

유연생산시스템 환경 하에서의 동적 일정계획에 관한 연구

이상완 · 김해식 · 조성열

동아대학교 산업경영공학과

A Study on Dynamic Scheduling in Flexible Manufacturing System Environment

Sang-Wan Lee · Hae-Sic Kim · Sung-Youl Cho

Dept. of Industrial & Management Systems Engineering, Dong-A University

Changes in manufacturing system are those that occur during production and cause the systems to behave unpredictably. So scheduling problem in this dynamic industrial environments is very complex. The main concept of this dissertation is to continuously monitor a manufacturing system status(Rate of Prior Job, Rate of Large Job, Rate of Shortest due date Job, Job Interval Time) and detect or predict a change so that scheduling system will react by modifying production schedule(dispatching rule) to lessen the effects of this change.

Keywords : FMS, Scheduling, dispatching rule, system status

1. 서론

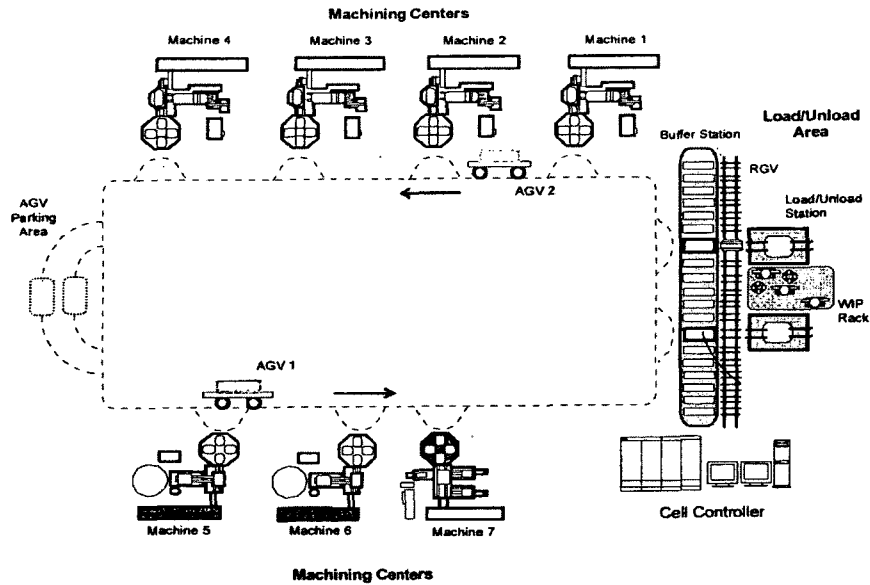
유연생산시스템(Flexible Manufacturing System)은 중·소량단위의 생산 환경 내에서 대량생산효과에 접근하기 위하여 <그림 1>에서 볼 수 있듯이 NC 머신과 Material Handling System, 그리고 그 밖의 외부 생산 장비를 컴퓨터로 통합 컨트롤하는 방식으로써 제품설계, 생산공정 및 생산수량의 변화에 실시간으로 대응할 수 있는 유연성과 높은 기계 이용률, 낮은 단위당 생산비용, 작업 준비시간의 단축 등에 의한 효율성을 가지는 자동화된 시스템이다.[1]

그러나 유연생산시스템 일정계획은 조립 라인이나 job shop에 비해 복잡하며, 특히 유연생산시스템 일정계획은 시스템의 상태와 상위 단계의 계획과 가공품목의 수 및 종류를 고려해야 하고, 생산 공정, 생산수량, 운영에서의 변화에 대해 실시간으로 대응할 수 있어야 한다. 게다가 생산 현장에는 아래와 같은 요인에 의해 생산 일정

영향을 준다.

- 예상치 못한 근로자의 장기결석
- 기계고장/수리
- 대기 시간과 기계간 이동시간의 변동.
- 일정계획에 사용되는 작업시간의 부정확.
- 고객의 주문 취소와 디자인, 주문량, 납기일의 변경.
- 품질 검사에 따른 제품의 파기나 재일정계획.

유연생산시스템의 일정계획에 관한 기존 연구를 살펴보면 Montazeri와 Wassenhove는 유연생산시스템 시뮬레이션 모델을 위한 몇 가지의 작업배정규칙에 관한 수행도를 평가하였다. 이들은 작업배정규칙이 평균 기계 이용률, 평균 버퍼 이용률 그리고 총작업처리시간 등과 같은 다양한 시스템 수행도에 큰 영향을 미친다고 결론 내리고 있다. 그러나 이것은 생산 시스템의 구조와 동적인 상황에 맞는 결과를 나타내고 있지 않다.[2]



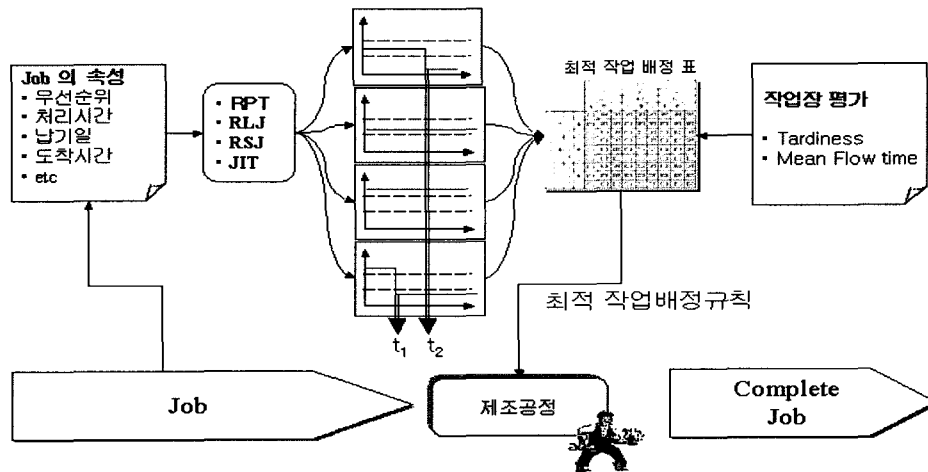
<그림 1> 유연생산시스템 모형

Egbelu & Tanchoco는 job shop 환경하에서의 AGV 배정 규칙을 제시하고 각 AGV배정 규칙별로 시물레이션을 실시하였다.[3]

Maxwell & Muckstadt는 AGV시스템의 운영특성을 규명하기 위한 방법론적 구조를 개발하였다.[4] Gaskin 등은 무궤도 AGV의 운행경로를 정의하는 문제를 언급하였고, 이 운반차의 일정계획을 위한 정수계획법을 개발하였다.[5]

Solot는 유연생산시스템의 생산계획과 일정계획을 위해서 전체 문제를 계획, 일정계획, 동적 통제의 계층 구조로 구분하고, 다시 일정계획 문제를 입력 순서(input scheduling), 공정 순서(operation scheduling), 기계 선택

(workstation selection), 부품 순서(part sequencing), 운반 선택(material handling selection) 등의 문제로 구분하여 전문가 시스템과 OR 기법을 사용하여 온라인 실시간 방식으로 문제를 해결하는 일반적인 구조를 제시하였으나, 구체적인 해법은 제시하지 않고 있으며[6], Ishii와 Talvage은 일시상태에서 실시간으로 여러 할당규칙을 적용하는 알고리즘을 제시하였다. 이 연구에서 그들은 시스템 전체의 상태변화에 중점을 두고 납기를 고려한 알고리즘을 제시하였으나 상태변화를 측정하는 수리식이 평균값을 이용하고 있기 때문에 시스템은 각 작업장의 상태변화에 매우 둔감하게 된다.[7]



<그림 2>의 개략도

Shanker & Tzen은 작업선택을 포함하고 있는 부하할당 문제와 작업배정 규칙에 의한 일정계획 문제간의 관계에 대하여 시뮬레이션을 통하여 조사하였다. 부하할당 문제에서는 부하균형화 -여기에서는 주어진 계획기간에 정확히 맞도록 작업과 공정을 선택하는 것임- 와 납기 지연 작업수의 최소화를 목적으로 선택된 작업의 고정 공정경로를 구하는 혼합정수계획 모형과 발견적 해법을 제시하였다.[8]

Gupta 등은 부하할당 전략과 온라인 작업배정 규칙에 대한 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 부하할당 전략은 Shanker & Tzen가 제시한 부하균형화, 납기 지연 작업수의 최소화, 연속 공정의 최대화를 목적으로 하는 3가지 발견적 해법을 사용하였으며, 작업 할당 규칙은 SPT, EDD, CR, WINQ를 사용하였다. 다양한 수행도에 대하여 MANOVA, ANOVA 등의 통계분석을 수행한 결과 부하균형화와 SPT를 함께 사용할 때 많은 경우에 우수함을 보였다. [9]

이러한 연구들은 운영 단계에서의 시스템 수행도가 부품 투입 규칙, 작업배정 규칙, 기계 버퍼 크기, 그리고 팔렛 수 등에 의해 상당한 영향을 받았음을 보이고 있으나, 부하할당 문제의 결과를 효과적으로 사용하기 위한 연계방안에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 또한 작업장의 변화를 민감하게 고려할 수 없으며, 작업장내의 동적으로 변화는 시점을 명확하게 파악하기는 힘든 실정이다. 그래서 본 연구에서는 작업장의 변화를 실시간으로 감지하여 변화된 작업환경에 따른 여러 작업할당규칙 조합을 동적으로 적용시켜 정확한 작업장 상태를 반영하는 작업변화에 따른 실시간 동적 일정계획을 제시한다.

다시 말하면 유연생산시스템의 일정계획 문제를 보다 현실적인 관점에서 해결하기 위해 생산 중에 발생하거나 발생되어질 수 있는 변화를 감지하여, 적용되고 있는 일정계획 규칙들을 실시간으로 조정하는 것이다. <그림 2>의 개략도를 살펴보면 유연생산시스템에서 작업장 내의 작업 변화는 기본적으로 Job의 속성들 즉, 우선순위, 처리시간, 납기일 그리고 도착시간 등에 영향을 받는다. 그리고 이러한 속성은 작업이 처리되기 전에 쉽게 알 수 있는 것들이다. 이들 속성에 의해 영향을 받는 Job의 특성 변화(RPJ, RLJ, RSJ, JIT)를 모니터링 하여 제조시스템의 상태를 연속적으로 체크하고, Job의 특성 변화 즉, level의 변화(t_1, t_2)가 발생하였을 때, 각각의 Job의 특성에 따라 미리 시뮬레이션하여 선정된 결과(최적 작업배정표)에 있는 가장 적절한 작업배정 규칙을 선택하여 새로이 생산스케줄을 산출하여 제조 시스템에 적용함으로써 시스템 운영에서 생산성을 높여 준다는데 목적이 있다. mean flow time과 tardiness를 가지고 판별하였

으며, 시뮬레이션을 위한 가정은 아래와 같다.

- 작업장의 주요 장애는 없다.
- 모든 job은 3개의 Operation을 가짐.
- Job의 Operation 순서는 미리 결정.
- 각 기계의 Buffer 의 크기는 “5”로 고정.
- Job의 Operation를 담당하는 기계는 미리 정해져 있지 않음.
- Job의 Operation 대안 기계들을 Buffer와 Operation 시간을 비교하여 결정.
- Buffer가 비어있는 경우 기계는 job의 Operation이 도착하는 즉시 이용 가능
- Job은 특정한 평균을 가지는 지수분포의 형태로 개별적으로 도착하고, Batch 단위로는 도착하지 않음.

2. 연구방법

2.1 Job 특성 탐색 방법

Job 특성을 탐색하기 위해 아래의 <표 2>에 나와 있는 4개를 Job 특성 인자로 선택한다. 이들은 각각 Job의 속성인 우선순위, 처리시간, 납기일 그리고 도착시간 등에 영향을 받는 것으로 시스템의 상태를 나타내고 있으며, 이들의 상태 변화는 시스템에 영향을 주는 작업 속성들의 변화를 대변해 준다. 각각의 Job 특성에 대해 보면 다음과 같다.

RPJ(Rate of Prior Job)는 전체 Job에서 우선순위가 높은 Job의 비율을 나타내는 것으로써 이 값이 크면 작업장 내의 긴급 작업량이 증가하는 것으로 탐지된다. 실험을 위해 각각의 Job에 우선순위는 4가지(1>2>3>4)로 선정하고, 1이 우선순위를 가장 높은 것으로 설정하여 아래의 식(1)과 (2)에 의해 batch 내의 Job들 중 우선순위가 1인 Job의 비율을 RPJ로 둔다.

$$\bar{C}_{RPJ,i} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} C_{RPJ,(i-k)} \dots\dots\dots (1)$$

$$C_{RPJ,(i-k)} = \begin{cases} 1 & (Job의 우선순위 = 1) \\ 0 & (job의 우선순위 \neq 1) \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

RLJ(Rate of Large Job)는 전체 Job에서 Job의 크기가 큰 Job의 비율을 나타내며, Job의 크기가 큰 Job은 다른 Job에 비해 동일한 작업 개수를 완성하는데 시간이 더 걸린다. 따라서 Job의 크기가 큰 Job의 비율의 변화는 작업장내 처리되는 작업개수의 변화를 나타낸다. 이것을 위해 <표 1>에 예시된 것처럼, 각각의 Job의 operation

중 가장 큰 값들의 합 중 가장 큰 것을 Job의 크기가 큰 것으로 선정(Job 3)하여 공식 (3),(4)에 의해 RLJ를 batch 내의 Job들 중 선정된 Job(Job 3)의 비로 나타낸다.

<표 1> Job에 따른 machine 별 가공 시간에서의 처리시간이 가장 큰 Job 선정

Job	Operation	machine					Max	sum
		m1	m2	m3	m4	m5		
1	11	30		33			33	85
	12				30	32	32	
	13	20		18			20	
2	21	22					22	92
	22		30	28			30	
	23	36		40			40	
3	31	50	52			53	53	151
	32			30	34		34	
	33	64				60	64	
4	41	63		65	60		65	138
	42		42		40		42	
	43	28	31				31	

$$\bar{C}_{RLJ,i} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} C_{RLJ,(i-k)} \dots\dots\dots (3)$$

$$C_{RLJ,(i-k)} = \begin{cases} 1 & (Job\의\ 번호 = 3) \\ 0 & (job\의\ 번호 \neq 3) \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

RSJ(Rate of Shortest due date Job)는 각각의 Job을 완성하기 위한 기대 시간의 변화를 나타내는 것으로써 due date가 짧은 Job일수록 납기일에 맞추기 위해 좀더 빨리 작업을 처리해야 할 것이다. 그래서 이 비율은 고객이 기대하는 납기 수준에 대한 변화를 나타낸다. 실험을 위해 공식 (5)와 (6)에서처럼, Job의 납기일 중 가장 짧은 납기일 즉, Min(납기일)=t로 두고, batch 내의 Job들의 납기일 중 값이 t인 Job의 비율을 나타낸다.

$$\bar{C}_{RSJ,i} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} C_{RSJ,(i-k)} \dots\dots\dots (5)$$

$$C_{RSJ,(i-k)} = \begin{cases} 1 & (Job\의\ 납기일 = t) \\ 0 & (job\의\ 납기일 \neq t) \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

마지막으로 JIT(Job Interval Time)는 연속적으로 작업장에 들어오는 2개의 Job 사이의 시간 간격이다. 시간간격이 짧을수록 작업장에 들어오는 작업 비율이 높아지며, 이 값은 기계 이용율의 변화를 나타낼 수 있다. JIT는 아래의 공식 (7)과 (8)을 이용하여 구한다.

$$\bar{C}_{JIT,i} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} C_{JIT,(i-k)} \dots\dots\dots (7)$$

$$C_{JIT,(i-k)} = (Job_{(i-k+1)} 도착시간) - (Job_{(i-k)} 도착시간) \dots\dots\dots (8)$$

<표 2>에는 위에서 정의한 Job 특성들을 각각 저, 중, 고로 분류한 수치를 보여주고 있다. 최적 작업 배정표를 작성하기 위해 실험환경을 각각의 Job특성 분류에 따라 실험하였다.

RPJ, PLJ, RSJ는 각각 비율을 나타내기 때문에 0과 1 사이의 값이 나오며, 이들 Job 특성 분류는 이를 삼등분한 수치로 설정하였고, JIT는 실제 실험에서 사용한 데이터에 대한 삼등분한 값이다. 아래의 4개의 Job특성들은 아래의 <그림 3>와 같은 방법을 사용하여 모니터링 된다.

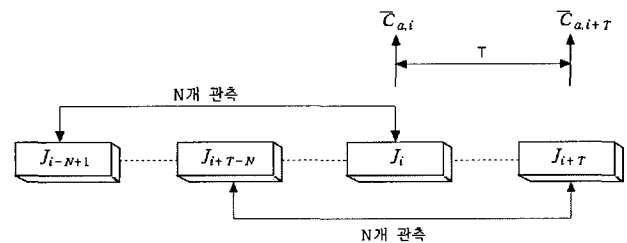
<표 2> Job 특성에 따른 분류

Job 특성	Job 특성 분류		
	저	중	고
RPJ	[0.0, 0.333]	[0.334, 0.666]	[0.627, 1.0]
RLJ	[0.0, 0.333]	[0.324, 0.666]	[0.627, 1.0]
RSJ	[0.0, 0.333]	[0.324, 0.666]	[0.627, 1.0]
JIT	[5.0, 5.35]	[5.36, 5.65]	[5.66, 6.0]

- * RPJ : Rate of Prior Job
- * RLJ : Rate of Large Job
- * RSJ : Rate of Shortest due date Job
- * JIT : Job Interval Time

$C_{a,i}$ (a=Job 특성 번호, i=Job 번호)는 i번째 Job(J_i)의 a 특성치이며, T는 탐색 간격 그리고 N은 관측 크기이다. J_i 의 특성은 T와 N에 따른 $C_{a,i}$ 의 이동평균을 이용하고 아래와 같이 나타낸다.

$$\bar{C}_{a,i} \text{ (배치평균)} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} C_{a,i-k}$$



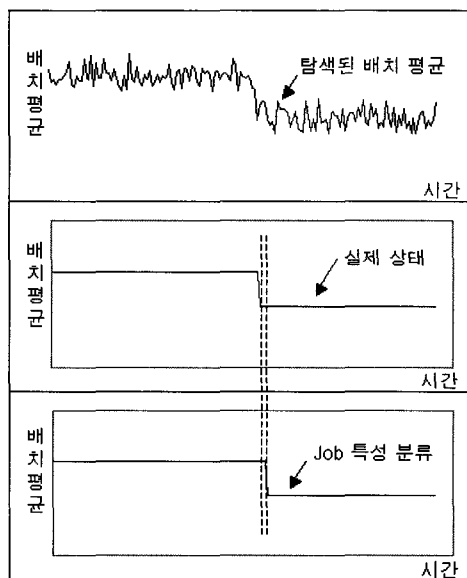
<그림 3> Job 특성 탐색방법

실험에서는 T=5, 10, 20, 30 으로 하고, N을 각각 50, 100, 150, 200으로 설정하여 시뮬레이션 하였으며, T=10, N=50일 때 시스템의 상태에 대한 응답성이 좋았다.

2.2 작업장의 상태 변화 탐지

작업장의 상태는 J_i 의 특성에 대한 평균 즉, batch 평균을 이용하여 상태변화를 모니터링 한다. 이때 작업장의 실제 상태와 탐색된 배치 평균값 그리고 Job 특성 분류에 따른 상태는 아래의 <그림 4>에 나와 있다. 실제 작업장 상태를 임의로 가정하고 실험하였을 경우 이때 탐색된 배치 평균과 <표 2>에 나타난 Job 특성 분류에 따른 결과를 그림으로 보이고 있다.

본 연구에서 제시한 방법을 이용하여 실험한 결과 실제 작업장 상태와 Job 특성 분류에 따른 탐색에서 근소한 시간차만이 발생한다는 것을 알 수 있으며, 시간차가 거의 없다고 할 수 있기 때문에 동적으로 변화하는 작업장 환경에 대해 신속하게 대응할 수 있다고 볼 수 있다.



<그림 4> RLJ에서의 작업장의 실제 상태와 탐색된 배치 평균값 그리고 Job 특성 분류에 따른 상태

작업장 상태 변화는 Job 특성 분류값이 변화했을 경우 감지되며, 그 외에 탐색된 배치 평균의 상태 변화를 이용하여 감지된다. 탐색된 배치 평균의 상태 변화는 그 그래프 상에서 그 형태가 UP-Down, Down-Up, trend, Run 등을 형성할 경우 작업장의 상태가 변화한 것으로 인지한다.[10]

2.3 기계작업과 AGV 작업배정규칙

기계 작업배정규칙은 현재 기계가공이 완료된 기계에

서 Job들의 우선 순위를 선정하는 것이다. 본 연구에서 사용하는 작업배정규칙은 일반적으로 사용할 수 있는 3가지(SPT, EDD, CR)를 기반으로 실험하였다. SPT(Shortest Processing Time)는 가장 짧은 가공시간을 갖는 작업부터 먼저 시작하는 것이다. 이것은 빨리 다음 작업장에 주문을 보내는 것이 흐름을 원활하게 할 수 있다는 생각에서 나온 규칙이다. 그리고 EDD(Earliest Due Date)는 납기일이 가장 급한 주문부터 먼저 시작하는 것으로 보편적인 납기가 급한 것부터 또는 긴급한 고객의 주문부터 처리하는 생각에서 나온 규칙이다. 마지막으로 CR(Critical Ratio) 규칙은 주문생산에서 적용되는 작업순서 결정규칙이다. 이 경우 긴급률은 잔여 작업일수로 나누어 산정한다.

$$\begin{aligned} \text{긴급률}(CR) &= \frac{\text{잔여납기수}}{\text{잔여작업일수}} \\ &= \frac{(\text{납기일} - \text{오늘날짜})}{\text{잔여작업일수}} \end{aligned}$$

긴급률(CR)이 $CR < 1$ 이면 예정보다 뒤진 것이고, $CR > 1$ 이면 여유가 있음을 나타낸다.[11]

AGV 작업배정 규칙은 제조시스템에서 하나의 장소에서 다른 장소로 부품을 이동하기 위해 빈 AGV에 job의 우선 순위를 매기는 것이다. 본 연구에서는 일반적으로 잘 알려진 AGV 작업배정 규칙 - NS(Nearest Station), QSNS(Queue Size and Nearest Station), NUJ(Nearest Unassigned Job)이 운영 평가되었다. 이들 작업배정규칙에 관해 간단히 설명하자면 NS는 운반을 끝낸 AGV에서 가장 가까운 적재 지점의 Job을 선택하도록 하는 것이고, QSNS는 AGV의 위치와 job의 적재지점 사이의 거리, 각 지점의 출력열의 크기를 비교하여 Job을 선택한다. 마지막으로 NUJ는 AGV의 위치와 job의 적재사이의 거리, 각 지점의 출력 대기열의 크기, 그리고 각 지점에 할당된 AGV의 수를 비교하여 Job을 선택한다.

기계작업배정규칙과 AGV 작업배정규칙을 9가지 조합 규칙 (SPT-NS, SPT-QSNS, SPT-NUJ, EDD-NS, EDD-QSNS, EDD-NUJ, CR-NS, CR-QSNS, CR-NUJ)으로 하여 실험하였다.

3. 시뮬레이션 및 결과

시뮬레이션은 <표 2>에 나와 있는 각각의 Job 특성과 Job 특성 분류에 따른 상황에 대해 기계작업배정규칙과 AGV 작업배정규칙의 9가지 조합 규칙으로 실험을 하였으며, 사용된 Job의 개수는 10000개이다.

시뮬레이션 결과로 실험 환경에 따른 최적 규칙을 모

아래는 것이 <표 3>과 <표 4>에 있다. <표 3>은 Mean Flow time을 평가한 최적 작업 배정표이며, <표 4>는 Tardiness를 평가한 최적 작업 배정표이다.

<표 3> Mean Flow time 에 따른 최적 작업배정계획

			RPJ									
			저			중			고			
			RLJ			RLJ			RLJ			
			저	중	고	저	중	고	저	중	고	
R S J	저	JIT	저	SPT-NS	SPT-NS	SPT-NUJ	SPT-NS	SPT-QSNS	SPT-NS	SPT-NUJ	SPT-QSNS	SPT-QSNS
		중	EDD-NS	EDD-NS	SPT-NUJ	EDD-NS	SPT-NUJ	SPT-NUJ	SPT-NUJ	SPT-NUJ	EDD-NS	EDD-NS
		고	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS	SPT-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS
	중	JIT	저	SPT-NS	SPT-NUJ	SPT-NUJ	SPT-NS	SPT-NS	SPT-NS	SPT-NUJ	SPT-QSNS	SPT-QSNS
		중	EDD-NS	EDD-NS	SPT-NUJ	EDD-NS	SPT-NUJ	EDD-NS	SPT-NUJ	EDD-NS	EDD-NS	EDD-NS
		고	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS
	고	JIT	저	SPT-NS	SPT-NS	SPT-NUJ	SPT-NS	SPT-NUJ	SPT-NUJ	SPT-NUJ	SPT-QSNS	SPT-QSNS
		중	EDD-NS	EDD-NUJ	SPT-NUJ	EDD-NS	SPT-NUJ	SPT-NUJ	SPT-NUJ	SPT-NUJ	EDD-NS	EDD-NS
		고	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	EDD-QSNS	SPT-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS

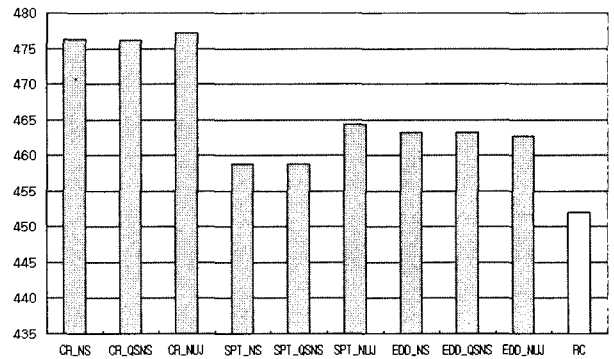
<표 4> Tardiness에 따른 최적 작업배정계획

			RPJ									
			저			중			고			
			RLJ			RLJ			RLJ			
			저	중	고	저	중	고	저	중	고	
R S J	저	JIT	저	EDD-NS	EDD-NUJ	EDD-NUJ	EDD-NS	SPT-QSNS	EDD-NUJ	SPT-QSNS	SPT-QSNS	EDD-NUJ
		중	EDD-NS	EDD-NS	EDD-NUJ	EDD-NS	SPT-QSNS	EDD-NUJ	SPT-QSNS	SPT-QSNS	EDD-NS	EDD-NS
		고	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	EDD-QSNS	SPT-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS
	중	JIT	저	EDD-QSNS	EDD-NUJ	EDD-QSNS	EDD-QSNS	EDD-NUJ	EDD-NUJ	SPT-QSNS	SPT-QSNS	EDD-QSNS
		중	EDD-QSNS	EDD-NS	EDD-NS	SPT-QSNS	EDD-NS	EDD-NS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	EDD-QSNS
		고	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	EDD-QSNS	SPT-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS
	고	JIT	저	EDD-QSNS	EDD-NUJ	EDD-NUJ	EDD-QSNS	EDD-NUJ	EDD-NUJ	SPT-QSNS	SPT-QSNS	EDD-QSNS
		중	EDD-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS	EDD-NUJ	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	EDD-NS	EDD-NS
		고	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	SPT-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS	SPT-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS	EDD-QSNS

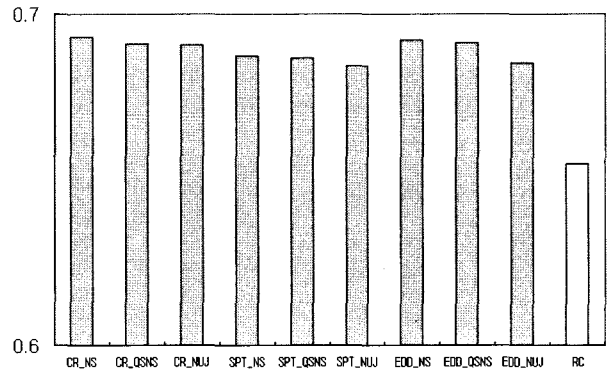
본 논문에서 제시한 방법의 효율성을 평가하기 위해 위와 같은 실험결과(최적 작업 배정표)를 이용한 작업배정규칙 변환을 적용한 것(RC)과 조합된 작업배정규칙

들(SPT-NS, SPT-QSNS, SPT-NUJ, EDD-NS, EDD-QSNS, EDD-NUJ, CR-NS, CR-QSNS, CR-NUJ)을 적용한 시뮬레이션 결과를 비교한 그림이 아래에 나와 있다. <그림 5>은 Mean Flow time을 비교한 것이며, <그림 6>은 Tardiness를 비교한 그림이다.

아래의 그림에서 알 수 있듯이 조합된 규칙을 적용한 것들 보다 동적으로 변하는 환경에 따라 시뮬레이션 결과인 최적 배정 규칙을 적용하도록 한 본 논문에서 제시한 방법이 나음을 알 수 있다.



<그림 5> Mean Flow time 비교



<그림 6> Tardiness 비교

4. 결 론

본 연구에서 제시한 방법은 결과에서 알 수 있듯이 작업장에서 동적으로 발생하는 상황을 전문가와 고성능의 하드웨어를 필요로 하는 복잡한 방법 대신 반복되는 상황들의 학습을 통해 쉽게 이해할 수 있는 단순한 기술을 사용하였기 때문에 생산 현장에서 보다 유용하게 사용되어질 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

- [1] I. Sabuncuoglu, "A study of scheduling rules of flexible manufacturing systems : a simulation approach", *International Journal of Production Research*, 36-2, pp 527-546, 1998.
- [2] M. Montazeri, L.N. Van Wassenhove, "Analysis of scheduling rules for an FMS." *International Journal of Production Research*, 28-4, pp785-802, 1990.
- [3] P.J. Egbelu and J.K.A. Tanchoco, "Characterization of Automated Aided Vehicle Dispatching Rules", *International Journal of Production Research*, .22, pp 359-374, 1984.
- [4] W. L. Maxwell and J. A. Muckstadt, "Design of automated aided vehicles", *IIE Transactions*, 14, pp114-124, 1982.
- [5] R. J. Gaskins and J.M.A. Tanchoco, "AGVSim2 - A development tool for AGVs controller design", *International Journal of Production Research*, 27-6, pp 915-926, 1989.
- [6] P. Solot, "A concept for planning and scheduling in an FMS", *European Journal of Operational Research*, .45, pp.85-95, 1990.
- [7] Ishii, N and Talavage, J.J. "A transient-based real-time scheduling algorithm in FMS", *International Journal of Production Research*, 29-12, 2501-2520, 1991
- [8] K. Shanker and Y. J. J. Tzen, "A loading and dispatching problem in a random flexible manufacturing system," *International Journal of Production Research*, 23-3, pp.579-595, 1985.
- [9] M. C. Gupta, Y. P. Gupta and G. W. Evans, "Operations planning and scheduling problems in advanced manufacturing systems", *International Journal of Production Research*, 31-4, pp.869-900, 1993.
- [10] Davis R. Bothe, "Measuring Process Capability", McGraw-Hill, 1997
- [11] M.Montazer and L. N. Van Wassenhove, "Analysis of scheduling rules for an FMS", *International Journal of Production Research*, 28-4, pp785-802, 1990.
- [12] Gino Cardarelli, "Comparison of coventional and dynamic FMS periodic loading rules", *integrated Manufacturing Systems*, 9-1, pp15-22, 1998