

준비시간이 있는 혼합모델 조립라인에서
투입순서문제를 위한 탐색적 방법
- Heuristic Method for Sequencing Problem in
Mixed Model Assembly Lines with Setup Time -

현 철 주*

Chul Ju Hyun*

Abstract

This paper considers the sequencing of products in mixed model assembly lines. The sequence which minimizes overall utility work in car assembly lines reduce the cycle time, the number of utility workers, and the risk of conveyor stopping.

The sequencing problem is solved using Tabu Search. Tabu Search is a heuristic method which can provide a near optimal solution in real time. Various examples are presented and experimental results are reported to demonstrate the efficiency of the technique.

Keyword : Tabu Search, Sequencing, Mixed Model Assembly Line

1. 서 론

혼합모델 조립라인은 공장부지 및 시설의 효율적인 이용을 위하여 한 라인에서 유사한 여러 모델의 제품을 생산하고 있다. 혼합모델 조립라인에서는 재고비용을 줄이고 수요를 적시에 만족시키기 위하여 모델의 종류와 양을 평준화하여 골고루 혼류로 생산하는 평준화 생산방식을 택하는 경우가 많다. 평준화 생산방식은 모델별로 작업내용, 작업방법 및 작업시간 등이 상이하여 생산계획과 통제가 복잡하게 된다. 특히 모델에 따라 작업장에서 수행하는 작업과 작업시간이 다르기 때문에 어떤 작업장에서 모델에 대한 작업시간은 사이클 타임보다 클 수 있으며, 이러한 제품이 연속적으로 투입되면 가외작업이 발생하여 컨베이어 정지위험이 커지고 사이클 타임이 길어진다.

혼합모델 조립라인의 효율적인 이용을 위해서는 라인밸런싱과 모델의 투입순서를 결정하는 문제가 중요하다.

* 전북과학대학

가외작업을 최소로 하는 투입순서의 결정은 작업혼잡을 피할 수 있으며, 라인 상에 필요한 가외 작업자의 수 또는 컨베이어의 정지위험을 낮게 하여 생산 능력을 높일 수 있게 한다. 본 연구에서는 혼합모델 조립라인에서 발생하는 총 가외작업을 최소로 하는 목적을 사용한다. 혼합모델 조립라인의 투입순서 문제는 조합최적화 문제로 수요 변화, 결품으로 인한 투입순서의 재결정에는 실시간 처리가 요청된다. 본 연구에서는 혼합모델 조립라인 투입순서 문제에 Tabu Search를 적용하여 기존에 제시된 발견적 기법들과 해의 탐색성능을 비교분석하고자 한다.

2. 혼합모델 투입순서 문제

본 연구에서 다루는 혼합모델 조립라인은 일정한 속도(v_c)로 이동하는 컨베이어 시스템으로 유사한 여러 모델의 제품들이 일정시간 간격으로 투입되고 있으며, 컨베이어의 이동에 따라 작업자가 이동하면서 제품을 조립하는 라인이다. 라인은 J 개의 작업장으로 구성되어 있으며, 각 작업장은 한 사람의 작업자로 운영된다. 또한 각 작업장은 작업을 위한 설비나 장비의 제약으로 인하여 경계가 존재하며, 작업장에 할당된 작업은 그 작업장 내에서 수행되어야 한다. 각 작업장에서는 모델 변화에 따른 작업준비가 발생할 수 있으며, 이러한 준비시간은 모델 변화에 종속되어 조립시간에 포함시킬 수 없다고 본다[10].

작업자는 컨베이어의 이동에 따라 조립작업을 실시한 후, 다음 제품의 작업준비가 필요하다면 컨베이어 이동과 무관하게 작업준비를 한다. 작업자가 조립작업과 다음 제품의 작업준비를 마친 시점에 작업장 경계내에 제품이 도착한 경우에는 조립작업을 수행하고, 그렇지 않는 경우에는 제품이 도착할 때까지 작업자는 유힬하게 된다.

가외작업은 제품이 작업장의 경계에 이르러 할당된 작업을 마치지 못한 양을 의미한다. 가외작업은 조립작업의 종료위치가 작업장의 실제길이(L_j)보다 큰 경우에 발생하며, 가외작업자에 의해 수행된다. 본 연구에서는 컨베이어 정지위험을 최소로 하기 위한 목적은 현철주[1]이 제시한 수리모형을 사용한다.

3. 탐색적 방법

Tabu Search는 부분최적에서 벗어나 최적해 또는 근사 최적해를 구할 수 있는 탐색적 방법으로 Glover [4]에 의해 연구되기 시작하여, 유전알고리즘, 신경망이론과 함께 일정계획, 고용계획, 공간계획과 구조설계, 통신경로문제 등의 조합최적화 문제에 널리 적용되고 있다. Tabu Search의 절차는 다음과 같다[4].

단계 1 : 초기화

- 1) Tabu 속성, Tabu 목록의 크기, 열망수준과 종료조건을 결정한다.
- 2) 초기가능해를 구하여 현재해와 최선해로 둔다.

3) Tabu 목록을 비워둔다.

단계 2 : 이웃해의 생성

1) 현재해로부터 Tabu 이동이 아니거나 Tabu이동이지만 열망수준을 만족하는 이동에 대해 이웃해를 생성한다.

단계 3 : 현재해와 최선해의 수정

- 1) 생성된 이웃해중에서 가장 좋은 이웃해를 현재해로 둔다.
- 2) 현재해가 최선해보다 좋은 해이면 현재해를 최선해로 둔다.

단계 4 : Tabu 목록의 수정

- 1) 새로운 현재해의 이동속성을 Tabu목록에 기록한다.
- 2) 만약 Tabu목록에 저장된 Tabu 속성의 수가 Tabu목록의 크기보다 크면 가장 먼저 기록된 Tabu속성을 삭제한다.

단계 5 : 종료조건이 만족하면 알고리즘의 수행을 끝내고 그렇지 않으면 단계 2로 간다.

Tabu목록은 해의 이동속성을 일정기간 기억하는 목록으로, 이 목록을 만들기 위해서는 해의 이동속성을 나타내는 Tabu속성이 정의되어야 한다. 순서문제에서 Tabu속성은 이동 원소와 그 위치 등에 따라 여러 형태가 있다[10]. 본 연구에서는 Tabu속성으로 흔히 이용되는 $(\Pi(i), \Pi(j), i, j)$ 을 사용하였다. 이것은 이동으로 인하여 i 위치에 있는 원소 $\Pi(i)$ 와 j 위치에 있는 원소 $\Pi(j)$ 가 변함으로써 새로운 이웃해가 생성된다는 것을 의미한다. 그리고 Tabu목록의 크기는 Tabu상태로 제약할 수 있는 이동의 최대수를 나타낸다.

열망수준은 어떤 이동이 Tabu상태이지만 이를 해제하여 해의 이동을 가능하게 하는 기준이다. 본 연구에서는 열망수준은 현재까지 탐색한 가장 좋은 해, 즉 최선해로 두었다. 또한 종료조건으로는 반복수, 탐색한 이웃해의 수, 최선 해를 개선하지 못한 회수 등이 있으나, 본 연구에서는 현재까지 탐색한 이웃해의 개수를 종료조건으로 사용하였다. 이웃해의 생성방법은 문제의 특성을 잘 반영하여 좋은 해를 효율적으로 탐색해 갈 수 있어야 하며, 교환(Swap) 이동, 삽입(Insertion) 이동, 역순(Inversion) 이동 등 여러 가지 방법이 있다.

4. 실험 결과

혼합모델 조립라인에서 발생하는 가외작업을 최소로 하는 투입순서 결정에 적합한 Tabu Search를 개발하기 위하여, Tabu Search에 대한 적절한 파라미터를 찾고 이동방법에 따른 해의 탐색성능을 비교분석한다. Tabu Search의 성능평가를 위해 실험에 사용한 예제는 <표 1>과 같다.

본 연구에서는 교환, 삽입, 역순이동의 이웃해 생성방법들을 해의 효율과 계산시간 측면

에서 비교한다. 각 이동방법들은 가능한 모든 이웃 해를 생성하며, 각 이동방법의 성능을 임의탐색(Random Search)과 비교하기 위해 매 반복마다 교환이동의 이웃해 개수만큼 해를 임의로 발생시켜 Tabu Search를 적용한 "RAN" 방법을 사용하여 해를 탐색하였다.

<표 2>는 각 이동방법에 대한 해의 탐색성능을 나타내고 있다. 실험결과는 각 문제마다 초기해를 달리하여 20회 반복실험한 평균치를 나타내고 있다.

<표 1> 실험을 위한 문제의 설계

문제	생산 제품의 수	작업장의 수	준비 시간의 분포
I - 1	20	10	0
I - 2	20	20	0
I - 3	20	30	0
I - 4	30	10	0
I - 5	30	20	0
I - 6	30	30	0
I - 7	40	10	0
I - 8	40	20	0
I - 9	40	30	0

<표 2> 이동방법에 따른 탐색성능

문제	Tabu Search의 이동방법			
	교환	삽입	역순	RAN
I-1	126.6*	137.1	127.1	151.7
I-2	499.2	507.3	497.0*	531.8
I-3	573.1	589.9	569.9*	607.3
I-4	234.1*	245.8	235.8	278.2
I-5	610.2	621.1	603.0*	669.1
I-6	973.2	963.1*	965.4	1062.3
I-7	244.1	252.2	242.1*	295.2
I-8	819.3	811.2*	814.3	939.6
I-9	1027.5	1023.4	1018.1*	1143.5

* : 문제별 가장 좋은 값

<표 2>에서 보여주듯이 이동방법에 따라 해의 탐색성능에 큰 차이가 있게 나타났다. 역순이동이 가장 좋은 해를 찾고, 다음은 교환, 삼입이동의 순이며, 임의 탐색(RAN)이 가장 나쁘게 나타났다. 역순이동은 원소의 위치 및 순서를 적절하게 변화시킴으로써 더 좋은 이웃 해를 생성하는 것으로 보인다. 또한 교환 또는 삼입이동으로 생성된 이웃해를 현재해와 비교해 볼 때, 교환이동으로 생성된 이웃 해는 위치 및 순서의 변화가 너무 작고, 삼입이동으로 생성된 이웃해는 위치의 변화가 너무 커서 해의 탐색성능을 저하 시키는 것으로 보인다.

계산시간은 교환, 역순, 삼입, 임의탐색 순으로 적게 나타났으나, 생산 제품의 수와 작업장 수에 따라 계산시간의 차이가 크게 나타나 이동방법들의 계산시간은 상대적으로 큰 차이가 없었다.

5. 결 론

본 연구에서는 혼합모델 조립라인의 투입순서에 관한 여러 형태의 목적 중에서 가외작업을 최소로 하는 목적을 다루었다. 다루는 목적에 대해 Tabu Search 기법을 적용하여 실시간에 효율적인 투입순서를 구할 수 있는 방법을 제시하고, 이동방법에 해 해의 효율과 계산 시간의 측면에서 비교 분석하였다. 본 연구에서 제시한 Tabu Search 기법은 가외작업자를 줄이려는 상황에서 근사 최적에 가까운 투입순서를 실시간에 구할 수 있다.

6. 참 고 문 헌

- [1] 현철주, "자동차 조립라인에서 총 가외작업을 최소로 하는 투입순서 결정, 안전경영과학회지, 제 5권 제 1호, pp. 69-82, 2003.
- [2] A. R. Rahimi-Vahed, S. M. Mirghorbani, M. Rabbani, "A new particle swarm algorithm for a multi-objective mixed-model assembly line sequencing problem", *Soft Comput.* Vol. 11, pp. 997-1012, 2007.
- [3] C. J. Hyun, Y. K. Kim and Y. Kim, "A Genetic Algorithm for Multiple Objective Sequencing Problems in Mixed Model Assembly Lines", *Computers & Ops Res*, 25(7-8), pp.675-690, 1998.
- [4] F. Glover, "Tabu search-part I", *ORSA Journal on Computing*, Vol. 1, pp. 190-206, 1989.
- [5] P. R. McMullen, "An efficient frontier approach to addressing JIT sequencing problems with setups via search heuristics", *Computers & IE*, pp. 335-353, 2001.