(i) 의 미지 파라미터는 상위와 하위 기계의 고장을 Pu(i), Uu(i), 그리고 수리율 Pd(i), Ud(i) 이다. 이제 분할된 L(i) 의 파라미터들을 구함으로써 근사화 방법으로 전체 라인 L 의 성능 해석이 가능해진다.

라인 L(i)의 상위 기계에 대해 다음 식을 정의할 수 있다.

$$lu(i) = \frac{Pu(i)}{Uu(i)}, \qquad eu(i) = \frac{Uu(i)}{Pu(i)+Uu(i)} \quad (9)$$

마찬가지로, 하위 기계들에 대해서도 다음과 같이 정의

한다.

$$Id(i) = \frac{Pd(i)}{Ud(i)}, \qquad ed(i) = \frac{Ud(i)}{Pd(i)+Ud(i)} \tag{10}$$

각 라인 L(i)에 대해 다음과 같은 성능 파라미터를 정의한다. E(i), X(i), ps(i), pb(i) 는 각각, 라인 L(i)의 효율, 생산율, 기계 Md(i)의 궁핍 확률, Mu(i)의 차단 확률을 나타낸다.

라인 L(i)에서의 효율과 생산율은 다음 관계를 만족하고

$$X(i) = U\,E(i) \quad i = 1, \ldots, k-1 \tag{11}$$

식 (8) 의 유도와 비슷한 과정에 의해 다음식을 얻는다.

$$E(i) = eu(i)(1-pb(i)) \quad i = 1, \ldots, k-1 \tag{12}$$
$$E(i) = ed(i)(1-ps(i)) \quad i = 1, \ldots, k-1 \tag{13}$$

앞에서 언급한 것처럼, 분할의 원리는 라인 L 의 버퍼 Bi 에서의 흐름과 유사하게 대응되는 버퍼 B(i) 에서의 흐름 양식과 같은 라인 L(i) 의 특성을 결정하는 것이다. 특히, 라인 L(i) 의 처리량은 라인 L 에 있는 기계 Mi 의 처리량과 같아야 한다. 라인 L 과 L(i) 의 양식을 비교하면 다음과 같은 관계식이

$$X(i) = Xi+1 \quad i = 1, \ldots, k-1 \tag{14}$$
$$ps(i) = psi+1 \quad i = 1, \ldots, k-1 \tag{15}$$
$$pb(i) = pbi \quad i = 1, \ldots, k-1 \tag{16}$$

식 (2) 와 식 (11), (14) 를 사용하여 다음과 같이 등가적으로 쓸 수 있다.

$$E(i) = Ei+1 \quad i = 1, \ldots, k-1 \tag{17}$$

식 (4) 의 흐름 보존 법칙과 식 (17) 로부터 다음식을 얻는다.

$$E(1) = E(2) = \ldots = E(i) = \ldots = E(k-1) \tag{18}$$

식 (14), (15) 을 사용하면 (8), (16) 에서

$$E(i-1) == ei\,(1 - Ps(i) - Pb(i)) \quad i = 2, \ldots, k-1 \tag{19}$$

식 (12), (13), 그리고 (18) 을 사용하여, 정리하면 (19) 는 다음과 같다.

$$\frac{1}{ed(i-1)} + \frac{1}{eu(i)} = \frac{1}{E(i-1)} + \frac{1}{ei} \quad i = 2, \ldots, k-1 \tag{20}$$

식 (9), (10) 을 사용하여 식 (20) 을 아래와 같이 등가적으로 표현할 수 있다.

$$Iu(i) = \frac{1}{E(i-1)} + \frac{1}{ei} - Id(i-1) - 2 \quad i = 2, \ldots, k-1 \tag{21}$$

$$Id(i) = \frac{1}{E(i+1)} + \frac{1}{ei+} - Iu(i+1) - 2 \quad i = 1, \ldots, k-2 \tag{22}$$

이제, 라인 L(i) 의 상위 기계와 하위 기계들에 대해서 고장-수리 메카니즘을 분석하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$Uu(i) = X\,Uu(i-1) + (1-X)\,Ui \quad i = 2, \ldots, k-1 \tag{23}$$

여기서,

$$X = \frac{Ps(i-1)}{Iu(i)\,E(i-1)}$$

$$Ud(i) = Y\,Ud(i+1) + (1-Y)\,Ui \quad i = 1, \ldots, k-2 \tag{24}$$

여기서,

$$Y = \frac{Pb(i+1)}{Id(i)\,E(i+1)}$$

3.2 계산 알고리즘 및 해석 결과

위의 식들을 이용하여, 분할된 라인 L(i) 의 파라미터 Pu(i), Uu(i), Pd(i), Ud(i) 를 구하기 위해, 다음의 알고리즘을 구성한다. 이 알고리즘은 매우 간단하며, 반복적인 계산에 의해 미지 파라미터들을 구한다.

분할기법 알고리즘 :

1. 고장, 수리 파라미터들을 초기화 한다.
   Pu(i) = Pi
   Uu(1) = Ui
   Pd(1) = Pi+1 for i = 1, ... ,k-1
   Ud(1) = Ui+1 for i = 1, ... ,k-1
2. 고립 효율 ei 를 계산한다.
3. loop (for i = 1 to k-1)
   Id(i-1), E(i-1) 을 미리 계산.
   Iu(i), Uu(i), Pu(i) 를 계산.
   end.
4. loop (for i = k-2 downto 1)
   Iu(i+1), E(i+1) 을 미리 계산.
   Id(i), Ud(i), Pd(i) 를 계산.
   end.
5. 파라미터 Pu(i), Uu(i), Pd(i), Ud(i)이 수렴될 때까지 단계 3,4를 반복

이 알고리즘은 2(k-2) 번의 반복이 필요하므로, 계산 복잡도는 O(k) 이다. 그리고 수렴속도가 매우 빠르며, 주어진 생산라인의 생산율, 평균버퍼수준, 효율성, 그리고 궁핍과 차단의 확률을 구해준다.

고장율과 수리율, 그리고 버퍼용량이 서로 다른 몇가지 생산라인의 예에 대해서 분할기법을 이용하여 근사화 결과를 구하였으며, 이를 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 시뮬레이션 방법은 주어진 고장율과 수리율에 대해서 난수(random number)를 발생시켜, 가공품들이 각 기계에 유입되고 가공된 다음 버퍼로 이송되는 흐름을 이산 사건 시뮬레이션으로 실행하였다.

표 1 에 3 가지 라인에 대한 결과가 나와 있다. 모든 가공시간 T 는 1 로 같다. 버퍼 Bi 에 대한 평균버퍼수준은 Qi 로 나타내고, 평균생산율은 X 로 나타낸다. 라인 L1 은 4 개의 기계를 가지고, L2 는 5 개를 가진다. 라인 L3 와 L4 는 각 10 개의 기계를 가진다. 시뮬레이션의 단위 시간은 가공시간 1 과 같으며, 수행 횟수는 10 번을 행하였다. 표에서 M 은 기계, Pi, Ui 는 각각 기계 i 의 고장율과 수리율, Ci 는 버퍼의 용량, Bi 는 평균버퍼수준, X 는 생산율, SI 는 시뮬레이션 결과, 그리고 AP 는 근사화 결과를 각각 나타낸다.

이들 결과는 각 생산라인에 대해 근사화 방법으로 얻어진 생산율 X 와 평균버퍼수준 Qi(i=1,..,k-1) 를 보여준다. 고장율과 수리율의 분포가 다양하게 주어지고 버퍼의 용량도 임의적으로 선택되었다. 시뮬레이션의 값들과 비교해볼때 근사화된 결과가 비교적 정확함을 알 수 있다. 더구나 20 - 30 번의 반복으로 거의 수렴될 정도로 수렴속도가 매우 빠르다. 위의 예뿐만 아니라 고장율, 수리율 그리고 버퍼용량이 다른 생산라인의 데이타에 대해서도 마찬가지이며, 수렴성이 보장된다. 생산라인을 연속 모델로 근사화할 때의 오차와 이 연속 모델을 분할 기법을 사용하여 근사화한 오차를 고려한다면 상당히 실제 성능 지표에 근접함을 나타낸다.

4. 생산율 개선을 위한 버퍼의 할당 문제

기존 생산라인의 생산율을 증가시키고자할 때 취할 수

표 1. 분할기법을 이용한 근사화 해석 결과
Table 1. Results of approximate analysis using decomposition technique

a) 생산라인 L1 (K = 4)
a) Production line L1 (K = 4)

Mi	1	2	3	4
Pi	0.04	0.02	0.03	0.02
Ui	0.08	0.04	0.06	0.06
Ci	20	0	20	
Bi, X	B1	B2	B3	X
SI	15.53	0.0	5.13	0.428
AP	15.18	0.0	5.12	0.432

Mi : 기계
Pi : 고장율
Ui : 수리율
Ci : 버퍼 용량
Bi : 평균버퍼수준
X : 생산율
SI : 시뮬레이션 결과
AP : 근사화 결과

b) 생산라인 L2 (K = 5)
b) Production Line L2 (K = 5)

M	1	2	3	4	5
Pi	0.01	0.005	0.02	0.0025	0.003
Ui	0.067	0.033	0.133	0.017	0.022
Ci	20	17	30	46	
Bi, X	B1	B2	B3	B4	X
SI	12.38	10.32	9.03	9.93	0.701
AP	14.70	10.61	3.43	9.67	0.713

c) 생산라인 L3 (K = 10)
c) Production line L3 (K = 10)

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pi	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Ui	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Ci	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Bi, X	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	X
SI	3.78	3.26	2.92	2.66	2.44	2.20	1.97	1.66	1.16	0.240
AP	3.89	3.37	3.02	2.75	2.50	2.25	1.93	1.63	1.11	0.242

있는 방법은 크게 다음의 두가지가 있다. 기계 자체의 성능을 높이는 것과 버퍼의 용량을 늘리는 것이다. 이들은 기계의 교환이나 버퍼의 추가를 요구하기 때문에 생산 비용이 증가하게 된다. 그러나 기존 생산라인이 최적으로 설계되어있지 않았으면, 생산비용의 추가없이 버퍼의 재할당을 통해 생산율을 증가시킬 수 있다.

즉 생산율은 X, i번째 버퍼 Bi 에서의 버퍼크기를 Ci 라고 할 때 버퍼의 증가분에 대한 생산율의 변화분을 Gi 라 한다.

$$Gi = \frac{\Delta X}{\Delta Ci}$$

각 버퍼에 대해서 Gi 를 조사해봄으로서 버퍼의 변화에 대한 생산률의 변화를 알 수 있다. 따라서 Gi 를 이용해서 반복적으로 버퍼 크기를 조정함으로서 생산율을 증가시킬 수 있다. 본 연구에서 제안한 버퍼의 할당 알고리즘은 아래와 같다.

버퍼할당 알고리즘 :
1. 각 B 에 대해서 X , Gi(i = 1,..., N-1) 을 구한다.(X_0는 초기 생산율)
2. G 값의 크기에 따라 ΔCi 의 값을 정한다
   Ci' = Ci + ΔCi
   여기서 ΔCi ∈ { +1, 0, -1 }
3. $X > X_0$ 이면 X_0= X, Ci = Ci' 로 놓고 1,2 단계를 반복한다.
   $X \leq X_0$ 이면 반복을 멈춘다.

위 알고리즘을 수행시킬 때 생산율 X는 근사화 방법으로 구하였다. 2 가지 생산라인에 대해 적용하여 구한 결과가 표 2 에 나와 있으며 알고리즘의 반복수행에 따라 버퍼가 재할당되면서 생산율이 개선됨을 알 수 있다.

표 2. 버퍼의 재할당을 통한 생산율의 개선 결과
Table 2. Results of the improved production rate through re-allocating buffers

a) 생산라인 L3 (K = 10)
a) Production line L3 (K = 10)

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pi	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Ui	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Bi, X	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	X
Ci	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0.2492
Ci'	4	5	5	5	6	6	5	5	4	0.2581

Ci' : 재할당된 버퍼

b) 생산라인 L4 (K = 10)
b) Production line L4 (K = 10)

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pi	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Ui	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Bi, X	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	X
Ci	50	50	50	50	50	50	50	50	50	0.4236
Ci	39	51	54	55	55	55	53	50	38	0.4361

6. 결론

본 논문에서는 고장날 수 있는 기계와 유한용량의 버퍼를 가진 직렬생산라인의 성능을 근사적으로 해석하였고 이를 토대로 하여 주어진 버퍼의 재할당을 통해 생산라인의 성능을 개선시키는 방법을 제안하였다. 생산라인을 분석하기 위해 연속 모델로 근사화한 다음, 분할 기법을 사용하여 평균버퍼수준과 생산율에 대한 근사화 결과를 구하였다. 이 근사화 기법은 수렴 속도가 매우 빠르며 시뮬레이션과 비교된 결과는 상당히 정확함을 나타낸다. 또한 생산라인의 성능 개선을 위한 버퍼할당 문제에서, 근사화 해석을 통해 구한 생산율을 가지고 알고리즘을 수행한 결과 수행시간이 짧으며 주어진 생산라인에 대해서 최적에 가까운 버퍼의 할당이 이루어짐을 보인다.

참고문헌

[1] Yves Dallery, R.David, and X. L. Xie, "An efficient algorithm for analysis of transfer lines with unreliblae machines and finite buffers," IIE Trans., vol. 20, pp. 280-283, Sept. 1988.

[2] J. A. Buzacott and L. E. Haniffin, " Models of automatic transfer lines with inventory banks: A

review and comparison," AIIE Trans., vol. 10, no. 2, pp. 197-207, 1978.
[3] Y. F. Choong and S. B. Gershwin, "A decomposition method for the approximate evaluation for capacitated transfer lines with unreliable machines and random processing times,"IIE Trans., vlo. 19, pp. 150-159, June 1987.
[4] Yves Dallery, R.David, and X. L. Xie, "Approximate analysis of transfer lines with unreliable machines and finite buffers," IEEE Trans. on Automatic Control, vol. 34, no. 9, pp. 943-953, 1989.
[5] S.B. Gershwin, "An efficient decompositon method for the approximate evaluation of tandem queues with finite storage space and blocking," Oper. Res., vol. 35, no. 2, pp. 291-305, Mar.-Apr. 1987.
[6] S.B. Gershwin and I. C. Schik, "Modeling and analysis of three-stage transfer lines with unreliable machines and finite buffers," Oper. Res., vol. 31, no. 2, pp. 354-380, Mar.-Apr. 1983.
[7] Y. C. Ho, M. A. Eyuler, and T. T. Chien, "A gradient technique for general buffer storage design in a production line," Int. J. Production Res., vol. 17, no. 6, pp. 557-580, 1979.
[8] D. Mitra, "Stochastic theory of a fluid model of multiple failure-susceptible producers and consumers coupled by a buffer," Advances Appl. Probability, Sept. 1988.
[9] N. J. Pasko, "A probabilistic model of a system with intermediate accumulation of production," Eng. Cybern., vol. 12, no. 1, pp. 75-82, 1974.
[10] B. A. Sevast'yanov, "Influence of storage bin capacity on the average standstill time of a production line," Theory Probablity Appl., vol. 7, no. 4, pp. 429-438, 1962.