

# Production Scheduling for a Flexible Manufacturing Cell

최정상\*, 고낙용\*\*

\* 조선대학교 산업공학과

\*\* 조선대학교 제어계측공학과

## Abstract

This study considers flowshop scheduling problem related to flexible manufacturing cell in which consists of two machining centers, robots for loading/unloading, and an automated guided vehicle(AGV) for material handling between two machining centers. Because no machining center has buffer storage for work in process, a machining center can not release a finished job until the empty AGV is available at that machining center. While the AGV cannot transfer an unfinished job to a machining center until the machining center empty. In this paper, a new heuristic algorithm is given to find the sequence that minimize their makespan.

## 1. 서론

유연제조시스템(Flexible Manufacturing Systems)과 같은 제조시스템에서의 추구하는 것은 완전히 자동화된 제조시스템의 실현이다. 그동안 이를 위해 가공센터, 자동물자운반장치, 로봇, 자동검사장비 등과 같이 컴퓨터에 의해 제어되는 많은 종류의 자동화설비들이 개발되어 왔다 [3],[19]. 하지만, 자동화설비들을 현장에서 보다

효율적으로 실용화하기 위해서는 풀어야할 많은 운용문제들이 놓여 있다[10],[15]. 그중에서 언제 어떤 기계에 서 주어진 작업이 가공되어야 하고 시스템안에서 작업들이 어떻게 운반되어야 하는가를 결정하는 작업일정계획문제가 대표적인 문제라 할 수 있다[1],[2],[4],[15].

1980년대 이후 유연제조시스템은 대규모 시스템보다는 유연제조셀(Flexible Manufacturing Cell)과 같은 소규모시스템이 증가하는 추세에 있다. 특히, 제조현장에서 단순한 물류취급장치를 활용한 소규모 유연제조셀의 도입활용이 보다 일반화되고 있다[5],[6]. 이러한 현상은 대규모의 복잡한 유연제조시스템에 비해 다음과 같은 몇가지 장점 때문에 일본에서 눈에 띄게 두드러지고 있다[16][20]. 첫째, 소규모 유연제조셀은 기존의 NC같은 설비들을 활용함으로써 필요에 따라 쉽게 설치거나 개선할 수 있고 무엇보다 적은 비용으로 자동화설비의 효과를 달성할 수 있다. 둘째, 소규모 유연제조시스템은 대규모 복합시스템에 비해 Hardware나 Software측면에서 유지가 용이하며 시스템의 제어가 용이하다[11]. 특히, 어느 부분에서 고장이 발생한다하더라도 다른 시스템에 끼치는 영향이 적어 생산흐름에 훨씬 효율적이라 할 수 있다. 셋째, 대규모시스템에서는 재공품재고를 위해 넓은 완충저장소가 필요하고 보다 복잡, 정교한 물자취급장치를 요구하는데 반해 소규모유연제조셀에서는 작은 완충저장소와 단순

한 물자운반구로 운용이 가능하다[7],[8],[12].

본 연구에서는 두 대의 Machining Center로 구성되어 있고 작업이 Machining Center 1에서 Machining Center 2로 흘러가고 각 Machining Center에 완충재고를 위한 임시저장소를 두지 않는 제조시스템에서 자동물자운반장치의 운반시간을 고려한 새로운 작업일정계획에 관한 문제를 다루고자 한다.

## 2. 연구모델

본 연구에서 다루고자 하는 연구 모델은 그림1에서 보는 바와 같이 두 대의 가공센터와 작업물을 처리하는 적재센터와 하역센터가 분리되어 있고, 각 센터들 간의 작업물 운반은 자동물자운반장치에 맡으며, 작업물을 싣고 내리는 일은 로봇 팔이 맡는 소규모 유연제조셀이다.

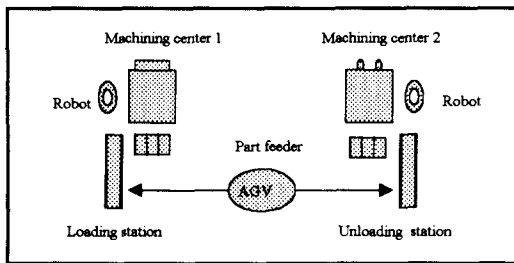


Fig. 1 Flexible manufacturing cell

각 가공센터에는 재공품재고를 위한 완충저장소를 두지 않는다. 작업물 적재 및 하역센터와 가공센터간의 작업물의 운반을 맡은 자동물자운반장치는 양방향으로 주행하며 한번에 한 작업물만을 운반할 수 있다. 자동운반장치의 행을 좀 더 구체적으로 보면 다음과 같다.

1. 자동물자 운반장치는 Loading Station에서 첫 번째 작업을 가공센터 1으로 운반한다. 그리고 그 작업이 가공센터 1에서 가공을 마칠 때까지 기다렸다가 가공을 완료하면 가공센터

2로 보낸다.

2. 가공센터 2는 가공센터 1에서 가공을 마치고 운반되어 온 작업물의 가공을 시작한다.
3. 자동물자 운반장치는 가공센터 2에서 작업물이 가공을 시작하자마자 Loading Station으로 되돌아온다. 그리고 다음 작업물을 Loading Station에서 가공센터 1로 운반해 주고 가공센터 2로 간다.
4. 가공센터 2에서 가공이 완료된 작업을 Unloading Station으로 운반한다.
5. 자동물자운반장치는 가공센터 1으로 돌아와서 가공이 완료된 작업물을 가공센터 2로 운반한다. 이 때 가공센터 1에서 가공이 완료되지 않았으면 기다렸다가 가공이 완료 되는대로 가공센터 2로 운반한다.
6. 자동물자 운반장치는 마지막 작업물이 완료될 때까지 가공센터 2에서 기다렸다가 가공이 완료되면 Unloading Station으로 운반한다.

## 3. 수리적 모형

본 연구에서 연구모델로 설정한 두 대의 가공센터와 한 대의 양방향 주행 자동물자운반장치로 구성된 소규모 유연제조셀시스템에서 작업일정 계획문제를 수학적으로 모델링하기 위해 다음과 같은 부호를 사용한다.

- $i$  : 가공되어야 할 작업물  $i=(1, 2, 3, \dots, n)$
- $j$  : 가공센터  $j=0, 1, 2, 3$ (단, 0는 loading station, 3는 unloading station을 의미)
- $t_i^{j=0}$ : 작업물을 Loading Station에서 싣고 내리는데 소요되는 시간
- $t_i^{j=3}$ : 작업물을 Unloading Station에서 싣고 내리는데 소요되는 시간
- $pt_i^{j=1}$ :작업물  $i$ 를 가공센터 1에서 가공하는데 소요되는 시간
- $pt_i^{j=2}$ :작업물  $i$ 를 가공센터 2에서 가공하는데 소요

되는 시간

$at_{j,k}$ : 자동물자 운반장치가 station j에서 다른 station k까지 이동하는 소요된 시간

$st_i^j$ : 작업물 i가 station j에서 작업처리를 받기 시작하는 시각

$ct_i$ : 작업물 i가 작업처리를 완료한 시각

위의 부호들을 활용하여 각 가공센터에서 작업이 시작되는 시각과 완료하는 시각은 다음과 같은 식들에 의해 구할 수 있다.

$$st_i^0 = 0$$

$$st_i^1 = at_{0,1}$$

$$st_i^2 = st_i^1 + pt_i^1 + at_{1,2}$$

$$st_k^1 = st_k^0 + at_{0,1}, \quad k=2, 3, \dots, n$$

$$st_k^2 = \text{Max} \{ st_k^1 + pt_k^1, ct_{k-1} + at_{1,2} + at_{2,3} \} + at_{1,2}, \quad k=2, 3, \dots, n$$

$$ct_{k-1} = \text{Max} \{ st_k^1 + at_{1,2}, st_{k-1}^2 + pt_{k-1}^2 \} + at_{2,3}, \quad k=2, 3, \dots, n$$

$$ct_n = st_n^2 + pt_n^2 + at_{2,3}$$

$$ct_n = 2(at_{0,2} + n at_{1,2} + at_{2,3}) + \sum_{i=2}^n \text{Max} \{ pt_i^1 + 2 at_{1,2}, 2(at_{0,1} + at_{1,2} + at_{2,3}), pt_{i-1}^2 + 2 at_{2,3} \} + pt_n^2 \}$$

#### 4. 해법 개발

자동물자운반장치의 운송시간을 고려한 작업 제어문제는 외판원문제(Traveling Salesman Problem)에 해당되며 NP(Nondeterministic Polynomial)-Complete에 해당된다[9],[13]. TSP는 분지한계법(Branch and Bound)과 동적계획법(Dynamic Programming)으로 최적해를 구할 수 있으나, 동적계획법은 노드수가 20개만 되어도 필요한 저장소가 1,000,000개가 넘고 분지한계법의 경우도 최악의 경우에는 열거법과 같은  $O(n!)$ 의 Complexity를 갖기 때문에 작업수가 많아지면 많은 양의 수행시간을 필요로 하게 된다. 따라서 빠르고 효율적으로 근사최적해를 제공할 수 있는

발견적기법의 개발이 필요하다.

[단계 1] 가공센터 1에서의 가공시간과 자동물자 운반장치의 운반왕복시간을 비교하여

$MTP_i^1$ 과  $MTP_i^2$ 를 계산한다.

$$MTP_i^1 = \text{Max} \{ pt_i^1, at_{0,1} + at_{1,2} + at_{2,3} \}$$

$$MTP_i^2 = pt_i^2$$

j=1로 둔다

[단계 2] 아래와 같은 기준에 의해  $MTP_i^1$ 과  $MTP_i^2$ 를 비교하여 분류한다.

$$U = \{ i / MTP_i^1 < MTP_i^2 \}$$

$$V = \{ i / MTP_i^1 \geq MTP_i^2 \}$$

[단계 3] U에 있는 작업물 들을  $MTP_i^1$ 의 오름차순으로 정렬하고, V에 있는 작업물 들은  $MTP_i^2$ 의 내림차순으로 정렬한다.

[단계 4] 작업순서  $S_I$ 을 U와 V의 순서로 나열하여 생성시키고, 그에 따른 작업총처리시간  $M_I$ 을 계산한다.

[단계 5] j=j+1로 변환한다. 만약 j>n 이면 [단계 7]로 가고 그렇지 않으면  $S_I$ 의 j번째 위치에 작업물 r을 놓는다.

[단계 6] 만약  $pt_r^1 \geq at_{0,1} + at_{1,2} + at_{2,3}$  이면,  $M_j = \infty$ 로 놓고 [단계 5]로 간다. 그렇지 않으면 새로운 작업순서  $S_j$ 를 작업 r을 작업 순서의 맨 앞으로 이동해서 생성시키고 그에 대한 작업완료시간  $M_j$ 를 구한다. 그리고 [단계 5]로 간다.

[단계 7] 앞 단계들에서 구한 작업순서들에 대한  $M_j$ 중에 최소값을 찾는다. 최소값을 제공하는 작업순서를 최종적인 작업순서로 선정 한다.

#### 5. 실험 및 분석

개발한 기법을 분석하기 위해 컴퓨터 시뮬레

이션을 통해 무작위 기법에 의한 작업순서 및 Johnson의 기법과 비교하였다. 이를 위해 가공시간을 1와 99사이의 일양분포로 발생시켰으며, 작업수를 2, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50까지 변화시키면서 각각의 경우에 대해 100개 문제씩을 SLAM II를 이용하여 모의실험해서 [그림 2], [그림 3]과 같은 결과를 얻었다.

개발한 Algorithm이 빈도수에서 각 경우에 대해 100개의 문제 모두에서 무작위 기법이나 Johnson 기법보다 우수한 해를 제공함을 알 수 있었고, 단축비에서도 무작위법 보다는 평균 10.2 - 20.3%의 단축비를 보였고, Johnson기법에 비해서는 6.7 - 9.3%의 단축비를 나타내는 해를 제공하였다.

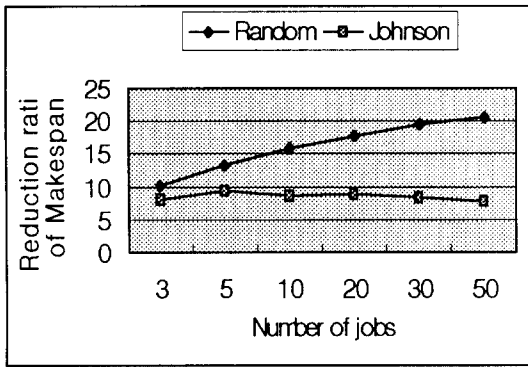


Fig. 2 Comparative results by number of jobs

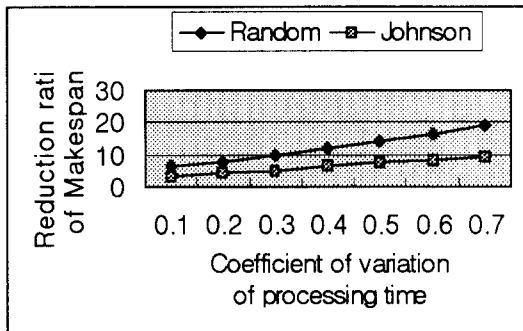


Fig. 3 Comparative results by coefficient of variation of processing time

또, [그림 2]에서 보는 바와 같이 작업물의 가공시간의 변동계수가 커질수록 작업완료시간의 단축비가 증가함을 알 수 있었다.

## 6. 결론

본 연구에서는 완충재고를 위한 임시저장소를 갖지 않는 두 개의 가공센터와 한 대의 양방향 주행 자동물자운반장치로 이루어진 소규모 유연제조셀에서 작업일정계획 문제로써 자동물자운반장치의 운반시간을 고려하는 경우에 대해 작업총완료시간을 최소화하는 문제를 수리적으로 모형화하고 새로운 기법을 제시하였다.

개발한 기법의 우수성을 평가하기 위해 컴퓨터시뮬레이션을 수행한 결과 작업총완료시간의 단축비나 빈도수에서 우수한 해를 제공함을 알 수 있었다. 특히 무작위기법에 비해 작업수가 커질수록 개발한 기법이 더 큰 단축비를 나타냈으며 가공시간의 변동계수에 있어서는 변동계수가 커질수록 큰 단축비를 달성함을 알 수 있었다.

앞으로는 작업이 임의의 방향으로 이루어지거나 작업의 도착이 무작위로 이루어지는 경우 등에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

이 연구는 한국과학재단지정 지역협력연구센터인 조선대학교 수송기계부품 공장자동화 연구센터의 연구비지원에 의해 수행되었음.

## Reference

- [1] 최정상, 노인규, "자동생산시스템에서의 생산 일정계획," 「대한산업공학회」, Vol. 14, No.1 (1988), pp.73-81.
- [2] 최정상, 노인규, "유연가공셀에서 운반시간을 고려한 일정계획," 자동생산시스템에서의 생산 일정계획, 「한국경영과학회」, Vol. 19,

- No.2 (1994), pp.107-118.
- [3] Ayres, R.U., W. Haywood and I. Tchijov, *Computer Integrated Manufacturing :Models, Case Studies and Forecasting of Diffusion*, Chapman Hall, 1992.
- [4] Blazewicz, T., G. Finke, R. Haupt, and G. Schmidt, "New Trend in Machine Scheduling," *European Journal of OR.*, Vol.35(1988), pp. 303-317.
- [5] Chan, D.Y. and D.D. Bedworth, "Design of a Scheduling System for Flexible Manufacturing Cells," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.28, No.11(1990), pp. 2037-2049.
- [6] Choi, J. S. and N.Y. Ko, "A new heuristic procedures for operations control in a manufacturing systems with multi-stage machining cells," The international conference on I.E, Nov., 1997, pp31-40.
- [7] Grasso, V., "AGV-Served Assembly Lines : Influence of Sequencing and Launch Policy on System Performances ," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.28, No.7 (1990), pp.1385-1399.
- [8] Hirabayashi, N., H. Nagasawa and N. Nishiyama, "A Decomposition Scheduling Method for Operating FMS ," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.32, No.1 (1994), pp.161-178.
- [9] Johnson, S.M., "Optimal Two and Three Stage Production Schedules with Setup time Included," *Naval Research Logistics*, Quarterly 1(1954), pp.61-68.
- [10] Karabuk, S. and I. Sabuncuoglu, "Beam Search Based Algorithm for Scheduling Machine and AGV in an FMS," *Proc. of the 2nd I.E. Conference*(1993), pp.308-312.
- [11] Karsiti, M.N., J.B. Cruz and J.H. Mulligan, "Performance Forecasts as Feedback for Schedule Generation," *J. of manufacturing Systems*, Vol.11, No.5 (1992), pp.326-333.
- [12] Kusiak, A., *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice Hall, 1990.
- [13] Maggu, P.L. and G. Das, " On  $2 \times n$  Sequencing Problem With Transportation Time of Jobs," *Pure and Applied Math. Science*, Vol.12(1981), pp. 1-6.
- [14] Makris, P. and M. Sfantsikopoulos, "Machine Serving Principle Evaluated by Necessary Part Transport Speed," *Int. J Machine Tools & Manufacture*, Vol.33(1993), No.1, pp.25-29.
- [15] Morton, T.E., and T.L. Smunt, "A Planning and Scheduling System for FMS," *FMS:Methodies and Studies*, pp. 151-164, 1986.
- [16] Ohmi, T. et al., "FMS in Japan-Present Status," International Conference on FMS, IFS(Publication) Ltd., 1982.
- [17] Solot, P., "A Concept for Planning and Scheduling In an FMS," *Euro. J. OR.*, Vol.45(1990), pp. 85-95.
- [18] Ulusoy, G. and U. Bilge, "Simultaneous Scheduling of Machine and AGV," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.31, No.12(1993), pp. 2857-2873.
- [19] Wassenhove, L.V., "The Trend of FMS, " *Operation Research Proc.*, pp. 524- 532, 1988.
- [20] Yamazaki, T. and A. Nagae, "Flexible Manufacturing System in Practice," *Japan-USA Sym. on Flexible Automation*, 1990.