

대안기계를 갖는 Job Shop scheduling을 위한 발견적기법의 개발 Development of Heuristic method for Job Shop Scheduling with Alternative Machines

최동순*, 정병희**

Dong-Soon Choi, Byung-Hee Chung

*전주공업전문대학 공업경영과, **승실대학교 산업공학과

Abstract

This paper proposes a heuristic method for job shop scheduling with alternative machines. Our heuristic suggests four machine-selecting rules and two priority dispatching rules for modifying existent ones considering alternative machines, and then it extends existing nondelay/active job shop schedule generation. This heuristic provides good criteria(rules) in the selection of a proper machine among those performing a specific operation and for the dispatch of an operation to a selected machine and thus these rules permit the efficient job shop scheduling with alternative machines.

The performances of our four machine-selecting rules in addition to the two priority dispatching rules, applied together with the existing 17 rules, are experimented and evaluated, respectively.

1. 서론

생산품목의 가공순서(Operation sequence)와 이들을 가공하는 생산설비가 서로 다른 Job Shop에서는 품목별 가공시간(processing time)이 일정하지 않으며, 납기가 각기 다르다. Job Shop에서는 기술적으로 실행가능한 스케줄의 대안이 대단히 많을뿐 아니라 특히 품목의 종류와 가공에 필요한 생산설비가 많은 경우에는 간단하게 최적 스케줄을 결정하는 것이 거의 불가능하다.

Job Shop Scheduling(이하 JSS)은 기본적으로 기계제약과 순서제약을 지키면서 작업의 시작시각과 완료시각을 결정하는 것이다. 기계제약은 기계가 어떤 시점에서 두가지 이상의 공정을 동시에 수행할 수 없고 공정수행 중에 다른 공정을 시작할 수 없다는 것이며, 순서제약은 각 품목의 공정은 일련의 작업순서를 가지므로 선행공정이 완료될 때까지는 후행공정을 시작할 수 없다는 것이다.

Job Shop에서는 대개 기계고장, 불규칙적인 가공시간과 같은 납기변경 등이 문제이므로[9] JSS에 대한 연구는 주로 빠른 시간내에 스케줄을 얻을 수 있는 할당규칙(P.D.R : Priority Dispatching Rules)을 개발하는데 관하여 이루어져 왔다[1,4,5,7,15,16,17]. 이들 연구는 대부분 할당규칙을 적용하여 가장 좋은 active 또는 nondelay schedule을 생성하는 것이다[2].

active schedule은 어떤 공정도 다른 공정의 지연 없이는 더 빨리 시작할 수 없는 스케줄로써 최적해를 포함하지만 스케줄의 경우의 수가 너무 많다는 단점이 있다[2]. 한편 nondelay schedule은 어떤 기계가 어떤 시점에서 공정의 수행이 가능할 때 그 공정을 반드시 할당하는 스케줄로써 고려해야 할 경우의 수는 훨씬 적지만 최적해를 포함하지 않을 수도 있다[2].

지금까지 JSS의 여러가지 평가척도(목적함수)에 적합한 할당규칙들이 개발되었다[6,14]. 그런데 JSS에 대한 기존의 연구들은 Job Shop의 실제상황을 제대로 고려하지 못해 효율성에 한계가 있었다. 즉 기존의 연구에서 가정했던 '어떤 공정을 수행하는 기계는 어느 특정한 한 대의 기계이다'는 것을 제거함으로써 보다 현실적이고 효율성이 있는 스케줄을 찾을 수 있게 된다. Wilhelm et al.[18]은 스케줄링의 결과 생기는 기계들간의 부하불균형(workload unbalance)을 해결하기 위해서는 대안기계(alternative machines)를 채용해야 함을 주장하였으며, Hutchison et al.[10]은 공정을 수행하는 대안기계가 많을수록 총처리시간이 단축됨을 보였다. Nasr와 Elsayed[13]는 새로운 기계를 추가하지 않고 대안기계에 의하여 평균처리시간을 줄일 수 있음을 보여주었다. Kim Y. D[12]는 동일한 복수의 품목을 가공하는 상황에서 대안기계를 고려하는 방법을 제안하였다. 그러나 이러한 연구들은 Job Shop 상황에서 대안기계를 고려한 발견적 스케줄링을 제시하지는 못하였다.

본 연구에서는 각 품목의 공정을 수행하는 대안 기계가 존재하는 Job Shop상황에서 효율적인 스케줄을 결정하는 발견적방법을 제안한다. 이를 위하여 대안기계가 주어진 상황에서 기계를 선택하는 규칙과 할당규칙을 제시하고 이들을 적용하여 기존의 active/nondelay schedule생성과정을 수정하고자 한다.

2. 가정 및 평가척도

본 연구에서 다루는 JSS는 다음과 같은 가정, 기호 및 평가척도를 기준으로 한다.

2-1. 가정

- (1) 각 공정은 대안기계가 존재한다.
- (2) 각 기계는 동시에 두 개 이상의 공정을 수행할 수 없다.
- (3) 기계의 공정수행 도중에 다른 공정을 시작할 수 없다.

- (4) 작업준비시간과 이동시간은 공정수행시간에 포함된다.
- (5) 한 품목에 대한 공정순서는 제약이 있지만 다른 품목간의 공정순서는 제약을 받지 않는다.
- (6) 각 품목별 납기는 서로 다르다.

2-2. 기호의 정의

- (i, j) : 품목 i의 j번째 공정
(i=1, ..., M_i; j=1, ..., M_j)
- k : 기계 (k=1, ..., M_k)
- S_i : 품목 i의 시작가능시간
- C_i : 품목 i의 가공완료시간
- D_i : 품목 i의 납기
- NA_{ij} : (i,j)의 대안기계 수
- SA_{ij} : (i,j)의 대안기계 집합
- A_{ij} : (i,j)의 대안기계 중에서 공정수행을 위해 선택된 기계
- P_{ij} : (i,j)의 공정수행시간
- U_k : 기계 k의 사용가능시간
- F_k : 기계 k의 공정수행완료시간
- TP_k : 기계 k에서 수행될 수 있는 공정의 수행시간의 합
- TN_k : 기계 k에서 수행될 수 있는 공정수의 합
- α_{ij} : 공정(i,j)를 가장 빨리 수행할 수 있는 시간
- β_{ij} : 공정(i,j)를 가장 빨리 완료할 수 있는 시간, 즉 β_{ij} = α_{ij} + P_{ij}
- O_t : t반복에서 스케줄링 가능한 공정들의 집합
- SO_t : t반복에서 스케줄링이 끝난 공정들의 집합
- [X] : max(X, 0)

2-3. 평가척도

- (1) 총 처리시간(Makespan)
MS = max_i{C_i}
- (2) 평균처리시간(Mean Flowtime)
MF = (∑ C_i)/M_i
- (3) 총 순수납기지연시간(Total Tardiness)
TT = ∑ [C_i - D_i]⁺
- (4) 공장 가동율(Shop Utilization)
SU = ∑_i ∑_j P_{ij} / ∑_k F_k

3. 발견적 기법

3-1. 기계선택규칙

공정을 수행할 수 있는 기계가 복수로 주어지는 (대안기계 존재하는) 상황에서의 스케줄링은 먼저 공정을 어떤 기계에서 수행할 것인가를 결정해야 한다. 어떤 공정(i, j)를 수행하는 기계가 특정기계 k로 주어지면 공정(i, j)를 가장 빨리 시작할 수 있는 시간

α_{ij}는 max{a_{ij-1} + P_{ij-1}, U_k}로 쉽게 구할 수 있다.

그러나 공정 (i, j)를 수행하는 기계가 여러대인 경우에 α_{ij}는 max{α_{ij-1} + P_{ij-1}, U_{A_{ij}}}가 된다.

문제는 어떤 기계로 공정(i, j)를 수행하게 할 것인가, 즉 A_{ij}를 결정하는 것이다. 이를 위한 방법으로 다음과 같은 4가지 기계선택 규칙을 제안한다.

- (1) 기계선택규칙 1
공정(i, j)의 대안기계 중에서 (i, j)를 가장 빨리 수행할 수 있는 기계를 선택한다.
즉 min_{k∈SA_{ij}}{U_k}인 기계 A_{ij}^{*}를 선택한다.
- (2) 기계선택규칙 2
(i, j)의 대안기계 중에서 (i, j)를 가장 빨리 시작할 수 있는 시각과 해당기계의 사용가능시간의 차이가 가장 적은 기계를 선택한다. 즉
min_{k∈SA_{ij}}{|α_{ij} - U_k|}인 기계 A_{ij}^{*}를 선택한다.
- (3) 기계선택규칙 3
(i, j)의 대안기계 중에서 k가 수행할 수 있는 공정 수행시간의 합이 가장 적은 기계를 선택한다.
즉 min_{k∈SA_{ij}}{TP_k}인 기계 A_{ij}^{*}를 선택한다.
- (4) 기계선택규칙 4
(i, j)의 대안기계 중에서 기계 k가 수행할 수 있는 공정수가 가장 적은 기계를 선택한다.
즉 min_{k∈SA_{ij}}{TN_k}인 기계 A_{ij}^{*}를 선택한다.

기계선택규칙 1은 기계가 어떤 공정을 수행할 수 있을 때 그 기계가 쉬지 않도록 작업을 할당하고자 함이며, 기계선택규칙 2는 기계의 유휴시간(idle time)을 줄임으로써 공장 가동율을 향상시키고자 하는 것이다. 또 기계선택규칙 3은 작업부하(workload)가 적은 기계일수록 먼저 선택하여 기계들의 작업부하를 균형화하는 것이 목적이며, 기계선택규칙 4는 수행할 수 있는 공정수가 적은 기계를 먼저 선택하여 각 기계가 수행하는 공정 수의 균형화를 이루고자 하는 것이다.

3-2. 할당규칙(P.D.R : Priority Dispatching Rule)

할당규칙은 선택된 기계에 어떤 공정을 할당할 것인가를 결정하는 것으로서 JSS를 위한 많은 할당규칙이 개발되었다[1,6,14]. 이들을 정리하면 [표 1]과 같다.

[표 1] 할당규칙

| P.D.R | Definition |
|-------------|-----------------------------|
| SPT[1] | Shortest Processing Time |
| TW[1] | Total Work |
| MWR[1] | Most Work Remaining |
| LWR[1] | Least Work Remaining |
| MOR[1] | Most Operations Remaining |
| LOR[1] | Least Operations Remaining |
| JS[7] | Job Slack |
| S/RW[7] | Slack per Remaining Work |
| EDD[7] | Earliest Due Date |
| MDD[4] | Modified Due Date |
| ODD[7] | Operation Due Date |
| CR[6] | Critical Ratio |
| MOD[5] | Modified Operation Due Date |
| CEXSPT[16] | Modified Version of SPT |
| Hybrid[15] | MDD & MOD |
| CR-SPT[1] | SPT & CR |
| S/RW-SPT[1] | SPT & S/RW |

Job Shop에서 어떤 할당규칙도 다른 할당규칙을 지배하지 못하며, 더우기 같은 상황에서도 다른 할당

규칙보다 항상 더 좋은 스케들을 얻는 할당규칙은 없는 것으로 알려져 있다[3,16]. 단지 할당규칙에 관한 기존의 연구에서 얻어진 대체적인 결과를 보면 총처리시간을 감소시키기 위한 JSS에서는 각 품목의 남은 가공시간을 고려하는 MWR(Most Work Remaining)이 좋은 결과를 나타내었으며, 평균처리시간을 줄이기 위한 JSS에서는 공정수행시간이 짧을수록 우선 할당하는 규칙 SPT(Shortest Processing Time)가 좋은 결과를 보였다.[2] 한편 납기지연을 방지하기 위한 JSS에서는 공정납기(operation due date) 정보를 사용하는 할당규칙 MOD (Modified Operation Due date)가 좋은 결과를 보였다[1,5].

그런데 공정을 수행하는 대안기계가 있는 경우에는 기존의 할당규칙에 의한 우선순위가 같은 공정이 있을 때 (즉 tie가 발생할 때), 대안기계를 고려하여 새로운 우선순위를 결정하므로써 보다 나은 해를 얻을 수 있다. 여기서 이러한 두가지 새로운 할당규칙을 제시한다.

(1) 새로운 할당규칙 1 (MAAM : Minimum Number of Average Alternative Machine)

공정 (i, j)의 품목 i에서 스케줄링되지 않고 남아 있는 공정들의 평균대안기계 수가 적을수록 먼저 할당한다.

(2) 새로운 할당규칙 2 (MAPT/AM : Minimum Average Processing Time per Alternative Machine)

(i, j)의 품목 i에서 스케줄링되지 않고 남아 있는 공정들의 대안기계 1대당 평균가공시간이 적을수록 먼저 할당한다.

3-3. 휴리스틱 알고리즘

본 연구에서는 각 품목의 시작공정과 시작가능시간이 서로 다르며 대안기계가 존재하는 상황을 고려하여 Baker의 active/nondelay 스케줄 생성방법을 확장한다.

4. 결과비교

4-1. 실험설계

지금까지의 JSS의 연구결과로는 할당규칙에 따라 해의 성능이 달라짐을 보였으며[1,6], 같은 평가척도에 대해서는 문제크기에 따라 해가 그다지 영향을 받지 않음을 볼 수 있었다[3]. 한편 납기와 관련된 평가척도에서는 납기촉박성(due date tightness)에 따라 해의 성능이 영향을 받으며, 특히 납기촉박성이 높을수록 좋은 해를 구하기가 어려움을 보았다[1,16,17].

그러므로 본 연구에서는 비교적 큰 문제를 정하여 각 품목의 납기촉박성을 높게 주며, 앞에서 선택한 4가지 평가척도에 대하여 실험한다. 본 연구에서 제시한 4가지 기계선택규칙과 기존의 할당규칙 및 대안기계를 고려한 새로운 할당규칙 두가지에 관하여 120Mhz인 Pentium Computer를 사용하여 실험하였다.

문제의 크기는 30(품목)×10(공정)×10(기계)로 하고 공정 수행시간은 5~100의 일양분포로써 난수를 발생시켰다. 또 각 공정의 대안기계수는 1~4의 일양분포를 취했으며 각 수준의 문제를 임의로 100개씩

생성하였다.

납기촉박성을 주는 척도로는 EDD규칙을 이용한 active 스케들에서의 총 순수납기 지연시간과 품목의 총가공시간의 비율을 사용하였다. 높은 납기촉박성을 주기 위하여 이 비율을 대략 40%로 하였다. 또 납기는 매개변수 P,Z,R에 대하여 구간 $P(1-Z-\frac{1}{2}R) \sim P(1-Z+\frac{1}{2}R)$ 의 일양분포에서 발생시켰다. 예비실험을 통하여 높은 납기촉박성의 척도에 대한 적절한 매개변수 값으로 P는 총 처리시간, R은 0.4, Z는 0.4를 주었다.

실험순서는 우선 각 평가척도에 대하여 제시된 기계선택규칙을 비교하였는데 기계선택규칙은 선택가능한 공정을 임의로 선택하는 할당규칙 Random과 함께 실험되었다. 각 평가척도에 대하여 좋은 결과를 보인 기계선택규칙을 이용하여 기존의 할당규칙들의 성능을 비교하고, 좋은 결과를 얻은 기존의 할당규칙에 대하여 대안기계를 고려한 할당규칙을 혼합 적용하여 성능의 개선을 시도했다.

4-2. 결과분석

이 절에서는 각 평가척도에 대한 기계선택규칙, 기존의 할당규칙과 대안기계를 고려한 할당규칙들을 각각 100개의 문제에 대하여 실험한 결과를 비교분석하였다.

[표 2]는 먼저 기계선택규칙의 성능을 평가하기 위하여 할당가능한 공정을 임의로 할당하였을 때 4개의 각 기계선택 규칙들이 얻은 가장 좋은 해의 횟수이다.

[표 2] 기계선택 규칙들이 얻은 가장 좋은 해의 횟수

| 기계선택규칙 | 평가척도 | MS | MF | TT | SU |
|--------|------|----|----|----|----|
| 규칙 1 | | 78 | 82 | 80 | 39 |
| 규칙 2 | | 19 | 18 | 20 | 59 |
| 규칙 3 | | 2 | 0 | 0 | 1 |
| 규칙 4 | | 1 | 0 | 0 | 1 |

총처리시간(MS), 평균처리시간(MF) 및 총 순수 납기 지연(TT)에서는 기계선택규칙 1이, 공장자동율(SU)에서는 기계선택규칙 2가 우수함을 보였다. 이는 기계선택규칙 1이 여러 대안기계 중에서 공정을 가장 빨리 시작할 수 있는 기계를 선택함으로써 품목이나 기계의 완료시간을 가능한 빠르게 함으로써 MS, MF 및 TT에 적합한 것으로 보인다. 기계선택규칙 2는 기계의 유휴시간을 줄이고자 하는 것으로써 평가척도 SU에 적합한 것으로 보인다. 기계선택규칙 3과 4는 해의 개선에 그다지 기여하지 못한 것으로 나타났으나 기계부하와 공정수의 균형화에서는 의미를 갖는다고 할 수 있다.

[표 3] 할당규칙들이 얻은 가장 좋은 해의 횟수

| 할당규칙 | 평가척도 | MS | MF | TT | SU | 합 |
|----------|------|----|----|----|----|-----------------|
| SPT | | 5 | 17 | 16 | 2 | 40 ^a |
| TW | | 2 | 13 | 4 | 16 | 35 |
| MWR | | 22 | 0 | 0 | 3 | 25 |
| LWR | | 0 | 14 | 8 | 19 | 41 ^b |
| MOR | | 15 | 3 | 4 | 0 | 22 |
| LOR | | 1 | 5 | 2 | 23 | 31 |
| JS | | 16 | 2 | 3 | 3 | 24 |
| S/RW | | 3 | 3 | 4 | 5 | 22 |
| EDD | | 3 | 4 | 7 | 5 | 19 |
| MD | | 10 | 4 | 5 | 2 | 21 |
| OD | | 3 | 2 | 6 | 19 | 30 |
| CR | | 11 | 11 | 15 | 1 | 38 |
| MCD | | 5 | 3 | 2 | 7 | 17 |
| CESSPT | | 7 | 17 | 14 | 0 | 38 |
| Hybrid | | 3 | 13 | 14 | 4 | 34 |
| CR-SPT | | 12 | 14 | 22 | 1 | 49 ^c |
| S/RW-SPT | | 5 | 17 | 14 | 2 | 38 |

[표 3]는 실험에서 좋은 결과를 보인 기계선택규칙을 적용하여 평가척도별로 100개의 문제에서 각 할당규칙들이 얻은 가장 좋은 해의 횟수이다. [표 2]에서 얻은 결과대로 기계선택규칙 1은 평가척도 MS, MF, TT에서, 기계선택규칙 2는 SU에서 사용되었다.

실험결과 MS에서는 MWR이, MF에서는 SPT와 CEXSPT 및 S/RW+SPT가, TT에서는 CR+SPT가, SU에서는 LOR이 가장 좋은 결과를 나타내었다. 전체적으로 4가지 평가척도에 대하여 가장 좋은 해를 구한 횟수는 할당규칙 CR+SPT, LWR, SPT의 순으로 나타났다.

[표 4]는 각 평가척도에 대하여 100개의 문제에서 기존의 할당규칙들이 구한 가장 좋은 해의 평균과 대안기계를 고려한 새로운 할당규칙 1(MAMM), 2(MAPT/AM)가 구한 해의 평균이다.

[표 4] 기존의 할당규칙과 대안기계를 고려한 새로운 할당규칙의 해의 비교

| 할당규칙 | 평가척도 | MS | MF | TT | SU |
|---------|------|-------|-------|---------|------|
| 기존의 규칙 | | 963.2 | 792.9 | 1,612.6 | 59.5 |
| MAMM | | 962.7 | 792.3 | 1,605.0 | 60.2 |
| MAPT/AM | | 962.7 | 792.3 | 1,605.0 | 60.2 |

기계선택규칙은 [표 2]에서와 같이 MS, MF, TT에서는 규칙 1을, SU에서는 규칙 2를 사용하였다. 할당규칙은 [표 3]에서와 같이 기존의 할당규칙들 중에서 각 평가척도에 대하여 좋은 결과를 보인 할당규칙, 즉 MS에서는 MWR, MF에서는 SPT, TT에서는 CR+SPT, 그리고 SU에서는 LOR을 선택하였다.

실험결과 기존의 할당규칙을 단독으로 적용했을 때보다 대안기계를 고려한 새로운 할당규칙을 혼합 적용하였을 때 더 나은 해를 얻을 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 각 품목의 공정을 수행하는 여러대의 대안기계가 존재하는 상황에서 JSS를 위한 발견적방법을 제시하였다. 제안된 발견적방법의 내용은 active/nondelay 스케줄 생성방법, 특정 공정을 수행할 수 있는 여러대의 대안기계 중에서 어느 하나를 선택하는 기계선택규칙 및 대안기계수에 의해 우선순위를 계산하는 할당규칙 등이다. 제시된 방법의 성능을 평가하기 위하여 4가지 목적함수(총처리시간 MS, 평균처리시간 MF, 총순수납기 지연 TT, 공장가동율 SU)에 대하여 본 연구에서 제안한 4가지 기계선택규칙과 기존의 여러 할당규칙 및 대안기계를 고려하여 새로이 제안한 2가지 할당규칙 (MAMM, MAPT/AM)을 비교하였다.

기계선택규칙에 대한 실험결과 MS, MF 및 TT에서는 규칙 1이, SU에서는 규칙 2가 좋은 해를 보였다. 기존의 할당규칙에 대한 실험결과 MS에서는 MWR이, MF에서는 SPT, CEXSPT, S/RW+SPT 등이, TT에서는 CR+SPT가, 그리고 SU에서는 LOR이 가장 좋은 결과를 보였다. 4가지 평가척도 모두에 대하여 가장 좋은 해를 구한 횟수가 많은 할당규칙은 CR+SPT, LWR, SPT의 순이었다. 새로 제시한 대안기계를 고려한 두 가지 할당규칙(MAMM, MAPT/AM)은 기존의 할당규칙과 혼합 적용될 때 기존의 할당규칙보다 더 좋은

해가 산출됨을 알 수 있었다.

본 연구에서 제시한 발견적방법은 실제 Job Shop 상황에서 여러 가지 평가척도에 대한 스케줄링에 유용하게 사용될 수 있으며 새로운 할당규칙의 개발에도 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Anderson, E. J. and Nyirenda, J. C., "Two New Rules to Minimize Tardiness in a Job Shop", International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 12, pp. 2277-2292, 1990.
- [2] Baker, K. R., *Introduction to Sequencing and Scheduling*, Ch.2-8, John Wiley & Sons Inc., New York, 1974.
- [3] Baker, K. R., "Sequencing Rules and Due-Date Assignments in a Job Shop". Management Science, Vol. 30, 1093-1104, 1984.
- [4] Baker, K. R. and Bertrand, J. W., "A Dynamic Priority Rule for Scheduling against Due-Dates", Journal of Operations Management, Vol. 3, pp. 37-42, 1982.
- [5] Baker, K. R. and Kanet, J. J., "Job Shop Scheduling with Modified Due Dates", Journal of Operations Management, Vol. 4, pp. 11-21, 1983.
- [6] Blackstone, J. H., Phillips, D. T., and Hogg, G. L., "A State-of-Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations", International Journal of Production Research, Vol. 20, No. 1, pp. 27-45, 1982.
- [7] Conway, R. W., "Priority Dispatching and Job Lateness in a Job Shop", Journal of Industrial Engineering, Vol. 16, No. 4, pp. 228-237, 1965.
- [8] Fry, T. D., Philipoom, P. R., and Blackstone, J. H., "A Simulation Study of Processing Time Dispatching Rules", Journal of Operations Management, Vol. 7, No. 4, pp. 77-92, 1988.
- [9] Giffler, B. and Thompson, G. L., "Algorithms for Solving Production Scheduling Problems", Operations Research, Vol. 8, pp. 487-503, 1960.
- [10] Hutchison, J., Leong, K., Snyder, D., and Ward, P., "Scheduling Approaches for Random Job Shop Flexible Manufacturing Systems", International Journal of Production Research, Vol. 29, No. 5, pp. 1053-1067, 1991.
- [11] Kanet, J. J. and Hayya, J. C., "Priority Dispatching with Operation Due Dates in a Job Shop", Journal of Operations Management, 2, 167-175, 1982.
- [12] Kim, Y. D., "A Comparison of Dispatching Rules for Job Shop with Multiple Identical Jobs and Alternative Routings" International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 5, pp. 953-962, 1990.
- [13] Nasr, N. and Elsayed, E. A., "Job Shop Scheduling with Alternative Machines", International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 9, pp. 1595-1609, 1990.
- [14] Panwalkar, S. S. and Iskander, W., "A Survey Scheduling Rules", Operations Research, Vol. 25, No. 1, 1977.
- [15] Raman, N., Talbot, F. B., and Rachamadugu, R. V., "Due Date based Scheduling in a General Flexible Manufacturing System", Journal of operations management, Vol. 8, No. 2, 1989.
- [16] Schultz, C. R., Expediting Heuristic for the Shortest Processing Time Dispatching Rule", International Journal of Production Research, Vol. 21, No. 1, pp. 31-41, 1989.
- [17] Vepsalainen, A. P. J., and Morton, T. E., "Priority Rules for Job Shops with Weighted Tardiness Costs", Management Science, Vol. 33, No. 8, pp. 1035-1047, 1987.
- [18] Wilhelm, W. E. and Shin, H., "Effectiveness of Alternative Operations in a Flexible Manufacturing System" International Journal of Production Research, Vol. 23, No. 1, pp. 65-79, 1985.
- [19] Yamamoto, M., Nof, S. Y., Scheduling/Rescheduling in the Manufacturing Operating System Environment, International Journal of Production Research, Vol. 23, No. 23, p. 705-722., 1985.