

혼합모델 조립라인에서 다목적 유전 알고리즘을 이용한 최적 생산순서계획

김연민, 김영진, 김우환/울산대학교 산업공학과

Abstract

혼합형 조립라인은 소품종대량 생산체제에 적합했던 단일 모델 전용흐름라인을 다품종 소량시대에 대응할 수 있도록, 한 라인에서 유사한 여러 모델을 함께 생산하는 조립라인이다. 이러한 라인의 대표적인 예로서 승용차 조립라인을 들 수 있는데, 고객의 요구(옵션사항)에 따라 여러가지 차종을 다양한 모델로 연속하여 생산하고 있다. 이러한 혼합형 라인의 가동을 향상을 위한 의사결정 문제로서 라인밸런싱과 순서결정이 있다. 여기서 순서결정문제는 라인밸런싱의 결과로서 각 작업장에 할당된 모델들의 작업부하를 최대한 각 작업자의 작업영역 안에서 행할 수 있도록 모델간의 투입순서를 결정하는 절차이다. 작업장에 할당된 모델별 작업량과 모델들의 총 조립시간은 모델별로 다르기 때문에 합리적으로 순서결정을 하지 않으면 작업장간의 작업부하의 불균형을 초래하게 된다. 이 경우 작업시간이 고정 사이클타임보다 큰 모델이 연속적으로 투입되면 부가작업(utility work)이 많아져서 라인길이 및 사이클타임을 길게 해야하는 등 라인 운영에 어려움을 초래하고 급기야는 컨베이어를 정지해야 하는 경우까지도 발생하게 된다. 이러한 순서결정문제는 작업장의 수와 모델의 수가 증가하면 최적해를 구하기 어려운 NP-hard문제임이 밝혀져 있다. 따라서 기존에 여러 휴리스틱 해법들이 제안되어져 오고 있다.

기존의 혼합 모델에서 작업순서를 구하는 알고리즘은 Thomopoulos(1967), Macaskill(1972)이 부가작업, idleness, deficiency 및 congestion을 최소화하는 근사 algorithm을 개발한 바 있고, 일본의 제조상황에서 Okamura와 Yamashina(1991)은 컨베이어 중단 위험을 최소화하는 자기발견적 알고리즘을 개발하였다. 그들의 자기발견적 기법은 작업의 교환과 삽입을 통해 최대편차(maximum displacement)를 줄이고자 하였다. Yano와 Rachamadugu(1991)은 총부과작업을 최소화하는 문제에 대한 정식화를 하고 이를 두 가지 작업 시간만을 가지는 특별한 경우에 대하여 풀었다. Bolta과 Yano(1992)는 하나의 작업장에서 총부가작업을 $O(N)$ 계산시간 내에 최소화하는 몇 가지 알고리즘을 개발했다. 한편 Bolat과 Yano(1992)는 계산의 용이성을 위해 부가작업에 대한 surrogate objective를 제시하기도 했다. 한편, 여러 작업장을 고려한 문제는 한 작업장만 고려한 알고리즘을 이용할 수 있는데 Yano와 Rachamadugu(1991)의 K 작업장에 대한 greedy procedure는 $O(KN)$ 단일 작업장 부가작업 최소화 문제와 일치한다.

Tasi(1992)는 최대누적비용을 최소화하는 n개의 작업순서 문제를 풀고, 두 가지 형태의 작업만 고려한 알고리즘을 제시하였다. Tasi(1995)는 작업장의 길이를 고려하여 (1)컨베이어의 중단 위험과 (2)총 부가작업(utility work)을 최소화하는 N개의 제품 작업 순서(Product Sequencing)를 구하는 문제가 NP-hard임을 밝히고, 두 가지 형태의 작업만 고려할 경우 $O(\log N)$ 의 계산시간으로 풀 수 있는 최적해 알고리즘을 제시하였다. Kim(1999)은 1개의 작업장에서 N개의 제품형태를 고려한 문제를 시뮬레이티드 어닐링으로 풀었다. 그러나, L개의 작업장에서 M개의 제품 형태와 작업시간을 고려하여 (1)컨베이어의 중단 위험과 (2)총 부가작업(utility work)를 최소화하는 N개의 제품 작업 순서를 구하는 문제를 구하는 정식화와 그것을 풀 수 있는 알고리즘은 아직 개발되지 않고 있다.

따라서, 본 연구에서는 L개의 작업장에서 M개의 제품 형태를 고려하며 (1)컨베이어의 중단 위험과 (2)총 부가작업을 최소화하는 N개의 제품 작업순서를 구하는 문제를 정식화하였다. 목적함수는 최대시작시간(maximum starting time)을 최소화함으로써 컨베이어의 중단위험을 줄이는 것(Z_1)과, 총 부가작업(utility work)을 최소화(Z_2)하는 것이 있다. 제약조건은 각 작업장에 작업할당을 하나만 할 수 있도록 하고((2), (3)식), 후행 작업의 시작시간(starting time)은 선행작업이 종료되는 시간과 작업자가 다음 작업을 위하여 이동하는 시간과의 차이에 의해서 구해진다. 만일 선행작업이 종료되는 시간이 사이클 타임보다 적다면 사이클 타임과 작업자가 다음 작업을 위하여 이동하는 시간과의 차이에 의해서 구해진다((1),(4)식). 수리모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z &= Z_1 + Z_2 \\
 &= \text{Max} \sum_{k=1}^L y_{jk} + \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^L [y_{jk} + v_{jk} - L_k]^+ \\
 \text{s. t} & \\
 y_{jk} &= [y_{(j-1)k} + v_{(j-1)k} - w_k]^+ & \forall_j, \forall_k \quad (1) \\
 \sum_i x_{ij} &= 1 & \forall_j \quad (2) \\
 \sum_j x_{ij} &= 1 & \forall_i \quad (3) \\
 v_{jk} &= \sum_i d_{ik} x_{ij} & \forall_j, \forall_k \quad (4) \\
 x_{ij} &= 0 \text{ or } 1, v_{jk} \geq 0, d_{ik} \geq 0, y_{jk} \geq 0, y_{1k} = 0
 \end{aligned}$$

여기에서

$$\begin{aligned}
 L_k &= k \text{ 작업장에서의 사이클 타임} \\
 x_{ij} &= \begin{cases} 1 & \text{if } i \text{ 작업이 } j \text{ 번째에 위치 할 때} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\
 v_{jk} &= k \text{ 작업장에서 } j \text{ 번째 작업에 할당되는 시간} \\
 y_{jk} &= k \text{ 작업장에서 } j \text{ 번째 작업의 작업 시작시간} \\
 d_{ik} &= k \text{ 작업장에서 } i \text{ 작업의 작업시간} \\
 w_k &= k \text{ 작업장에서 작업자의 이동 시간} \\
 [a]^+ &= \text{Max}\{a, 0\}
 \end{aligned}$$

유전알고리즘은 여러개의 개체로 이루어진 모집단을 운영하는 반복적 탐색의 성질을 갖고 있다. 유전알고리즘은 먼저 주어진 문제의 잠재해를 임의로 생성시켜 초기모집단을 생성한다. 생성된 초기모집단에서 평가함수에 의해서 각 개체의 적응도를 평가하고 이에 기초하여 생존할 개체들을 선별한다. 선별된 개체로 이루어진 모집단에 유전연산자를 적용하여 다양한 해공간의 탐색을 가능하게 하여 좋은 해로의 유도가 가능하게 된다. 유전 알고리즘을 적용한 문제의 해법에서 인자의 위치는 제품생산순서를 나타내고, 인자의 값은 작업형태를 나타낸다. 본 연구에서는 이점 및 구조 교차연산자와 돌연변이 중 역순을 이용하여 자손개체를 생성해 나간다. 이점 교차연산자의 두 점은 랜덤하게 발생시키고, 역순은 하나의 인자가 선행인자의 값과 다를 때 그 인자를 중심으로 선행인자 또는 후행인자와의 역순을 일으키며 연산을 수행해 나간다. 문제의 종료 조건은 임의의 세대동안 가장 좋은 해의 개선이 없는 경우에 발생한다. 이런 알고리즘을 사용하여 NP-hard 문제로 알려져 온 L개의 작업장에서 M개의 제품 형태를 고려한 (1)컨베이어의 중단위험과 (2)총 부가작업을 최소화하는 N개의 제품 작업 순서를 구하는 문제를 풀었다. 그 결과 유전알고리즘을 이용하여 자동차 조립라인과 같은 혼합모델조립라인의 최적 생산순서계획을 생성하여, 조립라인의 효율과 생산성에 큰 도움을 줄 수 있었다.

발표희망분야 : 생산계획, 산업체응용사례

주소 : 울산광역시 남구 무거동 울산대학교 산업공학과 (680-749)

전화 : 052-259-1620

FAX : 052-259-2180

E-mail : ymkim@uou.ulsan.ac.kr

URL : http://pro.ulsan.ac.kr