

■ 연구논문

유연생산시스템에 있어서의 투입우선규칙에 관한 연구
A Study on Dispatching Rules
in a Flexible Manufacturing System

이 근 형*
Lee, Keun Hyung
황 승 국*
Hwang, Sung Gook
이 강 우**
Lee, Kang Woo

Abstract

There have been a huge volume of researches concerning dispatching rules in job shop environments. Strangely, studies all but one pay no attention to multiple identical jobs due to the existence of production orders each of which calls for a fixed quantity, called an order size, of a specific part. Jobs arrive in the form of production orders in most, if not all, job shop type flexible manufacturing systems. This paper presents simple processing-time-based dispatching rules, and shows experimentally based on simulation that the rules with order-size considerations perform consistently well for tardiness and utilization measures. Several alternative strategies for rule specifications are examined.

1. 서 론

현실의 잡샵(Job Shop)에서는 경합하는 작업의 투입우선순서(Dispatching Priority)에 의해서 기계상의 작업의 처리순서를 결정하는 경우가 압도적으로 많다[1]. 이러한 것을 반영해서, 잡샵을 대상으로 다수의 투입우선규칙(Dispatching Rule)이 제안되어 여러 가지의 평가척도에 대하여 그 성능이 평가되어 왔다[2, 6, 12]. 그러나, 종래의 연구에서는 각각의 일감(Job)이 전혀 다른 종류의 일감인 것으로 상정하고 있으며, 동일한 품종의 일감의 반복을 의식한 투입우선규칙의 검토는 Kim[9]이외에는 존재하지 않는다.

현실의 유연생산시스템(Flexible Manufacturing System : 이하, FMS)에서는, 주문(Order)에 따른 복수의 동일한 일감을 번갈아 반복적으로 생산되는 일이 많다. 그래서, 본 연구에서는 생산요구가 일정한 개수의 동일한 품종에 대한 주문의 집합으로 주어져, 각각의 주문에 고유의 납기(Due Date)가 정해져 있는 FMS환경에 있어서, 성능이 좋은 투입우선규칙의 제안을 목적으로 한다. 구체적으로는, 종래에 이용되어 왔던 표준적인 투입우선규칙에 주문수량(Order Size)을 고려한 형태로 확장한 투입우선규칙을 제안하여 그 유효성을 입증함으로써, FMS에 있어서의 투입우선규칙의 결정을 위한 기초적인 지침을 부여한다. 그리고, 납기준수가 현장을 운영하는 실무담당자에게 가장 중요한 과제로 인식되는 경우가 많다는 것[14]과, 현장의 생산성을 중시한다는 관점에서 투입우선규칙의 평가척도는 납기지체와 기계가동률로 한다.

* 경남대학교 산업공학과

** 부경대학교 경영학과

2. FMS 모델

2.1 문제의 개요

본 연구에서는 전형적인 잡삽형의 FMS를 대상으로 하고 있다. 종래의 잡삽에서는 동일한 품종의 일감을 번갈아 생산하기에는 준비시간의 장애가 컸기 때문에, 동일한 일감을 일괄해서 생산하는 경우가 많았다. 그러나, 고속의 공구자동교환장치(Automatic Tool Changer : ATC)를 장착한 FMS에서는 동일한 일감을 번갈아 생산하기 위한 준비시간이 사실상 문제가 되지 않는 시스템으로 인식되어 있다. 특히, 일감의 흐름이 한 방향이 아닌 잡삽형의 FMS에 있어서는 작업시간과 작업순서가 틀리므로, 동일한 일감을 의식적으로 한꺼번에 생산하지 않으면 각 일감은 개별적으로 흩어져 생산된다. 더욱이, 이와 같은 시스템에서는 펠릿(Pellet)매수의 제한과 버퍼(Buffer)용량에 관한 제약으로 인하여, 동일한 일감을 일괄적으로 처리할 수 없는 경우도 적지 않다. 따라서, 과거의 연구에서는 취급하지 않았던, 복수의 동일한 품종의 일감이 반복해서 생산되는 FMS에 있어서의 투입우선규칙을 분석하여 그 효율성을 평가할 필요가 있다.

2.2 모델의 전제조건

본 연구에서 상정하고 있는 모델의 전제조건은 다음과 같다.

- (1) 생산요구는 「주문」의 집합으로 주어진다. 주문은 동일한 일감에 대응하고, 각 주문에는 해당 일감의 요구량인 「주문수량」과 「납기」가 정해져 있다.
- (2) 주문을 구성하는 개별의 일감은 전부 동일한 특성을 가지며, 일감은 일반적으로 복수의 작업으로 구성되어 일련의 작업의 기술적 순서와 가공처리기계는 미리 정해져 있다.
- (3) 일감을 구성하는 작업은 전부 서로 다른 기계에서 처리된다.
- (4) 각 작업의 처리시간(이하, 작업시간)은 확정적으로 이미 알고 있으며, 준비시간은 무시할 수 있을 만큼 아주 적다.
- (5) 각 기계의 고장은 생각하지 않는다.
- (6) 처리중인 일감이 도중에 중단되는 경우는 없다.
- (7) 전부의 주문은 시각0에 있어서 이미 알고 있으며 착수 가능하다.
- (8) 펠릿의 매수는 각 작업에 따라 주어진 상한(Upper Bound)을 넘을 수 없다.
- (9) 각 가공처리기계 앞에는 일정한 용량의 국부적인 입력버퍼가 있다. 이것들의 입력버퍼는 선착순으로 부품을 기계에 공급하며, 입력버퍼가 비워지면 투입우선규칙에 따라 입력버퍼를 채우는 제어를 한다.

3. 투입우선규칙

3.1 과거의 연구

투입우선규칙이란, 기계에 부하되어야 할 작업이 착수 가능한 상태에서 가공을 기다리고 있을 때에, 다수의 작업들 중에서 기계에 투입하는 작업을 선택하기 위한 규칙을 말한다. 지금까지의 연구에서 잡삽을 대상으로 방대한 수의 투입우선규칙이 제안되어 왔지만[2, 6, 11], 본 연구에서는 주로 표준적인 “작업시간에 기반을 둔 투입우선규칙”(이하, 작업시간규칙)인 SIO, SPT, SMT, SDT와 이것들을 수정한 규칙을 취급한다. 규칙의 명칭은 문헌에 따라 다르지만, 여기서는 <표 2>에서와 같이 본 논문의 정의에 따른다.

SIO(Smallest Imminent Operation)는, 일감 i , 작업 j 의 작업시간 p_{ij} 가 작은 작업을 우선하는 작

업시간규칙이다. 한편, SPT(Smallest Processing Time)는 일감 i 의 총작업시간 $p_i = \sum_j p_{ij}$ 가 작은 일감을 우선하는 규칙이다. 이것에 대해서, SMT(Smallest Value Obtained by Multiplying the Processing Time)는 작업시간 p_{ij} 와 일감의 총작업시간 p_i 의 곱이 작은 작업을 우선하는 규칙이다. SMT에서는, 작업시간 p_{ij} 와 일감의 총작업시간 p_i 가 다같이 작은 작업일수록 우선되지만, 작업시간 p_{ij} 가 같으면 일감의 총작업시간 p_i 가 짧은 일감이 우선되고, 일감의 총작업시간 p_i 가 같으면 작업시간 p_{ij} 가 짧은 작업이 우선되는 SIO와 SPT를 융합한 규칙이다. SDT(Smallest Ratio Obtained by Dividing the Processing Time)는, SMT와 같은 형태로 SIO와 LPT(Largest Processing Time)을 융합한 규칙으로 p_{ij}/p_i 의 값이 작은 작업을 우선한다. SDT에서는 작업시간 p_{ij} 가 같으면 일감의 총작업시간 p_i 가 긴 일감이 우선된다.

본 연구와 관계가 깊은 과거의 주요한 연구결과를 이하에 정리하여 둔다.

- (1) SIO가, 평균납기오차[3], 재고량[4], 평균납기지체[5], 평균체류시간[7], 가동율[8]등의 다양한 평가척도에 대해서, EDD(Earliest Due Date)나 SLACK(Minimum Slack Time)등의 “납기를 포함한 투입우선규칙”(이하, 납기기준규칙)보다 안정적이며 좋은 성능을 보인다.
- (2) 납기지체의 평가척도에 관해서는, Baker[1]는 MOD(Modified Operation Due Date), Rochette[13]는 SIO와 SMT를 각각 추천하고 있다.
- (3) Stecke[15]는, 가동율의 평가척도에서 SDT가 가장 양호하다고 주장하고 있다.
- (4) 동일한 품종의 일감의 반복을 상정한 투입우선규칙에 관한 유일한 연구인 Kim[9]는, 잡샵 환경에 있어서 8종류의 투입우선규칙을 비교·평가하고 있다. 평가대상의 규칙은 작업시간규칙인 SIO이외에는, SLACK, MDD(Modified Due Date), MOD와 같이 선택지표에 납기가 포함된 납기기준규칙이다. 평가척도로는 평균납기지체, 평균납기지체 일감의 수, 평균체류시간의 3종류이고, 4종류의 잔여처리시간과 잔여 작업수의 산정방법을 고려하고 있다. 실험의 결과, MDD의 성능이 가장 좋게 나타난 한편, MDD이외의 규칙에서는 주문수량을 고려하지 않는 편이 좋다는 결과를 얻고 있다. 이것은, 주문수량에 대한 시스템내에서의 체류시간의 예측을 작업시간으로부터 구하는 것에 따른 오차가 큰 것에 기인한다고 생각된다.

3.2 본 연구의 착안점

이상과 같은 과거의 연구로부터 다음의 세 가지 사항을 말할 수 있다.

- (1) 지금까지 알려진 바로는, 표준적인 잡샵에 있어서 납기 또는 가동율을 평가척도로 했을 때에 작업시간규칙이 안정적이고 효율적이다.
- (2) Kim은 동일한 품종의 일감을 고려한 투입우선규칙을 평가, 검토하고 있지만, SIO를 제외하고는 작업시간규칙을 분석의 대상에 포함시키지 않고 있다.
- (3) Kim이 취급한 납기기준규칙으로는 주문수량의 고려에 의한 효과를 기대할 수 없다.

이상의 분석을 기반으로 본 연구에서는 간편한 작업시간규칙에 주문수량을 고려함으로써, 기존의 유효한 투입우선규칙의 수정을 검토하고 그 성능을 평가한다.

3.3 투입우선규칙의 분류

본 연구에서는, 동일한 일감이 되풀이해서 반복적으로 생산되는 잡샵형 FMS에 있어서, 투입우선규칙을 <표 1>에서와 같이 네 가지의 관점으로부터 분류한다.

- (1) 선택지표 : 무엇을 기준으로 투입우선순서를 결정할 것인가를 결정한다. 과거의 연구에서 유효성이 입증되어 있는 투입우선규칙의 대부분은 작업시간규칙과 납기기준규칙으로 대별할 수 있다.

(2) 주문수량의 고려 : 주문수량을 고려할 것인가 아닌가를 결정한다. 본 연구에서는 작업시간 규칙에 초점을 두고 주문수량의 고려유무가 투입우선규칙의 성능에 미치는 영향을 명확하게 하는 데에 있다. 이하에서는 “동일한 품종의 일감의 반복을 고려하는 것”을 “주문수량의 고려”로 부른다.

(3) 시간의존성 : 靜的규칙인가 動的규칙인가를 결정한다. 투입우선규칙은, 그 순서가 시간의 경과와 함께 변화하지 않는 정적인 규칙과, 시간과 함께 그 때의 상황에 따라서 바뀔 수 있는 동적인 규칙으로 분류할 수 있다. 작업시간규칙의 경우, 동적인 규칙에서는 규칙을 적용할 때에 “잔여”작업시간을 생각한다.

(4) 품종에 의한 계층화의 유무 : 계층형인가 독립형인가를 결정한다. 투입우선규칙은 최종적으로 전부의 작업에 대한 순서를 정해야 하지만, 먼저 품종에 대한 순서를 설정하고, 그 다음에 각 품종에 따른 작업의 순서를 정하는 계층형과, 각 작업이 어떤 품종의 작업인가는 의식하지 않고 작업에 대해서만 독립적으로 순서를 정하는 독립형으로 나눌 수 있다.

<표 1> 투입우선규칙의 결정요인

결정요인	선택영역
선택지표	작업시간/납기
주문수량의 고려유무	고려함/고려하지 않음
시간의존성	정적/동적
품종에 의한 계층화의 유무	계층형/독립형

3.4 평가대상의 투입우선규칙

이하에서는 표준적인 작업시간규칙인 SIO, SPT, SMT에 주문수량을 고려한 형태의 투입우선규칙을 제안하고 평가한다. 즉, <표 2>의 표준적인 3규칙에 있어서 작업시간 p_{ij} 를 해당작업의 주문의 총작업시간 $l_i \cdot p_{ij}$ 로, 일감의 총작업시간 p_i 을 해당 일감의 주문의 총작업시간 $l_i \cdot p_i$ (동적인 경우는 $l_i^r \cdot p_{ij}$)으로 변환함으로써 주문수량을 고려한 규칙을 만든다. 주문수량을 동적으로 환산할 것인지 아닌지에 따라 규칙은 둘로 나뉘어 전부 합쳐서 여섯 가지의 투입우선규칙을 생성할 수 있다. 동적인 경우에 있어서 잔여 주문수량의 계산은, 해당 일감의 최종작업을 기준으로 원래의 주문수량으로부터 전부의 작업이 완료한 수를 뺀 값을 가지고 평가한다.

규칙명에 있어서는, 주문수량을 고려한 것은 O, 정적(동적)인 규칙은 S(D)를 부여한다. 예를 들면, 주문수량을 고려한 정적(동적)인 SIO형 규칙은 「OSSIO」(「ODSIO」)와 같이 나타내고, $l_i \cdot p_{ij} \cdot l_i^r \cdot p_{ij}$ 가작은 작업일수록 높은 우선도가 주어진다. <표 2>에 본 연구에서 대상으로 하는 투입우선규칙을 정리한다.

4. 실험조건

시뮬레이션 실험에서는, 기계대수를 10으로 정하고 납기의 엄격도와 범위를 결정하는 계수가 다른 5가지의 납기에 대해서, 주문수량(10, 15, 20, 25), 작업수의 상한, 하한([1-3], [1-5], [1-7], [1-9]), 주문수량의 상한, 하한([1-5], [1-10], [1-15], [1-20])의 설정이 서로 다른 320문제를 취급한다. 작업시간은 [15-95]의 정수난수로 정한다. 각 문제에 대해서 작업의 처리기계를 임의로 정한 10가지의 문제예를 생성해서 각각의 결과에 대한 평균치를 하나의 데이터로써 분석한다.

<표 2> 투입우선규칙의 정의

주문수량의 고려유무	시간의존성	품종에 의한 계층화의 유무	규칙명	정의
고려하지 않음	정적	계층형	SPT	p_i
고려하지 않음	정적	독립형	SIO	p_{ij}
고려하지 않음	정적	독립형	SMT	$p_{ij} \cdot p_i$
고려하지 않음	정적	독립형	SDT	p_{ij}/p_i
고려함	정적	계층형	OSSPT	$l_i \cdot p_i$
고려함	정적	독립형	OSSIO	$l_i \cdot p_{ij}$
고려함	정적	독립형	OSSMT	$l_i \cdot p_i \cdot l_i \cdot p_{ij}$
고려함	동적	계층형	ODSPT	$l'_i \cdot p_i$
고려함	동적	독립형	ODSIO	$l'_{ij} \cdot p_{ij}$
고려함	동적	독립형	ODSMT	$l'_i \cdot p_i \cdot l'_{ij} \cdot p_{ij}$

i : 일감 i

j : 작업 j

g_i : 일감 i 의 작업수(전부의 e 에 대해서 $1 \leq j \leq g_i$)

p_{ij} : 일감 i 의 작업 j 의 작업시간

l_i : 일감 i 의 주문수량($p_i = \sum_j p_{ij}$)

l'_i : 일감 i 의 잔여주문수량

l'_{ij} : 일감 i 의 작업 j 의 잔여주문수량

또, 납기를 이하와 같이 설정하고 있다[9]. 주문 전체의 총 작업시간을 기계대수로 나눈 것을 M 으로 하여, 납기의 엄격도를 결정하는 계수 $t(0 \leq t \leq 1)$ 와 범위를 결정하는 계수 $w(0 \leq w \leq 1)$ 를 파라미터로 해서, 그 범위내에서 각 일감의 납기를 일양난수로 발생시킨다. 납기의 상한과 하한은 다음과 같다.

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

5. 실험결과 및 고찰

실험에서는, 동일한 품종의 일감이 반복하는 FMS환경에 있어서 <표 2>에 나타낸 작업시간 규칙의 성능을 평가하고, 주문수량의 고려유무, 시간의존성, 품종에 의한 계층화의 유무가 납기 지체 및 가동율에 미치는 영향을 명확하게 한다. 가동율은, 실가동시간(全주문(n 개)의 총부하)을 쏘기계(m 대)의 총가동시간(기계 k 에서의 가동시간:처리종료시각(C^k)-처리개시시각(R^k))으로 나눈 평균가동율(\hat{U})을 아래와 같이 계산한다.

$$\hat{U} = \frac{\sum_{i=1}^n (l_i \cdot p_i)}{\sum_{k=1}^m (C^k - R^k)}$$

납기지체는 $T = \sum_{i=1}^n (\max(c_i - d_i, 0))$ 로 평가하여, SPT규칙의 결과를 1로한 상대적인 납기지체로 표시한다. 여기에서, c_i 는 주문 i 의 완료시각, d_i 는 주문 j 의 납기를 나타낸다.

<표 3, 4, 5, 6>은 평가대상의 규칙의 대응에 대해 주문수량(S)를 변화시킨 경우($S=5, 10, 15, 20$)의 상대적인 납기지체성능과 가동율성능의 차이를 모평균의 95%신뢰한계(수치는 신뢰

구간의 하한, 상한을 표시)의 형태로 보이고 있다. 신뢰구간이 0을 포함하지 않는 것은 대응하는 규칙의 성능에 통계적인 유의차가 있다는 것을 의미한다.

5.1 주문수량의 고려유무

결과1 : 납기지체의 평가척도에 대해서는 주문수량을 고려해야 한다.

<표 3>은, 주문수량을 고려하지 않은 종래의 규칙과 주문수량을 고려한 규칙을 비교한 것으로, 대응이 있는 데이터간의 상대적인 정도의 차이에 대한 모평균의 95%신뢰구간을 나타내고 있다. 예를 들면, 주문수량이 5(S=5)일때의 SPT와 OSSPT의 납기지체 성능차이의 신뢰구간은 (0.139, 0.188)로, SPT의 결과1에 대해서 평균적으로 0.16정도 OSSPT가 우월하다. <표 3>으로부터, SPT계열, SIO계열, SMT계열의 어느 것에 있어서도, 주문수량을 고려했는지 아닌지에 따라 명백한 차이가 보여 주문수량을 고려한 규칙이 훨씬 성능이 좋다. 주문수량을 고려함으로써 납기지체가 평균적으로 0.15, 적어도 0.1이상 개선되어 통계적으로 명확한 유의차가 보인다. 또, 주문수량의 증가에 따라 SPT와의 납기지체성능의 차이는 증가하는 경향이 있다. 이 경향은 주문수량을 고려한 6가지의 작업시간규칙에 공통적인 현상이다.

<표 3> 주문수량의 고려유무에 의한 납기지체성능의 비교

규칙의 대응	S=5	S=10	S=15	S=20
SPT-OSSPT	(0.139, 0.188)	(0.190, 0.238)	(0.196, 0.248)	(0.201, 0.248)
SPT-ODSPT	(0.144, 0.192)	(0.194, 0.245)	(0.205, 0.262)	(0.209, 0.259)
SIO-OSSIO	(0.106, 0.166)	(0.141, 0.208)	(0.150, 0.223)	(0.156, 0.230)
SIO-ODSIO	(0.123, 0.188)	(0.160, 0.228)	(0.168, 0.244)	(0.173, 0.250)
SMT-OSSMT	(0.096, 0.138)	(0.132, 0.178)	(0.142, 0.188)	(0.147, 0.192)
SMT-ODSMT	(0.122, 0.170)	(0.159, 0.214)	(0.171, 0.224)	(0.171, 0.221)

결과2 : 가동율에 관해서도 주문수량을 고려한 규칙을 적용하는 것이 좋다.

<표 4>는 평가척도를 가동율로 했을 때의 서로 다른 주문수량의 결과, 표에 나타나 있는 6가지 경우에 있어서 주문수량을 고려한 규칙이 고려하지 않은 규칙보다 성능이 좋음이 통계적으로 검정되어 있다. 주문수량의 크기에 관계없이 가동율에 관해서도 주문수량을 고려하는 것이 효율적이라는 것을 알 수 있다. 단지, 주문수량의 고려유무에 의한 성능의 차이는 납기지체 척도의 경우에 비해 훨씬 적다.

<표 4> 주문수량의 고려유무에 의한 가동율성능의 비교

규칙의 대응	S=5	S=10	S=15	S=20
SPT-OSSPT	(0.023, 0.037)	(0.029, 0.045)	(0.030, 0.048)	(0.032, 0.049)
SPT-ODSPT	(0.022, 0.038)	(0.030, 0.032)	(0.032, 0.049)	(0.034, 0.050)
SIO-OSSIO	(0.007, 0.024)	(0.015, 0.032)	(0.016, 0.030)	(0.014, 0.031)
SIO-ODSIO	(0.013, 0.031)	(0.022, 0.038)	(0.020, 0.036)	(0.018, 0.036)
SMT-OSSMT	(0.011, 0.029)	(0.016, 0.033)	(0.018, 0.033)	(0.020, 0.035)
SMT-ODSMT	(0.022, 0.043)	(0.030, 0.049)	(0.030, 0.049)	(0.030, 0.051)

5.2 규칙의 시간의존성

결과3 : 납기지체의 평가척도에 대해서는, 정적인 규칙보다 동적인 규칙의 성능이 좋으나 그 차이는 적다.

<표 5>에서, S=5의 경우의 정적규칙과 동적규칙과의 상대적 납기지체의 차이를 보면, 전부의 경우에 있어서 정적규칙보다 동적규칙의 성능이 우수하다. 이는 주문수량의 증가에도 변함 없는 결과를 보이고 있다. 동적규칙을 적용하기 위해서는, 현장상황을 리얼타임으로 파악하는데 비용과 노력이 든다. 동적규칙의 적용이 통계적인 우위성은 보였지만 정적규칙과의 차이는 적어, 동적규칙의 채택여부는 그 이점과 현장상황을 파악하기 위한 부가정보수집과의 취사선택을 생각해서 결정하는 것이 타당하나, 간편성을 생각하면 정적규칙이 오더의 부하정보를 충분히 고려하고 있다고 판단해도 무방하다. 가동율에 관해서도 동일한 결과를 얻고 있다.

<표 5> 규칙의 시간의존성에 의한 납기지체성능의 비교

규칙의 대응	S=5	S=10	S=15	S=20
OSSPT-ODSPT	(0.000, 0.009)	(0.000, 0.010)	(0.004, 0.020)	(0.003, 0.015)
OSSIO-ODSIO	(0.011, 0.029)	(0.018, 0.033)	(0.014, 0.025)	(0.010, 0.029)
OSSMT-ODSMT	(0.020, 0.038)	(0.005, 0.016)	(0.024, 0.040)	(0.020, 0.034)

5.3 품종에 의한 계층화의 유무

결과4 : 계층형보다 독립형으로 투입우선순서를 정하는 것이 납기지체의 성능이 좋지만, 그 차이는 매우 적다.

<표 6>은 계층형과 독립형의 비교에 있어서 주문수량의 크기가 다른 경우의 전부 24케이스의 결과를 보이고 있지만, 16케이스중에 13케이스가 대응하는 규칙에 통계적 유의차가 있다고 검정되었다. 이것에 비해서, OSSIO와 OSSMT의 비교에서는 8케이스중에서 두경우에 한정되고 나머지 6케이스는 유의차가 없다는 결과가 나타났다.

<표 6>에서 S=5의 경우에 국한해서 보면, 계층형으로 투입우선순서를 정하는 OSSPT에 비해서, 독립형으로 투입우선순서를 정하는 OSSIO나 OSSMT의 성능이 조금 우수하다. 독립형의 SIO가 계층형의 SPT보다 성능이 좋은 경향은 일반적인 잡샵환경에서도 관찰되어 있어[9], 본 연구의 FMS환경에서도 그 경향이 동일하다. S=5의 경우, 상대적인 납기지체의 차이의 평균치가 OSSIO-OSSPT는 1.5%, OSSMT-OSSPT는 1.6%으로 주문수량의 고려유무에 비해서 계층화의 유무에 의한 성능의 차이는 극히 적고, 주문수량의 값에 따라서는 통계적 유의차가 없는 경우도 보인다. 가동율에 관해서도 유사한 결과를 얻고 있다.

<표 6> 품종에 의한 계층화의 유무에 의한 납기지체성능의 비교

규칙의 대응	S=5	S=10	S=15	S=20
OSSPT-OSSIO	(0.003, 0.028)	(-0.003, 0.023)	(-0.004, 0.027)	(-0.005, 0.026)
OSSIO-OSSMT	(-0.011, 0.013)	(-0.007, 0.014)	(-0.007, 0.016)	(-0.005, 0.021)
OSSPT-OSSMT	(0.009, 0.024)	(0.006, 0.021)	(0.007, 0.024)	(0.009, 0.029)
ODSPT-ODSIO	(0.014, 0.049)	(0.007, 0.042)	(0.000, 0.038)	(0.007, 0.036)
ODSIO-ODSMT	(-0.006, 0.027)	(-0.000, 0.032)	(0.004, 0.030)	(0.007, 0.025)
ODSPT-ODSMT	(0.033, 0.050)	(-0.030, 0.051)	(0.025, 0.048)	(0.027, 0.047)

5.4 전체적 고찰

지금까지는 주문수량의 고려유무, 시간의존성, 품종에 의한 계층화의 유무를 개별적으로 분석했지만, 이하에서는 이 3가지요인의 상대적인 영향력을 비교해, 어느 요인이 지배적인 영향을 미치는가를 조사한다. 또, 납기지체와 가동율이라는 두 가지의 척도를 합쳐서 관찰함으로써

제안하는 작업시간규칙의 유효성을 평가한다.

5.4.1 규칙의 결정요인이 성능에 미치는 영향의 정량적 비교

<표 7>에서는, 세가지 관점으로부터 본 투입우선규칙의 결정방법의 차이가 납기지체에 미치는 영향의 크기를 상대적으로 비교하고 있다. 신뢰구간의 수치는 (하한, 상한)의 값을 나타낸다. <표 3, 4, 5, 6>에서와 같이, 주문수량을 바꾸어 24케이스(<표 5>는 6케이스)의 실험결과를 얻고 있다. <표 7>의 주문수량의 고려유무에 관해서는, 고려유무에 의한 차이가 24케이스 중에서 최소의 경우를 보이고, 품종에 의한 계층화의 유무와 시간의존성의 2가지에서는 투입우선규칙의 결정방법이 성능에 최대의 차이를 발생시킨 경우를 나타낸다.

<표 7>로부터, 주문수량의 고려유무가 납기지체에 미치는 영향이 작은 경우에도, 평가척도에 미치는 상대적인 영향이라는 입장로서는, 품종에 의한 계층화의 유무나 시간의존성의 결정요인에 비해서 훨씬 큰 영향을 준다. 일반적으로 주문수량의 고려유무가 규칙의 성능에 미치는 영향은, <표 7>에 보인 신뢰구간의 상한보다 크고, 역으로 그 외의 2가지 요인의 영향은 <표 7>의 신뢰구간의 하한보다 적다. 또, 가동율에 관해서도 같은 분석을 하여, 어느 규칙의 결정요인에 있어서도 주문수량의 고려유무가 납기지체에 미치는 만큼의 큰 영향을 주지 않는 것을 알았다.

<표 7> 결정요인이 규칙의 성능에 미치는 영향분석

결정요인	규칙의 대응	신뢰구간
주문수량의 고려유무	SMT-OSSMT	(0.096, 0.138)
시간의존성	OSSMT-ODSMT	(0.020, 0.038)
품종에 의한 계층화의 유무	ODSPT-ODSMT	(0.033, 0.050)

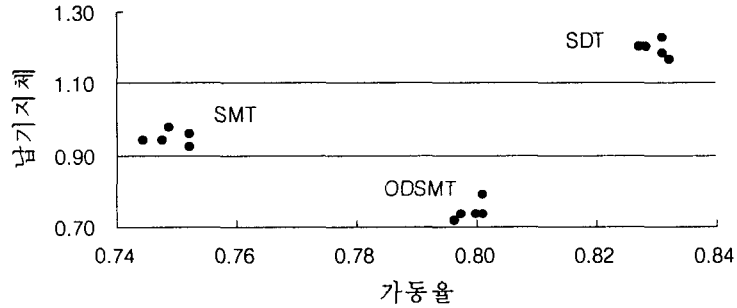
5.4.2 가동율과 납기지체

주문수량을 고려하지 않는 표준적인 잡삽에 대한 종래의 연구에서, 가동율에 관해서는 작업시간이 큰 일감을 우선하는 SDT등의 성능이 좋다는 것이 알려져 있다. 작업시간이 적은 일감을 우선하는 규칙의 가동율성능은 그다지 나쁘지는 않지만 최선은 아니다. 여기에서는, SDT, 표준적인 잡삽에 있어서 납기지체성능이 좋은 SMT와, 본 연구에서 제안한 6가지의 주문수량을 고려한 작업시간규칙중에서 가장 우수한 주문수량의 고려/동적/독립형의 규칙인 ODSMT를 가동율과 납기지체라는 두가지 평가척도에 대해서 비교한다.

<그림 1>에서는, 가동율(납기지체)은 오른쪽(위쪽)에 갈수록 성능이 좋다. 가동율에 관해서는 동일한 품종의 일감의 반복이 있는 경우에도 SDT가 우수하지만, 그 납기지체성능은 기준으로 하는 SPT에 비해서 약20%나 열등하다. 납기지체에 관해서는, 지금까지의 연구에서 유효하다고 입증된 SMT보다 ODSMT가 훨씬 우수하다. 또, 주문수량의 고려에 의해서 납기지체가 대폭적으로 개선되었을 뿐만 아니라 가동율도 상당히 향상되었다.

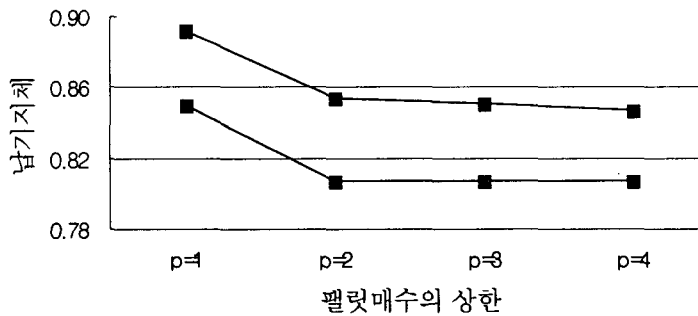
5.5 팰릿매수와 버피용량의 제한

본 연구에서는 최근의 자동생산시스템을 염두에 두고, 동일한 품종의 일감이 반복하는 환경을 상정하고 있다. FMS로 대표되는 잡삽형 자동생산시스템에는 팰릿매수와 버피용량의 제한, 자동운반장치나 팰릿착탈장치(Load/Unload Station : 이하, L/UL)의 존재등, 지금까지의 모델에서는 고려되지 않은 몇가지의 전형적인 요인이 존재한다. 이들 중에서 운반과 L/UL(즉, 작업



<그림 1> 평가척도와 규칙의 성능의 관계

준비)은 가공이라는 실제의 생산활동을 지탱하는 기능으로, 이러한 설비가 장애가 되는 시스템의 설계는 바람직하지 않다. 더욱이, 운반장치와 L/UL의 형태나 제어방법은 다양하기 때문에, 이것들이 미치는 영향을 해명하기 위해서는 방대한 분석이 요구된다. 여기에서는 운반과 L/UL이 장애가 안된다는 가정하에 주문수량내의 일감을 분할처리시키는 팻릿매수와 버퍼의 용량의 제약을 생각해 투입우선규칙의 성능에 어떠한 영향을 미치는가를 본다.



<그림 2> 팻릿매수, 입력버퍼의 용량과 납기지체성능의 관계

결과5 : 팻릿매수와 버퍼용량의 제한이 있어도 주문수량을 고려한 규칙이 주문수량을 고려하지 않은 종래의 규칙에 비해서 성능이 좋다.

<그림 2>은, 팻릿매수의 상한 $p(=1, 2, 3, 4)$ 와 국소입력버퍼의 용량 $b(=1, 2)$ 을 변동요인으로 써 투입우선규칙의 납기지체성능을 분석하고 있다. 점선은 팻릿매수와 버퍼용량을 제한하지 않은 경우에 대응하는 결과를 나타낸다. 분석대상의 규칙은 5의 실험결과에서 가장 우수한 성능을 보인 ODSMT를 선정한다. <그림 2>의 결과를 고찰하면, 다음 사항을 알 수 있다.

- 1) 팻릿매수의 제한이 강하면 강할수록, 종래의 투입우선규칙과의 차이가 감소하지만, 주문수량을 고려한 규칙이 종래형의 규칙보다 훨씬 결과가 좋다.
- 2) 팻릿매수의 상한이 감소함에 따른 상대납기지체의 악화는, 팻릿매수에 제한이 없으면 투입 가능한 일감이 제한에 의해 선택대상에서 제외되어, 해당규칙이 낼 수 있는 성능을 발휘하지 못하기 때문이라고 생각된다. 즉, 팻릿매수의 제한이 투입우선규칙에 대한 저해요인으로 움직

여, 팻릿매수의 상한이 없을수록 주문수량을 고려하는 효과는 절감된다.

3) 입력버퍼의 용량이 크면 클수록 주문수량을 고려하지 않은 종래의 규칙과의 차이는 감소한다. 그러나, 팻릿매수와 유사하게 주문수량을 고려한 규칙의 우위성에는 변화가 없다.

4) 입력버퍼용량의 증가에 따라 주문수량을 고려한 규칙의 성능이 저하하는 것은, 일감을 미리 입력버퍼에 넣어두는 것에 따른 기계스케줄의 고정화라는 투입의사결정의 타이밍이 전도하는 효과가 강해지는 것에 의한다. 가동율에 관해서도, 유사한 결과를 보이지만, 납기지체척도에 비해서 그 성능의 차이는 훨씬 적다.

6. 결 론

본 연구에서는, 동일한 품종의 일감이 반복하는 FMS를 상정하여 주문수량을 고려한 작업시간규칙을 제안했다. 제안한 규칙의 성능을 다른 기본적인 작업시간규칙과 함께 규칙결정요인이 투입우선규칙에 주는 영향을 해명하기 위해서, 그 성능을 시뮬레이션실험에 의해 평가했다. 본 연구의 성과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 주문수량을 고려한 작업시간규칙이 납기지체 평가척도의 향상에 극히 유효한 것이 밝혀졌다. 구체적으로는, ODSIO, ODSMT의 성능이 좋고 대응하는 정적규칙인 OSSIO, OSSMT 나 OSSPT, ODSPT도 이들에 거의 손색이 없을 정도로 좋은 성능을 나타낸다. 이 결과는, 주문수량을 고려하지 않은 종래의 잡샵에서 작업시간규칙이 효율적이라는 사실을 자연스러운 형태로 확장함으로써 주문수량이 존재하는 경우에도 성능이 안정적이라는 것을 나타낸다.

(2) 가동율에 초점을 두면, 주문수량을 고려한 작업시간규칙이 잡샵환경에 있어서 가동율의 성능이 좋다고 알려진 SIO, SMT보다 성능이 향상되어, 납기지체의 성능이 안정적이고 우수한 점을 감안하면 추천할 수 있는 규칙이다.

(3) 품종에 의한 계층화의 유무와 시간의존성에 관해서는, 독립형의 동적인 규칙이 통계적으로 보다 바람직하지만, 주문수량의 고려유무에 비해서는 이들의 영향은 훨씬 적다.

(4) 팻릿매수와 입력버퍼의 유한성은 주문수량을 고려한 투입우선규칙의 성능을 방해하는 요인이 되지만, 제안한 주문수량을 고려한 규칙이 종래의 규칙보다 상당히 우수한 납기지체의 성능을 나타낸다.

참 고 문 헌

- [1] Baker, K. ; "Job Shop Scheduling with Modified Due Dates," Journal of Operations Management, 4(1):11-22, 1983.
- [2] Blackstone, J. H., Jr., Phillips, D. T. and Hogg, G. L. ; "A State-of-the-Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations," International Journal of production Research, 20(1):27-45, 1982.
- [3] Conway, R. W. ; "Priority Dispatching and Job Lateness in a Job Shop," Journal Industrial Engineering, 16(4):228-237, 1965.
- [4] Conway, R. W. ; "Priority Dispatching and Work-in-process Inventory in a Job stop," Journal Industrial Engineering, 16(2):123-130, 1965.
- [5] Dar-El, E. M. and Wysk, R. A. ; "Job Shop Scheduling-A Systematic Approach," Journal of Manufacturing Systems, 1(1):77-88, 1982.
- [6] Haupt, R. ; "A survey of priority Rule-Based Scheduling," OR Spectrum, 11(1):3-16,

1989.

[7] Hershauer, J. C. and Ebert, J. ; "Search and Simulation of a Job-Shop Scheduling Rule," *Management Science*, 21(5):833-843, 1975.

[8] Jones, C. H. ; "An Economic Evaluation of Job Shop Dispatching Rules," *Management Science*, 20(3):293-307, 1973.

[9] Kim, Y. D. ; "A Comparison of Dispatching Rules for Job Shops with Multiple Identical Jobs and Alternative Routings," *International Journal of production Research*, 28(5):953-962, 1990.

[10] Montazeri, M. and Van Wassenhove, L. N. ; "Analysis of Scheduling Rules for an FMS," *International Journal of production Research*, 28(4):785-802, 1990.

[11] Morton, T. E. and Pentico, D.W. ; heuristic Scheduling Systems with Applications to Production Systems and Project Management, John Wiley & Sons, New York, 1993.

[12] Panwalkar, S. S. and Ispander, W. ; "A Survey of Scheduling Rules," *Operations Research*, 25(1):45-64, 1977.

[13] Rochette, R. ; "A Statistical Comparison of the Performance of simple Dispatching Rules for a Particular Set of Job Stops," *International Journal of production Research*, 18(1): 63-75, 1976.

[14] 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.

[15] Stecke, K, and Solberg, J. J. ; "Loading and Control Policies for a Flexible Manufacturing System," *International Journal of production Research*, 19(5):481-490, 1981.