

## 묶음에 의해 조종되는 조립형생산체계에서 재고조종의 한가지 방법

문정희, 문경호

일반적으로 기계제작공업을 비롯한 대부분 생산체계들은 조립형생산체계로 되어있다. 이런 체계들에서 부분품들은 매 공정들에서 처리가 완료된 후 반제품으로, 처리중재고로 되어 묶음으로 처리되며 전반적인 전체 생산비용의 균형과 안정성을 보장하는데서 중요한 역할을 한다.

본문에서는 현실에서 많이 존재하는 조립형생산체계의 재고조종을 위해 체계의 모형화를 진행하고 최량재고방안을 얻기 위한 풀이알고리즘을 제안하였다.

### 1. 문제 설정

일반적으로 생산체계의 재고모형은 혼합옹근수비선형계획법문제(MINLP)로 모형화된다. 여기서 전체 재고비용을 최소로 하는 묶음의 크기, 묶음들의 수, 기본선과 매 가지선들에서 한 주기의 전체 량들이 결정된다.

매 단계에서 묶음은 모형의 최량결과에 기초하여 결정된다고 볼수 있다. 생산을 효과적으로 조종하고 WIP(처리중재고)를 감소시키는것은 생산체계의 전체 비용을 최소화하는 결과를 가져온다.

소규모의 MINLP문제들은 가지한계법이나 여러가지 최량화알고리즘에 의해 최량적으로 풀린다.

선형연구[1]들에서는 수요가 뿔쑥분포에 따라 발생하고 처리시간들이 지수함수우연변수들인 한단계생산체계의 경우에 묶음수량 혹은 재주문시간을 결정하기 위한 재고모형들을 취급하였다.

또한 임의의 처리시간들과 중간완충재고들을 가진 계열에서 여러 단계로 이루어진 생산재고체계에서 원자재주문방안과 최량묶음수량을 비롯한 최량재고조종방안[2, 3]들을 제기하였다.

이러한 연구들은 단일생산체계나 다단계생산체계에서는 최량방안을 주지만 현실에 많이 존재하는 조립형생산체계에 대해서는 최량풀이를 주지 못한다.

대규모의 MINLP문제들은 일반적으로 최량적인 풀이를 얻기가 힘들다.

이로부터 본문에서는 대규모MINLP문제들에 대하여서는 조립형생산체계를 여러개의 소규모체계들로 나누고 매 가지모형들을 전체 체계로 합성하여 모형화하였으며 그것을 풀기 위한 발견적풀이알고리즘을 개발하고 모의를 통하여 효과성을 검증하였다.

## 2. 조립형생산체계의 모형화

일반적인 조립형생산체계의 구성도를 다음의 그림에 보여주었다.

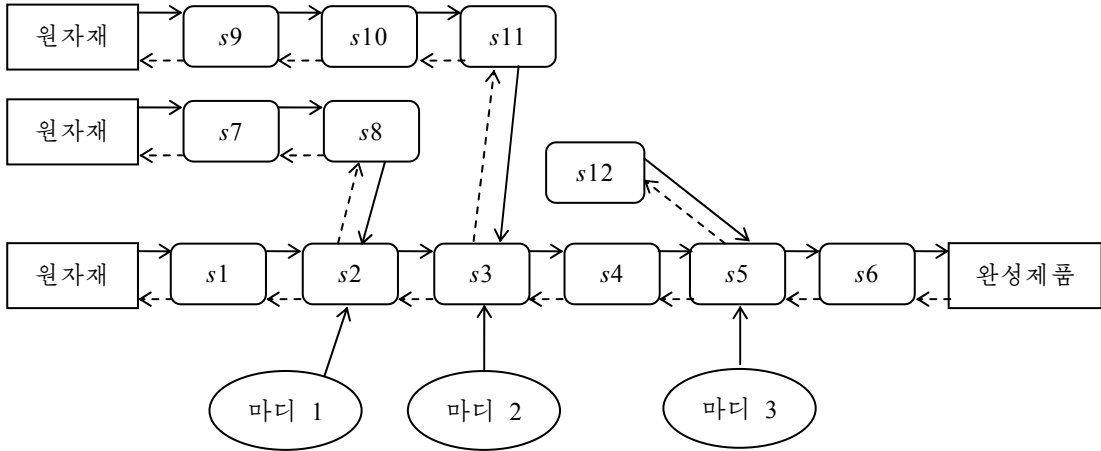


그림. 일반적인 조립형생산체계의 구성도

그림에서 보는것처럼 조립형생산체계를 매 가지모형 즉 단일생산체계들과 다단계생산체계들로 분해하고 합성해서 얻을수 있다.

모형화를 위한 기호정의는 다음과 같다.

$i$ : 공정첨수 ( $i=1, 2, \dots, N+1$ )

$A_f$ : 마지막공정에서 수송비용

$A_r$ : 원자재재고의 주문비용

$A_{si}$ : 단계  $i$ 에서 제작비용

$A_{wi}$ : 단계  $i$ 에서 수송비용

$c$ : 매 제품의 비용

$D$ : 수요를

$H_f$ : 완제품재고유지비용

$H_r$ : 원자재재고유지비용

$H_{wi}$ : 단계  $i$ 에서 처리중재고유지비용

$I(t)$ : 재고준위

$I_{avg}$ : 평균재고

$K$ : 한단계모형에서 운반의 수

$K_0$ : 원료재고의 순서번호

$K_i$ : 단계  $i$ 에서 수송의 수

$K_f$ : 완성단계에서 수송의 수

$L_i$ : 단계  $i$ 에서 성공적인 수송사이의 수

$m$ : 한단계모형안에서 생산시간동안 수송의 수

$m_i$ : 단계  $i$ 에서 생산시간동안 수송의 수

$p_i$ : 공정  $i$ 의 생산률( $i=1, 2, \dots, N+1$ )

$Q$ : 주기  $T$ 에서 생산된 완성품의 전체 량

$Q_f$ : 완성품수송량

$Q_r$ : 원료재고의 주문량

$Q_{wi}$ : 중간단계수송량

$T$ : 순환기간

$T_{ui}$ : 공정  $i$ 의 동작시간

$T_{di}$ : 공정  $i$ 의 고장시간

$TC$ : 체계의 전체 비용

$C_f$ : 완성품재고의 비용

$C_r$ : 원료재고비용

$C_{wi}$ : 단계  $i$ 에서 처리중재고비용

$S$ : 마감공정에서 수송의 수

① 한단계생산체계의 재고모형

이 재고모형은 전형적인 경제적묶음크기모형이다.

전체 원자재재고비용  $C_r$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$C_r = \frac{A_r D}{Q_r} + H_r \frac{Q_r}{2}$$

처리중재고(WIP)비용  $C_w$ 는 설치비용, 묶음수송비용 그리고 재고유지비용으로 구성되며 동작시간동안 수송회수  $m$ 과 전체 주기동안 수송회수  $k$ 에 의해 주어진다.

$$C_w = A_{s1} \frac{D}{Q} + A_w \frac{D}{Q_w} + H_w \frac{Q_w}{2}$$

완성품재고비용은 설치비용, 수송비용, 재고유지비용으로 구성되며 다음과 같이 주어진다.

$$C_f = A_{s2} \frac{D}{Q} + A_f \frac{D}{Q_f} + H_f \frac{Q_f}{2} (K_f - S + 1)$$

따라서 총재고비용은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} TC &= C_r + C_w + C_f = D \left( \frac{A_r}{Q_r} + \frac{A_w}{Q_w} + \frac{A_f}{Q_f} \right) + \frac{D}{Q} (A_{s1} + A_{s2}) + \\ &+ \frac{1}{2} [H_r Q_r + H_r Q_r + H_w Q_w (K - m + 1) + H_f Q_f (K_f - s + 1)] = \\ &= \frac{D}{Q} (K_0 A_r + K A_w + K_f A_f + A_{s1} + A_{s2}) + \frac{Q}{2} \left[ \frac{H_r}{K_0} + \frac{H_w}{K} + \frac{H_f}{K_f} + H_w \left( 1 - \frac{D}{p_1} \right) + H_f \left( 1 - \frac{D}{p_2} \right) \right] \end{aligned}$$

② 다단계생산체계

다단계생산체계의 재고모형은 처리중재고의 비용에 더 많은 비용요소가 있을뿐 한단계생산체계의 재고모형과 같은 구조를 가진다.

ㄱ) 처리중재고비용

$$C_{wi} = A_{si} \frac{D}{Q} + A_{wi} \frac{D}{Q_{wi}} + H_{wi} \frac{Q_{wi}}{2} (K_i - m_i + 1)$$

ㄴ) 총재고비용

$$TC_m(K_0, K_1, K_2, \dots, K_n, K_f, Q) = \frac{D}{Q} \left[ A_r K_0 + \sum_{i=1}^N (A_{si} + A_{wi} K_i) + A_f K_f \right] + \frac{Q}{2} \left[ \frac{H_r}{K_0} + \sum_{i=1}^N \frac{H_{wi}}{K_i} + \frac{H_f}{K_f} + \sum_{i=1}^N H_{wi} \left( 1 - \frac{D}{p_i} \right) + H_f \left( 1 - \frac{D}{p_{N+1}} \right) \right]$$

③ 조립형생산체계의 재고모형

기본선과 가지생산체계에서 재고비용은 독립이라고 가정하면 총비용은 모든 개별적 비용들을 합하여 얻어질수 있다.

이로부터 조립형생산체계의 재고모형을 다음과 같이 얻을수 있다.

$$\min TC_a = TC_m + TC_b = \frac{D}{Q} \left[ \sum_{i=1}^N A_{si} + \sum_{i=0}^{N+1} A_{wi} K_i \right] + \frac{Q}{2} \left[ \sum_{i=0}^{N+1} \frac{H_{wi}}{K_i} + \sum_{i=1}^{N+1} H_{wi} \left( 1 - \frac{D}{p_i} \right) \right] + \sum_{d=1}^{N_0} \left\{ \frac{D^d}{Q^d} \left[ \sum_{i=1}^{N_d} A_{si}^d + \sum_{i=1}^{N_d+1} A_{wi}^d K_i^d \right] + \frac{Q^d}{2} \left[ \sum_{i=1}^{N_d+1} \frac{H_{wi}^d}{K_i^d} + \sum_{i=1}^{N_d+1} H_{wi}^d \left( 1 - \frac{D^d}{p_i^d} \right) \right] \right\}$$

$Q^d = n_d Q (d=1, 2, \dots, N_0)$  : 가지생산선번호

$K_i (i=0, 1, \dots, N+1), K_i^d (i=0, 1, \dots, N^d+1; d=1, 2, \dots, N_0)$ : 옹근수

$Q, Q^d (d=1, 2, \dots, N_0)$  : 실수

이것은 혼합옹근수비선형함수이다.(MINLP)

### 3. 조립형생산체계를 위한 풀이알고리즘

우에서 논의한 조립형생산체계는 기본선을 포함하여 매 가지선이 하나의 MINLP문제로 고찰되며 이 문제를 최량적으로 풀기가 매우 힘들다.

따라서 3단계의 알고리즘단계를 제안하였다.

① 알고리즘 1단계

이 단계에서는 매 한단계생산체계의 MINLP를 위한 가지한계법알고리즘(BAB)단계를 진행한다.

걸음 1 초기문제의 NLP를 풀고 MINLP문제의 최량풀이의 하한으로서 그것의 목적함수값을 설정한다.

$$ZL = TC$$

걸음 2 만일 풀이들이 옹근수이면 처리는 중지되고 최적풀이를 얻는다. 그렇지 않으면  $ZU \rightarrow \infty$ 로 설정한다.

걸음 3 한번에 제한 1개를 추가하여 부분모임들을 구성하면 NLP의 완화된 부분모임 결과가 하나씩 해결된다. 풀이의 가능성을 검사하고 마디를 형성하기 위한 실행가능한 풀

이들을 보존한다.

만일 풀이들이 용근수이면 갱신된 식  $ZL$ 은 새로운 풀이와 같다.

걸음 4  $ZU$ 와  $ZL$ 을 비교한다.

$$ZL \leq ZU$$

이면

$$ZU \leftarrow ZL$$

이다.

걸음 5 가능한 풀이공간에서 가장 좋은 풀이를 찾는다.

걸음 6 걸음 2부터 걸음 4를 반복한다.

## ② 알고리즘 2단계

조립형생산체계는 여러개의 MINLP문제를 포함하므로 간단한 MINLP문제를 푸는것보다 풀기가 힘들다. 즉 BAB법에 의해 최량적으로 ATSCS문제를 푸는것이 불가능하다.

따라서 하나의 현실적인 대규모문제에 대해 적합한 풀이를 얻기 위한 발견적방법이 필요하다.

알고리즘의 다음단계에서는 매 가지의 생산체계를 하나의 생산체계로 합치기 위한 알고리즘단계를 진행한다.

걸음 1 기본선 MINLP문제를 공식화하고 총 비용식  $TC_m$ 과 묶음크기  $Q$ 를 얻는다.

걸음 2 관계식

$$Q^d = n_d Q$$

를 대응하는 가지선 MINLP에 대입한다.

걸음 3 모든 MINLP들이 풀릴 때까지 한번에 1개씩 가지선 MINLP문제를 푼다.

총 비용식  $TC_d(d=1, 2, \dots, N_0)$  값을 보관한다.

걸음 4 모든 비용을 합한다.

$$TC_a = TC_m + \sum_{d=1}^{N_0} TC_d$$

## ③ 알고리즘 3단계

알고리즘 2단계에서 얻어진 풀이를 보다 개선하기 위하여 탐색알고리즘을 실행시킨다. 개선탐색은 그다음 초기풀이근방을 검색하고 결과에서 보다 개선된 최량점을 찾아낸다.

따라서 더 좋은 결과가 개선탐색을 통해 얻어질수 있다.

걸음 1 기본선에서 한주기당 생산되는 부분품들의 전체 량  $Q$ 를 얻어내고 총비용을 평가하기 위해 ATSCS의 MLNLP에 알고리즘 2단계를 적용한다.

걸음 2 초기결과로서  $TC_a$ 를 설정하고  $Q_i$ 는  $\pm Q$ (검색범위)탐색한계, 탐색걸음  $\lambda_s$ 를 설정한다.

걸음 3  $Q \pm Q_i$ 의 근방을 탐색한다.

만일 총비용  $TC_a$ 에서 감소가 있으면  $TC_a$ 를 갱신하고 그에 따르는  $Q$ 와 대응한 선에서 모든 묶음크기를 갱신한다.

걸음 4 만일 검색범위내에  $Q$ 가 있으면 걸음 3을 반복하고 아니면 중지하고 현재  $TC_a$ ,  $Q$ 의 값과 그리고 모든 묶음크기를 얻는다.

## 4. 모 의 실험

우리는 제안한 방법을 3개의 생산선들로 구성되는 9개의 공정들이 있는 조립형생산체계에 적용하여 효과성을 평가하였다.

공정  $s1-s4$ 는 주요생산선을 구성하고  $s5, s6, s7-s9$ 는 2개의 가치를 형성한다.

$s5$ 와  $s6$ 으로 구성된 가치를 마디 1에서 기본선과 합쳐지는 가치 1(공정 2)이라고 하고 유사하게  $s9$ 를 통하여  $s7$ 로 구성되는 가치를 마디 2에서 기본선과 합쳐지는 가치 2(공정 3)라고 하자.

조립형생산체계의 체계파라미터들이 표 1과 같이 주어졌다고 하자.

표 1. 조립형생산체계의 체계파라미터

생산선	$D$	$P$	수송비용	설치비용	유지비용
기본선	5 000	5 500	$A_{s1} = 300$	$A_r = 110$	$H_r = 45$
		5 600	$A_{s2} = 250$	$A_{w1} = 100$	$H_{w1} = 30$
		6 000	$A_{s3} = 300$	$A_{w2} = 100$	$H_{w2} = 45$
		5 500	$A_{s4} = 350$	$A_{w3} = 100$	$H_{w3} = 25$
				$A_{wf} = 100$	$H_{wf} = 35$
가치 1 ( $s5-s6$ )	15 000	$P_1^1 = 20\ 000$	$A_{s1}^1 = 220$	$A_r^1 = 80$	$H_r^1 = 30$
		$P_1^2 = 20\ 000$	$A_{s2}^1 = 250$	$A_{w1}^1 = 60$	$H_{w1}^1 = 28$
				$A_{w2}^1 = 90$	$H_{w2}^1 = 25$
가치 2 ( $s7-s8-s9$ )	20 000	$P_1^2 = 25\ 000$	$A_{s1}^2 = 250$	$A_r^2 = 75$	$H_r^2 = 28$
		$P_2^2 = 25\ 000$	$A_{s2}^2 = 300$	$A_{w1}^2 = 60$	$H_{w1}^2 = 30$
		$P_3^2 = 25\ 000$	$A_{s3}^2 = 200$	$A_{w2}^2 = 100$	$H_{w2}^2 = 25$
				$A_{w3}^2 = 90$	$H_{w3}^2 = 20$

알고리즘 1단계와 2단계를 거쳐 다음과 같은 전체 체계의 최량풀이를 얻는다.(표 2)

표 2. 전체 체계의 최량풀이

생산선	주기당 수량 $Q$	매 단계에서 묵음수	총비용	전체 비용
기본선	900	$K_0 = 6$		
		$K_1 = 5$		
		$K_2 = 7$	43 301	
		$K_3 = 4$		
		$K_4 = 5$		154 935
가치 1	2 700	$K_0^1 = 10$		
		$K_1^1 = 11$	44 315	
		$K_2^1 = 8$		

표계 속					
생산선	주기당 수량 $Q$	매 단계에서 묶음수	총비용	전체 비용	
가지 2	36 00	$K_0^2=11$	67 319		
		$K_1^2=13$			
		$K_2^2=9$			
		$K_3^2=8$			

알고리즘 3단계를 거쳐 다음과 같은 전체 체계의 개선된 최량풀이를 얻는다.(표 3)

표 3. 전체 체계의 개선된 최량풀이( $K_3^2=8$ )

생산선	주기당 수량 $Q$	매 단계에서 묶음수	총비용	전체 비용	
기본선	480	$K_0=6$	46 092		
		$K_1=5$			
		$K_2=7$			
		$K_3=4$			
가지 1	1 440	$K_4=5$	38 282	142 783	
		$K_0^1=9$			
		$K_1^1=10$			
가지 2	1 920	$K_2^1=8$	58 405		
		$K_0^1=11$			
		$K_1^2=12$			
		$K_2^2=9$			
		$K_3^2=8$			

모의실험에서 알고리즘 2단계에 의해서는  $Q=900$  이고 후에 풀이를 개량한 개선된 탐색법 즉 알고리즘 3단계에 의해서는  $Q=480$  이다. 그러나 두 발견적방법에서 전체 비용은 상대적으로 근사하며(알고리즘 2에서는 15 4935, 알고리즘 3에서는 14 2783) 기본선과 가지선들에서 묶음들의 수만 재조직된다. 모의실험은 2개의 발견적방법이 조립형생산체계에 대하여 생산자들이 수요자들의 수요에 신속히 대응할수 있게 원자재를 주문하고 제품들을 생산하며 운영을 효과적으로 진행할수 있게 하는 보다 좋은 풀이를 얻게 된다는것을 보여준다.

## 맺 는 말

조립형생산체계를 여러개의 한단계생산체계와 다단계생산체계로 분해하고 매 가지모형을 전체 체계모형으로 합성하여 모형화하였다. 또한 조립형생산체계재고모형의 최량방안들인 묶음의 크기, 묶음들의 수, 기본선과 매 가지선들에서 한 주기의 전체 량을 얻기 위한 발견적알고리즘을 제기하고 모의를 통하여 효과성을 검증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] V. Tardif, L. Maaseidvaag; European Journal of Operational Research, 132, 411, 2001.
- [2] R. Kasthuri, C. V. Seshaiiah; Int. Journal of Math. Analysis, 8, 4, 157, 2014.
- [3] Adisak Nowneow et al.; International Journal of Applied Engineering Research, 13, 7, 5472, 2018.

주체108(2019)년 8월 5일 원고접수

## **A Method of Inventory Control for the Assembly-Type Production System Controlled by the Batches**

*Mun Jong Hui, Mun Kyong Ho*

In this paper, a mathematical model of the assembly-type production system is built by appropriately aggregating the individual branch models as a whole system, and a heuristic algorithm is developed which determines the reasonable inventory proposal is proposed.

Key words: inventory control, batch, assembly-type production system