

Slack Degree에 의한 n/m Job-Shop 스케줄링

문제의 발견적 해법에 관한 연구

- A Study on the Heuristic Solution for n/m Job-Shop Scheduling Problems of Slack Degree -

김 세 홍*

Kim, Je-Hong

조 남 호**

Cho, Nam-Ho

Abstract

It can be made a definition that scheduling is a imposition of machinery and equipment to perform a collection of tasks. Ultimately scheduling is an assessment of taking order for which would be perform. So it is called "sequencing" in other words.

In a job shop scheduling, the main object is to making delivery in accordance with the due date and order from customer, not to producing lots of quantity with minimizing mean flow time in a given time. Actually, in a company, they concentrate more in the delivery than minimizing the mean flow time.

Therefore this paper suggest a new priority dispatching rule under consideration as below in a n/m job shop scheduling problem with due date.

1. handling/transportation time
2. the size of customer order

With this algorithm, we can make a scheduling for minimizing the tardiness of delivery which satisfy a goal of production.

1. 서론

1980년대 JIT, 1990년대는 FMS로 생산시스템의 일대변혁이 이루어지고 있으며, 고객의 욕구는 날로 다양화되고 있다. 즉 소로트화를 요구하고 있다. 그러므로 앞으로의 기업성과의 관건은 소로트화이며, 소로트화의 효과는 다음과 같다.

1.1 필요한 물품을 필요한 양만큼 필요한 때에 제조/공급할 수 있기 위하여

- (1) 제품재고의 감소
- (2) 품절의 감소
- (3) 품종의 다양화와 고객욕구의 충족
- (4) 물류와 생산의 동시화로 물류원가 절감
- (5) 납기준수에 의한 고객 서비스의 향상

* 경민전문대학 사무자동화과

** 건국대학교 공과대학 산업공학과

1.2 JIT 및 FMS 생산을 가능케 하기 위하여

- (1) 부품 재고 감축에 의한 부품 창고 감소
- (2) 부품 취급 인력 및 재고관리비 절감
- (3) 소로트화에 의한 생산평준화
- (4) 소로트화에 의한 재공품 감소
- (5) 재공 작업 공정간의 제반 낭비 요소의 방지를 통한 생산성 향상하는 것이다.

이와 같이 생산관리를 효율적으로 할 수 있는 근본적인 방법은 합리적인 스케줄링에 달려있다. 또한 단품종 소량 주문생산에서는 제품에 대한 시방 및 납기가 주문자에 의하여 결정되는 경우가 대부분이며, 생산자는 합리적인 공정관리를 통하여 주문시방에 적합한 제품을 납기 요구일까지 생산할 수 있도록 계획을 수립하여야 한다. 이와 같은 필요성에 비추어 볼 때 기업의 생산성 향상을 위하여 구현이 간단하고 계산시간이 적게 드는 합리적인 우선순위규칙으로써 스케줄링을 운용하는 것이 필요하다. [1][18]

기존의 스케줄링을 위한 우선순위규칙은 부품의 이동/운반에 대해서는 고려를 하지 않고 있다. 이는 비현실적인 발상이므로 부품의 이동/운반시간을 부품 가공시간과 함께 고려하여 현실적인 우선순위규칙이 되도록 하여야 할 것이다. 또한 고객의 주문량은 다양하다는 것이 현실적으로 합당하나 기존연구에서는 이에 대한 고려를 하지 않고 있다.

그러므로 본 연구에서는 급변하는 고객의 수요 변화에 합리적으로 대응하기 위하여 납기일 내에 납기를 하는 한도 내에서 부품의 이동/운반 시간을 고려하며, 고객 주문량을 고려하여 현실적으로 합리적인 생산목표를 달성할 수 있는 보다 효율적인 스케줄링 방법을 개발하는데 목적을 두고자 한다. [2][5][7]

2. 스케줄링 해법의 이론적 고찰

2.1 기호의 정의

스케줄링 우선순위규칙을 설명하기 위한 기호의 정의는 다음과 같다.

m : 기계 또는 설비의 수

n : 작업(Job)의 수

P_{ij} : 작업 i 의 j 번째 가공(Operation)의 처리시간(Processing Time)

i : 작업 지수(Index), $i = 1, 2, \dots, n$

j : 작업순서 지수(Index)

k : 기계 또는 설비를 나타내는 지수(Index), $k = 1, 2, \dots, m$

F_i : 작업 i 의 흐름시간(Flow Time)

L_i : 작업 i 의 지연시간(Lateness)

T_i : 작업 i 의 납기지연(Tardiness)

I_{ij} : k 의 유휴시간(Idle Time)

d_i : 작업 i 의 납기(Due Date)

C_i : 작업 i 의 완료시간

PS_t : 단계 t 에서 계획된 작업을 포함한 부분 스케줄

S_t : 단계 t 에서 주어진 PST에 상응한 스케줄 가능 작업들의 집합

σ_j : 작업 $j \in St$ 가 착수 가능한 가장 이른 시간(EST)

p_j : 작업 j 의 소요시간

φ_j : 작업 $j \in St$ 가 완료 가능한 가장 이른 시간(EFT) : $\varphi_j = \sigma_j + t_j$

f_k : 기계 k 의 가장 늦은 완료시간

CR_i : 각 단계 t 에서 작업 j 의 긴급율 지수(Critical ratio index)

R_{ij} : 작업 j 의 남은 가공시간

2.2 평가척도

우선순위규칙의 우수성을 평가하기 위한 기준으로 다음 항목을 그 평가척도로 사용한다.
[9][17]

$$\text{총 작업 시간(makespan)} \quad M = \sum_{i=1}^n F_i \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

$$\text{평균작업흐름시간(mean flowtime)} \quad \bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i, \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

$$\text{평균지연(mean tardness)} \quad \bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i, \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

$$\text{유휴시간(idle time)} \quad I = \sum_{k=1}^n I_k, \quad (k=1, 2, \dots, n)$$

2.3 우선순위규칙에 대한 기존의 연구[Wu,1987, Buffa,1982][3][15]

- ① 평균체류시간을 줄이는데 있어서는 SPT(Shortest Processing Time) 규칙이 가장 뛰어나다. 실제로 다른 규칙의 혼합형태가 더 유용하다는 연구가 있지만 생산현장의 형태나 조건에 따라서 달라질 수 있기 때문에 일반적인 결과라고 보기是很 힘들다.
- ② 납기일 기준의 우선순위규칙, 납기일 위주의 기준(Criteria)으로는 평균지연을 줄이는 것을 많이 사용하고 있다. COVERT(Cost Over Time) CR(Critical Ratio)과 같은 규칙들이 좋은 결과를 보였다.
- ③ 수행도 측정량이나 시스템 구성의 변화에 따라 우선순위규칙의 수행도가 변화하면 어떤 규칙도 항상 최상의 해를 제공하지 못한다.
- ④ SPT를 기반으로 하는 규칙들은 평균대기시간을 최소화하고 LPT(Longest Processing Time)를 기반으로 하는 규칙들은 기계가동률을 최대화한다.[6]
- ⑤ 납기일을 기반으로 하는 규칙들은 가공시간을 기반으로 하는 규칙보다 Job 자연의 분산이 크다.
- ⑥ 납기일을 정하지 않거나 여유가 없게 납기일을 선정하는 경우는 SPT가 납기일을 기반으로 하는 규칙보다 좋다.[4]

3. n/m Job-shop 스케줄링 문제의 발견적 해법

3.1 가공시간에 기반을 둔 기존의 우선순위 규칙의 문제점

Job-shop 스케줄링 문제에 쓰이는 우선순위 규칙은 부품의 이동 및 운반 작업에 대해서는 아무런 고려를 하지 않는다. 기존의 가공시간을 기반으로 소요되는 시간을 작업시간으로 간주해야 하나 이를 고려하지 않는다는 비현실적인 문제점을 안고 있다. 따라서 이동 및 운반 시간을 작업시간에 포함시켜 더욱 현실적인 운용을 꾀하여야 한다.[10][12][16]
예를 들어 설명하면 다음과 같다.

3.1.1 기존의 SPT 규칙의 경우

기계 3에서의 부품 a의 가공시간 : 9분

기계 3에서의 부품 b의 가공시간 : 10분



(그림 3-1) 기존의 SPT 규칙의 경우의 예

(그림 3-1)과 같은 경우의 기존 SPT 규칙을 적용하면 기계 3은 부품 a를 선택할 것이다. 그러나 다음과 같이 이동 및 운반시간을 고려해 보면 다음과 같다.

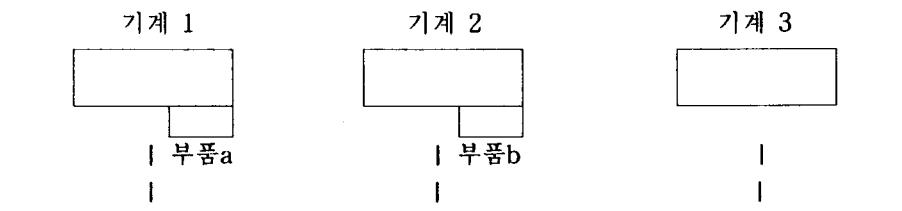
3.1.2 기존의 SPT 규칙에 이동 및 운반시간을 포함시킨 경우

기계 3에서의 부품 a의 가공시간 : 9분

기계 3에서의 부품 b의 가공시간 : 10분

기계 1과 기계 3간의 거리 이동시간 : 3.5분

기계 2와 기계 3간의 거리 이동시간 : 2분



(그림 3-2) 기존의 SPT 규칙에 이동/운반 시간을 포함시킨 경우의 예

(그림 3-2)에서 알 수 있듯이 이동/운반 시간까지 고려한 경우 기계 3은 부품 b를 선택하게 된다. 여기서 볼 수 있듯이 기계에서의 가공 시간만을 고려하는 것과 이동/운반 시간을 함께 고려하는 것에는 차이가 있다. 그러므로 현실적인 스케줄링 문제에서는 이동/운반 시간을 함께 고려하는 것이 더욱 합리적이라는 것을 알 수 있다.

3.2. 납기일에 기반을 둔 기존 우선순위 규칙의 문제점

현재 사용되고 있는 납기일 기반의 우선순위 규칙들이 갖고 있는 문제점은 우선순위를 결정하기 위하여 가공시간과 납기일 만을 고려한다는 점이다. 이는 주문의 크기를 1로 간주하기 때문에 발생되며 현실적으로 합리적이지 못하다. 주문의 크기는 실제로 십 단위에서 백 단위 이상이 되는 경우도 있다. 이러한 점에서 CR(Critical Ratio)은 주문 전체의 지연(delay)을 고려하지 못하고 있다.[11]

실질적으로 CR을 적용했을 때는 우선순위가 높지만 주문량과 여유시간(납기일 까지 남은시간)을 비교해보면 긴급한 주문이 아닐 수 있다. 이와 같은 경우는 CR에서는 주문량과 여유시간의 관계를 고려하지 않기 때문이다.

예를 들어 설명하면 다음과 같다.

<표 3-1> 각 주문에 대한 납기일과 총가공시간 및 대기시간

주문 품목	주문량	납기시간-현재시간	가공시간	예상 대기시간
A	2	4	1	1
B	4	6	1	1

CR을 이용하여 주문품 A와 B의 우선순위를 비교하면 다음과 같다.

$$\text{주문 } A : \frac{4}{(1+1)} = 2, \quad \text{주문 } B : \frac{6}{(1+1)} = 3$$

따라서 주문품 A의 우선순위가 더 높다는 것을 알 수 있다. 그러나 주문품 A와 B의 총가공시간 대 여유시간을 비교해보면 다음과 같다.

$$\text{주문 } A : \text{총가공시간} = \text{주문량} \times \text{가공시간} = 2 \times 1 = 2\text{시간}$$

$$\text{여유시간} = \text{납기시간} - \text{현재시간} = 4\text{시간}$$

$$\text{주문 } B : \text{총가공시간} = \text{주문량} \times \text{가공시간} = 4 \times 1 = 4\text{시간}$$

$$\text{여유시간} = \text{납기시간} - \text{현재시간} = 6\text{시간}$$

$$\text{주문품 } A \text{의 여유도} = \frac{4}{2} = 2, \quad \text{주문품 } B \text{의 여유도} = \frac{6}{4} = 1.5$$

주문품 A는 총가공시간이 2시간이고 여유시간이 4시간이며, 주문품 B는 총가공시간이 4시간이고 여유시간이 6시간이다. 주문품 A는 가공시간에 비하여 여유시간이 많아 여유있게 생산해도 되며, 주문품 B는 상대적으로 여유시간이 적으므로 주문품 A보다 먼저 생산해야 한다. 즉, 여유도(Slack Degree : SD)가 적은 주문품 B를 먼저 생산하여야 한다.[8]

그리나 CR에서는 반대로 주문품 A에 더 많은 우선순위를 주고 있다. 따라서 주문량이 다수 개일 경우에 CR을 사용하여 우선순위를 부여하면 문제가 발생한다.

3.3 수정된 SD를 사용한 해법

3.3.1 여유도

여유도(Slack Degree : SD)는 기존의 간접율에 의한 해법에 주문량과 이동/운반시간을 고려한 동태적인 우선순위규칙이다.

$$* \text{여유도} = \frac{\text{작업 가능시간}(납기시간)}{(\text{주문량} \times \text{가공시간}) + \text{이동}/\text{운반시간}}$$

여유도는 그 작업이 어느 정도의 여유를 가지고 있는지를 나타내는 지수로서 여유도가 적을수록 그 작업은 여유가 없으므로 먼저 수행되어야함을 나타낸다.[13]

3.3.2 SD를 사용한 발견적 해법의 절차

절차 1 : $t = 0$ 및 PS = null partial schedule에서 시작한다. 최초에는 S_t 는 실행작업이 없는 모든 작업들을 포함한다.

절차 2 : $\sigma^* = \min\{\sigma_j\}$ 와 σ^* 를 얻을 수 있는 기계 m^* 을 결정한다. $j \in S_t$

절차 3 : 기계 m^* 을 필요로 하는 각 작업 $j \in S_t$ 와 $\sigma_j < \psi^*$ 을 위하여 특정한 우선순위 규칙에 의한 우선순위 지수(priority index)를 계산한다. 최소의 우선순위지수(여유도:SD)가

되는 작업을 찾아 가장 먼저 PS_t 에 더하여 단 하나의 부분 스케줄 PS_{t+1} 을 작성한다.

절차 4 : 절차 3에서 작성한 새로운 각 부분 스케줄 PS_t 를 다음과 같이 수정한다.

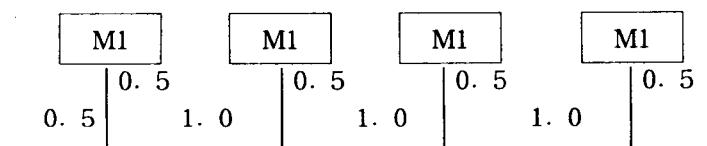
- (a) S_t 로부터 작업 j 를 없앤다.
- (b) 작업 j 의 후속 작업을 S_t 에 더하여 S_{t+1} 을 만든다.
- (c) t 를 하나씩 증가시킨다.

절차 5 : 스텝 3과 4에서 작성된 PS_{t+1} 을 위하여 완전한 스케줄이 작성될 때까지 절차 2로 되돌아간다.

3.4 SD를 사용한 발견적 해법의 예

<표 3-2> 4/4 Job-Shop 스케줄링 문제의 작업시간

Job	작업시간			
	1	2	3	4
1	7	5	6	4
2	1	4	3	2
3	5	3	2	4
4	3	6	5	4



(그림 3-3) 각 기계에 대한 이동/운반시간

<표 3-3> 4/4 Job-Shop 스케줄링 문제의 이동/운반시간

Job	이동/운반시간			
	1	2	3	4
1	2.0	2.0	3.0	2.0
2	1.0	2.0	2.0	2.0
3	1.0	2.0	3.0	2.0
4	2.0	3.0	2.0	3.0

<표 3-4> 4/4 Job-Shop 스케줄링 문제의 작업순서

Job	작업순서			
	1	2	3	4
1	2	1	3	4
2	1	2	3	4
3	1	2	4	3
4	2	4	3	1

<표 3-5> 4/4 Job-Shop 스케줄링 문제의 주문량 및 납기시간

Job	1	2	3	4
주문량	1	3	2	1
납기시간	34	50	40	38

<표 3-6> 4/4 Job-Shop 스케줄링 문제의 총작업완료시간

Job	총작업완료순서			
	1	2	3	4
1	7+2=9	5+2=7	6+3=9	4+2=6
2	1x3+1=4	4x3+2=14	3x3+2=11	2x3+2=8
3	5x2+1=11	3x2+2=8	2x2+3=7	4x2+2=10
4	3+2=5	6+3=9	5+2=7	4+3=7

- (a) S_t 로부터 작업 j를 없앤다.
- (b) 작업 j의 후속작업을 S_{t+1} 을 만든다.
- (c) t를 하나씩 증가시킨다.

절차 5 : 스텝 3과 4에서 작성된 PS_{t+1} 을 위하여 완전한 스케줄이 작성될 때까지 절차 2로 되돌아간다.

<표 3-2>에서 <표 3-6>과 같은 예가 주어진 경우 위 절차에 의하여 발견적 스케줄을 작성하면 다음과 같다.

* 단계 1

최초에는 어떤 작업도 아직 배정되지 않았으며 스케줄 가능 작업들 S_0 는 선행작업이 없으므로 최초 f_k 값의 벡터가 $\{0,0,0,0\}$ 이고 $S_0 = \{(1,1,2), (2,1,1), (3,1,1), (4,1,2)\}$ 가 된다.

$\sigma_{112} = \sigma_{211} = \sigma_{311} = \sigma_{412} = 0$ 이므로 σ^* 은 0이 되며, $\sigma_j = \sigma^* = 0, \forall j \in S_0$ 이다. 따라서 우선순위규칙은 납기시간을 고려한 여유도에 의한 우선순위규칙을 적용하여 작업 i에 대한 SD_i 값 중 가장 작은 값을 선택한다.

$$SD_1 = (112) = \frac{34}{9} = 3.78, \quad SD_2 = (211) = \frac{50}{4} = 12.50$$

$$SD_3 = (311) = \frac{40}{11} = 3.63, \quad SD_4 = (412) = \frac{38}{5} = 7.60$$

$SD_3 = 3.63$ 이 가장 작으므로 PS_1 은 $(3,1,1)$ 로 구성되고 시간 0에서 착수된다.

* 단계 2

$$f_1 = 11, \quad f_2 = 0, \quad f_3 = 0, \quad f_4 = 0, \quad S_2 = \{(1,1,2), (2,1,1), (3,2,2), (4,1,2)\}$$

$$\sigma_{112} = 0, \quad \sigma_{211} = 11, \quad \sigma_{322} = 11, \quad \sigma_{412} = 0, \quad \sigma^* = \sigma_{112} = \sigma_{412} = 0$$

이 단계에서는 S_1 에서 두 개의 작업 (112)와 (412)에만 우선순위규칙이 필요하게 된다. 따라서 $SD_1 = 34/9 = 3.78, SD_4 = 38/5 = 7.60$ 이고, 여유도가 작은 SD_1 이 우선적으로 PS_1 에 이를 더하고 시간 0에서 착수하여 PS_2 를 형성한다.

* 단계 3

$$f_1 = 11, \quad f_2 = 9, \quad f_3 = 0, \quad f_4 = 0$$

$$S_2 = \{(1,2,1), (2,1,1), (3,2,2), (4,1,2)\}$$

$$\sigma_{121} = 11, \quad \sigma_{211} = 11, \quad \sigma_{322} = 11, \quad \sigma_{412} = 9, \quad \sigma^* = \sigma_{412} = 9$$

이 단계에서는 $\sigma_j = \sigma^*$ 는 한 작업(4, 1, 2)뿐이므로 우선순위규칙 적용이 불필요하다.

여유도에 의한 우선순위규칙을 적용하여 구한 스케줄링의 연산 결과는 <표 3-8>과 같고, 칸트 도표는 (그림 3-4)와 같다.

M1	311	121	211	441
	9 11	15 16	19	30 31
M2	112	41	322	222
	7 9 11 12		19	33
M3		133	433	343 233
	16	21 25	28 30	36 38 47
M4	424	334	144	244
	12	19 21 25 26	31	47 50

(그림 3-4) SD를 사용한 스케줄링의 칸트 도표

<표 3-6> SD를 사용한 스케줄링의 연산결과

단계	(f_1, f_2, f_3, f_4)	$j \in S_{l-1}$	t_j	σ_j	SD_i	min SD_i
1	$(0, 0, 0, 0)$	1 1 2	9	0*	3.78	
		2 1 1	4	0*	12.50	
		3 1 1	11	0*	3.63	*
		4 1 2	5	0*	7.60	
2	$(11, 0, 0, 0)$	1 1 2	9	0*	3.78	*
		2 1 1	4	11		
		3 2 2	8	11		
		4 1 2	5	0*	7.60	
3	$(11, 9, 0, 0)$	1 2 1	7	11		
		2 1 1	4	11		
		3 2 2	8	11		
		4 1 2	5	9*		
4	$(11, 12, 0, 0)$	1 2 1	7	11*	3.28	*
		2 1 1	4	11*	9.75	
		3 2 2	8	12		
		4 2 4	9	12		
5	$(16, 12, 0, 0)$	1 3 3	9	16		
		2 1 1	4	16		
		3 2 2	8	12*	3.50	
		4 2 4	9	12*	2.88	*
6	$(16, 12, 0, 21)$	1 3 3	9	16		
		2 1 1	4	16		
		3 2 2	8	12*		
		4 3 3	7	21		
7	$(16, 19, 0, 21)$	1 3 3	9	16*	2.0	*
		2 1 1	4	16*	8.5	
		3 3 4	7	21		
		4 3 3	7	21		
8	$(16, 19, 25, 21)$	1 4 4	6	25		
		2 1 1	4	16*		
		3 3 4	7	21		
		4 3 3	7	25		

9	(19, 19, 25, 21)	1 4 4 2 2 2 3 3 4 4 3 3	6 14 7 7	25 19* 21 25
10	(19, 33, 25, 21)	1 4 4 2 3 3 <u>3 3 4</u> 4 3 3	6 11 7 7	25 33 21* 25
11	(19, 33, 25, 26)	1 4 4 2 3 3 3 4 3 <u>4 3 3</u>	6 11 10 7	26 33 26 25*
12	(19, 33, 30, 26)	1 4 4 2 3 3 3 4 3 4 4 1	6 11 10 7	26* 33 30 30
13	(19, 33, 30, 31)	2 3 3 <u>3 4 3</u> 4 4 1	11 10 7	33 30* 1.00 * 30* 1.14
14	(19, 33, 38, 31)	2 3 3 <u>4 4 1</u>	11 7	33 30*
15	(37, 33, 38, 31)	<u>2 3 3</u>	11	38*
16	(37, 33, 47, 31)	<u>2 4 4</u>	8	47*

이 결과를 CR방법과 비교하면 <표 3-7>과 같다.

<표 3-7> CR과 SD방법의 결과치

	M	\bar{F}	I	\bar{T}
CR 해법	63	46.00	63	5.50
SD 해법	55	40.25	55	1.25

위 결과에 의하면 SD방법은 CR방법보다 수행 척도면에서 모두 좋은 결과치가 유도됨을 알 수 있다.

4. 결론 및 추후 연구 과제

본 연구에서는 우선 Job-shop에서 쓰이는 기존의 SPT규칙을 고려하며, 평균 지연의 최소화 측면에서 좋은 수행도를 보이는 긴급율(CR)을 이용한 규칙을 논하고 이 규칙들의 한계점을 설명하였다. 기존의 연구와 같이 하나의 부품을 주문하는 것이 아니라 각 주문의 주문량은 다수라는 것에 초점을 둔다. 이러한 경우 납기 지연은 하나의 부품 단위로서 결정되는 것이 아니라 주문 전체의 지연으로 결정된다. 다시 말해서 주문량 전부를 납기일 내에 납품하지 않으면 손해를 입게 되므로 주문량만큼을 납기일 내에 만드는 것이 중요하다. 이러한 고객의 납기가 주어진 경우 주문량을 고려한 새로운 스케줄링 알고리즘을 만드는 것이 본 연구의 목적이었다.

또한 기존의 연구는 부품의 이동시간이 무시된다는 점에 착안하여 가공시간에 이동/운반시간을 함께 고려하여 개선된 SD 규칙을 개발하였다.

앞으로의 추후 연구 과제를 살펴보면, 본 연구에서는 납기지연의 방지라는 측면에 중점을 두었으나 생산관리의 목적중 하나인 체류시간의 최소화 측면을 고려하는 것이 타당하므로 앞으로 이러한 측면에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 기계 고장이나 긴급주문 발생과 같은 이상 상황이 발생할 때 이를 적절히 고려한 연구가 아울러 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

1. 김기영, 生產管理, 법문사, 1987.
2. 이상용, 產業工學概論, 경문사, 1988.
3. 이상용, OR/MS 原論, 형설출판사, 1991.
4. 이순용, 生產管理論, 박영사, 1989.
5. 원진희, 資源制約下의 工程計劃 모델, 대한산업공학회, Vol.10, No.1, pp.41-45, 1984
6. 조규갑, 生產시스템工學, 회중당, 1990.
7. Baker, K. R., "Sequencing Rules and Due-Date Assignments In a Job-shop," Management Science, Vol.30, No 9, pp.1093-1103, 1984
8. ----, "Introduction to Sequencing and Scheduling", John Wiley and Sons, Inc., New York, pp.29-35, 65-70, 178-202, 1974
9. Buffa, E. S. and Sarin, R. K., "Modern Production/Operations Management", 8th Ed., John Wiley and Sons, New York, pp.288-324, 1987
10. Campbell, H. G., Duduck, R. A., and Smith, M. L., "A Heuristic Algorithm for the n Job m Machine Sequencing Problem," Management Science, Vol.16, No.10, pp.630-637, 1970
11. Clark, W., "The Gantt chart," in Industrial Engineering Handbook, 1987.
12. Conway, R. W., Maxwell, W. L., and Miller, L. R., "Theory of Scheduling," Addison Wesley, Reading, Mass., pp.6-8, 80-93, 103-124, 1967
13. Davis Edward W., "New Resource Allocation," AIIE Trans., Vol.6, No.4, pp.22-32, 1974
14. Dennis W. McLeavey., Seetharama L. Narasimhan., "Production Planning and Inventory Control", Allyn and Bydney, Inc., pp.511-547, 1985
15. Eastman, W. L., Enev, S., and Isaacs, I. M., "Development of M-Stage Decision Rule for Scheduling n Jobs Through m Machines," Operations Research, Vol.12, No.3, pp. 471-497, 1964
16. Eastman, Howard., "A Generalized Network Approach to the Planning and Scheduling of a Research Program," Oper. Res, Vol. 10, No. 2, pp.115-125, 1962
17. Elmaghraby, S. E., "On the Expected Duration of PERT Type Networks," Management Science, Vol.13, No.5, pp.782-792, 1967
18. Giffler, B., and Thompson, "Algorithms for Solving production Scheduling Problem,"Operations Research, Vol.8, No.4, pp.487-503, 1960
19. Johnson, T. J. R., "Discussion: Sequencing n Jobs on Two Machines with Arbitrary Time Lags," Management Science, Vol. 5, No.3, pp.61-68, 1959