

Deadlock과 Workload에 따른 FMS의 버퍼 Capacity 결정에 관한 연구

A Study of Buffer Allocation in
FMS based on Deadlock and Workload

김경섭*, 이정표*

Kyung Sup Kim, Joung Pyo Lee

Abstract

Due to the complexity of part flow and limited resources, FMS(Flexible Manufacturing System) develops blocking, starvation and deadlock problems, which reduce its performance. In order to minimize such problems buffers are imposed between workstations of the manufacturing lines. In this paper, we are concerned with finding the optimal buffer allocation with regard to maximizing system throughput in limited total buffer capacity situation of FMS. A dynamic programming algorithm to solve the buffer allocation problem is proposed. Computer simulation using Arena is experimented to show the validation of the proposed algorithm.

Key Words: buffer allocation, FMS, simulation, deadlock, dynamic programming

* 연세대학교 산업시스템공학과

1. 서론

최근 제조업에서는 현대의 고도화된 자동화, 정보화의 도입을 통해 제품수명주기의 단축, 글로벌한 경쟁, 급변하는 기업 내외적인 상황변화에 대비하고 있다. 생산시스템의 성능 향상은 과거부터 가장 중요한 연구 과제로서 많은 연구가 진행되어오고 있으며, 특히 효율성과 유연성이 점차 강조되면서 주문생산방식(Job Shop)과 흐름생산방식(Flow Shop)의 장점을 가진 유연생산시스템에 대한 관심과 적용범위가 확대되고 있다.

이러한 유연생산시스템(Flexible Manufacturing System)은 자재 운송을 담당하는 MHS(Material Handling System), 실제 작업을 위한 N/C 기계로 이루어진 workstation, 이들을 통합 제어하는 통제부분(Control Part)으로 구분되며, 중소형의 생산환경으로도 대량생산시스템과 같은 효과를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다.

생산환경에 따른 유연성 증가, 제품의 품질 및 장비 가동률 향상 등의 여러 장점에도 불구하고, FMS의 실제 적용에 있어서는 작업 스케줄링, 무인운반차(Automated Guided Vehicle)의 경로선택 및 할당, 설비계획 등의 어려운 문제가 존재하며 그 동안 많은 관련 연구를 통해 갖가지 문제들의 최적 또는 그에 가까운 방법론들이 제시되어 왔다. 본 연구는 FMS의 여러 문제 중 하나인 버퍼의 최적할당에 관한 부분을 다루고 있다.

버퍼는 시스템내 재공재고(Work In Process)의 일시적인 저장공간으로, 일정하지 않은 작업 시간과 제한된 자원(예, AGV, 버퍼, 이동경로 등)에 따른 시스템의 blocking, starving 그리고 deadlock 등의 발생 가능성을 줄이는 역할을 수행한다. 하지만 버퍼도 자원의 일부이며, 공간과 비용상의 제약으로 인해, 시스템내의 총 가용 버퍼 크기는 한정되어 진다. 결국 제한된 버퍼의 적절한 할당은 시스템의 수행도에 큰 영향을 줄 수 있으며, 그 동안 많은 연구가 진행되어 왔다.

본 연구에서는 단방향 AGV를 MHS로 사용

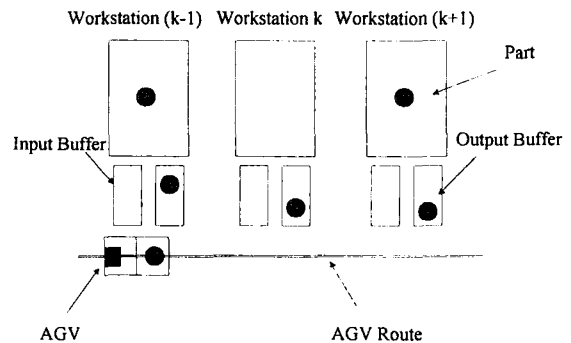
하는 FMS에서 각 workstation의 작업량과 dead-lock 발생 횟수를 고려, 동적계획법(Dynamic Programming)을 위한 데이터를 얻고 이를 통해 최적 버퍼를 할당하는 방법론을 제시하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장은 생산시스템에서 버퍼의 역할 및 의의와 그 동안 발표되었던 관련 연구를 살펴보고, 3장에서는 본 연구의 대상이 되는 FMS에서의 버퍼 할당 문제를 흐름라인과 비교 설명한다. 4장에서는 deadlock 횟수와 workload를 고려해 버퍼 크기를 결정하는 본 연구의 방법론을 제시하며, 5장에서는 제시된 방법론 검증을 위한 대상시스템 설명과 시뮬레이션 결과를 다루며, 6장에서 본 연구의 결론 및 향후 연구방향을 언급한다.

2. 버퍼의 개념 및 기존 연구

2.1 버퍼의 개념

일련의 연속적인 공정을 거치는 생산시스템에서 일정하지 않은 작업시간과 자재운반의 제약에 따라 시스템의 성능이 달라지게 되는데, 이에 대한 간단한 대안으로 제시되는 것이 바로 버퍼의 설치이다.



<그림 1> 입, 출고버퍼를 가진 생산시스템

예를 들어, <그림 1>과 같은 시스템에서 해당 작업을 위해 입고되고, 작업을 마치고 나가는 부품은 일시적으로 해당 버퍼에 저장되어 전체적인 생산라인의 흐름을 원활하게 하고 있다. 만약 workstation의 버퍼공간이 부족하다면 후행작업이 선행작업의 작업종료까지 대기하는 blocking, 후행작업의 도착 지연으로 인해 workstation이 idle하게 되는 starving을 비롯해 전체 시스템이 정지하는 deadlock 현상이 발생해 전체 시스템 성능을 크게 저하시키게 된다.

이처럼 생산시스템의 물류 흐름 관리에서 재공재고의 이동이 보다 용이하도록 변동요인을 흡수하는 것을 버퍼기능(Buffer Function)이라고 하며

1) 여분의 재고 확보 등과 같은 제품에 의한 조절
 2) 여유 기계 보유 등의 생산능력에 의한 조절
 3) 납기지연에 대비한 납기여유 등의 시간에 의한 조절
 등으로 구분된다.

하지만 위와 같은 버퍼의 순기능과 더불어, 과도한 재공재고의 발생, 생산 소요시간의 증가 등과 같은 역기능도 포함하고 있다. 결국, 이러한 버퍼의 양면성을 고려해 어느 위치에 얼마 크기의 버퍼를 할당할 것인가가 많은 연구의 대상이었다.

본 연구에서는 위에 제시된 여러 버퍼기능 중, 각각의 workstation에 최적크기의 버퍼를 할당하는 '생산능력의 조절에 의한 버퍼기능'을 대상으로 하고 있다.

2.2 기존 연구

생산시스템의 버퍼 크기를 결정하는 버퍼 할당에 관한 문제는 일종의 미해결문제(open problem)로 Jackson[10]에 의해 처음 제시된 이후, 많은 연구가 진행되어 왔고, 다음 네 가지 방법론으로 분류될 수 있다.

- 1) 수학적 분석을 통한 방법론
- 2) 시뮬레이션을 이용한 방법론
- 3) 최적화 기법을 적용한 방법론
- 4) 경험론적(Heuristic) 방법론

이러한 방법론들은 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 즉, 수학적 방법론은 시스템에 대한 여러 가정을 통한 시스템이 아니면 접근이 어렵고, 시뮬레이션 방법론은 대상 시스템을 실제와 유사한 수준으로 모델링하여 분석할 경우 많은 시간과 비용을 필요로 한다. 비선형계획법과 같은 최적화 모델링에 의한 방법론은 적용 범위가 몇몇 시스템으로 제한되며, 경험론적 방법론은 결과 검증에 어려움이 있다. 관련된 주요 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Altiok과 Stidham[1]은 대기행렬모델을 통해 시스템의 일정 수준이상의 산출량을 얻기 위한 분석적 접근을 제시했으며 Buzacott[2]은 네 개의 머신으로 구성된 시스템의 최적 버퍼 할당을 수학적으로 접근했다. Hendricks[7]은 Markovian 과정을 이용해 짧은 생산라인으로 연구를 수행했다.

Soyster etc.[14]는 선형계획법을, Seong et al.[6]은 비선형계획법에 의한 경험론적 접근을 통해 머신의 고장 발생까지 고려한 시스템의 최적 버퍼 할당과정을 제시하였다.

Ho. et al.[9]은 Gradient Search Method를 이용해 생산량의 최대화를 위한 버퍼 할당 과정을 보였으며 시뮬레이션과정을 통해 시스템 성능을 검증하였다.

Conway et al.[5]은 시뮬레이션을 이용해 연구를 수행했으며, Christian et al.[4]는 Tabu Search를 이용해 생산라인의 버퍼 위치와 크기를 결정하고 SLAM을 통해 검증하는 과정을 제시했다.

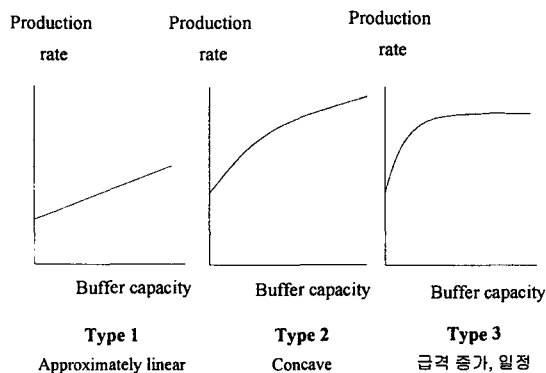
Chow[2], Liu[12] 등은 목적함수의 재귀형식(recursive formula)을 이용하여, 두 workstation으로 단순화시킨 시스템에서 동적계획법을 통해 안정상태에서의 최대 산출량을 얻을 수 있는 버퍼할당과정을 보였다.

Hiller and So[8]는 두 대의 머신으로 구성된 balanced 생산라인에서 작업시간의 변동계수(coefficient of variation)가 시스템 성능에 끼치는 영향을 Decomposed Coxian Method를 통해 분석하고, Hooke and Jeeves Search Method를 이용해 버퍼 할당을 결정하였다.

이상의 기존 연구를 통해, 최적 버퍼 할당 문제의 복잡성으로 대상을 소형시스템 또는 단순 흐름 시스템으로 축소시키거나, 많은 가정과 전체 시스템에 관련된 데이터의 부분적 사용 등의 한계가 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 FMS를 대상 시스템으로 수행된 버퍼 할당에 관한 연구는 비교적 많이 이루어지지 않았음을 살펴 볼 수 있다.

3. 문제의 개요

생산시스템에서 버퍼의 크기에 따라 시스템 성능이 달라지는 것은 굳이 설명이 필요치 않은 부분이다. Okamura와 Yamasina[13]에 의하면 버퍼 크기와 생산량의 관계는 <그림 2>와 같이 세 가지 형태로 구분되며, workstation이 두 개 이상 일 경우 Type 3의 형태를 보이는 것으로 알려져 있다.



<그림 2> 버퍼크기와 생산량과의 관계

이상의 내용을 토대로 간단한 흐름 생산시스템과 본 연구의 대상이 되는 FMS의 버퍼 할당 문제의 특징을 비교해 본 연구의 대상에 이해를 넓히고자 한다.

3.1 흐름 생산시스템의 버퍼 할당 문제

생산시스템에서 버퍼의 크기가 무조건 커진다고 해서 좋은 결과를 보이는 것은 아니라는 것은 <그림 2>를 통해 알 수 있었으며, 또한 현실적으로 버퍼 크기는 공간상, 비용상의 제약으로 인해 임의로 늘릴 수도 없다.

네 개의 workstation으로 구성된 간단한 흐름 생산시스템을 통해 버퍼 할당 문제의 복잡성을 살펴보자. 각 workstation 사이에 버퍼 1, 2, 3를 배치할 수 있으며, 총 버퍼의 크기를 2로 가정하면, 총 6가지(0-1-1, 1-0-1, 1-1-0, 0-0-2, 0-2-0, 2-0-0)의 대안이 도출된다.

Lutz[7]의 연구에 의하면 버퍼 설치가 가능한 총 위치(n)와 총 버퍼 크기(u)에 따라서 버퍼 할당을 위한 대안의 수는 다음의 수식에 의해 결정된다.

$$\binom{n+(u-1)}{u} = n+(u-1)C_u \quad (1)$$

예를 들어, 네 개의 workstation으로 이루어진 시스템에서 총 버퍼 용량이 3일 경우, $5C_3$ 이 되어 총 10가지의 대안이 형성된다. 따라서 시스템 복잡성이 조금 증가해도 고려해야 할 버퍼 할당 가짓수는 기하급수적으로 늘어나게 된다.

3.2 FMS에서의 버퍼 할당 문제

FMS에서의 버퍼 할당 문제는 위에서 살펴본 흐름 생산라인과는 많은 차이가 있다. 기본적으로 part의 흐름이 흐름 생산라인은 단순하지만, FMS는 part의 각기 다른 경로와 작업시간도 고려해야 한다. 또한 한정된 AGV와 이동 경로의 공유에 따른 blocking, starving 그리고 deadlock

등의 문제도 발생할 수 있다.

이러한 이유로 FMS의 버퍼 할당 문제는 수학적 접근을 통한 해결이 난해하며, 경험론적 방법론이나 대상 시스템이 단순화된 연구가 대부분인 실정이다.

4. Deadlock과 Workload를 고려한 최적 버퍼 할당

4.1 개요

FMS 수행도의 중요한 변수로 part 이동에 있어서의 blocking, starving 그리고 deadlock에 의한 cycle time의 증가 및 성능의 저하를 생각해 볼 수 있다. 본 연구에서는 단방향 AGV를 통해 part가 이동하는 시스템에서 각 part 이동 경로를 분석, 재공재고의 blocking, starving, 나아가 deadlock이 가능한 발생하지 않도록 버퍼를 할당해 시스템 수행도를 높이하고자 한다.

즉, FMS내 workstation으로 입고되는 part 이동을 아래와 같이 분류하고 시뮬레이션으로 균등 할당 때의 workstation별 deadlock 횟수를 알아낸 후, 이를 동적계획법에 적용시켜 본 연구에서 제시하는 최적의 버퍼 할당 대안을 얻는다.

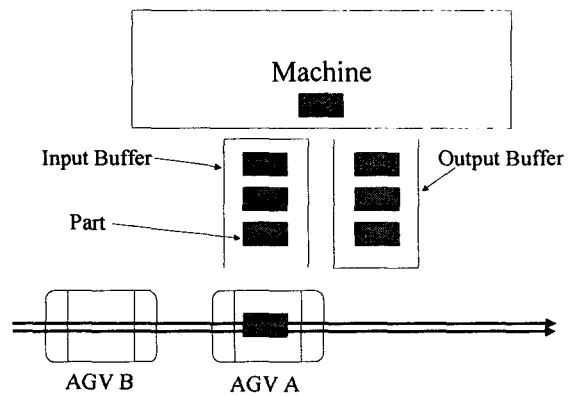
- n_k : W.S. k 로 작업되기 위해 도착하는 횟수
- h_k : 다음 작업을 위해 W.S. k 를 지나치는 횟수
- d_k : W.S. k 에서 발생하는 deadlock 횟수

4.2 시뮬레이션을 통한 deadlock의 파악

Deadlock(교착상태)은 제한된 자원의 공유로 인해 전체 시스템이 정지되는 상태를 의미한다. 예를 들어, <그림 3>과 같이 입, 출고 버퍼에 여유가 없는 상황에서 해당 머신으로 작업을 위해 또 다른 part를 실은 AGV A가 도착하면, part를 내려놓지 못해 blocking이 발생하고 뒤따라오는 다음 AGV B 역시 blocking이 발생된다. 이러한 상황이 시스템 전체로 확산되면 전체 시스템이

다운되는 상황, 즉 deadlock이 발생하게 된다.

FMS와 같은 자동화된 시스템에서 이와 같은 현상이 발생할 경우, 사람이 직접 해결하거나 deadlock recovery 알고리즘을 통해 시스템을 전환해야 하므로 시스템 성능에 상당한 불이익을 가져오게 된다.



<그림 3> deadlock 상태의 시스템

4.3 동적계획법의 적용

본 연구에서는 최적 버퍼할당을 동적계획법을 이용해 해결하는데, 이는 일반적인 자원 할당을 위한 동적계획법과 유사하다.

총 N 개의 workstation으로 구성된 시스템에서 총 가용 버퍼 용량은 X 이고, 총 작업시간의 최소화를 목적함수로 할 경우, 다음의 식이 형성된다.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^N r_i(x_i) \tag{2}$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^N x_i \leq X \tag{3}$$

$x_i \geq 0$, integer이며 workstation k 에 할당된 버퍼의 크기

(A) State Variable

 i : workstation number x : workstation i 에서 N 까지 할당 가능한 버퍼 크기, 즉 총 버퍼에서 $i-1$ workstation 까지 할당된 버퍼를 제외한 나머지 버퍼 용량

(B) Optimal Return Function

 $S(i, x) = x$ 만큼의 버퍼를 workstation i 에서 N 까지 할당해 얻을 수 있는 최대의 시스템 산출량

(C) Bellman Equation

$$S(i, x) = \underset{0 \leq x \leq x_i}{\text{Max}} [r_i(x_i) + S(i+1, x = x_i)] \quad (4)$$

(D) Boundary Condition

$$S(N+1, x) = 0 \quad (5)$$

(E) $S(1, X)$ 의 값을 통한 각 workstation의 버퍼 할당량

$$O(x_1, x_2, \dots, x_{N-1}, x_N) \quad (6)$$

4.4 FMS의 최적 버퍼 할당

본 연구에서 대상으로 하고 있는 FMS는 단방향 AGV에 의해 part 이동이 이루어지고 있다. 그러므로 blocking 등이 발생했을 때, 대체 경로 선택이 불가능하며, deadlock을 피하기 위한 시스템 버퍼의 설치도 어려운 상황이다. 따라서 선행작업의 지체로 인한 후행작업의 지연을 방지하지 못해 시스템 성능에 악영향을 미치게 된다.

이에 본 연구에서는 4.1절에서 정의한 n_k 나 h_k 등은 각 workstation의 workload로 여기고, 시물레이션을 통해 얻은 d_k 도 고려, workload (n_k, h_k)와 deadlock(d_k)에 따른 버퍼 할당으로 시스템 성능, 즉 각각의 버퍼 크기에 따른 시스

템 생산량의 최대화를 하고자 한다.

다음은 본 연구에서 제시하는 방법론의 절차를 설명하고 있다.

(단계 1, Graph화)

대상시스템을 node와 arc를 사용해 단순화

(단계 2, 그래프 단순화 및 part경로 부여)

Part의 경로에서 필요한 arc와 workstation을 포함한 node만을 남기고 기타 부분은 삭제, 남아 있는 arc에 번호를 부여해, 각 part별 경로에 따른 arc 번호를 정리

(단계 3, Arc성분 분석)

Part에 따른 arc번호를 통해, arc의 목적지를 기준으로 n_k 와 h_k 를 정리

(단계 4, 시물레이션을 통한 d_k, α_k 계산)

시물레이션을 통해 각 workstation의 deadlock 횟수(d_k)와 다음의 계산을 통해 $\bar{\alpha}$ 를 얻음

$$d_k = n_k + \alpha_k \cdot h_k \quad (7)$$

$$\alpha_k = (d_k - n_k) / h_k \quad (8)$$

$$\bar{\alpha} = \sum_{i=1}^N \alpha_i / N \quad (9)$$

$$0 \leq \alpha_k \leq 1$$

α_k : k workstation에서 n_k 와 h_k 가 deadlock 횟수에 미치는 효과

$\bar{\alpha}$: α_k 의 평균, 즉 전체 시스템에서 n_k 와 h_k 가 deadlock 횟수에 미치는 효과

(단계 5, 동적계획법을 위한 척도 생성)

단계 4의 결과와 버퍼 크기의 변화를 고려해 <표 1>과 같은 예상 산출량 척도를 얻을 수 있음

<표 1> 동적계획법을 위한 예상 산출량 척도

버퍼 Size	W.S. 1	W.S. 2	...	W.S. N
...
$(X/N)-1$	$n_1 + \bar{a}h_1 - 1$	$n_2 + \bar{a}h_2 - 1$...	$n_N + \bar{a}h_N - 1$
X/N	$n_1 + \bar{a}h_1$	$n_2 + \bar{a}h_2$...	$n_N + \bar{a}h_N$
$(X/N)+1$	$n_1 + \bar{a}h_1 + 1$	$n_2 + \bar{a}h_2 + 1$...	$n_N + \bar{a}h_N + 1$
...

(단계 6, 동적계획법 풀이)

표 1의 척도를 기준, 순차적으로 수식 (4)의 동적계획법을 풀어 $S(I, X)$, 즉 $O(x_1, x_2, \dots, x_{N-1}, x_N)$ 를 얻어냄

(단계 7, 검증)

시뮬레이션을 통해 제시된 방법론이 버퍼의 동등한 할당보다 나은 시스템 성능을 보이는 것을 검증

5. 수리적 예제

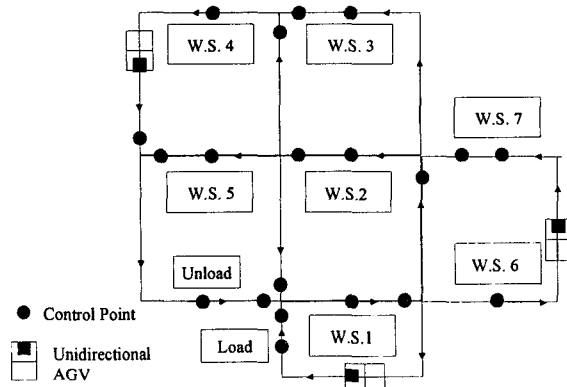
5.1 시스템 소개

제시한 방법론의 검증을 위해 아래의 시스템 (<그림 4> 참조)을 대상으로 했으며, 시뮬레이션 모델링은 ARENA version 3.5를 사용하였다.

- 7개의 W.S.과 3대의 단방향 AGV로 구성되며 총 4종류의 part가 정해진 경로에 따라 이동
- AGV의 다음 작업을 위한 workstation 선택 규칙은 SDS(Shortest Distance Serve)를 따르며, 기계 및 AGV의 고장은 고려하지 않음
- Workstation의 작업시간은 일항분포(uniform

- distribution)를 따르며, balanced line
- 각 part별 입고는 지수분포를 따름
- 총 가용버퍼 크기는 14 (대안의 비교 대상은 균등 할당 시스템)
- deadlock이 발생할 경우 사람이 직접 해당 part를 AGV에서 제거하고 시스템은 당시 상황에서 다시 시작됨
- part의 경로는 다음과 같으며 숫자는 workstation 번호를 의미

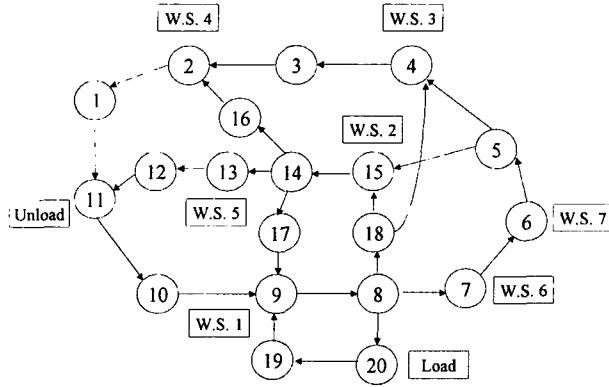
- Part A: Unload-1-2-1-2-3-4-Load
- Part B: Unload-4-5-6-7-5-7-Load
- Part C: Unload-1-2-4-2-4-6-Load
- Part D: Unload-4-5-3-6-7-5-Load



<그림 4> 대상 W.S.이 7개인 FMS

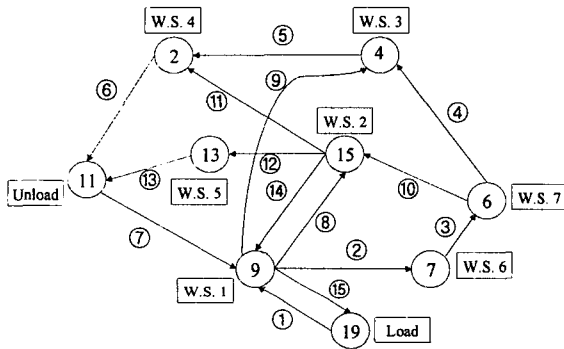
5.2 방법론 적용 과정

(단계 1) <그림 4>와 같은 대상시스템에서, 하나의 node가 control point와 다음 control point 앞까지의 경로를 포함하도록 그래픽적으로 표현하면 <그림 5>와 같은 결과를 얻게 된다.



<그림 5> 대상 FMS의 그래프화

(단계 2) <그림 5>의 workstation을 포함하는 node만을 남기고 단순화해 각 arc에 번호를 부여하면 <그림 6>과 같다. 이를 토대로 part의 경로에 따라 정리하면 <표 2>와 같다.



<그림 6> 그래프의 단순화 및 arc 번호화

(단계 3, 4) <표 2>의 결과를 바탕으로 n_k (표 2의 굵은 글씨체)와 h_k (이탤릭체), 각 workstation에 균등하게 버퍼를 할당하고 시물레이션을 수행해 d_k 를 얻은 결과가 표 3에 나타나 있다. (여기서 d_k 는 균등할당, 즉 $O(2,2,2,2,2,2,2)$ 의 데이터)

<표 2> Part의 route에 따른 arc 번호

	Part별 이동 경로에 따른 arc 번호
Part A	7-8-14-8-14-9-5-6-7-15
Part B	7-8-11-6-7-8-12-13-7-2-3-10-12-13-7-2-3-10-14-15
Part C	7-8-11-6-7-8-11-7-2-3-10-14-15
Part D	7-8-11-6-7-8-12-13-7-9-5-6-7-2-3-10-12-13-7-15

<표 3> 각 workstation의 n_k, h_k, d_k

	W.S.1	W.S.2	W.S.3	W.S.4	W.S.5	W.S.6	W.S.7
n_k	3	4	2	5	3	4	3
h_k	14	8	0	1	0	1	0
d_k	418	432	50	1010	253	102	233

Workstation 4의 경우는 d_k 가 월등히 차이가 나고 3, 5, 7은 h_k 가 0이므로 $\bar{\alpha}$ 계산에서 제외되며 나머지 값을 통해 $\bar{\alpha}=0.884$ 가 산출된다.

(단계 5) 단계 3, 4에서 얻는 n_k, h_k , 그리고 $\bar{\alpha}$ 를 이용해 표 1과 같은 예상 산출량 척도를 생성한다. 다시 말해 버퍼크기 2인 균등할당의 $n_k + \bar{\alpha}h_k$ 값을 계산하고, 이를 기준으로 나머지 값을 채워 넣는다.

(단계 6) 단계 5에서 생성된 척도를 이용해 식 (4)과 같은 Bellman Equation을 도출한 후, 동적계획법을 풀면 다음과 같은 할당이 최적 대안이며 그것의 적용 결과가 <표 4>, <표 5>에 나타나 있다.

$$O(2,3,1,3,2,2,1)$$

<표 4> 균등할당과 대안간의 산출량 비교

	Part A	Part B	Part C	Part D	계
균등할당의 산출량	404	643	365	466	1878
대안	367	720	516	356	1959
변화량(%)	-9.1	11.9	41.3	-23.6	4.31

<표 5> 균등할당과 대안간의 d_k 비교

	W.S .1	W.S .2	W.S .3	W.S .4	W.S .5	W.S .6	W.S .7	계
균등할당 일 때 d_k	418	432	50	1010	253	102	233	2498
대안의 d_k	355	174	91	683	277	109	238	1927
변화량 (%)	-15	-60	82	-32	9	6	2	22.85

5.3 시뮬레이션 결과

생산시스템 모델링 및 분석에 널리 쓰이고 있는 ARENA 3.5 버전을 사용하고, warm-up period는 12시간으로 설정하여 총 7일간의 데이터를 얻었다.

<표 4>, <표 5>를 통해 전체적인 part 산출량은 4.31% 증가, 총 deadlock 횟수는 22.85% 감

소했음을 알 수 있다. 결과를 보았을 때, route상으로 가장 빈번하게 part 흐름이 발생하는 workstation 2와 4의 버퍼를 늘려준 것이 deadlock의 감소를 통한 시스템 성능의 향상, 즉 시스템 산출량의 증가라는 결과를 가져왔다고 볼 수 있으며 또한 상대적으로 다른 workstation에 비해 part 흐름이 적은 workstation 5, 6, 7번은 균등할당 deadlock 발생 수에 있어 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구 과제

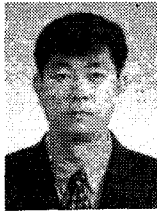
본 연구에서는 FMS라는 복잡한 시스템의 버퍼 할당을 위한 방법론을 제시하였다. 최종 버퍼의 할당, 다시 말하면 제한적인 총 버퍼크기를 고려해, 각 workstation에 현재 상황에서의 최적인 버퍼크기를 주어, 전체적인 시스템 산출량을 늘릴 수 있었다. 이를 위해 각 part의 움직임의 정의, 분석하고 시뮬레이션에서 얻은 deadlock 발생 횟수에 대한 결과를 토대로 동적계획법을 적용해 최적의 버퍼 할당 대안을 얻을 수 있었다. 본 연구의 의의로는 버퍼 할당 문제 해결을 위한 수학적 방법론과 시뮬레이션 방법론의 장점을 살린 점에서 찾을 수 있을 것이다.

향후 연구 과제로는 현재 대상 시스템이 각 workstation 작업 시간에 큰 차이가 없는 balanced line이고 단방향 AGV를 사용하므로, bottleneck workstation을 지닌 unbalanced line과 양방향 AGV 시스템으로 연구 대상을 확대시킬 필요가 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Altiok and Stidham, "The Allocation of Interstage Buffer Capacities in Production Lines", *IIE Transactions*, Vol.15, No.4 (1983), pp.292-299.
- [2] Buzacott, J.A., "The Role of Inventory Banks in Flow Line Production Systems", *International Journal of Production Research*, Vol.9, No.4(1971), pp 425-436.
- [3] Chow, W.M., "Buffer Capacity Analysis for Sequential Production Lines with Variable Process Times", *International Journal of Production Research*, Vol. 25, No.8 (1987), pp. 1183-1196.
- [4] Christian M. Lutz, K. Roscoe Davis and Minge Sun, "Determining Buffer Location and Size in Production Lines Using Tabu Search", *European Journal of Operations Research*, No.106(1998), pp. 301-316.
- [5] Conway, R., Maxwell, W., McClain, J.O. and Thomas, L.J., "The Role of Work-In-Process Inventory in Serial Production Lines", *Operations Research*, Vol.36, No.2 (1988), pp. 229- 241.
- [6] Seong, D., Chang, S.Y. and Hong, Y. "Heuristic Algorithms for Buffer Allocation in a Production Line with Unreliable Machines", *International Journal of Production Research*, Vol. 33, No.7(1995), pp. 1989-2005.
- [7] Hendricks, K.B., "The Output Process of Serial Production Lines of Exponential Machine with Finite Buffers", *Operations Research*, Vol.40, No.6(1992), pp. 1139-1147.
- [8] Hilier, F.S., and So, K.C., "The Assignment of Extra Servers to Stations in Tandem Queueing Systems with Small or No Buffers", *Performance Evaluation*, Vol.10 (1989), pp.219-231.
- [9] Ho, Y.C., Eyster, M.A and Chien, T.T., "A Gradient Technique for General Buffer Storage Design in a Production Line", *International Journal of Production Research*, Vol. 17, No.8(1979), pp. 557 -580.
- [10] Jackson, R.R.P., "Queueing Systems with Phase Type Service", *Operations Research*, Vol.5(1954), pp. 109-120.
- [11] Liu, C.M. and Lin, C.L., "Performance Evaluation of Unbalanced Serial Production Lines", *International Journal of Production Research*, Vol. 32, No.12(1994), pp. 2897-2914.
- [12] Lutz, C.M., "Determination of buffer size and location in scheduling system", Ph.D. Dissertation, Terry College of Business, The University of Georgia at Athens, GA, 1995.
- [13] Okamura, K. and Yamashita, H., "Analysis of the Effect of Storage Capacity in Transfer Line Systems", *AIIE Transactions*, No.9, Vol.2 (1977), pp. 127-135.
- [14] Soyster, A.L., Schmidt, J.W. and Rohrer, M.W., "Allocation of Buffer Capacities for a Class of Fixed Production Lines", *AIIE Transactions*, No.11, Vol.2(1979), pp. 140-146.

● 저자소개 ●



김경섭

연세대학교 기계공학과 학사

University of Nebraska-Lincoln 산업공학과 석사

North Carolina State University 산업공학과 박사

현재: 연세대학교 기계전자공학부 부교수

관심분야: 물류공학, 시뮬레이션, 공급사슬경영



이정표

성균관대학교 산업공학과 학사

현재: 연세대학교 산업시스템공학과 물류/시뮬레이션 석사과정

관심분야: 물류공학, 시뮬레이션, 공급사슬경영