

응용논문

유연생산시스템의 투입우선순서결정을 위한  
Simulated Annealing의 적용  
- An Application of Simulated Annealing  
for an FMS Dispatching Priority Problem

이 근 형\*

Lee, Keun-Hyung

황 승 국\*

Hwang, Sung-Gook

이 강 우\*\*

Lee, Kang-Woo

Abstract

One form of job shop scheduling problem in contemporary automated manufacturing such as flexible manufacturing systems (FMS's) is presented which we call the FMS dispatching priority problem. The FMS dispatching priority problem seeks the best dispatching priority of parts and operations, and is essentially a combinatorial optimization problem. Because of the complicated mechanism of the system, the performance of a given dispatching priority must be evaluated via simulation. Simulated annealing have been applied to the problem, and it is found that appropriate parameter setting will be desirable to get good, if not the optimal, solutions within a limited amount of time under the presence of heavy computational burden due to simulation. More specifically, experiments reveal that initial temperature is the single most important factor among other parameters and factors, and that the appropriate initial temperature depends on the allowable computer time in such a way that the less time one can afford to spend, the lower the appropriate initial temperature should be.

1. 서론

잡샵을 대상으로 한 스케줄링에 관한 연구의 대부분은, (1) 「잡샵 스케줄링 문제」(Job Shop Scheduling Problem : 이하, JSSP)라고 불리는 조합최적화문제(Combinational Optimization Problem) 및 그 변형에 대한 최적해법 또는 근사해법에 관한 연구, (2) 선택된 평가척도에 대해 우수한 성능을 지닌 투입우선규칙의 연구로 분류할 수 있다. (1)의 타입에서는 스케줄링의 최소단위인 각 작업을 어느 기계에서 언제 처리할까를 정한다. 그러나, 현실의 잡샵환경에서는 지정된 우선순서에 따라서 시스템이 운영되고 있는 경우가 많아, 각 작업에 대한 가공기계의 처리순서나 개시시각을 정하는 형태의 연구는 현실적이라고 말하기는 힘들다.

\* 경남대학교 산업공학과

\*\* 부경대학교 경영학과

한편, (2)의 투입우선규칙에 관한 연구의 대부분은 시물레이션기법을 이용해서 기존의 규칙에 대한 성능을 검토하거나, 신규의 규칙을 제안·평가하는 것이다.

이러한 투입우선규칙은 작업에 선행의 순서를 부여하는 명확한 기준을 가진 규칙으로, SPT(Shortest Processing Time)나 EDD(Earliest Due Date)로 대표되는 것과 같이, 투입우선순서의 결정방법을 나타내는 명칭이 붙은 규칙이다. 여기서는 투입대상의 작업에 대한 순서매김을 「투입우선순서」라고 불리, 작업등의 특성으로부터 투입우선순서를 이끌어내는 「투입우선규칙」과 구별한다.

종래의 투입우선순서는 투입우선규칙이 명확히 정의되는 것만을 취급하고 있지만, 투입우선규칙이 명확히 정의되지 않는 투입우선순서도 생각할 수 있다. 즉, 투입우선순서에 따라서 시스템을 운영했을 때에, 그 성능만 좋으면 투입우선규칙이 정의되지 않아도 문제시 되지 않는다. 그래서, 본 연구에서는 투입우선순서에 따라서 운영되고 있는 유연생산시스템(Flexible Manufacturing System : 이하, FMS)을 상정하고 순서를 매기는 대상이 되는 작업이  $n$  개 존재할 때에,  $n!$  개의 생각할 수 있는 전부의 투입우선순서중에서 정해진 평가함수의 값을 되도록 좋게 하는 투입우선순서를 탐색해내는 문제인 「FMS 투입우선순서 결정문제」를 제안한다.

지금까지의 연구에서 「투입우선순서의 최적화」라는 문제를 의식하지 않은 주된 이유는, 시물레이션에 의해 투입우선순서의 성능을 파악한다는 점에 있다. 특히, 복수의 품종이 동시에 병행적으로 생산되는 전형적인 FMS의 복잡한 자원의 경합상황을 분석하기에는, 현재의 시점에서는 시물레이션이 유일한 방법이라고 말할 수 있다. 본 연구에서는, 계산기의 보급과 기능의 향상에 따라 시물레이션으로부터 투입우선순서의 성능을 평가하면서 Simulated Annealing(이하, SA법)을 실행함으로써, FMS환경에 있어서 최적의 우선순서를 도출하는 것이 가능하다는 것을 보인다.

계산기의 성능이 향상되었다고는 하지만, 투입우선규칙의 영향을 평가하는 시물레이션의 부하가 크기 때문에 현실적인 계산시간내에서 보다 좋은 해를 얻기 위해서는 적절한 대책이 요구된다. 그래서, 본 연구에서는 한정된 계산시간내에서 될 수 있는 한 남기지체가 적어지는 투입우선순서를 도출하기 위하여, SA법을 적용함으로써 구해진 최량의 투입우선순서의 성능을 검토하고 그 유효성을 보인다.

## 2. FMS에 있어서의 투입우선순서의 결정

### 2.1 우선순서에 의한 제어

복수의 품종이 반복해서 생산되는 FMS의 시스템 운영에 있어서, 예를 들면 품종A에 대한 수량 10의 주문(Order)이 있을 때에, 품종A의 몇 개체인지를 의식해서 스케줄을 작성하는 것은 어렵다. 현실의 FMS에서는, 품종의 생산에 필요한 일련의 작업(예를 들면, 품종A의 제2작업 $A_2$ )에 우선순서를 설정해 이것을 기반으로 시스템이 운영되어,  $A_2$ 의 몇 개체가 언제 생산되는가를 정하는 형태의 스케줄은 생각하지 않는 것이 보통이다. 동일한 품종의 일감을 한꺼번에 일괄적으로 생산한다면 주문전체를 하나의 일감으로 생각해 종래의 잡삽 스케줄과 똑 같이 생각되지만, FMS환경에서는 우선순서를 정해서 스케줄을 제어하는 것이 자연스럽다. 실제로, 상용의 FMS에서는 우선순서의 결정방법만 다를 뿐으로, 전부가 우선순서를 기반으로 한 제어가 이루어진다고 말할 수 있다.

### 2.2 동일한 품종을 일괄생산 하지 않거나 못하는 이유

고객요구의 다양화에 따라서 생산품종이 증가하고 품종당의 생산량이 감소하여 다품종소량 생산형태가 증가했다. FMS는 고속한 공구자동교환장치(Automatic Tool Changer : 이하,

ATC)에 의해서, 품종을 바꾸는 데에 따른 준비시간이 대폭적으로 경감하여 효율적으로 복수의 품종을 동시에 병행해서 생산할 수 있는 시스템이다. 품종당의 생산량이 감소했다고는 하지만 많은 생산현장에서는 동일한 품종의 일감이 어떤 일정량을 요구하는 것이 보통으로, 한 품종씩을 묶어서 생산하는 일은 극히 드물다. 종래의 잡샵에서는, 준비시간에 따른 손실이 생산성저하의 지배적인 요인이었기 때문에 동일한 품종을 한꺼번에 일괄적으로 생산하려고 했다. 이것에 대해서 FMS에서는, 고속한 고속의 ATC를 도입한다면, 준비시간에 따른 손실이 사실상 무시할 수 있도록 되었다. FMS환경에서는 (1) 팰릿(Pallet)매수의 유한성(어떤 작업에 사용할 수 있는 팰릿은 대응하는 치구(Fixture)가 한정되어 있기 때문에 통상1매, 2매와 같이 그 수가 극히 제한되어 있다), (2) 작업순서, 작업시간, 주문수량의 차이라는 요인 때문에 주문을 구성하는 일감을 무리하게 일괄적으로 처리하려고 해도 작업간의 유희가 생기는 등 설비의 가동율에 악영향을 미쳐 생산성을 낮추어 버린다. 그 결과, 동일한 품종을 한꺼번에 생산하는 종래의 잡샵과 다른 FMS에서는 복수의 품종을 동시에 병행해서 생산함으로써 높은 생산성이 실현된다. 그래서, FMS에서는 동일한 품종의 일감을 연속해서 생산하지 않아도 좋다는 특징에 의하여 복수품종의 동시병행생산을 염두에 둘 필요가 있다.

### 2.3 FMS 시뮬레이션 모형의 가정

본 연구에서는 FMS의 투입우선순서 결정문제를 위하여, 과거의 FMS의 분석에서 사용된 모형[1, 2]을 참고로, 이하에 나타낸 가정하에 팰릿매수와 버퍼용량의 유한성을 핵으로 하는 FMS시뮬레이션 모형을 설정한다.

- (1) 생산요구는 복수개의 주문의 집합으로 주어지고 각 주문에 대해서 특정의 품종을 정한 양(이하, 주문수량)을 생산한다. 각 주문은 서로 다른 품종에 1:1로 대응한다.
- (2) 어떤 품종의 일감은 일반적으로 복수의 작업으로 구성되고, 작업의 기술적 순서는 이미 정해져 있으며 기계에서 가공중의 작업은 중단되지 않는다.
- (3) 각 작업에 대해서 이용 가능한 팰릿의 매수는 한정되어 있고 확정적으로 주어져 있다.
- (4) 각 기계의 공구배분은 이미 결정되어 준비시간은 무시할 수 있으며, 작업의 종류가 정해지면 그 작업을 가공할 수 있는 기계를 알 수 있다. 또, 각 기계에는 일정한 용량의 입력버퍼가 존재한다.
- (5) 전부의 일감은 시각0에 있어서 착수가 가능하다.
- (6) 각 작업의 작업시간, 각 품종에 대한 납기는 확정적으로 이미 알고 있다.
- (7) 자동운반장치 및 팰릿착탈장치는 모델에 포함하지 않는다.
- (8) 각 설비의 고장은 생각하지 않는다.

FMS는 고가의 설비이기 때문에 될 수 있는 한 유희를 피하고 위해서 각 기계에 용량이 적은 입력버퍼를 설치해 입력버퍼가 비워지면 그것을 채우는 제어가 행해지고 있으며 입력버퍼에 비워졌을 때에 자동운반장치에 의한 부품의 운반요구가 발생한다. 그래서, 우선순서는 자동운반장치가 어느 부품을 운반하러 가는지를 결정할 때의 우선순서로 생각할 수 있다. 자동운반장치와 팰릿착탈장치등의 직접 생산에 관계없는 작업이 장애가 되는 시스템은 바람직하지 않기 때문에 이것들이 장애가 되지 않는다고 전제한다.

### 2.4 FMS 투입우선순서 결정문제

#### 2.4.1 문제의 정의

본 연구에서 제안하는 FMS의 최적 투입우선순서를 구하는 문제를 이하에 정의한다.

FMS 투입우선순서 결정문제(FMS Dispatching Priority Problem : 이하, DPP) : 기계( $m=1, \dots, M$ )의 대수  $M$ 과 입력버퍼의 크기  $B_m$ 으로부터 생산환경이 규정되고, 주문( $i=1, \dots, N$ )와 그

의 크기  $O_i$  및 납기  $D_i$ , 각 주문에 대응하는 품종의 생산에 필요한 일련의 작업( $j=1, \dots, J_i$ )과 그 기술적 순서( $1 \rightarrow 2 \rightarrow \dots \rightarrow j \rightarrow \dots \rightarrow J_i$ ), 각 작업에 대한 처리가능기계와 처리시간  $T_{ij}$  ( $T_{ij}$ 는 처리하는 기계에 의존하지 않는다), 각 작업전용의 팻릿매수  $P_{ij}$ , 가 전부 확정적 정보로써 주어짐으로써 생산대상이 규정된다고 한다. 여기에서, 각 주문이 시각 0에서 언제라도 착수가능하며, 시스템이 투입우선순서에 따라서 운영된다고 할 때에, 정해진 평가함수를 최적화하는 투입우선순서를 구한다.

FMS의 투입우선순서 결정문제에서는 작업시간, 주문수량, 납기등의 생산요건이 주어졌을 때에 정해진 평가함수에 최적의 투입우선순서를 구하고자 한다. <표 1>의 2품종의 주문만 존재하는 간단한 예를 보면, 우선순서는 5가지의 작업  $A_1, A_2, B_1, B_2, B_3$ 에 선형의 순서, 예를 들면,  $B_2 \rightarrow A_2 \rightarrow B_3 \rightarrow A_1 \rightarrow B_1$ 을 부여하는 것에 대응한다. 이 경우, 작업의 수가 5이므로  $5! = 120$ 가지의 우선순서가 존재한다. 예에서 주의할 것은  $A_2$ 가  $A_1$ 보다 우선도가 높지만, 특정의 부품에 대한 가공순서는 언제나  $A_1$ 이  $A_2$ 보다 선행한다는 것이다. 본 연구에서는 실제현장 담당자의 최대의 관심은 납기준수에 있다[6]는 것에 따라서 평가함수를 각 주문의 총납기지체의 최소화로 한다.

<표 1> 주문에 관한 정보의 예

품종	작업	기계번호	작업시간	총작업시간	팻릿매수	주문수량	납기
A	$A_1$	3	40	65	2	23	3일13시
	$A_2$	5	25		1		
B	$B_1$	1	15	75	1	16	2일10시
	$B_2$	3	35		3		
	$B_3$	2	25		2		

2.4.2 DPP의 위치와 중요성

- (1) 고전적인 JSSP에서는, 각 기계에 있어서의 각 작업의 처리순서를 제어한다는 의미로 스케줄이 직접 제어대상이 되고 있다. 이것에 비해서, DPP는 시간의 경과와 함께 동일한 순서를 유지하는 정적(Static)인 우선순서를 제어가능요인으로 하고 있다.
- (2) DPP는, 생산환경에 있어서 팻릿매수와 입력버퍼의 용량의 유한성, 대체기계의 존재에 따른 경로선택의 자유도를 고려하고, 생산대상에 관해서는 각 주문이 복수의 동일한 품종을 요구하는 것에 따라서 동일한 품종이 반복해서 생산된다는 점에서 JSSP와 다르다.
- (3) 순서를 정하는 대상은 유한개의 작업이기 때문에, 유한개의 조합으로 한정된다. 따라서, DPP는 JSSP와 같이 조합최적화문제이다.
- (4) DPP는 우선순서를 제어대상으로 하고 스케줄은 우선순서의 결과 생기는 것으로 생각해 스케줄 그 자체를 제어대상으로 하지 않기 때문에, 일반적으로는 DPP에서는 생성되지 않는 스케줄도 존재할 수 있다. 이와 같은 의미로, DPP에 의해 생성된 스케줄은 직접 개개의 작업을 제어대상으로 하는 JSSP로부터 생성되는 스케줄에 비교해서 자유도가 낮다.
- (5) DPP에서는 생각할 수 있는 전부의 우선순서를 대상으로 하기 때문에, 투입우선규칙중에서 성능이 좋은 규칙을 선택하는 것 보다는 훨씬 자유도가 높다.
- (6) 직접 스케줄을 제어대상으로 하는 경우에는, 어떤 작업과 어떤 작업의 순번을 뒤바꾼다는 것과 같이 개개의 작업을 직접 조작하는 것이 가능하고, 그러한 조작이 스케줄에 미치는 영향을 보는 것은 비교적 쉽다. 이것에 비해서, 우선순서로 제어하는 경우에는 우선순서가 스케줄 성능에 미치는 영향이 간접적이므로 우선순서의 변화가 스케줄에 어떤 영향을 미치는가를 파악하기 힘들다. 예를 들면, 어떤 2가지의 서로 다른 작업의 우선순서를 서로 바꾸었을 때에 두

작업의 실제의 처리순서가 바뀔는지 어떤지는 상황에 의존한다.

(7) 우선순서와 시스템의 상태에서부터 생기는 결과로써 스케줄이 정해진다. 그 결과로써 어떠한 스케줄이 생기는가는 현재의 시점에서는 시뮬레이션에 의지할 수 밖에 없다.

대상이 일반 잡샵이든 FMS이든 간에, 성능이 좋은 투입우선규칙의 탐구에 관해서는 많은 연구가 있는 것에 대해서, 본 연구에서 취급하는 우선순서의 최적화를 도모하는 연구는 없다. 한편, 복잡한 시스템의 FMS에 있어서의 스케줄 최적화의 연구는 극히 한정되어 있다(예를 들면, [5]). 그들의 대부분은 JSSP를 FMS의 특징적 요인인 펠릿매수와 버퍼의 유한성, 경로선택의 자유도등을 고려가능한 형태로 확장한 것이다. 그러나, 범용성이 높고 유효한 FMS의 스케줄의 최적화의 방법론은 현재로는 존재하지 않는다. 본 연구에서 제안하고 있는 DPP는, 성능이 좋은 투입우선규칙의 탐구와 JSSP형의 스케줄 최적화문제의 중간에 위치한다. 실제의 많은 잡샵형 FMS가 투입우선순서에 기반을 두고 운영되고 있고, 사용자의 제어가능한 요인이 투입우선순서의 지정에 한정되고 있는 것을 생각하면, DPP는 현실적으로 극히 중요한 문제라고 말할 수 있다.

### 3. FMS 투입우선순서 결정문제에 대한 접근방식

#### 3.1 기본적인 생각 방법

DPP에 대한 하나의 해, 즉 어떤 우선순서가 정해졌다고 하더라도 그 성능을 평가하기 위해서는 시뮬레이션이 필요하다, 시뮬레이션은 원래 평가의 도구로 최적화의 기능을 가지지 않는다. 그래서, 본 연구에서는 근사적인 최적화의 방법으로써 근방탐색에 기반을 둔 SA법을 이용해서, 어떤 우선순서의 스케줄의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션을 융합한 최적화 접근방식을 채용한다. 여기에서 이용하고 있는 FMS시뮬레이터는 2.3에서 언급한 전제를 전부 만족하는 확정적 시뮬레이션 모델을 기반으로 한다.

#### 3.2 SA법

본 연구에서는, 근사해법으로서 SA법을 채용한다. Kirkpatrick[4]들에 의해 제안되었던 SA법은 근방중에서 현재의 해보다 좋은 해가 있으면 개선을 반복하나, 일정의 확률로 改惡도 허락함으로써 대국적인 최적해 도달을 기하는 알고리즘이지만, 대국적 최적해를 얻기 위해서는 일반적으로 방대한 계산이 필요한 것으로 일컬어지고 있다. 여기에서, 어떤 해(=투입우선순서)의 근방은 그 우선순서의 2가지의 작업의 우선순서를 교환해서 얻어지는 우선순서의 집합으로 한다. SA법의 알고리즘은 다음과 같다[4].

SA법을 적용하기 위해서는, 초기해, 근방 등의 문제고유의 항목과, 초기온도, 일정온도에서의 반복회수, 온도의 냉각비율등의 SA법 특유의 온도관리 스케줄을 결정하지 않으면 안된다. Johnson들[3]은, SA법을 효과적으로 행하기 위해 적절한 온도 스케줄의 설정과 그 상호관계에 주목하고 있다. DPP는, 통상의 조합최적화문제와 다르게 주어진 우선순서에 대한 평가함수의 값이 금방 평가되지 않고 시뮬레이션을 필요로 하기 때문에 계산시간의 부하가 크다. 실제의 현장에서, 이와 같은 접근방식을 채용하는 경우에는 현실적으로 계산시간의 허용한계가 있는 경우가 많다. 그래서, 본 연구에서는 미리 주어진 허용한도의 계산시간이 존재할 때에 보다 좋은 해를 구하기 위한 온도 스케줄의 설정에 대해서 실험적으로 분석한다.

<SA법의 알고리즘>

- 순서1 I, T를 각각 0, 초기온도를 초기화  
초기의 투입우선순서를 x로 하고, 시뮬레이션에 의해 D(x)를 구한다
- 순서2  $I \leftarrow I+1$ ,  $I=0 \pmod{T_N}$ 이면  $T \leftarrow T \cdot C_R$   
 $x \in N(x')$ 를 선택하여, 시뮬레이션에 의해 D(x')를 구한다
- 순서3  $\Delta E \geq 0$ 이면  $\Delta E \leftarrow D(x') - D(x)$ , 아니면  $x \leftarrow x'$ ,  $D(x) \leftarrow D(x')$ 하고 순서5로
- 순서4  $R < \exp(-\Delta E/T)$ 이면,  $x \leftarrow x'$ ,  $D(x) \leftarrow D(x')$
- 순서5  $I=J$ 이면, 종료하고, 그렇지 않으면 순서2로

I : 반복회수	T : 온도
J : 종료반복회수	R : [0,1]의 일양난수
x : 고찰대상의 투입우선순서	$T_N$ : 일정온도의 반복회수
D(x) : x에 있어서의 총납기지체	$C_R$ : 냉각비율( $0 < C_R < 1$ )
N(x) : x의 근방	

4. 실험결과 및 고찰

4.1 실험조건

본 연구의 시뮬레이션 실험에서는, 기계대수가 10, 팰릿매수는 각 작업별로 1매, 각 기계의 입력버퍼의 용량은 1이고, 품종수의 상하한, 각 품종의 작업수의 상하한, 가공시간의 상하한, 주문수량의 상하한이 각각 [20-30], [1-5], [15-95], 각 품종별로 [1-5]의 서로 다른 규모의 문제를 대상으로 한다. 납기의 설정은, 주문 전체의 총작업시간을 기계대수로 나눈 것을 M으로 하여, 납기의 엄격도를 결정하는 계수  $t(0 \leq t \leq 1)$ 와 범위를 결정하는 계수  $w(0 \leq w \leq 1)$ 를 모수로 해서, 그 범위내에서 각 일감의 납기를 일양난수로 발생시킨다. 납기의 상한과 하한은 다음과 같다.

$$\text{납기의 범위} = \{M(1-t) + Mw/2, M(1-t) - Mw/2\}$$

4.2 시간제한 SA법의 적용

투입우선순서 결정문제를 실제의 현장에서 해결하는 상황을 생각했을 때에, 계산기의 능력과 문제의 규모에 의해 계산시간이 충분한가 아닌가는 변한다고 할 수 있지만, 실제의 응용현장에서는 허용되는 계산시간의 상한이 존재하는 경우가 많아 허용된 계산시간내에서 알고리즘을 설계하는 것이 중요하다. 본 연구의 시뮬레이션 모델의 경우, 허용반복회수  $N=1000$ (즉, 서로 다른 우선순서를 1000회 시뮬레이션)을 계산시간의 상한으로 이용한다. 또, 계산시간제한, 초기 온도의 관계등을 명확히 보이기 위하여 허용반복회수  $N=30000$ 의 실험을 행한다. SA법의 알고리즘에 있어서는 교환대상의 작업과 초기해를 임의로 정한다.

4.2.1 온도 스케줄의 영향

온도스케줄이 허용반복회수  $N=1000$ 까지에 얻어지는 최소납기지체에 미치는 영향을 조사하기 위해서, 각 모수를 이하의 범위에서 바꾸어 전부 378의 조합에 관해서 실험을 했다.

- (1) 초기온도  $T_0=0, 1, 5, 10, 20, 50, 100, 300, 700$
- (2) 일정온도에서의 반복회수  $T_N$ 의 결정을 위한 모수  $L=3, 5, 7, 9, 11, 13, 15$ (여기에서,  $T_N$ 은

총작업수\*일정수(L))

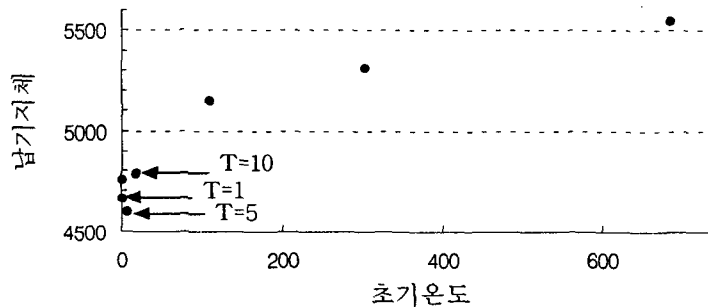
(3) 냉각비율  $C_R=0.45, 0.55, 0.65, 0.75, 0.85, 0.95$

<표 2>은 온도스케줄의 영향을 조사하기 위한 분산분석의 결과이다. 분산분석표로부터 알 수 있는 바와 같이 3가지의 모수는 어느 것도 통계적으로 유의(유의수준1%)하다. 그 중에서도 초기온도의 영향이 압도적으로 크고, 초기온도의 고저에 의해 SA법의 성능이 크게 좌우되는 것을 보이고 있다.

<표 2> 분산분석표

변동요인	제공합	자유도	평균제공	F
초기온도	388146	7	55449	199.2*
반복회수	19864	6	3310	7.1*
냉각비율	20824	5	4164	8.9*
오차	97650	210	465	
합계	526484	228		

<그림 1>은  $N=1000$ 에서 횡축에 초기온도, 종축에 납기지체를 나타낸 것으로, 시뮬레이션은 각 특정의 초기온도에 대해서 반복회수, 냉각비율을 상기의 각 값의 조합으로 설정한 실험 결과의 평균치를 나타내고 있다. <그림 1>로부터, 정해진 제한하에서 최량의 결과를 얻기 위해서는 적절한 초기온도의 존재를 알 수 있다. 즉, 온도가 너무 높아서 改惡해를 받아 들이는 확률이 높거나, 온도가 너무 낮아서 국소 탐색적으로 되면, 반복제한내에서 얻어진 최량해는 악화하고 그들간에 적절한 초기온도영역이 존재하는 것을 보이고 있다.



<그림 1> 초기온도의 영향

#### 4.2.2 반복회수와 초기온도의 관계

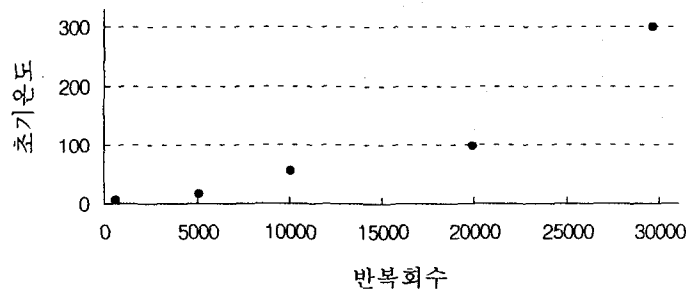
<표 3>, <그림 2>는 반복회수와 초기온도의 관계를 보이고 있다. 이들의 도표에서는 반복회수의 상한 30000에 있어서 각 초기온도별로 10문제를 실험했을 때의 납기지체의 평균치를 나타낸다. <표 3>는 각 초기온도에 대해서 표시된 반복회수까지 얻어진 최량해의 납기지체를 보이고 있다. 초기온도5, 10, 50, 100, 300은 각각 반복회수의 상한이 1000, 5000, 10000, 30000인 때에 최량의 초기온도로, 초기온도700은 반복회수의 상한 30000회보다 큰 지점에서 최량의 초기온도가 된다고 생각된다. <표 3>를 특정의 행에 주목해서 보면 특정의 반복회수의 상한에 대해서 최량의 초기온도가 존재하고, 적절한 초기온도는 반복회수의 상한값에 의해서로 다른 것을 알 수 있다.

<표 3> 반복회수와 초기온도의 관계(수치는 납기지체)

반복회수	초기온도						
	1	5	10	50	100	300	700
1	8938	8938	8938	8938	8938	8938	8938
1000	5462	5310	5408	5524	5521	5744	6094
5000	5226	5215	5111*	5122	5163	5451	5747
10000	5226	5171	5104	5032*	5086	5300	5564
20000	5226	5140	5066	5018	5003*	5081	5277
30000	5226	5140	5066	5009	5003	4980*	5083

\*는 해당 반복회수에서의 최량의 납기지체

<그림 2>에서는 횡축에 반복회수, 종축에 초기온도를 나타내고, 해당 반복회수에 있어서 최량해를 낳는 초기온도가 높아지는 경향이 보인다. 다시 말해서, 반복회수의 제한에 의해 적절한 초기온도가 다르고, 충분히 긴 시간의 반복이 허용되는 경우에는 상대적으로 높은 기온도로부터 출발하는 편이 보다 좋은 해를 얻을 수 있다는 것을 보이고 있다.



<그림 2> 반복회수와 초기온도의 관계

#### 4.3 적용기법의 성능비교

<표 4>는, FMS 환경에 있어서 정적인 투입우선규칙중에서 가장 좋은 성능을 지닌 주문수량을 고려한 작업시간규칙인 OSSMT를 SA법의 성능과 비교한 것이다. 여기에서, OSSMT는 작업시간( $p_{ij}$ )을 해당작업의 주문( $l_i$ )의 총작업시간  $l_i \cdot p_{ij}$ 로, 일감의 총작업시간( $p_i$ )을 해당 일감의 주문의 총작업시간  $l_i \cdot p_i$ 로 환산한 값을 곱한  $l_i \cdot p_i \cdot l_i \cdot p_{ij}$  가작은 작업일수록 높은 우선도가 주어지는 작업시간에 기반을 둔 규칙이다. OSSMT에서는, 주문의 총작업시간  $l_i \cdot p_i$ 와 일감의 총작업시간  $p_i$ 가 함께 작은 작업일수록 우선되지만, 해당작업의 주문( $l_i$ )의 총작업시간  $l_i \cdot p_{ij}$ 가 같으면 일감의 총작업시간  $p_i$ 가 짧은 일감이 우선되고, 주문의 총작업시간  $l_i \cdot p_i$ 가 같으면 작업시간  $p_{ij}$ 가 짧은 작업이 우선되는 규칙이다.

SA법은, 임의로 생성한 서로 다른 20문제를 실험한 결과의 평균치를 나타내고 있다. (괄호내의 수치는 초기해에 비교한 평균개선율). <표 4>로부터, OSSMT규칙에 의해 얻어진 우선순서는 임의의 우선순서에 비해서 19%가까이 납기지체성능이 개선된다.



<표 4> 적용기법에 의한 납기지체의 성능비교

반복회수	1	1000	2000	3000
OSSMT	6045(18.8%)	-	-	-
SA	7446	4933(33.8%)	4695(36.9%)	4672(37.3%)

5. 결 론

본 연구의 주된 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) FMS 투입우선순서 결정문제라고 부른, FMS로 대표되는 최근의 자동화된 잡샵에 있어서의 전형적인 스케줄링문제를 명확히 나타냈다.
- 2) 근방, 초기해, 온도관리 스케줄등의 SA법 알고리즘의 다양한 요인들 중에서 가장 큰 영향력을 가진 모수는 초기온도이다.
- 3) 계산시간에 제한이 존재하는 경우, 허용된 계산시간의 차이가 SA법의 모수의 최적설정에 영향을 미치는 것이 명확해졌다. 즉, 허용된 계산시간, 또는 SA알고리즘의 허용된 반복회수에 따라서 적절한 모수 설정이 필요하다.
- 4) 투입우선규칙과 SA법의 비교에 관해서는, SA법을 적용하여 최적화를 기함으로써, 동일한 품종이 반복하는 FMS환경에서 최량의 납기지체성능을 지닌 투입우선규칙인 OSSMT보다, 더욱 납기성능이 좋은 우선순서를 도출할 수 있다는 것을 알았다.

금후의 과제로는, 본 연구의 결과 얻어진 최량의 투입우선순서를 기반으로 기존의 투입우선규칙보다 성능이 좋은 투입우선규칙을 고안하는 방법을 탐구하는 데에 있다.

참 고 문 헌

[1] Buzacott, J. A. and Yao, D. D. ; "Flexible Manufacturing Systems: A Review of Analytical Models," Management Science, 32(7):890-905, 1986.

[2] Denzler, D. R., Boe, W. J. and Duplaga, E. D. ; "An Experimental Investigation of FMS Scheduling Rules under Uncertainty," Journal of Operations Management, 7(1):139-151, 1987.

[3] Johnson, D. S., Aragon, C. R., McGeoch, L. A. and Schevon, C. ; "Optimization by Simulated Annealing : An Experimental Evaluation : Part I, Graph Partitioning," Operations Research, 37(6):865-892, 1989.

[4] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., Jr. and Vecchi, M. P. ; "Optimization by Simulated Annealing," Science, 220(4598):671-680, 1983.

[5] Lee, Y. H. and Iwata, K. ; "Part Ordering through Simulation Optimization in an FMS," International Journal of Production Research, 29(7):1309-1323, 1991.

[6] Smith, M. L., Ramesh, R., Dudek, R. A. and Blair, E. L. ; "Characteristics of U. S. Flexible Manufacturing Systems-A Survey," In Stecke, K. E. and Suri, R., eds., Proceedings of the Second ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems: operations Research Models and Applications, Elsevier, Amsterdam, pp.477-486, 1986.