

통합자동생산시스템에서 최적운영방안 결정을 위한 유전자 알고리즘의 개발

(A genetic algorithm for determining
the optimal operating policies in an
integrated-automated manufacturing system)*

임준목

(Joon-Mook Lim)

대전산업대학교 산업공학과

대전시 동구 삼성2동 305

전화:(042)630-0433

팩스:(042)630-0426

E-mail: ljmljm@unitel.co.kr

Abstract

We consider a Direct Input Output Manufacturing System(DIOMS) which has a number of machine centers placed along a built-in Automated Storage/Retrieval System(AS/RS). The Storage/Retrieval (S/R) machine handles parts placed on pallets for the machine centers located at either one or both sides of the AS/RS. This report studies the operational aspect of DIOMS and determines the optimal operating policy by combining computer simulation and genetic algorithm. The operational problem includes: input sequencing control, dispatching rule of the S/R machine, machine center-based part type selection rule, and storage assignment policy. For each operating policy, several different policies are considered based on the known research results. In this report, using the computer simulation and genetic algorithm we suggest a method which gives the optimal configuration of operating policies within reasonable computation time.

Key words: Direct-Input-Output Manufacturing System, Automated Storage/Retrieval System, Computer Simulation, Genetic Algorithm.

1. 서론

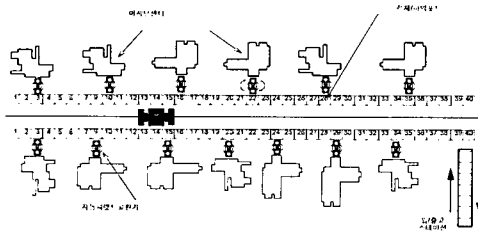
최근 들어, 가공시스템의 내부에 소형의 자동창고 시스템을 설치하고 그 양쪽(때로는 한쪽)에 나

란히 머시닝센터(machining center)들을 배치시켜서, 자동창고가 원재료(raw material)와 재공품(WIP:work-in-process)을 저장하는 역할을 맡게 하고, 각 머시닝센터 바로 앞에 위치한 자동창고의 랙 오프닝(rack opening)은 머시닝센터 가공물의 적재/하역(P/D:pickup/deposit)을 위한 포트(port)로 사용되며, 스택커 크레인(stacker crane)은 자동창

* 이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

고 내부에서 물품의 불출과 저장은 물론 각 머시닝센터에 가공물의 적재/하역이 가능하도록 적재 하역 포트에 가공물을 운반해주는 역할을 맡게 하는 통합된 가공시스템이 도입되고 있다.

이렇게 머시닝센터들과 자재취급시스템(material handling system)을 통합하여 운영함으로써, 공간의 효율적 활용, 실시간 내의 재고 파악, 더 나은 생산조건의 컨트롤 및 다양한 공정의 변화에도 적절히 대응할 수 있는 유연성을 확보할 수 있게 된다. [그림 1]은 이러한 시스템의 개략적인 상황을 보여주고 있다.



[그림 1] DIO가공시스템

이러한 시스템은 'DIO가공시스템(direct input output manufacturing system)'이라는 이름으로 일본, 스웨덴 등에서는 물론 우리나라에서도 D중공업, H정공등에서 설치하여 운영하고 있다 (Chow(1986), Kusiak(1985), Lim(1994)).

이러한 가공시스템을 설치 운영하는데 일어날 수 있는 문제로는 크게 나누어서, 시스템의 설계와 관련된 문제(기계의 설비배치문제, 운반단위크기 결정문제, 자동창고의 크기결정문제 등)와 시스템의 운영과 관련된 문제(가공물 투입순서 결정 문제, 가공물 저장위치 결정문제, 스택크레인의 디스패칭에 관한 문제, 자동창고로부터의 가공물선택에 관한문제 등)로 나눌 수 있다(Lim등(1998)).

DIO가공시스템에서의 최적의 설계와 시스템운영 조건을 찾아내기 위해서는, 설계문제와 운영에 관련된문제가 서로 깊은 연관성을 가지므로 설계와 운영에 관한 문제들을 한꺼번에 다루어야 하겠지만, 이것을 동시에 고려하는에는 문제의 복잡성이

매우크므로 현실적으로 불가능하다. 지금까지 다루어진 많은 시스템의 문제들에서와 마찬가지로 DIO가공시스템의 문제도 단계적 절차를 따르게 되는데, 먼저 주어진 환경 하에서 시스템 설계문제(기계배치, 운반단위크기 및 자동창고의 크기결정 등)를 해결하게 되고 최적의 설계에 의해서 얻어진 시스템의 조건 하에서 최적의 운영 조건들을 찾아내게 된다.

시스템의 설계문제가 적절히 해결되고 나면 시스템의 효율은 운영정책들을 주어진 환경에 얼마나 알맞게 잘 결정하느냐에 따라 크게 의존하게 된다. 다시 말하면, 주어진 설계조건 하에서, 현 시스템이 최대의 운영효율을 발휘할 수 있도록 최적의 운영 정책을 결정하여 줌으로써 시스템의 생산성을 극대화시킬 수 있는 것이다.

본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션과 여기서 얻어지는 결과를 바탕으로 최적의 운영정책 조합을 찾아내기 위한 방법론으로 유전자알고리즘(Genetic Algorithm)을 적용하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 국내·외 연구동향

2.1 연구의 범위

자재취급시스템(Material Handling System)과 수치제어가공시스템(Numerical Control Machining System)을 결합시킴으로써 우리가 목표로 하는 '자동화'를 이룰 수 있고, 이러한 통합된 자동화 생산 시스템의 한 방안으로 'DIO가공시스템'이 도입될 수 있다. 그러나 이러한 DIO가공시스템의 도입은 개별적인 시스템에서와는 다른 복잡한 설계와 운영상의 문제를 야기 시킨다. 이에 관련된 문제들을 나열해 보면 [표 1]과 같다.

[표 1] DIO가공시스템과 관련된 문제

관련 항목	시스템의 설계와 관련된 문제	시스템의 운영과 관련된 문제
문제	(1) 기계의 설비배치 (2) 운반단위크기 (unit load size) 결정 (3) 자동창고의 크기 결정	(1) DIO가공시스템으로의 가공물 투입순서 결정 (2) 자동창고내의 가공물 저장위치 결정 (3) 스택크레인의 디스패칭 (4) 자동창고로부터의 가공물 선택

본 연구에서는 시스템의 설계 조건이 주어졌다
는 상황에서 시스템의 운영에 관한 문제를 다루
고자 한다.

2.2 국내·외 연구동향

현재까지 국내외의 연구에서는 개별적인 시스템에
대한 최적의 정책결정에 관해서는 다루어져 왔으
나 통합된 시스템에서 시스템의 특성을 종합적으
로 고려한 운영정책의 개발은 이루어지지 않고 있
다.

통합된 시스템 전체에서의 최적의 운영정책을
결정하는 방법으로 기존에는 일반적인 실험계획
(full factorial design)을 사용해 왔으나 너무나 많
은 실험 횟수와 비용으로 인해 실효를 거둘 수 없
었다.

최근들어, Lim 등(1998)은 다구치방법을 사용하
여 실험의 횟수를 획기적으로 줄임은 물론 상황변
화에 대해서도 로버스트(robust)한 결과를 줄 수
있는 새로운 방법 시도하였다. 그러나 다구치방법
의 사용또한 실험계획 및 다구치방법의 이론에 대
한 이해가 필요하며 여전히 많은 시간을 필요로
함은 물론 자동화된 분석도구로서는 사용하기가
힘든 점이 있다.

근래들어 이러한 조합적인 문제를 해결하는데
유전자알고리즘의 탐색방법론이 활용될 수 있음이
알려져왔다(Goldberg(1989)). 그러나 구체적인 통
합된 생산시스템에서의 운영정책 결정문제의 적용
에 관해서는 다루어지지 못하고 있다.

이에 본 연구에서는 DIO가공시스템에서의 운영
정책들을 특성에 따라 세분하고 컴퓨터 시뮬레이
션과 유전자알고리즘의 최적해 탐색 능력을 활용
하여 최적운영정책을 보다 효율적으로 결정 할
수 있는 방안을 제시하고자 한다.

3. DIO가공시스템 운영정책 결정을 위한 유전자 알고리즘

3.1 유전자알고리즘의 요소

유전자알고리즘은 문제의 잠재해를 표현한 개체
들로 이루어진 모집단을 가지고 시작한다. 모집단

은 매 세대마다 일정수의 개체를 유지하고 매 세
대에서 각 개체의 적합도(fitness)를 평가하여 이에
따라 다음 세대에 생존할 개체들을 확률적으로 선
별한다. 선별된 개체들 중 일부의 개체들이 임의로
짝을 지어 교배하여 자손을 생성한다. 이 때 교배
(crossover)에 의해 부모의 유전자가 자손에게 상
속되고 돌연변이가 일어날 수 있다. 자손은 부모로
부터 좋은 유전형질을 상속받는다 가정함으로써
다음 세대의 잠재해들은 평균적으로 전 세대 보다
더 좋아진다고 본다. 이러한 진화과정을 종료조건
을 만족할 때 까지 반복한다. 이 과정을 정리하면
[그림 2]와 같다. 여기서 $P(t)$ 는 세대 t 에서의 모집
단을 나타낸다.

```

begin
t←0
P(t)의 초기화(초기모집단 생성)
P(t)의 적응도 평가
while(종료조건이 만족되지 않으면) do
begin
t←t+1
P(t-1)로부터 P(t)를 선별
P(t)의 유전연산(교배와 돌연변이)
P(t)의 적합도 평가
end
end

```

[그림 2] 유전자알고리즘의 구조

유전자알고리즘의 요소로는 ①개체의 표현, ②적
합도의 계산 및 선택, ③유전연산자, 및 ④유전자
라미터 등이 있다. 다음절에서 이들 요소의 설명과
DIO가공시스템의 운영정책결정을 위한 유전자알고
리즘의 개발 시 어떻게 적용되는지 살펴보도록 한
다.

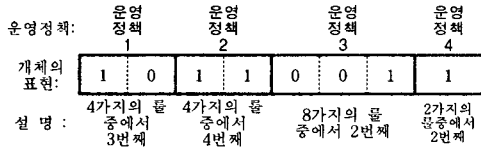
3.2 운영정책 결정을 위한 유전자알고리즘

유전자알고리즘이 컴퓨터 시뮬레이션과 조합적
인 문제가 결합된 문제에서 어떻게 적용 가능한지
를 살펴보고 DIO가공시스템의 최적운영정책 결
정을 위한 유전자알고리즘을 제시하고자 한다.

(1) 개체의 표현

본 연구에서 개체는 각 운영정책의 조합으로 구
성되며 적용된 운영정책의 수와 룰의 가지 수에
따라서 개체가 차지하는 비트수가 달라 질 수
있으나 통상적으로 0,1 이진 스트링을 사용하면
운영정책의 조합을 표현할 수 있다. 다음은 4가
지 운영정책이 주어지고 각각에 따른 룰들이 4

개, 4개, 8개 및 2개로 구성되어 있다면 [그림 3]과 같이 개체를 표현 할 수 있다.



[그림 3] 운영정책 조합에 따른 개체의 표현

(2) 적합도 계산 및 선택

본 연구에서 적합도는 운영정책의 한 조합으로 표현된 개체에 대한 시뮬레이션 수행결과로 얻을 수 있다. 시뮬레이션의 수행도 평가 함수로는 ①'생산율', ②'1/평균체류시간' 을 고려하였으며, 이 두 가지 함수가 상호 보완적인 점을 감안하여 두 항목을 곱한 ③'생산율/평균체류시간' 도 수행도 평가함수로 고려하였다. 따라서 최적 운영정책결정을 위한 유전자알고리즘의 수행시, ① 및 ②의 수행도 관점에서 각각 문제를 해결하고, ③의 수행도도 고려하여 봄으로써 결정된 최적운영정책의 수행도의 변화에 따른 영향을 살펴보도록 한다.

물론 1회의 시뮬레이션 결과만을 가지고 적합도로 삼는 것은 적합도의 신뢰성을 떨어뜨리는 결과를 가져오게 되므로 여러 가지 환경요소를 고려한 시뮬레이션 결과를 개체에 대한 최종적인 적합도로 삼는다. 여기서 환경요소란, ①머시닝센터의 수, ②가공물의 종류, ③가공물의 수요량, ④머시닝센터의 가공시간, ⑤스태커크레인의 수평/수직 속도 및 ⑥입/출력버퍼의 수 등을 의미한다. 본 연구에서는 환경요소에 따른 100회의 랜덤 환경을 만들어 적합도 계산을 위한 시뮬레이션 수행시 적용하였다.

(3) 유전연산자

유전연산자는 ①교배(crossover)와 ②돌연변이(mutation)로 나누어진다.

본 연구에서는 DIO가공시스템의 최적운영정책결정문제의 특성과 개체의 표현방식을 고려하여 다음의 교배방법과 돌연변이 방법을 사용하였다.

① 교배

본 연구의 대상인 DIO가공시스템의 최적운영정책의 결정문제는 개체가 0,1 스트링으로 표현되므로, 본 연구에서는 교배의 방법론으로 가장 단순하면서도 가장 많이 활용되고 있는 일점교배(one-point crossover)를 사용하였다.

② 돌연변이

이진수로 표현된 개체에서 돌연변이는 원소값이 0이면 1로, 1이면 0으로 변화시킨다. 한예로 개체 (01001)의 네 번째 원소에서 돌연변이가 발생하면 (01011)의 개체로 변이된다. 본 연구에서 대상으로 하는 개체의 표현도 0, 1로 표현되므로 위에서와 같은 단순한 돌연변이 방식을 사용하였다.

(4) 유전파라미터

유전자알고리즘에 사용되는 파라미터로는 모집단의 크기, 교배율, 돌연변이율, 종료조건 등이 있다.

유전자알고리즘은 알고리즘의 수행시 해당문제의 특성에 알맞는 파라미터들을 적절히 결정해 주어야만 비로소 알고리즘이 효과적으로 작용하게 된다. 그러나 이것을 적절히 결정하기 위해서는 시스템과 문제에 대한 많은 경험과 수많은 유전자알고리즘의 실험을 통한 결과를 바탕으로 결정 해주어야한다. 이렇게 되면 이 자체만으로도 너무 많은 시간을 요구하게 되어 실질적인 문제의 해결은 불가능하게 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 파라미터의 결정도 유전자알고리즘의 내부로 포함시켜서 짧은 시간 안에 목적을 달성할 수 있도록 하는 메타-유전자알고리즘(meta-genetic algorithm)의 방법론을 사용한다(Grefenstette(1986), Hattori등(1996)).

따라서, 본 연구에서 제시한 유전자알고리즘은 크게 두 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계에서는, 유전파라미터의 값을 결정하기 위한 메타-유전자알고리즘이 수행되면, 두 번째 단계에서는 앞 단계에서 결정된 유전파라미터 값을 가지고 본 문제에 대한 유전자알고리즘이 수행되어 최적의 유전파라미터값을 결정할 수 있도록 수행도값이 계산되어 피드백 된다.

본 문제-유전자알고리즘의 개체의 표현, 유전연산자 및 선택 등은 앞에서 언급한 바와 같다. 반면

에, 메타-유전자알고리즘에서 사용되는 개체의 표현은 다음과 같이 구성된다.

실험대상의 DIO가공시스템에 대해서, 유전파라미터 값으로, 모집단의 크기, 교배율, 돌연변이율에 대해서 다음의 비율을 고려대상으로 생각한다.

[표 2] 메타-유전자알고리즘에서의 개체 표현

구분	집단의 크기	교배율	돌연변이율
고려대상 값 범위	4~24	0.2~0.8	0.01~0.10
개체의 표현구조	(□□□□) 4자리 0,1스트링	(□□□□) 4자리 0,1스트링	(□□□□) 4자리 0,1스트링

집단의 크기, 교배율 및 돌연변이율 모두 네 자리수의 0,1 스트링을 이용하여 코딩한다. 따라서, 각 개체의 값은 16단계로 구분될 수 있으며, 표현값에 비례해서 그 중의 한 값을 가지게 된다.

또한, 메타-유전자알고리즘에서 사용된 유전파라미터 값으로는, 집단의 크기는 16, 교배율은 0.6, 돌연변이율은 0.02를 사용하였으며, 종료조건으로는 30세대가 진행되면 메타-유전자알고리즘을 마치는 것으로 하였다. 메타-유전자알고리즘에서 매 세대마다 집단을 구성하는 개체의 적합도 계산은 주어진 환경요소인 ①머시닝센터의 수, ②가공물의 종류, ③가공물의 수요량, ④머시닝센터의 가공시간, ⑤스태커크레인의 수평/수직 속도 및 ⑥입/출력버퍼의 수 등으로부터 임의의 20개의 랜덤환경을 만들어 각 문제에 대해서 본문제-유전자알고리즘에 의한 최적값을 찾은 후, 그 평균값으로 적합도를 삼는다.

유전자알고리즘은 종료조건에 따라 계산시간이 많은 영향을 받을 수 있다. 기존의 연구결과인 완전요인배치법 및 다구치방법(Lim 등(1998))과 계산시간을 비교하기 위해서, 연속된 다섯 세대에 대해서 각 집단내의 개체들의 적합도 평균편차가 최종 세대의 평균의 1%이내에 들거나 생성된 총 세대수가 100을 넘으면 유전자알고리즘의 진행을 끝내는 것으로 하였다.

4. DIO가공시스템에서의 운영정책

DIO가공시스템의 설계가 완료되면, DIO가공시스

템의 효율은 시스템의 효과적 운영정책에 의해 결정된다. 본 연구에서는 최적의 운영정책 조합을 결정하기 위해서, 시스템 운영정책을 [표 1]에서 제시된 것과 같이 네 가지로 분류한다. 그에 따른 각각의 문제에 대해서 기존의 연구결과로부터 적용이 가능한 규칙들을 열거하면 다음과 같다.

4.1 DIO가공시스템으로의 가공물 투입순서 결정문제

- (1) 생산평준화법(production smoothing method)
- (2) 부하균형법(load balancing method)
- (3) 임의순서법(random sequence method)

4.2 자동창고내의 가공물 저장위치 결정문제

- (1) 최근위치저장방식(closest open location policy)
- (2) 지정위치저장방식(dedicated location policy)
- (3) 임의위치저장방식(random location policy)

4.3 스태커크레인의 작업배정(dispatching)에 관한 문제

- (1) 선입선출법(FCFS)
- (2) 수정최단거리법(MSTT)
- (3) 최대유익운반법(MSM)

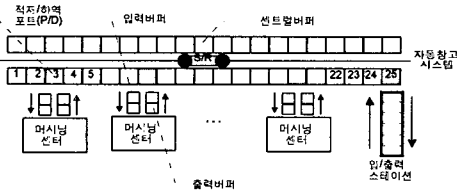
4.4 자동창고로부터의 가공물선택에 관한 문제

- (1) 선입선출규칙(FCFS)
- (2) 최소공정시간규칙(SPT)
- (3) 최단납기법(EDD)

5. 시뮬레이션을 위한 DIO가공시스템 모델링

본 연구에서 고려하고 있는 시스템의 모형을 개략적으로 나타내면 [그림 4]와 같다. 여러대의 머시닝센터들이 자동창고의 랙을 따라서 배치되어 있으며 한 대의 스태커크레인이 양방향으로 움직이면서 운반 및 저장 작업을 수행한다. 각 머시닝센터는 유한개의 입력버퍼와 출력버퍼를 가진다. 각 머시닝센터에서 입력버퍼와 출력버퍼의 용량은

동일한 것으로 가정한다. 머시닝센터들이 자동창고 랙의 양면 또는 한면에 배치될 수 있지만 본 연구에서는 한면에 배치된 경우만을 다루었다. 주(main) 자동창고로부터 작업장(DIO가공시스템)으로 작업물의 투입은 정해진 순서(투입순서규칙(input sequencing rule)에 의해서 결정됨)에 의해서 결정되지만, 각 머시닝센터의 입력버퍼에서 작업물의 선택은 작업물이 도착한 순서대로 선택된다. 스택크레인은 역시 해당 머시닝센터에서 작업이 끝나서 다음 가공작업을 위해서 출력버퍼에서 기다리는 작업물 중에서 작업물이 출력버퍼에 들어온 순서에 따라서 먼저 들어온 작업물을 선택한다. DIO가공시스템 내에 존재하는 자동창고시스템은 유한개의 용량을 가지며 센트럴버퍼(central buffer)의 역할을 수행한다. 스택크레인이 연속되는 다음 공정의 작업을 위해서 파렛트를 운반하려고 할 때 다음공정의 해당 포트가 다른 작업물의 파렛트로 점유되어 있으면, 그 파렛트는 센트럴버퍼의 빈 랙오프닝에 임시로 저장되게 되며 후에 포트가 비게 되었을 때 꺼내어져 포트에 옮겨지게 된다.



[그림 4] 시물레이션을 위한 DIO가공 시스템 모형

5.1 가정

모형의 현실성을 위반하지 않으면서 시물레이션 모형의 단순화를 위해서 다음과 같은 추가적인 가정을 한다.

- (1) 스택크레인의 가/감속은 고려하지 않는다. 즉, 스택크레인의 속도는 등속인 것으로 한다.
- (2) 머시닝센터들은 자동창고의 한쪽 면에만 배치되며 일직선을 따라서 등간격으로 배열되어 있는 것으로 한다.
- (3) 스택크레인은 한번에 한 작업물만을 운반할

수 있다.

- (4) 스택크레인은 한대만 있는 것으로 한다.
- (5) 머시닝센터나 스택크레인의 고장은 고려하지 않는다.
- (6) 시물레이션의 모든 수행에서, DIO가공시스템에 포함된 자동창고의 크기는 25(폭) × 3(높이)로 고정되어 있는 것으로 한다.
- (7) 작업물은 재방문함이 없이 모든 머시닝센터를 한번씩 방문하며, 그 방문 순서는 랜덤(random)하게 결정된다.

5.2 수행도 평가

각 운영정책에 따른 DIO가공시스템의 성능을 평가하기 위한 수행도로 평균체류시간(mean flow time)과 생산율(throughput)을 고려한다. 평균체류시간은 작업물이 투입된 시점부터 시작해서 모든 작업이 끝나서 DIO가공시스템을 떠날 때까지 작업물이 체류한 평균 시간을 의미한다. 생산율은 DIO가공시스템에 처음의 작업물이 투입된 시점부터 시작해서 마지막 작업물이 DIO가공시스템을 떠날 때까지 시간의 역수를 의미한다. 시스템의 성능을 평가하기 위해서 사용되는 평균체류시간은 생산자에게는 재공품 재고의 수준을, 서비스를 원하는 고객에게는 대기시간의 기대치를 의미하는 것으로 일반적으로 널리 사용된다. 평균체류시간과는 대조적으로 생산율은 시스템의 생산성을 나타내는 지표로 널리 사용되고 있다. 그러므로 생산율이 클수록 시스템의 생산성은 제고되고, 평균체류시간이 작을수록 효율은 높아지게 된다.

여기서 얻어진 수행도 값은 본문제-유전자알고리즘에서 각 개체의 적합도를 계산하는 기초자료가 된다.

5.3 시물레이션의 수행방법

시물레이션을 수행하는 방법으로는 종료시물레이션(terminating simulation) 방식을 사용하였다.

주어진 DIO가공시스템에 대해서 시물레이션 전용 언어인 SLAM II와 FORTRAN 언어를 사용하여 프로그램을 구현하였으며 유전자알고리즘에서 각 개체의 적합도를 계산하는 서브-모듈로 포함되어 사용되었다. 참고로 유전자알고리즘의 전체적인 프로그램은 C언어를 사용하여 구현하였으며 팬티

업 II급의 개인용 컴퓨터에서 실험을 행하였다.

6. 실험 및 결과분석

6.1 결정변수와 환경요인의 설정

앞에서 언급한 바와 같이 본 연구에서 결정변수로 고려하는 DIO가공시스템의 운영정책 4가지에 대해서 각 수준의 값을 요약하면 [표 3]과 같다.

[표 3] 운영정책의 수준

운영정책	수준
가공물 투입순서(A)	생산평준화법(A1)
	부하균형법(A2)
	입의순서법(A3)
가공물 저장위치(B)	최근위치저장방식(B1)
	지정위치저장방식(B2)
	임의위치저장방식(B3)
스태크크레인의 작업배정규칙(C)	선입선출법(C1)
	수정최단거리법(C2)
	최대유의운반법(C3)
가공물선택(D)	선입선출법(D1)
	최소공정시간법(D2)
	최단남기법(D3)

또한, 다양한 실험환경을 제공하기 위한 환경요인으로서, 본 연구에서는 6가지를 고려하였으며, 그 밖의 요인들은 기존의 연구결과와 경험에 비추어 중요하지 않은 것으로 판단되어 포함시키지 않았다. 선택된 환경요인들과 각 수준을 열거하면 [표 4]와 같다.

[표 4] 환경요인과 수준

환경요인	수준	
	1	2
머시닝센터의 수	5	10
가공물의 종류	5	10
가공물의 수요	100~200	100~400
머시닝센터에서의 가공시간	10~20분	5~35분
스태크크레인의 수행/수직 속도	20/10 (미터/분)	40/20 (미터/분)
입/출력버퍼의 수	1	2

앞에서 제시된 유전자알고리즘에서 한 집단내의 개체의 적합도 계산시, 다양한 환경요인을 반영하기 위해서, 환경요인의 각각의 종류에 따라, 환경요인의 수준을 임의로 택하여 문제들을 구성한 후 각각의 환경요인에 따라서 시뮬레이션을 수행한 후 그 수행도 값으로 적합도를 계산하게 된다.

6.2 실험계획

DIO가공시스템의 최적 운영정책 결정시 유전자알고리즘의 적용과 기존의 연구결과와의 비교평가를 위해서 크게 세가지의 종류의 실험을 실시하였다. 첫째, 개발된 유전자알고리즘을 이용하여 최적의 운영정책을 찾는다. 둘째, 일부실험법을 활용한 다구치방법을 사용하여 최적의 운영정책조합을 찾는다. 셋째, 완전요인배치법(full factorial design)을 사용하여 최적의 운영정책조합을 찾는다.

(1) 유전자알고리즘

앞절에서 개발된 유전자알고리즘을 적용하였으며, 적합도 계산방식 - 생산율, 1/평균체류시간, 생산율/평균체류시간 - 에 따라서 세 종류의 실험을 행하였다.

(2) 일부실험법

Lim 등(1998)에 주어진 바와 같이, 직교표에 의한 배치에 의한 실험을 실시하였으며, 다구치방법을 사용하여 최적의 운영정책조합을 찾았다.

(3) 완전요인배치법

운영정책의 모든 조합과 환경요인의 모든 요인에 대해서 실험하여 전체 최적의 운영정책조합을 얻었다(Lim 등(1998) 참조).

6.3 결과분석

실험시 사용된 유전자알고리즘의 적합도 함수로 ① '생산율', ② '1/평균체류시간' 및 ③ '생산율/평균체류시간'의 경우로 나누어 고려하였으며, 각각의 경우에 대해서 다구치방법과 완전요인배치법의 실험을 행하여 수행도 및 계산시간을 비교하였다. [표 5], [표 6], [표 7]에 각 경우에 대한 결과가 요약되어 있다. 여기서, 평균체류시간은 Lim 등(1998)에서 언급된 바와 같이 '상대적평균체류시간'을 사용하였다.

[표 6] 적합도로 '생산율'고려시의 실험결과

방법	최적정책조합	평균생산율	계산시간 (시간)
유전자알고리즘	(A2)(B1)(C2)(D1)	2.465	2.7
다구치방법	(A1)(B)(C2)(D)	2.464	2.1
완전요인배치법	(A2)(B2)(C2)(D2)	2.470	22.5

[표 7] 적합도로 '1/평균체류시간'고려시의 실험결과

방 법	최적정책조합	상대적 평균체류 시간	계산시간 (시간)
유전자알고리즘	(A2)(B1)(C2)(D1)	188.0	2.9
다구치방법	(A1)(B1)(C2)(D)	188.0	2.2
완전요인배치법	(A2)(B1)(C2)(D)	187.9	23.1

[표 8] 적합도로 '생산율/평균체류시간'고려시의 실험결과

방 법	최적정책조합	평균생산율/ (상대적평균 체류시간)	계산 시간 (시간)
유전자알고리즘	(A2)(B1)(C2)(D2)	0.01314529	3.1
다구치방법	(A1)(B1)(C2)(D)	0.013106383	2.3
완전요인배치법	(A2)(B1)(C2)(D2)	0.01314529	23.5

실험결과로부터 우리는 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

- ① 본 연구에서 제시한 유전자알고리즘은 세 종류의 적합도 모두에서 완전요인배치법(최적)을 사용한 경우와 매우 근사한 해를 주었으며 적합도 함수로 '생산율/평균체류시간'을 사용한 경우는 완전요인배치법과 같은 해를 주었다.
- ② 계산시간 면에서 유전자알고리즘은 완전요인배치법에 비해서 약 1/8정도의 시간이 걸렸으며 수행도 측면에서도 매우 바람직한 결과를 주었다.
- ③ 다구치방법을 사용한 경우보다 계산시간이 다소 많이 걸리는 경향이 있으나, 본 표에서 제시된 시간은 단지 실험에 소요된 시간만을 표기한 것이므로, 다구치방법에서는 일부실험법(fractional factorial design)의 실험을 거친 후 최적의 해를 도출하기 위해선 추후 분석(분산분석 등)을 위한 상당한 시간이 소요된다는 점을 감안하면 오히려 유전자알고리즘을 적용한 경우가 매우 효율적임을 알 수 있다.
- ④ 유전자알고리즘을 사용하는 경우는 한번의 실행으로 최적의 해를 줄 수 있고 어려운 이론적인 배경을 요구하지 않으므로 실험계획이나 통계적인 분석 등에 대한 이론에 능숙하지 않은 사람들도 쉽게 사용할 수 있다.
- ⑤ 본 연구에서 제시한 '메타-유전자알고리즘'은

유전파라미터의 결정을 알고리즘의 내부로 포함시켜, 유전파라미터의 결정조차 유전자알고리즘을 이용하여 구하여 줌으로써 유전파라미터의 민감성에서 오는 오차의 원인을 제거할 수 있다.

7. 결 론

본 연구에서는 통합된 자동생산시스템의 최적의 운영정책을 결정하기 위한 유전자알고리즘을 제시하였다. 본 연구의 결과로부터 DIO가공시스템의 최적의 운영정책을 결정하기 위해 유전자알고리즘을 사용함으로써 DIO가공시스템을 도입, 운영하려는 시스템사용자에게 1) 일반적인 실험계획에 의한 방법보다 훨씬 짧은 시간 안에 최적의 운영방안을 제시하여 줄 수 있고, 2) 통계적 지식이나 분석에 대해 능숙하지 않은 현장 사용자들도 손쉽게 적용이 가능하며, 3) 본 연구에서 개발된 유전자알고리즘과 방법론은 DIO가공시스템과 유사한 특징을 갖는 시스템의 운영정책결정을 위한 최적화에 쉽게 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Chow, W. M., "An analysis of automated storage and retrieval systems in manufacturing assembly lines," *IIE Transactions*, June, 1986, 204-214.
- [2] Goldberg, D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison Wesley, New York, 1989.
- [3] Grefenstette, J. J., "Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms, *IEEE*, 16(1), 122-128, 1986.
- [4] Hattori, M., J. Shirataki and T. Tomikawa, "A Study of Parameter Optimization in Meta-Genetic Algorithm," *Proceedings of ICC&IE'96*, Kyungju, Korea, Oct., 1996.
- [5] Kusiak, A., "Material handling in flexible manufacturing system," *Material Flow*, 2, 1985, 79-95.

- [6] Lim, J. M., *Design and operation problems in a flexible manufacturing system with built in automated storage/retrieval system*, Ph.D Dissertation, KAIST, 1994.
- [7] Lim, J. M., K. S. Kim and K. S. Sung, "Determination of the optimal configuration of operating policies in an integrated-automated manufacturing system using the Taguchi method and simulation experiences," *IE Interfaces*, Vol.11, No.3, 1998, 23-40.
- [8] 김여근, 윤복식, 이상복, 메타휴리스틱, 영지문화사, 1997.