

유연 Job Shop 일정계획의 유연성에 대한 시뮬레이션 Simulation for Flexibility of Flexible Job Shop Scheduling

김상천*, 김정자**, 이상완**, 이성우***
Sang-Cheon Kim*, Jung-Ja Kim**, Sang-Wan Lee**, Sung-Woo Lee***

<Abstract>

Traditional job shop scheduling is supposed that machine has a fixed processing job type. But actually the machine has a highly utilization or long processing time is occurred delay. Therefore product system is difficult to respond quickly to the change of products or loads or machine failure etc. Here we use flexible job shop which is supposed that a machine has several jobs by tool change. The heuristic for the flexible job shop scheduling has to solve two problems. One is a routing problem which is determine a machine to process job. The other is sequencing problem which is determine processing sequence. The approach to solve two problems are a hierarchical approach which is determined routing and then schedule, and a concurrence approach which is solved concurrently two problems by considering routing when it is scheduled. In this study, we simulate for flexibility efficiency fo flexible job shop scheduling with machine failure using hierarchical approach.

Key Words : Job-shop, Scheduling, Flexibility, Simulation, Routing

1. 서 론

오늘날 국내 제조업체들은 고객의 소비성향과 요구수준의 다양화로 제품의 수명주기가 점점 짧아지고, 국외적으로는 시장개방으로 인한 거대 자본세력의 국내 상륙, 원자재 값의 변동,

첨단 기술의 급진적 발전 등으로 매우 급변하는 상황에서 많은 어려움에 직면하고 있다. 이처럼 복잡 다양한 상황에서 각 제조업체의 생산성 향상과 작업 효율성을 높이기 위하여 효율적인 일정계획 수립에 대한 필요성이 증대되고 있다. 일정계획 문제는 지정된 제품을 최

* 정회원, 동주대학 컴퓨터통신과 전임강사 / 工博
051-897-5018 Email : newstart@dongju.ac.kr
** 정회원, 동아대학교 산업시스템공학과 교수 / 工博
051-200-7688 Email : jjkim@mail.donga.ac.kr
051-200-7692 Email : swlee@mail.donga.ac.kr
***정회원, 김천대학 컴퓨터산업정보과 조교수 / 工碩
054-420-4115 Email : lsw3927@chollian.net

소의 비용으로 가공·처리될 수 있도록 작업순서를 결정하는 문제이다. 이것은 공정계획 정보와 생산현장의 생산설비의 가용 정보로부터 최적의 작업순서를 제시하는 것이며, 이는 가공·처리시간이 최소가 되도록 작업순서를 결정하는 문제와 별다른 의미 구분 없이 사용하고 있다. 효율적인 일정계획이 수립되도록 하려면 각 job들을 어떤 순서로 수행하느냐 하는 job 순위 결정(sequencing)문제, 이 순위에 따라 각 기계에 job을 어떻게 할당하는가 하는 문제가 중요하다. 일정계획 수립은 많은 경우의 수와 다양한 제약을 포함하고 있고, 기계고장, 납기일 변경, 새로운 job의 추가 등과 같은 자원들의 다양한 변화와 불확실성이 존재하는 가운데 작업장에서의 최소재고와 높은 가동율 그리고 고객 만족의 최대화라는 목적을 달성하려 하기 때문에 매우 어렵고 복잡한 문제이다.

전통적인 job shop 일정계획 문제는 기계의 형태가 서로 다르고 각 기계가 처리할 수 있는 job의 형태가 정해져 있다는 가정을 사용하고 있으므로 현실적으로 높은 이용율을 갖고 있거나 공정들의 가공시간이 긴 기계에서는 정체가 발생하고, 제품이나 작업 부하량 또는 기계고장과 같은 많은 요인들에 의한 변화에 빠르게 적응하기가 어렵다. 이 가정을 완화시켜 각 기계에서 정해진 job들만 처리할 수 있는 기계가 간단한 공구교체를 통해 다른 job들도 처리할 수 있다고 가정한 것이 유연 job shop (flexible job shop)의 형태이다. 현실적으로 자본력이 약한 중소기업은 과거의 전통적인 job shop 형태의 제조시스템을 유지하면서 많은 요인들의 변화에 빠르게 적응할 수 있도록 하기 위하여 유연 job shop 형태의 제조시스템을 사용하고 있다.

본 연구에서는 유연 Job Shop 일정계획 문제를 해결하기 위해 계층적 접근법을 사용하여 기계고장이 없는 경우와 기계고장이 있는 경우에 대한 유연성 비율의 효율을 분석하여 유연 job shop의 효율성을 분석하고자 한다. 계층적 접근법의 기계할당 단계와 일정계획 단계에서는 3가지 작업배정규칙(dispatching rule)을 사용하여 첫째 기계고장이 없는 경우는 각 유연성 비율에 대하여 시뮬레이션 실험을 실시하고, 둘째 기계고장에 대한

유연성 실험은 기계 고장시간 간격을 와이블분포(Weibull distribution)에 따른다고 가정하고, 고장시간을 대수정규분포(lognormal distribution)에 따른다고 가정하여 유연성 비율에 대한 유연성의 효율을 평가하였다. 셋째 작업배정규칙에 대한 직교배열실험을 통해 요인분석을 실시하였다.

2. 전통적인 Job Shop Scheduling 문제

전통적인 job shop 일정계획 문제를 모형화하는데 몇 가지 가정이 사용된다.

(1) 기계의 형태는 서로 각각 다르다. 하나의 기계는 한번에 오직 하나의 공정만 가공 할 수 있고 한번 시작한 공정은 반복됨이 없이 완료 될 때까지 가공된다. 모든 기계는 시점 0(zero)에서 고장 없이 연속적으로 이용할 수 있다.

(2) 각각의 job은 m 개의 공정으로 구성되어 있고 각각의 job은 각각의 기계에 대해 정확하게 한번 가공된다. 모든 job은 시점 0(zero)에서 시작될 수 있고($r_j=0 \forall j$), 완료 될 때까지 가공된다.

(3) 모든 공정 가공시간은 양의 값으로 미리 정해져 있으며 공정 가공시간은 일정계획에 독립이다. 만약 준비시간이 필요하다면 공정가공시간에 포함시킨다.

(4) 기계간의 이동시간은 무시하고, 처리 중 재고를 허용하고, 기계 대수와 job의 수, 기술적인 제약은 알려져 있고 고정되어 있다.

기술적인 제약은 job에서 수행이 되어야만 하는 공정의 순서이다. 더욱 엄밀히 말하면 공정들이 수행이 될 기계를 job이 방문해야만 하는 순서를 말한다. Job에 관련이 있는 기계 순서는 전형적으로 job의 경로(routing)라고 한다. 이러한 기술적인 제약을 완화시킨 것이 경로 유연성을 가지는 job shop 일정계획이다.

3. 유연 Job Shop 일정계획

3.1 유연 Job Shop 일정계획문제

전통적인 job shop 일정계획(JSS)문제에서 job 가공계획은 각 job이 가공 되어야하는 공정들의 순서가 정해져 있고, job의 각 공정이 처리되어야 하는 기계가 정해져 있다는 것을 가정하였다. 유연 job shop에서는 이 제약조건을 완

화시켜 job의 각 공정을 수행할 수 있는 기계가 적어도 한 대 이상이 있다는 것을 가정한다. 즉, 유연 job shop 일정계획문제에서는 job의 각 공정을 어떤 기계에서 처리되도록 할 것인지 정해져 있지 않다는 것이다. 각 job에 대한 가공계획에 따라 공정들의 순서는 정해져 있고 각 공정들을 수행 할 수 있는 기계들의 가공시간 (processing time)은 다를 수 있다.

유연 job shop은 다음과 같은 특성을 가진다.

- N개의 job $J_i(i=1, \dots, N)$
- M대의 기계 $m_j(j=1, \dots, M)$
- 각 job J_i 에 대한 가공계획은 n_i 공정들의 순서 σ_i 로 주어진다. 즉, job J_i 의 j번째 공정($j=1, \dots, n_i$)은 o_{ij} 로 정의된다.
- 각 공정 o_{ij} 에 대해 공정을 수행 할 수 있는 기계의 집합 \mathcal{S}_{ij} 이 주어진다.
- 공정 o_{ij} 을 수행할 수 있는 각 기계 $m_l \in \mathcal{S}_{ij}$ 에 대하여 가공시간 p_{ijl} 이 주어진다. 가공시간은 \mathcal{S}_{ij} 에 있는 모든 기계에 대해 같을 수도 있고 다를 수도 있다.

유연 job shop 일정계획문제는 다음과 같이 두 가지 문제를 해결해야 한다.

- 각 공정 o_{ij} 를 기계 $m_l \in \mathcal{S}_{ij}$ 에 할당을 하는 경로(routing)에 관한 문제
- 주어진 목적함수를 최소화하는 실행 가능한 스케줄을 얻기 위해서 각 기계에 할당된 공정의 순서를 정하는 일정계획 문제.

다양한 목적함수들은 job의 완료시간을 기초로 해서 개발될 수 있다. 일반적으로 가장 많이 사용하는 목적함수는 최대작업완료시간을 최소화하거나 가중치가 부여된 전체지연(total weighted tardiness)을 최소화하는 것이다.

C_i 를 job J_i 의 완료시간이라고 하면

- 최대작업완료시간을 최소화인 목적함수는

$$\min \left(\max_{i=1, \dots, N} C_i \right)$$

- 가중치가 부여된 전체지연을 최소화하는 목적함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\min \sum_{i=1}^n v_i T_i$$

여기서 지연 $T_i = \max\{0, C_i - d_i\}$ 는 납기일 d_i 를 초과하는 완료시간의 양이고 가중치 v_i 는 job의 우선 순위를 나타낸다.

이런 목적함수들은 고려할 수 있는 다른 평가기준들에 대해서도 다를 수 있기 때문에 많이 사용하고 있다.

유연 job shop 일정계획 문제에 대한 휴리스틱 기법은 두 가지 문제를 해결해야 한다. 하나는 job들의 각 공정을 처리할 수 있는 기계를 선택하여 각 공정에 대한 경로(routing)를 결정하는 문제이고 또 하나는 각 기계에 대한 공정들의 처리순서(sequencing)를 결정해야 하는 일정계획 문제이다. 이 두 가지 문제를 해결하는 접근법은 경로를 결정하고 일정계획을 수립하는 계층적 접근법과 일정계획을 수립할 때 각 공정에 대한 경로를 고려하여 두 가지문제를 동시에 해결하는 동시접근법 두 가지가 있다.

3.2 Job Shop 일정계획의 유연성

유연성은 제품, 공정, 작업표준량 또는 기계 고장과 같은 생산요인들의 변화에 빠르게 적응하기 위한 시스템의 능력이다. 제조시스템의 유연성은 두 가지의 전형적인 형태로 분류한다.

- (1) 기계 유연성(machine flexibility)
- (2) 경로 유연성(routing flexibility)

기계 유연성은 기계가 다른 공정들을 수행할 수 있는 능력으로서 기계 중심의 유연성을 다루는 것이다. 즉, 기계가 여러 개의 공정을 처리하기 위하여 필요로 하는 준비시간이 필요 없는 경우이다. 기계 유연성은 다른 공정들을 처리할 수 있도록 정교한 tool-changing 과 part-loading 장치를 가지게 함으로서 제조시스템의 기계 유연성을 개선할 수 있다. 기계 유연

성은 소량 주문에도 쉽게 적용할 수 있고, 아주 짧은 리드타임(lead time), 기계 이용률 향상, 낮은 재고수준을 유지 할 수 있다.

경로 유연성은 하나의 공정을 처리할 수 있는 기계가 한 대 이상이 있는 경우로서 공정 중심의 유연성을 다루는 것이다. 경로 유연성은 동일한 기계가 여러 대 있도록 하든지 다중목적 기계를 가짐으로서 개선 될 수 있다. 하나의 공정을 처리할 수 있는 기계가 한 대 이상 존재함으로써 효과적인 일정계획을 수립할 수 있다. 그리고 기계고장과 다량의 주문 등과 같은 변화에도 신속하게 적용할 수 있다.

Browne et al.은 유연성을 다음과 같이 8가지의 유연성으로 분류하였다. 경로(routing), 기계(machine), 가공(process), 제품(product), 생산량(volume), 확장(expansion), 공정(operation), 생산(production) 유연성. 경로유연성은 기계고장에도 불구하고 처리해야 할 부품의 공정을 처리할 수 있는 시스템의 능력이며 기계유연성은 처리해야 할 부품을 쉽게 바꿀 수 있는 시스템의 능력이다. 그러므로 가공유연성과 제품 유연성은 기계 유연성에 포함 될 수 있고, 생산량과 확장 그리고 공정유연성은 경로유연성에 포함 될 수 있으며 생산 유연성은 나머지 7가지를 포함하는 유연성이다.

4. 유연성에 관한 실험

4.1 기계고장이 없는 경우

전통적인 job shop에서는 한 공정을 처리할 수 있는 기계가 고정되어 있는 경우이므로 어떤 기계의 경우에는 정체가 생기기 마련이다. 유연성 효율에 대한 실험은 이러한 정체가 발생하는 기계에서 처리해야 하는 공정들을 대체 기계로 옮김으로서 최대완료시간이 어떻게 변화하는 가를 알아보기 위한 실험으로 실험조건은 다음과 같다. job의 개수는 10개에서 15개, 기계의 대수는 4대에서 8대, 각 job에 대한 공정의 개수는 3개에서 10개, 각 공정을 처리할 수 있는 기계의 대수는 2대에서 6대, 그리고 각 공정의 가공시간은 1에서 20까지의 값을 가지고 유연성이 있는 공정 즉, 대체기계를 사용하는 경우에는 가공시간이 최대로 2배로 증가한

다는 것을 가정으로 5가지의 모형에 대해 실험하였다. 이 모형은 Table 1에 나타나 있다. Table 1에서 njob은 job의 개수, mmac는 기계의 대수, nop는 각 job의 최대 공정 개수와 최소 공정 개수를 나타내고 있으며, meq는 각 공정이 처리될 수 있는 기계의 수를 나타내며, proc는 각 공정의 가공시간의 최대값과 최소값을 나타낸다. 전체 공정에 대해 대체기계를 사용할 수 있는 공정의 비율을 각 20%, 40%, 60%로 하여 각 유연성 비율에 대하여 실험을 한다. 각 데이터는 주어진 범위 내에서 일양분포를 사용하여 랜덤하게 발생시켰다.

Table 1. Problem instance for the minimum makespan problem

Model	njob	mmac	nop	meq	proc
Kim1	10	6	5-7	3	1-7
Kim2	10	6	5-7	6	1-7
Kim3	15	8	10	5	1-20
Kim4	15	8	3-10	3	1-10
Kim5	15	4	5-10	2	5-10

유연 job shop 일정계획 문제를 풀기 위한 방법으로는 제시된 계층적 접근법을 이용하여 시뮬레이션 실험을 한다. 각 공정을 처리할 수 있는 기계를 선택하는 경로결정에 대한 문제와 일정계획을 수립하는 문제에 대해 각각 3개의 작업배정규칙(dispatching rule)을 적용한다. 이 실험에서 사용하는 작업배정규칙은 다음과 같다.

- SPT-schedule the operation with the shortest processing time
- LWKR-schedule the operation from the job with the least work remaining
- MWKR-schedule the operation from the job with the most work remaining

기계를 할당하는 경로결정단계에도 3가지 작업배정규칙을 적용하고 일정계획을 수립하는 스케줄링 단계에서도 3가지 작업배정규칙을 적용하여 각 유연성 비율에 대해 얻은 9개의 최선해를 구하고 그 중에서 가장 좋은 결과를 찾아 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Experiment of flexibility rate without machine failure

유연성 비율 모델	Non-flexible	20%	40%	60%
Kim1	61 (SS, LS, MS)	67 (SS, LS)	65 (SS, LS)	65 (SS, LS)
Kim2	61 (SS, LS, MS)	61 (SS, LS)	61 (SS, LS)	61 (SS, LS)
Kim3	268 (LS, MS)	306 (SM)	314 (SS)	333 (SS, LS)
Kim4	120 (LS, MS)	94 (LS)	91 (LS)	83 (SS, LS)
Kim5	294 (SS, LS, MS)	294 (SS, LS)	290 (SS, LS)	291 (SS, LS)

4.2 기계고장이 있는 경우

유연 job shop 일정계획의 유연성 효율은 기계고장이 발생했을 때 지연이 되는 최대작업완료시간을 대체기계를 사용함으로써 얼마만큼 줄일 수 있는가를 평가하여 유연 job shop 제조시스템의 기계고장에 대한 유연성을 평가하고자 한다. 대상 모형은 Table 1에 있는 Kim1, Kim2, Kim3, Kim4, Kim5 5개 모형을 대상으로 하고 각 모형에 대해 유연성이 없는 경우와 유연성이 있는 경우 즉, 유연성 비율이 20%, 40%, 60%인 경우로 나누어 기계고장이 발생했을 때 최대작업완료시간이 어떻게 변하는가에 대해 실험한다.

어떤 장치의 수명을 나타내는 신뢰도 모형에 널리 사용되며, 만약 어떤 시스템이 독립적으로 고장이 나는 많은 부품들로 구성된다면 그리고 그 시스템이 임의의 하나의 부품이 고장 날 때 고장이 난다면 시스템 고장들 사이의 시간은 와이블분포(Weibull distribution)에 의해 근사 시킬 수 있다. 와이블 분포에서 $\alpha=1$ 인 경우는 지수분포와 같은 분포를 가지므로 기계고장발생시간은 지수분포를 따른다고 가정하고 모수는 $\lambda=30$, $\lambda=60$ 을 사용하였으며 기계수리 시간은 많은 수의 확률적인 변수들의 곱의 변수를 표현하고자 하는 상황에서 사용하는 대수정규분포(lognormal distribution)를 따른다고 가정하고 모수로서 $\mu=Ln15$, $\sigma=1.8$ 을 사용한다.

기계 고장에 따른 유연 job shop 일정계획문제를 풀기 위한 방법으로 제시된 계층적 접근법을 이용한 시뮬레이션 실험에서는 경로결정 단계와 일정계획단계에서 각각 3개의 작업배정 규칙(SPT, LWKR, MWKR)을 적용하여 각 유연성 비율에 대해 얻은 9개의 최선해를 구하고 그 중에서 가장 좋은 결과를 찾아 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Experiment of flexibility rate with machine failure

유연성 비율 모델	Non-flexible	20%	40%	60%
Kim1	67 (SS, LS, MS)	63 (SS, LS)	62 (SS, LS)	62 (SS, LS)
Kim2	67 (SS, LS, MS)	69 (SS, LS)	69 (SS, LS)	68 (SS, LS)
Kim3	306 (SM)	306 (SM)	287 (SS)	284 (SS)
Kim4	124 (SS, LS, MS)	120 (LS)	125 (LS)	91 (SS, LS)
Kim5	301 (SS, LS, MS)	304 (SS, LS)	300 (SS, LS)	306 (SS, LS)

Table 2와 3에서 나타낸 SS, LS, MS 등은 각 단계별로 적용한 작업배정 규칙을 뜻하며 첫 번째는 경로결정 단계에서 두 번째는 스케줄링 단계에서 적용한 작업배정규칙이다. S는 SPT, L은 LWKR, M은 MWKR을 의미한다.

5. 실험결과 및 분석

5.1 시뮬레이션실험 결과

기계고장이 없는 경우에 대한 시뮬레이션 결과 유연 job shop 일정계획문제에서 적용하는 작업배정 규칙은 기계할당의 작업배정규칙 보다는 일정계획 단계의 작업배정 규칙에 의존하고, 유연성이 존재하는 경우 공정을 처리할 수 있는 기계가 많을수록 각 작업배정 규칙에 대한 최선해의 값의 변화가 적게 나타난다. 가공시간이 짧고 공정의 개수가 적을수록 유연성이 존재하는 것이 기계 이용률이 높아져서 최대완료 시간이 줄어들 수 있다. 기계 대수가 줄어들면 각 기계에서 수행해야하는 공정들이 늘어나

고 그만큼 많은 정체가 발생하여, 유연성의 비율이 증가한다고 하더라도 최대완료 시간의 감소효과는 약하다. 그 이유는 계층적 접근법에서 기계할당 단계와 일정계획 단계에서 적용되는 작업배정 규칙에 따라 최대완료 시간에 영향을 받기 때문이다.

기계고장이 있는 경우에 대한 시뮬레이션 결과는 3가지 작업배정규칙 중에서 SPT가 가장 좋은 결과를 나타내고 MWKR이 LWKR 보다 좋은 결과를 나타낸다. 그리고 기계고장에 따른 최대 작업완료 시간의 지연 부분이 유연성 비율이 높을수록 작아지고 있다는 것을 나타내고 있다. 각 모형을 비교한 결과 유연 job shop 모형에서 기계고장이 발생했을 때 문제 구성요소인 job 개수, 기계 대수, 각 job의 공정 개수, 각 공정을 처리 할 수 있는 기계 대수, 각 공정의 가공시간들 중에서 유연성에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 기계 대수와 가공시간이다.

5.2 작업배정규칙에 대한 직교배열 실험

유연 job shop 일정계획 문제에 대한 유연성 비율에 관한 실험과 기계고장에 관한 실험의 결과는 job들의 각 공정에 대한 기계가공시간이 5-10, 기계고장이 $\lambda=30$, job들의 각 공정을 처리할 수 있는 기계대수가 3대, 유연성 비율은 40%일 때 가장 좋은 결과를 얻었다. 이런 요인을 기준으로 작업배정 규칙에 대한 직교배열 실험은 계층적 접근법에서 단계적으로 적용하는 기계할당과 일정계획의 작업배정규칙을 각 3수준씩 고려하여 $L_9(3^4)$ 직교배열표를 사용하여 실험하였으며, 그 수준은 Table 4에 나타나 있다.

Table 4. Level of factor

인자 \ 수준	0	1	2
기계할당의 D.R	SPT	LWKR	MWKR
일정계획의 D.R	SPT	LWKR	MWKR

실험의 결과는 Table 5에 나타나 있다.

위의 실험결과 계층적 접근법을 이용한 유연 job shop 일정계획 문제에 대한 시뮬레이션 실험은 2가지의 요인들 중에서 일정계획 단계에서 적용되는 작업배정 규칙에 대하여 유의적인

차가 있다는 결과를 얻었다.

Table 5. ANOVA table

요인	S	ϕ	V	Fo	F (0.05)
기계할당의 D.R	2608.667	2	1304.333	4.219	6.94
일정계획의 D.R	11988.67	2	5994.333	19.389	6.94
오차	1236.667	4	309.1667		
T	15834	8			

6. 결론

제조시스템에 대한 유연성을 다루는 연구들이 대부분 FMS형태의 생산시스템을 다루는 것이 대부분이다. 그러나 실제로 FMS 형태의 생산시스템에서 생산활동을 하는 기업은 FMS 형태의 생산시스템을 갖출 수 있는 자본력이 강한 대기업에서만 이루어지고 있는 실정이다.

대기업을 제외한 대부분의 중소기업들은 지금 사용하고 있는 job shop 형태의 생산시스템을 그대로 유지하면서 다양한 변화에 적응해 가야만 하는 실정이다. 따라서 전통적인 job shop 제조환경에서 제시하는 가정들은 현실적으로 중소기업의 생산형태에 즉, 예를 들면 job 을 처리할 수 있는 기계가 정해져 있다는 것과 같은 불합리한 경우가 많다. 이러한 가정을 완화시켜 각 job을 처리 할 수 있는 기계가 적어도 한 대 이상 있다고 가정함으로써 다양한 변화에 적응할 수 있는 유연성을 가진 제조환경으로 전환 할 수 있다는 개념을 도입하여 본 연구에서는 유연 job shop 일정계획 수립을 위하여 계층적 접근법을 사용하여 작업배정 규칙을 적용한 시뮬레이션의 수치실험 및 수행도 평가를 실시하였으며 결과는 다음과 같다.

첫째, 유연성 비율에 대한 실험결과 유연성이 있는 경우 가공시간이 짧고, 공정의 개수가 적을수록 최대 작업완료 시간이 줄어든다는 것을 알 수 있고, 기계대수가 줄어들면 최대 작업완료 시간의 감소효과는 약하다는 것을 알 수 있다.

둘째, 기계고장이 발생하였을 때 유연성 비율

에 대한 실험결과 유연성 비율이 높을수록 기계고장에 따른 최대 작업완료 시간의 지연 부분이 작아지고 있다는 것을 알 수 있다. 특히 job의 개수, 기계대수, 각 job의 공정개수, 각 공정을 처리할 수 있는 기계대수, 각 공정의 가공시간들 중에서 유연성에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 기계대수와 가공시간이었다.

현실적으로 자본력이 약한 중소기업은 과거의 전통적인 job shop 형태의 제조시스템을 유지하면서 많은 요인들의 변화에 빠르게 적응할 수 있도록 하기 위하여 유연 job shop 형태의 제조시스템을 사용하고 있으며 이 유연 job shop 형태의 제조시스템이 전통적인 job shop 현재의 제조시스템 보다 생산요인의 변화에 신속히 대처할 수 있는 시스템을 확인하였다.

추후과제는 중소기업에서 실제적인 자료인 납기일, 공정의 추가, 주문 수량의 변화와 같은 다양한 생산요인들에 대한 변화에도 충분히 대처할 수 있는 효율적인 휴리스틱기법을 개발하는 것이 남아 있다.

참고문헌

- 1) Brandimarte, P. : Routing and Scheduling in a Flexible Job Shop by Tabu Search, *Annals of Operations Research*, Vol.41, pp.157-184, (1993)
- 2) Chang, Y.L., Matsuo, H. and Sullivan, R.S. : A Bottle neck-Based Beam Search for Job Scheduling in A Flexible Manufacturing System, *International Journal of Production Research*, Vol.27, No.11, pp.1949-1961, (1989)
- 3) Brill, P. H. and Mandelbum, M. : Measurement of Adaptivity and Flexibility in Production Systems, *European Journal of Operational Research*, Vol.49, No.3, pp.325-340, (1990)
- 4) Yao, A.A. and Pei, F. : Flexible Parts Routing in Manufacturing System, *IIE Transactions*, Vol.22, No.1, pp.48-55, (1990)
- 5) Park, P.S. : The Examination of Worker Cross-Training in a Dual Resource Constrained Job Shop, *European Journal of Operational Research*, Vol.52, No.3, pp.291-299, (1991)
- 6) Chandra, P. and Tombak, M. : Models for the Evaluation of Routing and Machine Flexibility, *European Journal of Operational Research*, Vol.60, No.2, pp. 156-165, (1992)
- 7) Ghash, S. and Gaiman, C. : Routing Flexibility and Production Scheduling in Flexible Manufacturing System," *European Journal of Operational Research*, Vol.60, NO.3 pp.2337-2354, (1993)
- 8) Benjaafar, S. : Models for Performance Evaluation of Flexibility, *International Journal of Production Research*, Vol.32, No.6, pp.1383-1402, (1994)
- 9) Benjaafar, S. and Remakrishman, R. : Modelling Measurement and Evaluation of Sequencing Flexibility in Manufacturing System, *International Journal of Production Research*, Vol.34, No.5, pp.1195-1220, (1996)
- 10) Chambers, J. B. : Classical and Flexible Job Shop Scheduling By Tabu Search, The University of Texas at Austin, (1996)
- 11) Tunail, S. : Evaluation of Alternative Routing Policies in Scheduling A Job-Shop Type FMS, *Computers ind. Engng*, Vol.32, No.2, pp.243-250, (1997)
- 12) Chambers J.B. and Wesley B. J. : Reactive Search for Flexible Job Shop Scheduling, *INFORMS*, Dallas, October (1997)
- 13) Ghedjati, F. : Genetic Algorithms for The Job-Shop Scheduling Problem with Unrelated Parallel Constraints: Heuristic Mixing Method Machines and Precedence, *Computers & Industrial Engineering*, Vol.37, No.17, pp.39-42, (1999)
- 14) Hitoshi, T and Mitsuyoshi, H. : A Comparison Between Machine Flexibility and Routing Flexibility, *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol.11, pp.83-101, (1999)

(2001년 7월 24일 접수, 2001년 8월 25일 채택)