

직렬생산시스템의 완충저장시설의 최적화를 위한 시물레이션모델의 연구

A Simulation Model for Buffer Storage Space Optimization in Serial Manufacturing System

황 홍 석

동의대학교 산업공학과

614-714 부산직할시 부산진구 가야동 산24

동의대학교 산업공학과

Tel : 051)890-1657 Fax : 051)890-1619

E-Mail : hshwang@hyomin.donggeui.ac.kr

요 약

본 연구는 직렬생산시스템의 재공품(Work in Process Inventory)을 최소화하기 위하여 완충저장시설의 최적소요 및 배분을 위한 시물레이션 모델의 개발이다. 이를 위하여 먼저 목표생산률을 만족하기 위한 완충저장시설의 총소요산출을 위하여 적정설비배치를 고려한 완충저장시설의 수요 및 적정배분을 함께 고려한 혼합모델을 개발하였다. 먼저 목표생산률의 만족과 적정설비배치를 동시에 고려할 경우, 완충저장시설의 총소요산출을 위한 CAN-WIP모델을 개발하고 이를 최적 배분하기 위하여 이진탐색(Binary Search)방법과 휴리스틱 방법인 Beam Search방법을 사용하였다. 이를 기존의 시물레이션 모델(FACTOR/AIM, AutoMod 등)을 사용하여 그 결과를 비교하였다, 이를 위한 전산프로그램을 개발하고 예제를 통하여 그 결과를 보였다.

Key words : WIP, Buffer Allocation, System Simulation

1. 서 론

본 연구에서는 직렬생산시스템에서 재공품(WIP)을 일시 수용하기 위한 완충저장설비(Buffer Storage)의 수요를 산정하고, 이를 최적화 하는 문제를 다루었다. 이를 위하여 목표생산률의 만족과 적정설비배치를 동시에 고려할 경우, 완충저장시설의 총 소요산출을 위한 혼합모델(Combined Model)의 연구로서 먼저, 적정 설비의 구성 및 배치와 재공품(WIP)의 분석을 위한 CAN-WIP 모델을 개발하였다.

한편으로 휴리스틱 방법의 하나인 이진탐색(Binary Search) (Park, 1993) 방법에 의하여 초기 해를 구하였으며, 두 모델의 장단점을 고려한 혼합모델을 개발하여 사용하였다. 두 번째 단계에서는 휴리스틱 방법인 Beam Search 방법을 사용하여 첫 번째 단계에서 구한 해를

기초로 하여 목표생산률을 만족하면서 완충저장설비의 수를 최소화하고 생산제품 한 개당 이익 즉 총 재공품(WIP)에 대한 재고비용, 및 총 완충저장설비의 수에 따른 비용 등을 고려하여 최대의 이익을 얻기 위한 완충저장설비의 배분방법을 구하였다. 그리고 세 번째 단계에서는 본 모델의 검증을 위하여 가능한 실제 여건과 유사한 환경에서 시스템분석을 위한 공장자동화 전용 시물레이터인 FACTOR/AIM을 이용하여 완충저장설비의 배분 해를 비교 분석하였다.

2. 완충저장설비의 소요산출

직렬생산시스템(Serial Manufacturing System)에서 목표생산률의 만족과 적정설비배치를 동시에 고려한 완충저장시설의 총소요산출을 위

한 혼합모델(Combined Model)을 개발하였다. 이는 목표생산물의 만족과 적정설비배치를 위한 CAN-WIP 모델을 개발하였고, 한편으로 휴리스틱방법의 하나인 이진탐색(Binary Search) (Park, 1993) 방법에 의하여 초기 해를 구하였으며, 두 모델의 장단점을 고려한 혼합모델을 개발하여 사용하였다. 고려된 시스템의 구성은 그림 1에서와 같다.

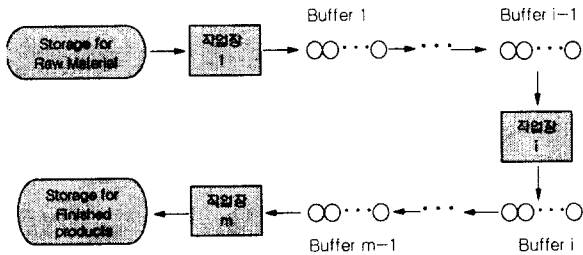


그림 1. m-1개의 완충저장설비를 갖는 직렬생산시스템의 시스템 구성도

2.1 이진탐색 모델

이진탐색방법은 완충저장설비의 배분에 의한 생산물 변화함수의 Quasi-concavity를 이용하여 초기 해를 구하는 방법이다. 이 방법은 각각의 완충저장설비에 대기하는 재공품(WIP)의 평균과 표준편차를 얻은 후에 완충저장설비 i의 크기를 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$b_i(k) = [\mu_i + k \times \sigma_i]$$

여기서,

μ_i = 완충저장설비가 무한대일 경우의 재공품의 평균

σ_i = 완충저장설비가 무한대일 경우의 재공품의 표준편차

k = 통제 변수(control variable)

[X] = X의 rounded-off 값

이때 재공품(WIP)의 평균과 표준편차 그리고 생산물을 얻기 위하여 SIMAN 프로그램을 개발하여 사용하였다. 위의 식에 의해 완충저장설비의 배분을 구하는 이진 탐색모델의 절차를 도식화하면 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 이진 탐색모델의 이해를 위하여 6개의 작업장(Workstation)으로 구성된 시스템을 예를 들면 다음과 같다. 각 작업장의 작업시간분포는 모두 지수분포를 따르며 각 작업장의 평균 작업시간이 표 1과 같이 주어진 시스템의 경우 완충저장설비의 크기가 무한할 때 각 작업장 사이에 있는 완충저장설비의 재공품(WIP)의 평균과 표준편차는 표 2와 같이 나타났다.

표 1. 6개의 작업장으로 구성된 시스템의 작업시간

작업장 번호	작업장 1	작업장 2	작업장 3	작업장 4	작업장 5	작업장 6
평균 작업 시간	6.5	8.5	7.5	9.7	4.13	10.35

표 2. 각 완충저장설비의 재공품 평균과 표준편차

설비 No.	재공품(WIP)	
	평균 (μ)	표준편차 (σ)
1	6.350933	0.844554
2	3.831780	1.072193
3	2.021710	1.349136
4	8.716690	0.847621
5	16.664469	0.666441

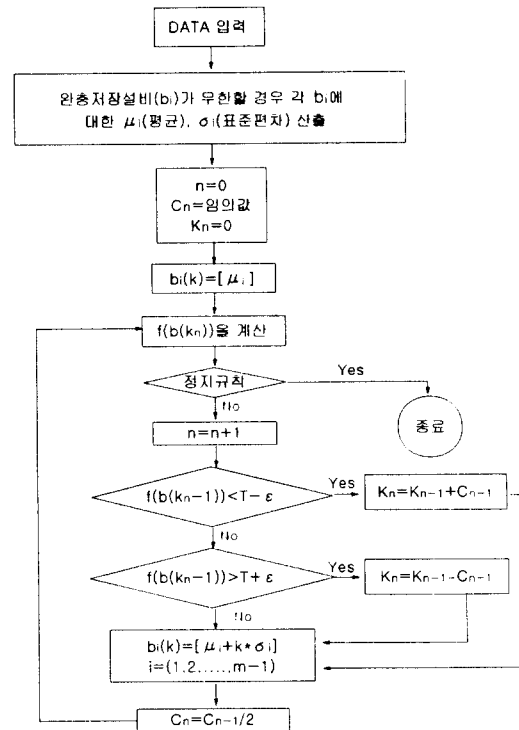


그림 2. 초기해 산정 모델의 흐름도.

그림 3은 k값의 변화에 따라 목표생산물(0.7/분)에 접근하는 단계를 나타내며, 벡터형태의 값들은 (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 ; 생산물)으로 나타낸다. 이진탐색 모델을 통한 초기 완충저장설비의 배분은 $b=(10, 8, 7, 12, 20)$ 이고, 이때의 생산물은 0.708/분이다.

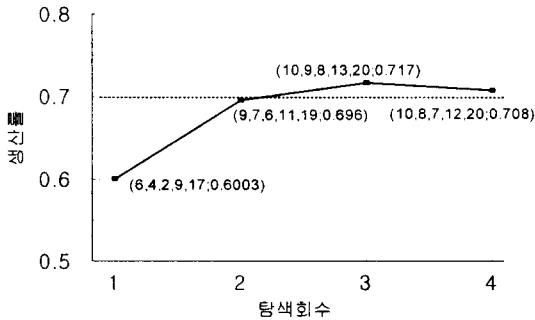


그림 3. k값의 변화에 따른 완충저장설비 크기의 변화 (단, $c_0=3$, $\epsilon=0.003$)

2.2 CAN-WIP 모델

이진탐색 모델은 완충저장설비가 무한개일 경우에 시스템 생산률이 목표생산률 T보다 작으면 무한개의 완충저장설비를 갖더라도 목표생산률 T를 달성할 수 없기 때문에 정지규칙에 의하여 정지한다. 이 경우에 기계의 이용률이 높은 즉 애로공정(Bottleneck)에 기계 수를 추가시키면서 목표생산률 T를 만족시키기 위한 기계수를 찾아야한다. 이를 위하여 CAN-WIP 프로그램을 개발하여 사용하였다. 초기시스템의 결정을 위하여 시스템내의 완충저장설비의 수를 소요되는 크기만큼 충분히 하여 제한을 받지 않는 것으로 가정하고 위에서 개발한 CAN-WIP 모델을 이용하여 목표생산률을 만족시키는 초기 구성안을 구하였다. 표 1, 표 2의 Data를 이용하여 구한 결과를 표 3과 같이 요약하였다. 목표생산률(Target Production Rate)이 0.35(분)인 경우에 초기 시스템의 구성안과 생산률을 요약하면 표 3과 같다. 표 3에서와 같이 초기시스템의 기계의 배분은 (3, 4, 3, 4, 2, 4)이고, 이때의 생산률은 0.37487(분)로 목표생산률을 능가한다.

표 3. 초기시스템 출력 요약

대안	W/S의 M/C의 수	생산률 (Part/Min)	시스템 사용률
1	(1, 1, 1, 1, 1, 1)	0.08991	0.73
2	(1, 1, 1, 1, 1, 2)	0.10002	0.75
3	(1, 1, 1, 2, 1, 2)	0.11506	0.69
4	(1, 2, 1, 2, 1, 2)	0.13168	0.65
5	(1, 2, 2, 2, 1, 2)	0.15296	0.71
6	(2, 2, 2, 2, 1, 2)	0.18662	0.80
7	(2, 2, 2, 2, 1, 3)	0.20224	0.83
8	(2, 2, 2, 3, 1, 3)	0.22482	0.81
9	(2, 3, 2, 3, 1, 3)	0.23779	0.76
10	(2, 3, 2, 3, 2, 3)	0.26110	0.80
11	(2, 3, 3, 3, 2, 3)	0.28168	0.83
12	(2, 3, 3, 3, 2, 4)	0.2972	0.85
13	(3, 3, 3, 3, 2, 4)	0.30837	0.84
14	(3, 3, 3, 4, 2, 4)	0.34827	0.87
15	(3, 4, 3, 4, 2, 4)	0.37487	0.86

이 방법은 목표생산률을 만족시키기 위한 기계의 배분을 구할 수 있지만, 이때 산출된 생산률은 목표생산률을 능가하며, 완충저장설비가 무한할 경우이므로 목표생산률에 접근하고 완충저장설비를 고려하기 위한 방법을 모색해야된다. 이를 위하여 본 연구에서는 이진탐색(Binary Search)모델과 CAN-WIP 모델의 장·단점을 보완한 혼합방법을 사용하였다.

2.3 혼합모델

이진탐색 모델은 완충저장설비가 무한일 경우에 시스템 생산률이 목표생산률 T보다 작으면 무한개의 완충저장설비를 갖더라도 생산률 T

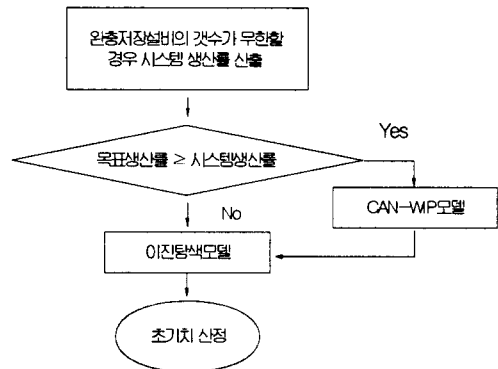


그림 4. 혼합 모델을 통한 초기해 선정 흐름도

를 달성할 수 없기 때문에 정지하는 단점이 있고, CAN-WIP 방법은 목표생산률을 만족시키기 위하여 적절한 기계배분을 구할 수는 있지만 완충저장설비의 크기 제한을 고려할 수 없다. 따라서 기계배분과 완충저장설비의 배분을 고려하기 위하여 이진탐색(Binary Search) 모델과 CAN-WIP 모델을 혼합하여 그림 5와 같이 혼합모델을 본 연구에서 사용하였다. 예로 6개의 작업장을 갖는 시스템(표 1)에 혼합모델을 적용하면, 처음에 완충저장설비의 수를 무한히 하고 초기 기계수가 각각 (1, 1, 1, 1, 1, 1)일 경우에 시스템생산률이 0.0899(Part/Min)가 된다. 이는 목표생산률에 크게 벗어난다. 따라서 CAN-WIP모델에 의하여 목표생산률을 만족시키기 위해 필요한 기계 수를 선정하면 기계의 배분은 (3, 4, 3, 4, 2, 4)이 된다. 이를 이진탐색 모델에 적용하면 그림 6에서 보는 바와 같이 초기 완충저장설비의 배분은 $b = (10, 12, 11, 10, 20)$ 이며, 이때 시스템 생산률은 0.3526 (Part/Min)이 된다. CAN-WIP모델에서 초기해 결과 총 완충저장설비 $b = (2, 9, 6, 2, 14)$ 로 총 소요된 완충저장설비수가 33인 반면,

본 혼합모델에서는 $b=(10, 12, 11, 10, 20)$ 총 63개원⁴ 완충저장설비의 배분이 사용되었다.

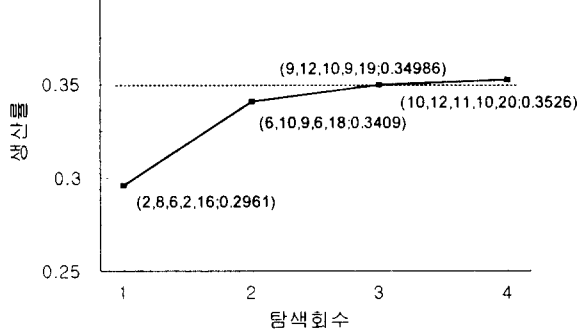


그림 3. k값의 변화에 따른 완충저장설비 크기의 변화(단, $c_0=3, \epsilon=0.003$)

이는 CAN-WIP에서 가정한 각 완충저장설비의 가용숫자를 무한히 크게 한 결과를 보완된 것으로 볼 수 있다.

3. 완충저장설비의 최적배분(단계 2:)

본 연구에서는 시스템 생산률이 목표생산률 보다 클 경우에는 변동계수가 작은 완충저장설비를 감소시키고, 목표생산률 보다 작을 경우에는 변동계수가 큰 완충저장설비를 증가시키면서 Beam Search 방법으로 단계 1에서 구한 초기해를 향상시켰다. 위의 Beam Search 절차에서 생산률을 평가하는 최대수는 $1 + \beta \times \gamma + (\text{Max}_i - 1) \times \alpha \times \beta \times \gamma$ 가 된다. $\alpha=2, \beta=2, \gamma=3$ 이고 최대허용 반복수가 3일 경우에 이진탐색 모델에서 보인 6개 작업장을 갖는 예의 초기해에 Beam Search 방법을 적용하였다. 다음과 같은 목적함수를 최대화하기 위한 완충저장설비의 배분 문제를 다루었다.

$$\text{Prof}(b) =$$

$$PR(b) \times P - \bar{H}\bar{L} - \bar{B} \sum_i x_i - |TP - PR(b)| \times P$$

여기서 Prof(b) : 완충저장설비의 배분에 따른 이익함수

PR(b) : 완충저장설비의 벡터 b일 때 생산량

P : 한 제품당 이익

P : 목표생산량

\bar{L} : 시스템 내에 있는 총 재공품(WIP)의 평균 개수

x_i : 완충저장설비 i의 개수

\bar{H} : 단위당 평균 재공품 유지비용 (Holding Cost)

\bar{B} : 단위 완충저장설비 비용

이진탐색모델에서 보인 예의 경우에 $\alpha = 2, \beta = 2, \gamma = 3$ 이고 최대 허용 반복 = 3, 한 제품당 이익(P) = 10, 재공품재고비용(\bar{L}) = 8, 완충저장설비 한 개당 비용(\bar{B}) = 20일 경우 위의 목적함수를 최대화하기 위한 Beam Search방법의 최적해는 변화가 없었다. 그리고 $\alpha = \beta = \gamma = 2$ 인 경우에 혼합모델에서 보인 예의 Beam Search 방법은 이익함수를 고려할 경우와 고려하지 않을 경우를 비교하면 표 4와 같다. 표 4에서 보는 바와 같이 완충저장설비의 최적 배분이 $b = (10, 12, 11, 10, 16)$ 에서 $b = (10, 12, 11, 10, 14)$ 로 변화되었다. 이처럼 이익함수를 고려한 경우에 생산률은 약간 떨어지지만 재공품의 유지비용과 완충저장설비의 설치비용을 줄여 이익함수를 최대화할 수 있는 완충저장설비의 배분을 고려할 수 있다.

표 4. 이익함수를 고려할 경우 해의 변화 비교

구 분	최적 완충 저장설비 배분	생산률 (Prod. Rate)	이익함수 C(b)
이익함수를 고려한 경우	(10,12,11,10,14)	0.349	3754.36
이익함수를 고려하지 않은 경우	(10,12,11,10,16)	0.3508	3748.53

4. 모델의 응용(단계 3)

단계 1 및 단계 2에서 구한 초기해와 최적해는 많은 가정사항들을 전제로 하고 있다. 이러한 시스템의 운영조건들을 실제문제와 유사한 사항들을 고려한 시뮬레이션 방법으로 초기해와 최적해를 FACTOR/AIM을 사용하여 분석한 결과를 표 5에서 요약하였다.

표 5. 초기 및 최종시스템의 출력비교

구 분	초기시스템 (단계 1)	최종시스템 (단계 2)
완충저장설비의 배분	(10, 8, 7, 12, 20)	(9,8,7,12,14)
• Throughput Rate	0.708	0.7003
• Throughput Rate (FACTOR/AIM)	0.612	0.6043

위의 표 5에서와 같이 초기 및 최종시스템의 생산률을 보면, FACTOR /AIM 의 결과보다 본 연구에서 사용된 모델에 의한 결과가 과대 평가 되었음을 볼 수 있다. 즉 $0.708 > 0.612$

및 $0.7003 > 0.6043$ 이다. 이는 본 연구에서 사용된 모델은 시스템의 RAM 및 순기비용(LCC)이 고려되지 않았으며, 그 외의 많은 가정사항들의 결과로 볼 수 있다. 그러나 이러한 많은 제한사항과 RAM 및 비용 자료를 고려한 FACTOR/AIM 시뮬레이션의 결과는 보다 실제 문제에 가까운 결과라고 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 유연생산시스템(FMS)의 완충저장설비의 최적해 또는 근사 최적해를 구하기 위하여 3단계의 접근방법을 사용하였다. 단계 1에서는 주어진 시스템 구성하에서 완충저장설비의 크기 제한을 두지 않을 경우에 완충저장설비내에 재공품(WIP)의 평균과 표준편차를 이용한 이진탐색 모델과 기계배분 (System Configuration)을 고려할 수 있는 CAN-WIP 모델의 장단점을 보완한 혼합모델을 개발하여 초기해를 구하였다. 단계 2에서는 단계 1의 초기해로부터 최소의 완충저장설비로 목표생산량을 달성하기 위한 완충저장설비의 배분을 구하였다. 그리고 단계 3에서는 FACTOR/AIM 시뮬레이터를 이용하여 다양한 실제사항을 첨가하여 해를 분석한 결과 본 연구에서 사용된 모델에 의한 해의 결과가 어느 정도 현실적임을 보였다.

참 고 문 헌

- 1) Chow W. M. , "Buffer Capacity Analysis for Sequential Production Lines with Variable Process Times", International Journal of Production Research, Vol. 25, No. 8, 1987.
- 2) Conway, R., W. Maxwell, J. O. McClain, and L.J.Thomas, "The Role of Work-In-Process Inventory in Serial Production Lines", Operations Research, Vol.36, pp. 229-241, 1988.
- 3) Liyanage, L. and Shanthikumar, J. G., "Second Order Properties of Single Stage Queueing Systems," Working Paper, University of California at Berkeley, CA, 1990.
- 4) Muckstadt, J. A. and Tayur S. R. , "A Comparison of Alternative Kanban Control Mechanisms", technical report no. 962, Cornell University, Ithaca, NewYork, 1991.
- 5) Park T., "A Two-Phase Heuristic Algorithm for Determining Buffer Sizes of Production Lines", International Journal of Production Research, Vol. 31, No. 3 pp613-631, 1993.
- 6) Shanthikumar, J. G. and Yao, D. D., "Optimal Buffer Allocation in a Multicell System", International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol. 1, No. 4, pp. 347-356 1989.
- 8) Shanthikumar, J.G. and Yao, D. D. "Bivariate Characterization of Some Stochastic Order Relations", Advances in Applied Probability, Vol.23, pp. 642-659, 1991.
- 9) Shilippe Solot, "Analytical Models for FMS Design Optimization : A Survey", International Journal of Flexible Manufacturing System, Vol. 6, pp. 209-233, 1994.