

# 수정된 다기준 의사결정을 이용한 흐름방식에서의 작업순서 결정

## - Job sequencing decision in flow shop using revised Multi-Criteria Decision Making Method

안 춘 수\*  
Ahn, choon-soo  
강 태 건\*\*  
Kang, tae-goun  
정 상 윤\*\*\*  
Jung, sang-yun  
홍 성 일\*\*\*\*  
Hong, sung-il

### ABSTRACT

In this paper, we propose a simple and relatively efficient heuristic method to determine job sequencing in the flow-shop considering multiple criteria such as processing time, due date and cost. The proposed method is applicable to the flow-shop where the jobs are released simultaneously and their processing sequence is predetermined and not changed until the whole jobs are processed.

To develop this method, we mixed and modified some well-known multi-attribute decision heuristics such as the simple linear weighting scheme, the lexicographic rule and the 'elimination by aspect' rule. Some computer simulations were conducted to test the efficiency of the proposed method and it has been compared with the SWPT (Shortest Working Processing Time) rule and EDD (Earliest Due Date) rule. The results show that our method is as effective as the traditional ones in terms of mean flow time, tardiness, makespan, cycle time, machine utilization, etc., and proved to be much simpler and more flexible to be used in real situations.

### I. 서 론

오늘날 생산시스템이 복잡해지고 제품에 대한 소비자들의 수요가 매우 다양해짐에 따라 생산방식도 다양하게 되었다. 실제 시스템에 주어지는 환경적 제약과 자원의 제약은 각기

---

\* 동국대학교 산업공학과 박사과정

\*\* 동국대학교 산업공학과 박사과정 수료

\*\*\* 수원전문대 공업경영과

\*\*\*\* 경일대학교 산업공학과

상충되는 이해관계를 갖고 있어서 시스템의 설계 및 평가의 의사결정등 여러 부문에서 의사결정자는 다수의 상반된 이해와 이에 관련된 평가기준들 사이에서 균형과 조화를 유지하며 불확실한 상황에서 시스템 전체의 효율을 높일 수 있는 최선의 대안을 결정해야 하는 의사결정 문제에 직면하게 되었다.

예를 들면 일단의 작업집합을 수행함에 있어 어떤 제품을 먼저 가공할 것인가 하는 작업순서를 결정하고자 할 때 생산성, 비용, 생산의 유연성, 고객과의 신뢰성등 다수의 기준을 고려하여 최선의 시스템을 결정해야 한다. 그러나 생산의 유연성을 높이려하면 생산성이 감소되고, 고객과의 신뢰성을 향상시키려하면 비용이 증가하는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 이들 상충되는 기준들을 적절히 고려하여 의사결정자가 만족할 수 있는 방법을 통하여 최선의 의사결정을 하여야 할 필요성이 대두되고 있다.

그리고, 빠르게 변하는 시장상황에 적용하기 위하여 생산형태를 수시로 바꾸는 것은 어려워므로 다만 어느정도 예측된 상황에서 구성된 시스템이 시장수요의 변화에 얼마나 빠르고 경제적으로 대응하느냐 하는 즉, 유연성이 어느 정도인지가 중요시되고 있다. 또한 실제 현장에서 의사결정자가 주변상황에 대응하여 실시간에 바로 적용할 수 있는 유연성있는 의사결정 방법의 필요성도 높아지고 있다. 생산시스템의 효율을 높인다는 것은 적은 비용으로 최대의 생산을 한다[9]는 것인데 그것이 적용될 수 있는 영역으로는 시스템 설계, 생산계획, 시스템 제어, 일정계획등이 있다. 또한 시스템에서의 유연성을 높인다는 것은 시스템 주변환경의 동적인 상황에 얼마나 경제적으로 대처하느냐 하는 것이다. 이러한 환경적 제약을 해결하면서 최적의 의사결정을 내릴 수 있는 방법들이 최근 많이 연구되고 있다.

생산시스템의 효율을 높이는 방법 중 일정계획문제는 문제의 규모가 커지게 되면 NP-complete 문제가 되어[31] 여러 가지 기준을 동시에 고려하여 최적해를 구한다는 것이 거의 불가능하기 때문에 종래의 일정계획 연구들은 단일기준만을 고려하거나 하나의 기계를만 고려하여 문제의 규모를 축소시켜 최적의 대안을 선택하는 연구가 대부분이다.

그러나 생산형태가 복잡하고 다품종 소량체제로 바뀌어 가면서 소비자들의 다양한 수요를 충족시키고 높은 생산성과 낮은 생산비용의 목적을 달성하기 위해서는 합리적인 접근방법으로 다기준을 고려하여 생산시스템에서의 여러 요인을 충족할 수 있는 절충의 대안을 선택해야 할 것이다. 즉, 생산일정계획에서 생산통제, 작업순서결정등에서 가장 중요한 문제는 하나 이상의 일정계획 기준에 의해 이용가능한 자원을 효과적으로 할당하는 것이다.[22] 또한 현장에서 생산자나 일정을 결정하는 의사결정자들이 쉽게 이해할 수 있고 생산현장의 여건을 충분히 고려하면서 실제로 적용하기 간편한 알고리즘에 대한 연구는 거의 이뤄지지 않고 있다.

실제로 모든 기준을 다 만족할 수 있는 최적의 대안을 선택한다는 것은 불가능하지만 작업의 종류나 현장의 환경조건에 따라 의사결정자가 중요하다고 생각되는 기준들을 종합적으로 고려하여 작업의 순서를 결정한다면 단일 기준을 고려한 방법보다 더욱 신뢰할 수 있는 의사결정이 될 수 있을 것이다. 왜냐하면 단일의 기준만을 고려한 경우 다른 기준에 대한 정보의 무시는 선택된 대안에 대한 불신의 결과를 초래할 수 있기 때문이다. 즉, 작업의 순서를 결정할 때 제조시스템에 가장 큰 영향을 미치는 변화요소들을 의사결정자가 자신의 경험과 직관 및 정보를 최대로 활용하여 동시에 고려한다면 그 결과에 대해서 보다 신뢰할 수 있고, 동적 환경에 대처하며 다수의 비용요소를 조금이나마 포괄적으로 고려한 효율적 생산시스템에서의 의사결정이기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 높은 생산성을 유지하면서 시장의 급속한 환경변화에 능동적으로 대처해야 하는 흐름생산방식에서의 일정계획 문제중 작업의 순서를 결정하는데 있어서 단일의 기준만을 고려하지 않고 생산시스템에 영향을 미치는 여러개의 상충된 기준을 동시에

고려하고 동적인 주변상황을 의사결정자의 주관적 선호에 의해 상황 상황마다 유연하게 반영하여 생산시스템의 효율을 증가시킬 수 있고 현장에서 쉽게 적용할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

## II. 선행연구 고찰

흐름생산방식에서의 일정계획문제에 대한 접근법은 전통적으로 수리적인 최적화 기법과 최적의 대안은 아니지만 빠른 시간 안에 효과적인 해를 찾는 발견적 기법, 그리고 최근에 새롭게 연구가 되고 있는 지식기반 접근법으로 나뉘어 질 수 있다.

### 2.1 최적화 기법

전통적 OR기법인 최적화 기법은 선형계획법, 정수계획법, 분지한계법으로 나눌 수 있다. 이 접근법은 수리적인 프로그래밍기법의 적용을 시초로 연구의 방향이 분지한계법으로 이어지고 있다. 2-기계 문제에 대한 Ignal & Scharag[18]의 분지한계법을 효시로 Bansal[10], Adiri & Pohoryles[6], Szwarc[32] 그리고, Ahmadi & Bagchi[7]등의 연구가 이 부류에 속한다.

최적화 기법은 기계의 이용률, 기계부하의 평균화, 시간상의 척도들을 목적함수로 하고 각종 자원의 가용한계와 납기등을 제약조건으로 하여 목적함수를 최대화하는 기법으로 최적해를 도출할 수 있는 장점을 지닌 반면에 너무 복잡하고 긴 계산시간이 소요되고, 제조현장의 잦은 변화수요에 실시간으로 대처하기 어렵기 때문에 현장에서의 일정계획에 대한 의사결정에 적합하지 않다. 따라서 이 접근법을 응용한 연구들은 대체로 문제를 단순화 시켜서 해를 찾으려 하였다.

#### (1) Ignall & Saharge의 알고리즘[18]

이 알고리즘은 기계가 3대인 작업장에 있어서의 작업의 순서를 결정하는 알고리즘으로써 기계의 한계를 설정하여 그 중 최대 한계치를 비교하여 작업의 순서를 결정하였다.

#### (2) Rho & Kim의 알고리즘[19]

이 알고리즘은 제한된 지역적 버퍼를 갖는 시스템에서의 운영적 통제 문제를 다루었다. 수행도 척도로 고려된 것은 총작업시간, 평균흐름시간, 평균납기 지연, 그리고 시스템 이용도 등이다. 선형계획법 모델을 사용하여 고려된 척도들의 목적을 최소화하였다.

#### (3) Sen, & Gupta의 분지한계법[32]

이 알고리즘은 두 개의 일정계획에 대한 척도들의 목적을 선형조합을 응용하여 최적 일정계획을 확정하려고 시도하였으나 제시된 문제의 한계 때문에 문제의 규모가 커지면 해를 구하기 어렵다는 단점이 있다.

### 2.2 발견적 접근법

이 접근법은 Campbell et al.[11], Dannenbring[12], Nawaz et al.[22], Ho & Chang[17] 등에 의해 제시되었다. 최적화 기법이 문제의 규모가 커지면 계산량의 지수적 증가로 인하여 해를 도출하지 못하는 반면, 발견적 접근법은 비록 최적해를 얻지는 못하지만 적은 계산량으로 빠른 시간내에 근사최적해를 얻을 수 있다는 장점이 있다.[4] 그러나 문제의 규모와 실행시간의 지수적인 비례증가로 인해 복잡한 시스템에서의 적용은 어렵다.

이 접근법은 실제 작업장에서 예견되는 동적 그리고 확률적 상황이 고려되지 않는 정적 흐름생산방식 문제를 가정하여 연구 되었다.

## (1) NEH 알고리즘[22]

Nawaxz et al.에 의해 제안된 알고리즘으로서 NEH 알고리즘이라고도 한다. 전체 작업 시간을 내림차순으로 정렬하여 이를 작업의 투입순서로 정하고 그 순서에 따라 기존의 부분 일정에 삽입하여 총작업시간을 최소화하는 가장 좋은 일정계획을 찾아 나가는 방법이다. 즉, 작업의 추가공시간 크기는 작업순서결정에 중요한 영향을 미친다는 가정에 근거를 두고 먼저 작업의 추가공시간들이 증가하지 않는 차례로 순서가 부여된 작업의 집합으로부터 처음 2개의 작업을 가지고 구성할 수 있는 모든 부분순서중 최소의 총처리시간을 갖는 최적 부분순서를 결정한 다음 현재의 최적 부분순서에서 작업의 상대적 위치를 지키면서 집합으로부터 다음 차례의 작업을 현재의 최적부분 순서의 모든 가능한 위치에 첨가하여 얻어진 새로운 부분순서 가운데서 최적의 부분순서를 선택하는 절차를 반복하여 모든 작업의 작업순서를 결정하는 방법이다..

## (2) Rajendran의 알고리즘[26]

Rajendran에 의해 제안된 이 알고리즘은 NEH알고리즘을 변형시켜 평균 흐름시간 최소화 목표에 적합하도록 재구성하였다. 즉, NEH알고리즘에서 총 작업시간에 따른 내림차순과는 달리 가중치를 적용한 총작업시간의 오름차순으로 정하였으며 작업 투입 경우의 수를 제한하여 알고리즘의 속도를 향상하였다.

## (3) CDS 알고리즘[11]

이 알고리즘은 Johnson의 규칙[9]을 수정한 방법으로써 M기계 문제를 (M-1)개의 2기계 문제로 분리하여 Johnson의 알고리즘을 적용하였다. 즉 (M-1)개의 스케줄을 M기계 문제에 다시 적용하여 그 중 가장 좋은 스케줄을 선택하는 방법이다.

## (4) McCahon의 알고리즘[21]

이 알고리즘은 가공시간이 명백히 알려져 있지 않는 흐름 생산방식에서의 CDS 알고리즘을 적용하여 평균흐름시간과 총 작업시간을 수행적으로 알려져 있지 않는 가공시간을 Fuzzy Number를 이용하여 가공순서를 결정하였다.

## (5) Spac1 알고리즘[20]

King과 Spachis는 총 처리시간을 최소화하는 것은 기계의 총유휴시간을 최소화하는 것과 동일하다는 주장을 근거로 Spac1 기법을 개발하였다. 작업순서는 작업과 작업사이의 지연을 최소화시키면서 결정된다고 하였다.

## (6) Gelders &amp; Sambandam의 발전적 기법[14]

Gelders와 Sambandam은 작업의 늦음(lateness)과 가공을 위해 작업이 기다려야 하는 총시간의 두 가지 요인을 이용하여 정의되는 독촉지수(dispatching Index)에 의거한 작업순서 결정기법을 소개하였다.

## 2.3 지식기반 접근법

일정계획 분야에서 정수계획법, 동적계획법, 또는 분지한계법과 같은 전통적인 OR기법은 계산상의 문제점 때문에 적용이 어려우며 발전적 기법들은 실행시간이 문제의 크기에 지수적으로 비례하기 때문에 규모가 큰 문제에서는 현장에서 아직도 적용하기 어려운 상태이다. 이런 문제점을 해결하기 위해 최근 인공지능이나 전문가 시스템을 이용한 지식기반 접근법의 연구가 수행되고 있다. 지식기반 접근법은 인공지능의 방법, 전문가 시스템을 응용한 방법으로 나뉘어 진다.

## (1) Arizono의 알고리즘[8]

작업들의 흐름시간의 합을 최소화하기 위한 스케줄링문제에 확률신경망을 적용한 방법을 제시하였다.

(2) ISIS(Intelligent Scheduling and Information System)[13]

인공지능에서 사용되는 탐색 기법중 빔탐색을 이용하여 개별 생산방식을 대상으로 납기, 비용, 자원의 제약조건을 동시에 만족하는 작업처리시간을 단축하기 위한 시스템이다.

(3) ISA(Intelligent Scheduling Assistant)[23]

미국 Digital Equipment Corp.에서 이용되고 있는 전문가 시스템으로 재형성 기능을 이용하여 일정계획 수립에 걸리는 시간의 단축을 목적으로 한 시스템이다.

아직은 일정계획분야에서 전문가 시스템을 일정계획수립자로 완전히 대체할 수는 없다. 왜냐하면 동적인 상황에 유연하게 적용 되지 않기 때문이다. 앞으로의 지식기반 접근법에서의 연구과제는 유연성을 가지고 새로운 문제에 쉽게 적용되며 동시에 여러개의 방법을 제시할 수 있도록 해야 한다. 아직까지 인공지능이나 전문가 시스템은 초보단계로서 현장에서 이용가능한 시스템은 많지 않으며 적용에 있어서도 경제성 여부에 대한 충분한 검토와 분석이 선행되어야 한다.

### III. 수정된 다기준 의사결정 방법

#### 3.1 다기준 의사결정방법을 이용한 작업순서결정

흐름생산 방식에서의 작업순서를 결정하기 위한 기존의 연구들은 단일의 기준만을 고려하거나, 다수의 기준을 고려하더라도 문제의 규모를 축소시켜서 해를 도출하고자 하였다. 실제로 현장에서 작업의 순서를 결정하는데 있어서 다수의 기준을 고려하는 다요소 의사결정 상황이 자주 발생한다. 이러한 문제의 만족할만한 해결방법은 아직까지도 제시되지 않고 있다. 단지 문제를 단순화 시키거나 단일의 기준만을 고려하였거나, 또는 단일의 기준을 기본으로 하는 다수의 수행도를 비교만 하였으며[5] 현장에서의 적용가능성에 대한 연구는 아직도 미흡한 실정이다. 즉, 복잡하고 어려운 수리식과 이론때문에 의사결정자가 이해하기가 어려워 현장에서 실시간에 쉽게 사용하는데 문제점이 따른다. 이러한 문제점들을 해결하고자 본 연구에서는 다기준 의사결정방법을 제시하고자 한다.

다기준 의사결정이란 여러 상반된 기준들을 고려하여 의사결정을 내리는 것을 의미한다. 이런 다기준 의사결정 문제는 우리 주위에서 자주 접하게 되는데 제조현장에서도 제품을 가공할 때 시간을 기준으로 한 생산성, 고객과의 신뢰를 기준으로 하는 납기, 비용등 여러 기준을 고려하여 제품의 가공순서를 결정하여야 한다. 이처럼 광범위하고 복잡한 문제를 해결하여 최적의 의사결정을 내리기 위한 방법에는 여러가지 다기준 의사결정 방법들이 있다. 그러나 현장에서 의사결정자가 실시간에 유연하게 작업의 순서를 결정하기 위해서는 보다 이해하기 쉽고 사용이 간편한 방법이 제시되어야 한다.

본 연구에서는 여러가지 다기준 의사결정 방법들 중에서도 간단하고 이해하기 쉬운 의사결정 방법을 응용하여 제시된 문제에 적용하였다. 제시된 발견적 방법에 응용된 다기준 의사결정 방법은 다음과 같다.

##### 3.1.1 단순가중치 방법(Simple weighted Method)[2]

단순가중치 방법은 점수 모형의 한 방법으로써 의사결정자가 각 요소에 대한 상대적인 가중치를 기수로 제공하며 요소변환과 표준화 방법을 이용하여 요소들간의 평가치를 비교하는 것이다. 각 대안에 대한 총 점수는 각 요소의 표준화된 평가치에 요소의 가중치를 곱해 모든 요소에 대해 합을 구하면 된다. 이런 방법으로 각 대안에 대한 총 점수가 구해지면 의사결정자는 가장 큰 점수를 갖는 대안을 선택하면 된다.

### 3.1.2 사전식 방법(Lexicographic Method)[1]

어떤 의사결정 상황에서는 여러 요소 중 한 요소가 특별히 중요할 수 있다. 예를들면 성능, 내구성, 외관이라는 속성을 갖는 여러 대안들중에서 성능이 가장 중요한 속성이고, 그 다음 중요한 속성은 내구성, 다음은 외관이라고 하였을 때 속성의 중요도에 따라 속성들간에 순서를 정하고 이 순서에 따라서 대안을 비교하는 방법이 사전식 방법이다. 이 방법은 가장 중요한 속성에 대해 평가치를 비교하여 가장 좋은 대안을 선택하며 유일한 대안이 선택되지 않았을 때에는 그 다음 중요한 속성을 고려하여 대안들을 비교한다. 이와 같은 방법으로 유일한 대안이 선택되거나 모든 속성이 고려될 때까지 반복한다. 이 방법은 단순하고 이해하기 쉬우며 정성적인 값을 갖는 속성의 비교에 적용할 수 있는 방법이다.

### 3.1.3 속성별 제거 방법 (Elimination by Aspect)[24]

속성의 집합으로 이루어진 대안들 가운데서 의사결정자가 각 속성에 대해 최저 요소치 값을 결정하여 각 속성의 중요도 순서에 따라서 최저 요소치를 만족하는 대안은 남겨두고 만족하지 않는 대안은 제거해 나가는 방법이다. 속성을 모두 고려한 후에도 복수의 대안이 있는 경우에는 속성의 중요도 순서에 따라 속성값을 비교하여 가장 좋은 속성의 값을 갖는 대안을 선택한다든지 하는 다른 기준을 적용해야 한다.

## 3.2 발견적 방법의 제시

본 연구에서는 최적 일정계획을 달성하기 위한 기준들 중 생산성을 기본으로 하는 기준, 납기를 기본으로 하는 기준, 비용을 기본으로 하는 기준을 동시고려하여 단일 기준을 고려했을때의 결과와 비교 평가하였다. 생산성을 바탕으로 하는 시간의 측면에서는 평균 흐름시간, 총처리시간을, 고객과의 신뢰성을 바탕으로 하는 납기의 측면에서는 납기의 지연시간을, 경제성을 바탕으로 하는 비용의 측면에서는 시스템내에 체류하고 있는 제품들의 손실비용을, 그리고 기계의 이용율을 평가척도로 모의실험을 하였다.

의사결정자의 주관적인 선호에 의해 각 기기준에 가중치를 주어 의사결정자의 만족의 성취도와 시스템의 유연성을 높이고, 의사결정자가 일정계획을 세우고자 할 때 보다 쉽고 이해하기 쉬운 발견적 방법을 개발, 작업순서 결정에 있어서 편리한 지침이 되도록 하였다. 제시된 발견적 방법은 다기준 의사결정방법 중 사전식 방법 그리고, 속성별 제거 규칙을 혼합, 수정한 방법이다.

### 3.2.1 대상문제

본 연구에서 제안하는 일정계획 기법은 다음과 같은 문제를 적용대상으로 하였다.

흐름생산방식의 작업장에  $n$ 개의 작업이 거의 동시에 도착하였을 경우  $m$ 대의 기계에 작업을 투입하기 전에 의사결정자 즉, 일정계획수립자가 주어진 문제와 관련한 여러가지 정보와 주관적 판단을 활용하여 다수의 기준을 고려해서 작업의 순서를 결정하는 것이다. 한번 결정된 작업의 순서는 제품의 가공이 완료될 때까지 변하지 않으며 단일방향으로 가공이 이루어진다고 가정한다. 또한 작업의 가공시간은 과거의 자료를 토대로 의사결정자가 예측할 수 있으며 실시간에 바로 작업의 순서를 결정해야 하는 상황이라고 가정한다.

입력자료로써 각 작업이 각각의 기계에서 가공되는데 걸리는 시간의 분포는 일정계획자나 작업자의 경험과 과거 자료를 이용하여 상한값, 하한값, 최빈값을 이용하여 구할 수 있다. 즉, 가공시간이 취할 수 있는 값의 범위(최소값, 최대값)를 알고 특정한 값(최빈값)이 자주 발생할것으로 예측된다면 이것을 이용하여 가공시간의 기대값을 구할수 있는 상황으로 삼각분포나 베타분포를 가정할 수 있다. 본 연구에서는 가공시간에 대한 분포를 시불

레이션시 적용이 간편하고 작업자의 이해가 보다 쉬운 삼각분포로 가정하며, 납기일과 단 제품당 이익의 값도 확정적으로 알 수 있다고 가정한다.

### 3.2.2 제시된 발전적 방법의 단계

(1) 본 연구에서 제시하는 일정계획 방법을 단계별로 약술하면 다음과 같다.

단계 1. 가공시간의 기대값과 납기, 단위제품당 이익등 각 속성에 대한 입력자료를 0부터 1사이의 값으로 표준화한다.

단계 2. 각 속성별로 표준화된 값을 일정범위로 나누어 몇 개의 그룹으로 분류한다. 예를 들어 0.7부터 1까지의 값을 갖는 경우는 1그룹, 0.4부터 0.7까지의 값을 갖는 경우는 2그룹, 0부터 0.4까지는 3그룹등으로 분류한다.

단계 3. 고려하고자 하는 속성들을 중요도에 따라 순위를 매긴다.

단계 4. 작업들의 투입순서를 속성의 중요도 순위에 따라 사전식으로 결정한다. 즉, 중요도가 제일 높은 속성의 1그룹으로 분류된 작업들을 우선적으로 투입하며 1그룹으로 분류된 작업이 다수일 때는 두 번째 중요한 속성을 고려하여 그룹순위가 높은 것을 우선적으로 투입한다. 아직도 둘이상의 작업이 동률을 이룬다면 세 번째 중요한 속성을 같은 방법으로 고려하여 순서를 정하는 과정을 계속한다.

단계 5. 단계4의 방법을 통하여 모든 작업의 투입순서가 결정되면 종료한다. 단, 모든 속성을 다 고려한 후에도 동률의 작업이 남아있는 경우에는 다른 의사결정기준을 적용해야 한다. 예를들어 단순가중치 방법을 동률인 작업들에 대해 적용한다거나, 제일 중요도가 높은 속성의 표준화된 값이 가장 큰 것을 우선적으로 투입한다든지 하는 간단한 기준들을 추가적으로 적용한다.

(2) 본 연구에서는 제시된 방법과의 비교를 위해 단순가중치 방법도 병행하여 적용하였다. 단순 가중치 방법은 생산 현장의 일정계획 문제에 자주 사용되지 않는 방법이나 일정 계획 수립자가 속성별 중요도를 기수로 제공할 수 있을 때는 본 연구에서 제시된 방법과 마찬가지로 현장에서 실시간에 적용할 수 있는 간편한 방법이다.

단순가중치 방법을 단계적으로 설명하면 다음과 같다.

단계 1. 고려하고자 하는 각 속성의 중요도를 0부터 1사이의 값으로 총합이 1이 되게 결정한다.

단계 2. 각 작업에 대하여 속성별로 속성의 중요도와 표준화된 속성값을 곱하여 선형가중합을 구한다.

단계 3. 선형 가중합의 크기에 따라 작업의 투입순서를 결정한다.

## IV. 적용에 및 결과 분석

### 4.1 적용 예

제시된 방법과 단순가중치 방법, 그리고 단일 기준만을 고려한 기존 방법인 SWPT(Shortest Working Processing Time)법과 EDD(Ealiest Due Date)법을 비교하기 위하여 10개의 작업(n=10)과 4대의 기계(m=4)가 있는 가상의 문제에 각 방법을 적용하여 보았다.

입력자료로 사용된 각 작업의 가공시간, 납기, 단위제품당 이익의 값은 다음표와 같다.

작업	가 공 시 간				납기	단위제품당 이익
	기계1	기계2	기계3	기계4		
J1	3.66	15	4.33	20	35	150
J2	16.66	25	10.66	10	12	200
J3	15	6.33	50	6.66	15	100
J4	3	40	21.66	5.33	50	15
J5	36.66	40	5.33	2.33	25	350
J6	200	143.33	7.33	8	45	600
J7	9.33	5	30	100	40	1000
J8	5.66	10	15.66	533.33	30	550
J9	36.66	19.33	20	30	20	500
J10	76.66	200	7	60	10	700

[ 표 4 - 1 ]

특히, 가공시간의 경우 얻을 수 있는 원래의 자료는 각 기계에서의 작업시간에 대한 상한값과 하한값 그리고 최빈값이 되겠으나, 위의 표4-1에 나온 수치는 이 값들을 이용해서 구한 가공시간의 기대값을 나타낸 것이다. 가공시간의 기대값은 삼각분포를 가정하여

$$\text{기대값} = (\text{하한값} + \text{최빈값} + \text{상한값}) / 3$$

으로 구한 것이다. 예를들어 작업1의 경우 기계1에서 가공되는 시간의 하한값과 상한값, 최빈값을 각각 1, 10, 5로 얻었다면 기대값은

$$(1 + 5 + 10) / 3 = 3.66$$

이 된다.

기타 납기와 단위제품당 이익은 확정된 값으로 얻었다고 가정한다.

#### 4.1.1 제시된 방법의 적용 예

단계 1. 표4-1의 입력자료를 이용하여 각 속성별로 속성값을 표준화 한다. 우선 가공시간은 네 대의 기계에서의 가공시간을 각 작업별로 합하여 그 합이 가장 작은 것에 1의 값을 부여하고 가장 큰 것에 0의 값을 부여한 후 그 사이의 값들에 대해서는 0 또는 1이 부여된 값으로부터의 상대거리에 비례하도록 0부터 1사이의 값을 부여한다. 이것은 최소 총 가공시간 규칙에서와 같이 총 가공시간이 가급적 짧은 것이 먼저 가공되는 것이 바람직하다는 원칙을 따른 것이다. 납기나 단위제품당 이익에 대해서도 같은 방식으로 0부터 1사이의 값으로 속성값을 표준화 시킨다.

예를들어 납기의 경우 납기가 짧은 것일수록 먼저 가공하는 것이 바람직하므로 속성값 10으로 납기가 가장 짧은 작업10에 1의 값을 부여하고 속성값 50으로 납기가 가장 긴 작업4에 0의 값을 부여한 다음 나머지 작업의 속성값도 이를 기준으로 표준화 한다. 이를테면 작업1의 표준화된 값은

$$(50 - 35) / (50 - 10) = 0.375$$

가 된다.



이상과 같은 방법으로 모든 속성값을 표준화 시킨 결과는 표4-2와 같다. 단위제품당 이익은 큰 값을 갖는 작업을 먼저 가공한다는 원칙을 적용하였다.

작업	표준화값		
	가공시간	납기	단위제품당 이익
J1	1	0.375	0.137
J2	0.96	0.95	0.188
J3	0.93	0.875	0.086
J4	0.94	0	0
J5	0.92	0.625	0.34
J6	0.39	0.125	0.594
J7	0.8	0.25	1
J8	0	0.5	0.543
J9	0.88	0.75	0.492
J10	0.42	1	0.7

[ 표 4 - 2 ]

단계 2. 각 속성별로 표준화된 값을 일정범위로 세 그룹으로 분류한다. 즉, 표4-2의 표준화 값에서 0.7부터 1사이의 값을 갖는 작업은 1그룹에, 0.4부터 0.7사이의 값을 갖는 작업은 2그룹에, 0부터 0.4사이의 값을 갖는 작업은 3그룹으로 각 속성별로 분류하면 표4-3, 4-4, 4-5와 같다. 그룹의 수가 반드시 3이어야 할 이유는 없다. 속성의 수와 작업의 수에 따라 일부 속성만 고려되는 일이 없도록 그룹의 수를 조절할 수 있다. 이를테면 작업의 수가 많고 속성의 수가 적으면 그룹의 수를 늘리는 것이 바람직하고 반대로 작업의 수는 적고 속성의 수가 많으면 그룹의 수를 줄이는 것이 바람직하다.

( 가공시간 )

그룹	작업
1	J1, J2, J3, J4, J5, J7, J9
2	J10
3	J6, J8

[ 표 4 - 3 ]

( 단위제품당 이익 )

그룹	작업
1	J7, J10,
2	J6, J8, J9
3	J1, J2, J3, J4, J5

[ 표 4 - 4 ]

( 납 기 )

그룹	작업
1	J2, J3, J9, J10
2	J5, J8
3	J1, J4, J6, J7

[ 표 4 - 5 ]

단계 3. 각 속성 가공시간, 납기, 단위제품당 이익 중 의사결정자가 주관적 판단에 의해 가장 중요한 속성은 가공시간, 다음으로 중요한 속성은 단위제품당 이익이며 마지막으로 중요한 속성이 납기라고 결정한다면 이것으로 속성의 중요도 순위를 매긴다.

단계 4. 가장 중요한 속성인 가공시간에서 그룹1에 속하는 작업은 J1, J2, J3, J4, J5, J7, J9이다. 동물의 작업이 있으므로 그 다음 중요한 속성인 단위제품당 이익의 그룹1에 속하는 작업들 J7, J10과 비교하여 공통으로 존재하지 않는 작업은 제거한다. 예를들면 J7만이 공통으로 존재하며 J1, J2, J3, J4, J5, J9는 공통으로 존재하지 않으므로 제거시키고 J7을 투입 1순위로 한다. 다음에는 나머지 작업들을 비교한다. 즉, J1, J2, J3, J4, J5, J9 중 다시 단위제품당 이익의 그룹2와 비교하여 앞서와 같은 방법으로 투입작업을 선택한다.

단계 5. 모든 속성을 고려한 후에도 동물의 작업이 있는 경우는 속성의 중요도 순서에 따라 표준화 된 값을 비교하여 가장 높은 값을 갖는 작업을 최종적으로 선택한다. 예를들면 작업 J2, J3은 세 속성을 비교하여도 동물이므로 가장 중요한 속성인 가공시간의 표준화값을 비교하여 큰 값을 갖는 작업을 우선으로 투입한다. 작업2는 표준화값이 0.96이며 작업3은 표준화값이 0.93이므로 표준화값이 큰 작업2를 우선투입순위로, 작업3을 다음 투

입순위로 결정한다. 위와 같은 방법으로 나머지 작업들의 순서를 결정하는 과정을 반복한다.

제시된 방법에 의해 최종적으로 결정된 작업의 투입순서는 J7→J9→J2→J3→J5→J1→J4→J10→J8→J6이다.

4.1.2 단순 가중치 방법의 적용예

단계 1. 본 예에서 고려하는 세가지 속성, 즉 작업의 가공시간, 납기, 단위제품당 이익에 대해 일정계획자가 주관적으로 판단한각 속성의 중요도는 다음과 같이 얻어졌다고 하자.

고려속성	중요도
작업의 가공시간	0.5
납 기	0.2
단위제품당 이익	0.3

[ 표 4 - 6 ]

단계 2. 표4-6에서의 각 속성별 중요도와 표4-2의 표준화값을 곱하여 더한 선형 가중합을 구한다. 예를들면 작업1의 선형 가중합은

$$1 \times 0.5 + 0.375 \times 0.2 + 0.137 \times 0.3 = 0.62$$

이다.

이와 같은 방법으로 각 작업의 선형 가중합을 구한 결과는 표4-7과 같다.

작업	선형 가중합	순위
J1	0.62	6
J2	0.73	3
J3	0.67	5
J4	0.48	8
J5	0.69	4
J6	0.40	9
J7	0.75	1
J8	0.27	10
J9	0.74	2
J10	0.61	7

[ 표 4 - 7 ]

단계 3. 표4-7의 각 작업의 선형 가중합이 큰 값을 우선순위로 작업의 투입순서를 결정한다. 단순가중치 방법에 의해 결정된 작업의 투입순서는 J7→J9→J2→J5→J3→J1→J10→J4→J6→J8 이다.

4.2 모의실험을 통한 기존 방법과의 비교 분석

단순가중치 방법(LWM)에 의해 도출된 작업순서는 작업의 수(n)가 5인경우는 J5→J2→J1→J4→J3이고 작업의 수가 10인경우는 J7→J9→J2→J5→J3→J1→J10→J4→J6→J8이며, 사전식 방법과 속성별 제거규칙에 의한 방법을 혼합 수정한 제시된 발견적 방법에 의해 얻어진 작업 순서는 작업의 수가 5인경우는 J5→J2→J4→J1→J3, 작업의 수가 10인경우는 J7→J9→J2→J3→J5→J1→J4→J10→J8→J6이다.

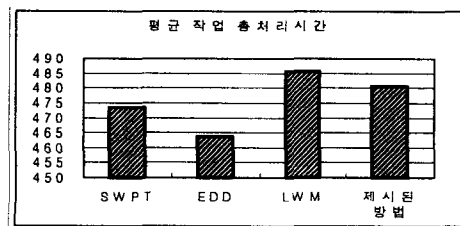
위의 작업순서 결과와 최단 총처리시간 규칙(SWPT)에서 얻어진 작업순서 J1→J2→J4→J3→J5→J9→J7→J10→J6→J8(n=10), J2→J4→J1→J5→J3(n=5) 과 최저 납기 규칙(EDD)에서 얻어진 작업순서 J10→J2→J3→J9→J5→J8→J1→J7→J6→J4(n=10), J3→J2→J4→J5→J1(n=5) 을 모의실험하여 평균 흐름시간, 작업 총처리시간, 주기시간, 납기의 지연시간, 최대 작업지연시간, 시스템내에 머무르고 있는 제품의 손실비용, 기계의 이용률을 평가척도로 하여 비교, 분석하였다. 작업 총 처리시간은 총 생산시간이라고도 불리며 각 기계 및 전체 시스템의 사용도와 직접적 관련이 있다. 첫 번째 작업이 투입되는 시점에서부터 마지막 작업이 완료되어 나온 시점까지의 차이를 나타낸다. 평균 흐름시간은 기계 이용율의 평준화, 최종 작업과 재공품재고의 회수율등과 같은 생산활동에 있어서의 중요한 목표를 대변하는 성능 평가수단으로 각 작업이 시스템에 머무르는 시간을 의미한다. 납기지연은 작업의 완료시간이 납기를 초과하므로써 발생하는 경우 고객과의 약속을 이행못하여 생기는 정성적인 비용으로써 각 작업의 가공완료시간에서 납기를 뺀 것을 의미한다. 주기시간은 재공품재고의 양과 기계의 이용율과 관계가 있는 척도로써 각 작업이 작업장에서 소요되는 작업들간의 시간간격을 의미한다. 시스템내에 머무르고 있는 제품의 손실비용은 작업이 시스템에 오래 체류할수록 단위제품당 이익에 비례하는 손실비용이 발생한다.

모의실험에서는 각 작업이 삼각분포를 따른다고 가정하여 각 작업의 가공시간을 랜덤하게 발생시킨 다음, 위의 네가지 방법으로 구한 작업순서대로 작업을 하는 경우 각 평가척도가 어떻게 나타나는지 작업의 수(n)를 5개, 10개로 늘려가면서 비교하였다. 기계앞에 대기할 수 있는 제품의 양은 무한하다고 가정하였으며 각 수행도의 결과들이 신빙성이 있도록 10,000번의 모의실험을 실행하여 각 평가척도별로 평균을 구하였다.

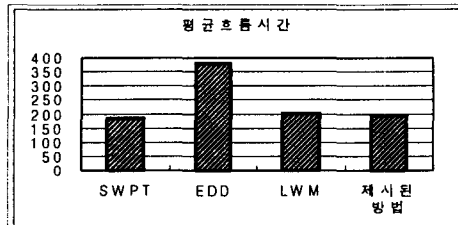
4.2.1 모의실험의 결과 분석

기존의 방법인 최단 총 처리시간 규칙은 시간적인 측면에서 작업 총 처리시간과 평균 흐름시간, 평균 납기 지연시간을 최소화시킬 수 있으며, 최저 납기 규칙은 납기위주의 측면에서 최대 납기지연이 고려되는 방법이다. 그러나 위의 방법들도 기계의 수가 많거나 각 기계에서의 가공시간의 변동이 크다면 꼭 원하는 기준을 최소화 시키지는 않는다. 다만 이 방법들은 가장 널리 사용되고 있고, 어느 정도의 좋은 수행결과를 갖는 방법이므로 비교대상으로 삼았다. 또한 단순가중치 방법은 적용가능이 쉬운 의사결정 방법으로서 적용가능성의 측면에서 비교대상으로 삼았다. 제시된 방법은 시간적인 측면에서 최단 총가공시간 규칙보다 좋은 결과를 나타냈으며 납기의 면에서도 최저 납기규칙보다 우월한 결과를 보여 주었다.

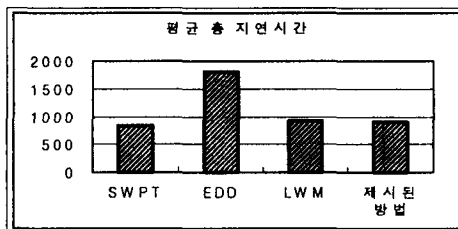
다음은 모의실험을 통한 수행도의 결과들을 도표를 통하여 비교하였다.



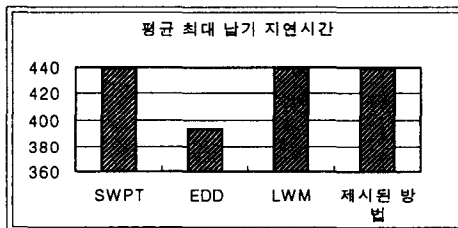
[ 그림 4 - 1 ] 평균 작업 총 처리시간에 대한 수행도 결과(n=5)



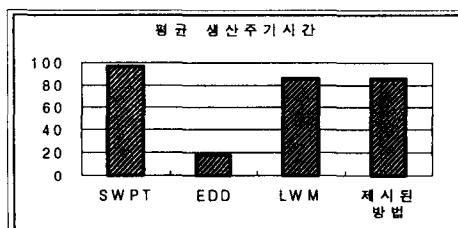
[ 그림 4 - 2 ] 평균 흐름시간에 대한 수행도 결과(n=5)



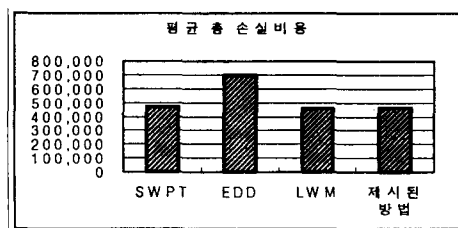
[ 그림 4 - 3 ] 평균 총 지연시간에 대한 수행도 결과(n=5)



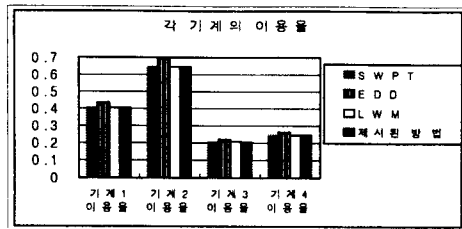
[ 그림 4 - 4 ] 평균 최대 납기 지연시간에 대한 수행도 결과(n=5)



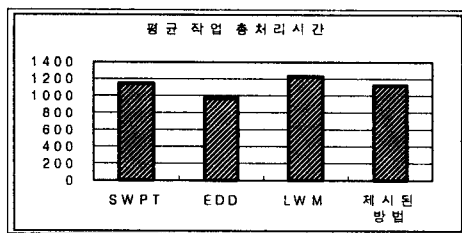
[ 그림 4 - 5 ] 평균 생산 주기시간에 대한 수행도 결과(n=5)



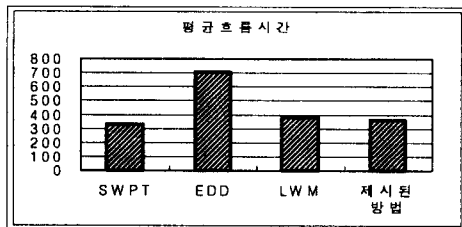
[ 그림 4 - 6 ] 평균 총 손실비용에 대한 수행도 결과(n=5)



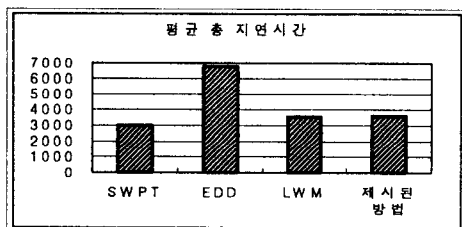
[ 그림 4 - 7 ] 각 기계의 이용율에 대한 수행도 결과(n=5)



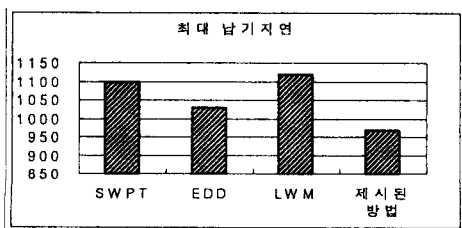
[ 그림 4 - 8 ] 평균 작업 총 처리시간에 대한 수행도 결과(n=10)



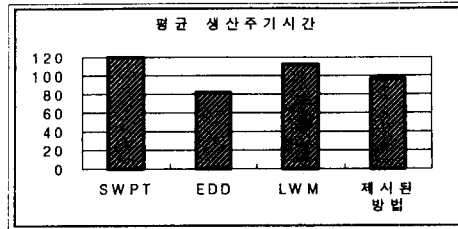
[ 그림 4 - 9 ] 평균 흐름시간에 대한 수행도 결과(n=10)



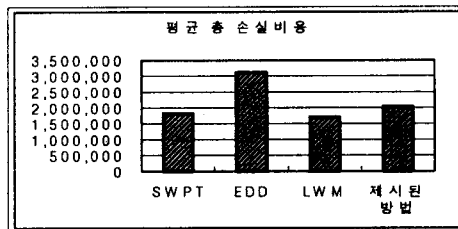
[ 그림 4 - 10 ] 평균 총 지연시간에 대한 수행도 결과(n=10)



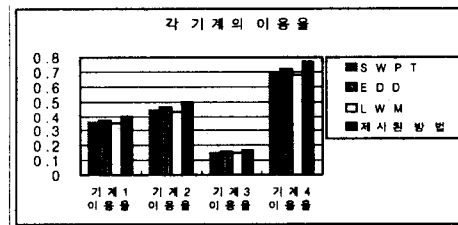
[ 그림 4 - 11 ] 평균 최대 납기 지연시간에 대한 수행도 결과(n=10)



[ 그림 4 - 12 ] 평균 생산 주기시간에 대한 수행도 결과(n=10)



[ 그림 4 - 13 ] 평균 총 손실비용에 대한 수행도 결과(n=10)



[ 그림 4 - 14 ] 각 기계의 이용율에 대한 수행도 결과(n=10)

각각의 수행도를 비교한 결과 제시된 방법은 작업 총처리시간 척도면에서는 최단 처리 시간 방법보다 우월하였으며 최대납기지연 척도면에서도 최저 납기규칙보다 우수한 결과를 보여 주었다.

제시된 방법의 경우 하나의 속성을 최적으로 만족하지는 않았지만 여러 속성면에서 기존 방법의 경우와 큰 차이가 없이 좋은 수행도 결과를 보여 주었으며 특히, 평균흐름시간 척도와 제품의 손실비용척도면에서는 최저 납기규칙보다 우월한 결과를 나타내었고 기계의 효율면에서는 기존의 방법 모두보다 우수하였다. 이것은 모의실험에서 사용된 예의 경우 각 작업이 일부기계에 몰려있음을 뜻하며 결과적으로 작업들의 대기시간이 증가하였고 볼 수 있다.

여러 수행도 척도를 가지고 기존규칙과 제시한 방법을 비교해 본 결과 제시된 방법이 여러 속성을 모두 고려하는 간편하고 쉬운 발전적 방법임을 알 수 있다. 이는 의사결정자의 주관적 판단에 의해 상충되는 기준을 절충하여 근사최적해를 도출할 수 있는 방법이라고 볼 수 있을 것이다. 즉 어느 하나의 기준을 최적으로 만족하지는 않지만 여러기준을 동시에 어느정도 만족하는 결과를 보여 준 것이라 해석된다.

## V. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 흐름생산방식에서의 작업순서를 결정하기 위한 발견적 방법을 제시하였다. 이 방법의 기본개념은 단일의 기준이 아닌 다수의 기준을 동시 고려하여 의사결정자가 신뢰할 수 있는 대안을 선택하며 의사결정자가 실시간에 현장에서 바로 적용할 수 있는 이해하기 쉬운 방법을 제시하는 것이다.

일정계획 문제는 NP-complete 문제로 최적해의 도출이 어렵기 때문에 비록 최적해는 아니지만 근사 최적해를 구하는 방법인 발견적 방법으로 작업순서 의사결정을 하였다.

기존의 일정계획 연구들은 작업의 가공순서를 결정할 때 상충되는 기준으로 인해 해의 도출이 너무 복잡하기 때문에 시스템과 관련된 중요한 정보들을 모두 고려하지 못하였다.[5],[29] 또한, 너무 많은 계산식으로 현장에서 실제로 적용하기 어려운 알고리즘의 연구가 대부분이었다. 그러나 제시된 방법은 작업의 특성과 비용요소가 관련된 다수의 기준을 고려하면서 주변상황에 능동적으로 대처하여 현장에서 의사결정자가 실시간에 작업순서 의사결정을 할 수 있는 간편하고 이해하기 쉬운 의사결정 방법이다.

본 논문에서는 생산 시스템에서 작업의 순서를 결정할 때 시간, 납기, 비용의 측면을 기본으로 하는 기준들을 고려하여 기존의 방법들과 효율성을 비교하였다. 기존 방법과 비교한 결과 제시된 방법은 쉽고 간편한 발견적 방법으로 현장에서 직접 적용이 가능하고 수행도 평가면에서도 단일기준을 고려한 수행도의 결과와 큰 차이가 없으면서 그 외의 기준의 수행도면에서 우수한 결과를 보여 주었다. 그러나 본 연구의 적용예에서 사용한 작업의 가공시간, 납기, 단위제품당 이익의 자료는 임의로 추정된 자료이므로 다양한 확률 분포를 가정하여 많은 모의실험을 한다면 현장 적용의 가능성을 높일 수 있을 것이다. 또한 모의실험 시 입력자료로 사용된 가공시간의 기준에서 기대값뿐만 아니라 산포와 민감도 분석의 의미에서 분산값에 대한 자료도 이용하여 많은 모의실험을 하여야 할 것으로 생각된다.

추후 연구과제로는 위에서 적용한 문제의 규모를 확대시켜 모의실험을 통해 동적인 흐름생산방식에서의 작업순서결정과 개별생산에서의 작업순서결정 문제에 제시된 발견적 방법을 적용시켜 비교분석을 해야 할 것이다. 또한 생산현장의 실질적인 문제에 다양한 다기준 의사결정 기법들이 활용될 수 있는 방안에 대한 연구가 좀더 활성화 되어야 하리라 생각한다.

## 참 고 문 헌

### 1. 국내문헌

- [1] 강맹규, 불확실성하의 의사결정론, 회중당, 1990.
- [2] 김성희, 의사결정론-분석 및 응용, 영지문화사, 1989.
- [3] 박양병, "동적환경에서 Flow shop 작업순서결정을 위한 발견적 기법들의 유효성에 관한 연구," 대한산업공학회지, 12권, 1호, 1986.
- [4] 우훈식, 임동순, 이완규, "순열 flow-shop 스케줄링에서의 평균 flowtime 최소화를 위한 경험적 알고리즘," 대한산업공학회지, 22권, 1호, 1996.

- [5] 이종태, "Flow shop의 효율제고를 위한 동적 작업배정 방안," *대한산업공학회지*, 21권, 4호, 1994.

## 2. 국외문헌

- [6] Adiri, I. and D. Pohoryles, "Flow shop /no-idle or no-wait scheduling to minimize the sum of completion," *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol.29, 1982.
- [7] Ahmadi, R. and U. Bagchi, "Improved lower bounds for minimizing the sum of flow times of n-jobs over m-machines in a flow shop," *European Journal of Operational Research*, Vol.4, 1990.
- [8] Arizono, I. and A. Yamamoto, H. Otah, "Scheduling for minimizing total actual flow time by neural networks," *International Journal of Production Research*, Vol.30, No.3, 1992.
- [9] Baker, K.R., *Introduction to sequencing and scheduling*, Wiley, New York, 1974.
- [10] Bansal, S., "Minimizing the sum of completion times of n-jobs over m-machines in a flow shop," *AIIE Transactions*, Vol.9, 1977.
- [11] Campbell, H.G. and R.A. Dudek, M. Smith, "An heuristic algorithm for the n job m machine sequencing problem," *Management Science*, Vol.16, No.10, 1970.
- [12] Dannenbring, D., "An evaluation of flow shop sequencing heuristics," *Management Science*, Vol.23, 1977.
- [13] Fox, M.S. and B. Allen, G. Strohm, "Job-shop scheduling : An investigation in constant-directed reasoning," *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence*, AAAI, Cambridge MA., 1982.
- [14] Gelders, L.F. and N. Sambandam, "Four Simple heuristics for scheduling a flow shop," *International Journal of Production Research*, Vol.16, No.3, 1978.
- [15] Glover, F., "Tabu Search - Part 1" *ORSA Journal on Computing*, Vol.1, No.3, 1989.
- [16] Hax, A.C. and D. Candea, *Production and Inventory Management*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.T., 1984.
- [17] Ho, J. and Y. Chang, "A new heuristic for the n-job, m-machine flowshop problem," *European Journal of Operational Research*, Vol.52, 1991.
- [18] Ignal, E. and L.E. Saharge, "Application of the branch and bound technique to some flow shop scheduling problem," *Operations Research*, Vol.13, No.3, 1965.
- [19] Inkyo R. and K. Joongin, "Multicriteria operational control rules in flexible manufacturing systems(FMSs)," *International Journal of Production Research*, Vol.28, No.1, 1990.
- [20] King, J.R. and A.S. Spachis, , "Heuristic for flow-shop scheduling," *International Journal of Production Research*, Vol.19, No.3, 1980.
- [21] McCahon, C.S., "Fuzzy job sequencing for a flow shop," *European Journal of Operational Research*, Vol.62, 1992.
- [22] Nawaz, M.E., Ensore, and I. Ham, "A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flowshop sequencing problem," *OMEGA*, Vol.11, 1983.
- [23] Orciuch, E. and J. Frost, "ISA : Intelligent Scheduling Assistant," *IEEE*, The First Conference on Artificial Intelligence Application, 1984.



- [24] Paul Slovic and B.F., S.L., "Behavioral decision theory," *Annual. Review. Psychology*, Vol.28, 1977.
- [25] Pinedo, M., *Scheduling : Theory, Algorithms, and Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1995.
- [26] Rajendran, C., "Heuristic algorithm for scheduling in a flowshop to minimize total flowtime," *International Journal of Production Economics*, Vol.29, 1993.
- [27] Rinnoy Kan, A., *Machine scheduling problem*, Nijhoff, The Hague, 1976.
- [28] Robert Schlaifer, *Analysis of Decision under Uncertainty*, McGraw-Hill, 1969.
- [29] Rpsser, T.N. and K.S. Rakesh, L.D., Richard, "Scheduling with multiple performance measure : The one mchine case," *Management Science*, Vol.32, No.4, 1986.
- [30] Sen, T. and S.K. Gupta, "A branch and bound procedure to solve a bicriterion scheduling problem," *IIE. Transaction*, Vol.15, No.1, 1982.
- [31] Simon French, and B.A., M.A., D. Phil., *Sequencing and Scheduling : An introduction to the mathematics of the job-shop*, John Wi-ley & Sons, 1982.
- [32] Szwarc, W., "The flow shop problem with mean completion time criterion," *IIE transactions*. Vol.1 1983.