

대체공정을 고려한 Job Shop 일정계획 수립을 위한 유전알고리즘 효율 분석 (Efficiency Analysis Genetic Algorithm for Job Shop Scheduling with Alternative Routing)

김상천(Kim Sang Cheon)¹⁾

요 약

대체공정을 고려한 Job Shop 일정계획을 수립하기 위한 유전알고리즘을 개발하기 위하여 다음과 같이 유전알고리즘 효율분석을 실시하였다. 첫째, 대체공정을 고려한 job shop 일정계획을 수립하기 위한 유전 알고리즘을 제시하고 둘째, 전통적인 job shop 일정계획에 대한 벤치마크 문제에 대해 유전 알고리즘의 타당성을 확인하고 셋째, Park[3] 문제에 대해 유전알고리즘과 작업배정규칙을 적용한 결과를 비교하였다..

ABSTRACT

To develop a genetic algorithm about job shop scheduling with alternative routing, we are performed that genetic algorithm efficiency analysis of job shop scheduling with alternative routing. First, we proposed genetic algorithm for job shop scheduling with alternative routing. Second, we applied genetic algorithm to traditional benchmark problem appraise a compatibility of genetic algorithm. Third, we compared with dispatching rule and genetic algorithm result for problem Park[3].

논문접수 : 2005. 10. 25.

심사완료 : 2005. 11. 10.

1) 정회원 : 동주대학 컴퓨터정보통신계열

본 논문은 동주대학의 교내학술연구비지원에 의해 연구 되었음.

1. 서론

오늘날 제조업체들은 많은 어려움을 겪고 있다. 국내적으로는 소비자 요구의 다양화, 인건 인상, 고객의 만족도 요구 수준의 향상, 점점 짧아지는 제품의 수명주기, 급변하는 제조기술 등으로 상당히 어려운 시기에 있으며 국외적으로는 시장개방으로 인한 거대 자본 세력의 국내 상륙, 기술보호 무역주의의 팽배, 환율 상승으로 인한 원자재 값의 상승, 첨단 기술의 급진적인 발전 등으로 매우 힘든 상황에 놓여 있다. 이처럼 복잡, 다양하고 전문화된 생산 현장에서 각 제조업체의 생산성 향상과 작업의 효율성을 높이기 위한 척도로서 효율적인 일정 계획의 수립과 합리적인 작업순서의 결정 그리고 이를 해결하는 방법개발의 필요성이 증대되고 있다. 지정된 제품을 최소의 비용으로 가공, 처리될 수 있도록 기계대수를 결정하는 문제를 일정계획문제라고 하며 공정계획 정보와 생산 현장의 생산 설비 가용 정보로부터 최적의 작업 순서를 제공하는 것이며 이는 제품의 가공, 처리 시간이 최소가 되도록 작업순서를 결정하는 작업순서 문제의 의미와 별다른 구분 없이 사용 되고 있다. 이러한 작업순서를 결정하는 형태로 job shop 모형과 flow shop 모형이 있다. 그 중 본 연구에서는 일정계획 중 일반적인 job shop 환경을 대상으로 한다. job shop 일정계획 문제는 m 대의 기계에서 상이한 가공 순서와 기공시간을 갖는 n 개의 job을 처리하는 순서를 결정하는 것이며 부품 생산을 위한 공정 간의 순서제약(precedence constraint)과 가공가능시점에서의 기계제약(capacity)하에서의 각 기계에 효과적으로 각 부품의 공정을 할당하는 일정 조합 최적화 문제이다. 일정계획 문제에서는 여러 가능해를 찾아 그 중에서 최적해에 보다 가까운 가능해를 찾을 수밖에 없으므로 최적해나 최적해에 가까운 해를 얻기 위해서는 주로 휴리스틱 기법이나 조합탐색(combination of search)법을 사용해서 해결한다. 최근 많은 관심을 끌고 있는 유전알고리즘

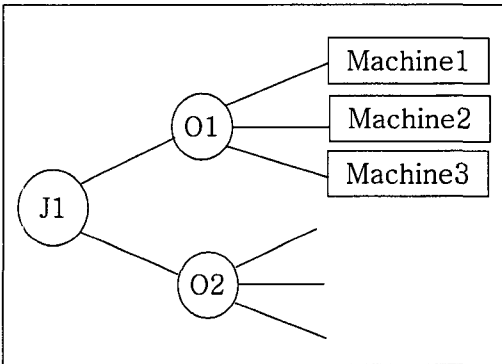
(genetic algorithm)은 다수 탐색점을 사용하여 적절한 다양성을 유지하면서 우수한 후보해들 간의 정보를 교환하기 때문에 최적해에 도달할 확률이 크다. 그리고 최적해를 발견하지 못한다고 하더라도 이 알고리즘은 좋은 해를 제공해줄 뿐만 아니라 현실성을 가지고 있다. 이러한 장법 때문에 유전알고리즘은 Np-hard 문제에 대한 탐색 방법으로서 효율적이라고 알려져 있다. 유전알고리즘으로 대체공정을 고려한 job shop 일정계획문제에 대한 휴리스틱기법은 2가지 문제를 해결해야한다. 하나는 job들의 각 공정을 처리할 수 있는 기계들 중에서 하나를 선택하여 job들의 각 공정들에 대한 경로(routing)를 결정하는 문제이고 또 하나는 각 기계에 대한 공정들의 처리순서(sequencing)를 결정해야 하는 일정계획문제이다. 이 두 가지 문제를 해결하는 접근법은 먼저 job들의 각 공정에 대한 경로를 결정하여 대체공정을 고려한 job shop 일정계획문제를 전통적인 job shop 일정계획문제로 전환한 후 공정들의 처리순서를 결정하는 일정계획을 수립하는 계층적 접근법과 일정계획을 수립할 때 각 공정에 대한 경로를 고려하여 문제를 동시에 해결하는 동시 접근법 2가지가 있다.

본 연구에서는 대체 공정을 고려한 job shop 일정계획 수립을 위하여 일정계획과 공정계획을 순차적으로 해결하는 계층적 접근법에 대한 유전알고리즘의 효율성을 분석하고자 한다.

2. 대체 공정을 고려한 job shop 일정계획

생산 현장에서 일어나는 생산 활동을 효과적으로 통제하고 단기적인 상황 변동을 실시간으로 조사하여 탄력적인 대체해 나갈 수 있어야 한다. 그러한 방법으로 대체공정기능을 도입하여 문제 발생시 즉각 대처 할 수 있는 작업일정계획을 고려한다. 생산 현장에서 대체공정이란 다른 제조 방법을 뜻한다. 즉 원래의 공정 계획이 요구하고 있는 생산 수단이 전체 보유

자원의 부분 집합일 때 원래의 공정계획과 부분적으로 혹은 완전히 다른 생산 수단을 이용하는 공정계획을 뜻한다.



[Fig.1] Workflow of job shop with alternative routing

<Fig.1>은 부품의 작업이 정해진 기계 외에 다른 기계에서 수행 될 수 있다는 것을 나타낸 것이다. 작업 O1은 기계 1외에 다른 대체 경로를 통해서도 수행 가능하다. 또한 작업 간의 선행 관계가 존재한다. 이러한 대체 공정 계획 이용의 장점은 하나의 가공품에 하나 이상의 공정계획을 제시함으로써 작업현장에서의 상황 변화에 대응 가능하다는 것이다.

3. 유전알고리즘

3.1. 표현방법

유전 알고리즘을 구축하기 위한 첫 단계는 문제의 잠재해를 유전적 표현 즉, 개체로 표현하여야 한다. 이런 유전적 표현은 유전 알고리즘의 다른 절차(적응도 평가와 유전연산자 적용 등)에 영향을 주기 때문에 문제의 특성을 잘 반영할 수 있어야 한다. 유연 job shop 일정계획문제의 경우 공정계획과 일정계획을 각각 순차적으로 푸는 경우와 동시에 고려하는 경우가 있다. 우선 동시에 고려하는 경우를 생각하기 위해 본 연구에서는 각 개체의 구성을

2가지의 유전자(A형, B형)로써 구성한다. A형은 공정계획을 위한 유전자이며, B형은 일정계획을 위한 유전자이다. 공정계획을 위한 유전자는 모든 공정들에 대한 심볼로 된 문자열로 정의한 것으로 구성한다. 즉 각 공정을 하나의 기호로 구성되며, 모든 기호들은 모든 공정으로 표현할 수 있다. 두 번째 유전자는 각 작업 번호로써 구성된다.

A형은 m_{jk} 를 가지는 주어진 공정 (j, k)이 일양난수 $r_{jk} \sim \pi(0,1)$ 을 연속적으로 발생시킴으로써 다음과 같은 관계를 이용함으로써 조사되어질 수 있다.

r_{jk} 에 따른 (j, k)에 대해 선택된 대안

$$= \lceil r_{jk} \times m_{jk} \rceil$$

$\lceil \cdot \rceil$ 는 올림연산자이다. 즉, $\lceil 1.4 \rceil = 2$

모든 공정에 대한 가능한 대안의 탐색공간 $b = (b_j = r_{jk})_{1 \leq j \leq K}$ (K=공정 개수)로서 주어진 일양난수의 배열 b에 표현되어진다.

3.2 유전연산자

유전연산자에는 부모개체들의 좋은 유전형질을 자손개체에 유전시키는 역할을 하는 교차연산자(crossover)와 넓은 해 공간의 탐색을 도와주는 돌연변이(mutation)연산자로 구성되어 있다.

3.2.1 교차연산자

교차연산자는 한 쌍(2개)의 부모개체를 교차율에 의해 선택한 후에 교차연산법칙에 의해 한 쌍의 자손집단을 생성하는 것이다. 본 연구에서 사용한 교차연산법칙은 순서교차를 사용하였다. 일반적으로 일점 교차나 이점 교차 방식을 사용할 경우 불능해, 존재하지 않는 해, 인자들의 중복이 발생할 수 있기 때문이다. 순서교차는 한 부모로부터 부분적인 순서를 받아들이고, 다른 부모로부터 각 원소의 상대적인

순서를 유지하여 받아들이는 교차방법이다.

3.2.2 돌연변이 연산자

돌연변이 연산자의 경우 돌연변이율에 의해 선별된 개체를 대상으로 돌연변이 연산자를 적용시킨다. 본 연구에서는 돌연변이 연산규칙을 두 부분으로 나누어서 시행한다. A형 부분의 경우 임의의 k_1 과 k_2 ($1 \leq k_1, k_2 \leq K$, K =공정 개수)를 생성하여, 그 곳에 속한 부분에 $\pi \sim (0,1)$ 을 발생시켜 교체한다. B형 부분은 job 번호로 구성된 부분으로써 임의의 난수를 발생시켜 그 부분에 속하는 job 번호를 앞으로 위치시키는 방법을 사용하였다.

3.2.3 목적함수 및 선별

유전 알고리즘에서 가장 대표적인 확률바퀴 방법을 사용하기 위해, 최대화문제에 적용되는 확률바퀴방법을 본 연구에서 사용하는 목적함수인 최소화 문제를 해결하기 위하여 가장 좋은 데이터부터 차례로 순위를 주어 그 순위에 따라 선별확률을 부여하는 순위선별을 사용한다. 개체들의 적응도 중 최대값(MAX), 최소값(MIN)을 주어 그 차를 모집단의 개체수로 나눈 등간적으로 개체의 적응도를 부과하는 방식을 사용한다.

3.2.4 유전 알고리즘의 파라미터 설정

유전알고리즘을 실현하는 4가지 파라미터는 계산종료까지의 세대수, 개체군의 크기, 교차 확률, 돌연변이 확률이다. 유전 알고리즘의 문제점은 개체군 중의 개체가 다양성을 상실하는 조기수렴현상이다. 조기수렴현상을 피하기 위한 방안으로 교차확률(p_c)과 돌연변이확률(p_m)을 비교적 큰 값을 설정해 줌으로서 조기수렴현상을 감소시키는 것이 가능하지만 동시에 적응도가 높은 개체가 소멸되어버리는 단점

이 있다. 개체군의 크기를 크게 줌으로서 조기수렴을 피하고 더 나은 해를 제공하는 경향이 있다. 유전 알고리즘 수행을 위하여 4가지 파라미터를 다음과 같이 설정하였다.

적당한 개체군의 크기를 결정하기 위하여 교차 확률과 돌연변이 확률을 0.1로 고정시키고, 유전 알고리즘 수행의 종료기준으로 세대수를 100으로 하여 job이 15개 기체가 10개인 LA23의 benchmark 문제에 대해 개체군의 크기를 50000개에서 단계적으로 50000개씩 증가시키면서 450000까지 늘리면서 유전 알고리즘을 수행하였고, 유전 알고리즘 수행의 종료기준인 세대수를 결정하기 위하여 교체율과 돌연변이율을 0.1로 고정시키고 개체군의 크기를 300000개로 하고 세대수를 30개에서 단계적으로 30씩 증가시키면서 390까지 늘리면서 유전 알고리즘을 수행하였다. 그 결과를 기초로 유전 알고리즘 수행을 위한 4가지 파라미터는 계산종료까지의 세대수는 100개, 개체군의 크기는 300,000개, 교차확률을 0.1, 돌연변이확률을 두었다. 즉,

$G = (100, 300000, 0.1, 0.1)$ 이다.

4. 유전알고리즘의 적용과정

유전 알고리즘의 적용과정은 먼저 공정계획을 위한 유전자 A형과 일정계획을 위한 B형의 유전자로 초기모집단을 구성하고 초기 모집단에 있는 모든 개체의 적응도를 평가한다. 적응도 평가함수로 최대작업완료시간을 사용한다. 다음으로 A형과 B형 각각에 대해 선별과정을 거친다. 여기서 주목할 점은 선별에서 여러 번 선택되는 개체가 있는가 하면 선택되지 않고 사라져 버리는 개체가 있다는 것이다. 이것은 적응도에 따라서 확률적으로 선택되기 때문이다. 적응도가 높으면 그만큼 다음 세대로 유전될 확률이 높다. 선별과정을 거쳐 새로운 모집단이 생성된다. 이제 새로운 모집단에 대하여 교차를 실시한다. 이 과정은 모집단에 있는 각

개체에 대해 [0,1]의 범위를 갖는 난수를 발생시켜 이 난수(r)가 교차확률(p_c)보다 적으면, 이 개체를 교차대상 개체로 선택한다. 선택된 개체들은 교차연산자에 의해 교차된다. 다음 단계는 교차와 더불어 또 다른 연산자인 돌연변이 단계이다. 돌연변이는 개체 또는 원소단위로 이루어질 수 있는데 여기서는 원소단위로 행한다. 따라서 각 모집단의 각 원소에 대해 [0,1]의 범위를 갖는 난수를 발생시켜 난수가 돌연변이확률(p_m)보다 적으면, 그 원소는 돌연변이를 수행한다. 선별과 유전연산에 의해 새로이 구성된 개체들의 적응도를 평가한다. 종료조건을 만족하지 않으면 평가된 적응도에 따라 다음 세대를 위한 선별이 이루어지고 유전연산과 평가를 반복하고, 종료조건을 만족하면 끝낸다.

4.1. 수치 실험

4.1.1 전통적인 job shop benchmark 문제

전통적인 job shop 일정계획문제에 대해 유전알고리즘의 적용 가능성을 알아보기 위해 전체 18개의 benchmark 문제를 대상으로 실험하였다. 이 문제는 Lawrence의 LA21-30으로 나타내는 10문제, LA36-40으로 나타내는 5문제, Adams, Balas and Zawack의 ABZ7-9로 나타내는 5문제로 구성하였다. 문제의 구조는 <Table 1>에 나타나 있다.

# of machine	# of jobs	
	15	20
10	LA 21-25	LA 26-30
15	LA 36-40	ABZ 7,8,9

<Table 1> Structure of benchmark problems

<Table 2>는 benchmark 문제에 대해 Chambers가 제시한 타부서치의 결과와 본 연구에서 제시한 유전 알고리즘의 실행 결과를 나타내고 있다.

Chambers는 7개의 작업배정규칙

- SPT-schedule the operation with the shortest processing time
- LPT-schedule the operation with the longest 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
- MWKR/SPT-as with MWKR, but use SPT to break ties
- MOPNR-schedule the operation from the job with the most operations remaining
- RATIO-schedule the operation having the largest ratio of work remaining in the job to operation processing time

을 사용하여 스케줄 형태에서 active와 nondelay 스케줄을 적용한 14개 결과 중에서 최선의 해를 구하여 이것을 초기해로 사용하여 타부서치를 실행하였다.

본 연구에서 제시한 유전알고리즘의 구성은 다음과 같다. 잠재해의 유전적 표현 즉, 개체의 구성을 2가지 유전자(A형, B형)로 구성한다. A형은 공정계획을 위한 유전자이며, B형은 일정계획을 위한 유전자이다. 공정계획을 위한 유전자는 모든 공정에 대한 문자열로 정의하여 구성하고 일정계획을 위한 유전자는 각 작업번호로서 구성된다. 유전연산자는 순서교차방법을 사용하고 돌연변이 연산자는 A형 유전자와 B형 유전자에 대해 다른 연산자를 사용하고 목적함수는 $Min Z = f(x)$ 로서 각 개체로 표현된 스케줄에서의 최대완료시간을 의미한다. 선별방법은 순위선별방법을 사용한다. 그리고 유전 알고리즘을 실행하기 위한 4가지 파라미터는 계산종료까지의 세대수는 100개, 개체

군의 크기는 300,000개, 교차확률을 0.1, 돌연변이 확률을 두었다. 즉,

$$G = (100, 300000, 0.1, 0.1) \text{ 이다.}$$

Benchmark 실험 결과 L23, LA26, LA30 문제에서는 최적해를 얻었으며, LA21, LA27, LA29, LA38, ABZ8, ABZ9

문제 특성상 benchmark문제가 없으므로 박지형[3]이 제시한 예제 <Table 3>의 부품 8개, 기계 3대의 작은 문제를 근거로 비교하였다. 비록 문제의 크기가 작지만 대체공정을 고려한 경우이기 때문에 고려할 수 있는 경우의 수는 부품1만 고려하여도 27가지로서 수계산으로는

Problem		LA21	LA22	LA23	LA24	LA25	LA26	LA27	LA28	LA29
Tabu Search	11-14	1053	932	1032	946	988	1218	1250	1225	1219
	12-15	1050	935	1032	946	993	1218	1256	1238	1194
Genetic Algorithm		1050	935	1032	946	988	1218	1250	1238	1194
Best known or Optimum		1053	927	1032	935	977	1218	1269	1216	1195
Problem		LA30	LA36	LA37	LA38	LA39	LA40	ABZ7	ABZ8	ABZ9
Tabu Search	11-14	1355	1278	1418	1211	1273	1239	674	685	693
	12-15	1355	1291	1423	1227	1251	1228	681	682	698
Genetic Algorithm		1355	1278	1418	1211	1251	1239	674	682	693
Best known or Optimum		1355	1268	1397	1217	1233	1222	668	687	707

<Table 2> Result for b enchmark problems

문제에서는 최선해 보다 좋은 결과를 얻었다. LA22, LA24, LA25, LA28, LA36, LA37, LA39, LA40, ABZ7 문제에 대해서는 최적해 또는 최선해 보다 나쁜 결과를 얻었다. 그러나 Chambers의 타부서치의 결과와 같은 결과를 얻었다. 유전 알고리즘은 메타 휴리스틱 기법이므로 개체군을 더 늘리면 최선해 또는 최적해를 구할 수 있을 것으로 기대 되지만 수행시간이 길어지는

단점이 있다.

4.2 대체공정을 고려한 job shop 일정계획문제

거의 불가능하다

대체공정을 고려한 job shop 일정계획문제를 풀기 위한 방법으로 계층적 접근법을 이용하고, 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 경로결정(Routing)단계에도 3가지 작업배정규칙을 적용하고 일정계획을 수립하는 Scheduling 단계에서도 3가지 작업배정규칙을 적용하여 얻은 9개의 최선해를 가지고 대체공정에 대한 작업배정규칙의 우수성을 비교하고, 이 논문에서 제시한 유전알고리즘을 적용한 결과와 비교하여 대체공정을 고려한 job shop 일정계획

수립을 위한 유전알고리즘의 효율성을 분석하고자 한다.. 유전알고리즘의 실행을 위한 4가지 파라미터는 계산종료까지의 세대수는 100개, 개체군의 크기는 300,000개, 교차확률을 0.1, 돌연변이확률을 두었다. 즉,

$G = (100, 300000, 0.1, 0.1)$ 이다.

실험 결과는 <Table 4>에 나타나 있다. 시뮬레이션 실험결과 대체공정을 고려한 job shop 일정계획문제에서 적용하는 작업배정규칙은 기계할당의 작업배정규칙 보다는 일정계획 단계의 작업배정규칙에 의존하고 있다는 사실을 알 수 있다. 유전알고리즘의 수행 결과 박지형이 제시한 알고리즘의 수행 결과인 330보다 더 좋은 해를 얻었으므로 더 효율적이라고 할 수 있다.

PART	Job	기계1	기계2	기계3
A	1	15	30	20
	2	25	20	50
	3	30	150	15
B	1	20	70	60
	2	40	210	20
	3	80	60	25
	4	165	25	40
C	1	60	45	50
	2	120	35	20
	3	80	120	260
	4	30	150	80
	5	50	60	100

D	1	30	65	20
	2	60	175	20
E	1	30	40	20
	2	50	90	40
	3	30	70	60
F	1	25	25	95
	2	90	30	60
	3	40	50	15
G	1	30	40	40
	2	50	15	20
H	1	85	80	40
	2	20	50	110
	3	20	30	15
	4	120	40	80

<Table 3> The Problem of Park

Simulation			Park	G.A
작업배정규칙		작업배정규칙 실험		
Routing D.R	Scheduling D.R			
SPT	SPT	348	330	254
	LWKR	591		
	MWKR	406		
LWKR	SPT	348		
	LWKR	671		
	MWKR	466		
MWKR	SPT	348		
	LWKR	671		
	MWKR	466		

<Table 4> The Result of Table 3

5. 결론

대기업을 제외한 대부분의 중소기업들은 지금 사용하고 있는 job shop 형태의 생산시스템을 그대로 유지하면서 다양한 변화에 적응해야만 하는 실정이다. 따라서 전통적인 job

shop 제조환경에서 제시하는 가정들은 현실적으로 중소기업의 생산형태에 즉, 예를 들면 job을 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 대체성을 가진 제조환경으로 전환 할 수 있다는 개념을 도입하여 본 연구에서는 대체공정을 고려한 job shop 일정계획 수립을 위하여 계층적 접근법의 유전 알고리즘을 개발하고, 작업배정규칙을 적용한 시뮬레이션과 유전 알고리즘을 적용한 수치실험 및 수행도 평가를 실시한 결과는 다음과 같다.

첫째, 전통적인 job shop 일정계획 문제의 benchmark 문제에 대한 실험 결과 전체적으로 좋은 결과를 얻었으며 특히 타부서치를 적용한 Chambers의 결과 보다 좋은 결과를 얻어 유전 알고리즘의 효율성을 확인 하였다.

둘째, 박지형 문제에 대해 유전 알고리즘의 수행결과가 작업배정규칙을 적용한 시뮬레이션 결과보다 최대작업완료시간이 작게 나타난다는 것을 알 수 있다.

결론적으로 본 연구에서 제시한 유전 알고리즘을 기반으로 개발한 대체공정을 고려한 job shop 일정계획 프로그램은 대체공을 고려할 수 있는 job shop 형태의 제조시스템을 가진 중소기업의 생산관리시스템을 구축하는데 실용적인 정보를 제공해 줄 수 있다.

그러나 유전 알고리즘은 주어진 상황의 변화에 따라 유전알고리즘 실행에 필요한 파라미터가 수정되어야 하는 단점을 보완하고, 정규화된 모형이 없기 때문에 많은 실험을 통해 유전 알고리즘의 효율성을 명확하게 보여 줄 수 있도록 해야 할 것이다.

참고문헌

1] Chambers, J.B., Classical and Flexible Job Shop Scheduling By Tabu Search, The

University of Texas at Austin, (1996).

2] Chambers J.B. and Wesley B.J., "Reactive Search for Flexible Job Shop Scheduling," INFORMS, Dallas, October (1997).

3] 박지형외, "대체공정 기능을 도입한 유전알고리즘 응용 작업일정계획", 한국경영과학회 대한산업공학회 '97춘계공동학술대회, pp.377~380 (1997)

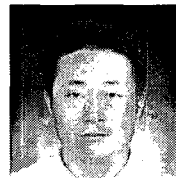
4] Ghedjati, F., "Genetic Algorithms for The Job-Shop Scheduling Problem with Unrelated Parallel Constraints: Heuristic Mixing Method Machines and Precedence," Computers & Industrial Engineering, Vol. 37, No. 17, pp. 39-42 (1999)

5] 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)

6] 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)

7] 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).

김상천



1984년 동아대학교 공과대학
공업경영학과 졸업(학사)
1986년 동아대학교 대학원
공업경영학과 졸업(석사)
2001년 동아대학교 대학원
산업공학과 졸업(박사)
2001 ~ 현재 동주대학 교수