

병렬 NC 기계가공에서 최적 공정계획 생성을 위한 유전알고리즘의 적용

A Genetic Algorithm Application for Optimal Process Planning for Parallel NC Machines

조규갑(부산대 공대), 문병근(부산대 대학원)

K.K. Cho (Pusan National Univ), B.K. Moon(Graduate School, Pusan National Univ)

ABSTRACT

Parallel NC machines are a new generation of machine tools aimed at increasing machining accuracy and reducing part cycle times. In addition to their capacity to perform both milling and turning operations, these machine tools can perform multiple machining operations simultaneously, involving one or more parts at a time, and can completely finish a part in a single setup. Due to the lack of a computer-aided process planning system, these machines are used in industry today as dedicated, mass-production machines. This paper presents methodology for generating optimal process plan for each parallel machine tool using a genetic algorithm.

Key Words : parallel NC machines(병렬 NC 기계), simultaneous machining(동시가공), parallel machining(병렬가공), genetic algorithm(유전알고리즘), optimal process plan(최적 공정계획)

1. 서 론

병렬 NC 기계(Parallel NC machines)는 새로운 종류의 CNC 공작기계로 가공 정밀도를 향상시키고, 부품의 사이클 타임을 감소시킬 목적으로 1980년대 중반 이후 산업계에 소개되어 많이 이용되고 있다^(1,2,3,4). 전형적인 병렬 NC 기계는 두개 이상의 스픈들(spindle)에서 두개 이상의 가공물을 병렬로 가공하거나, 한개의 가공물에 대해서 2터렛(turret)에 의한 동시가공을 수행할 수 있다. 또한 이러한 기계는 터렛에 회전공구를 장착하여 동일한 척킹(chucking) 상태에서 C축 밀링가공을 수행함으로써 누적공차를 제거하여 높은 정밀도를 보장하고, 부품의 가공시간을 크게 줄일 수 있다.

병렬 NC 기계가공을 위한 공정계획 생성에 관한 연구는 이 기계가 최근 등장하였으므로 아직 초보적인 단계이며, 몇가지 모듈이 구현되었다^(1,2,3). 가공작업의 순서를 결정을 위해 적용된 휴리스틱과 유전알고리즘은 동시가공과 병렬가공에 대한

충분한 고려가 이루어지지 않았으며, 양 스픈들간의 사이클 타임 평준화에 대해 고려하고 있지 않다. 그리고 4축 터닝센터에서의 뱃치생산을 위해 Tabu 탐색기법을 이용한 최적 공정계획 생성에 연구결과가 있다⁽⁴⁾. 하지만 다양한 병렬NC 기계사양에 대해서는 적용하지 않았다.

본 논문에서는 1 스픈들 / 2 터렛 CNC 선반, 2 스픈들/ 2 터렛 CNC 선반, 그리고 4축 터닝 센터에서의 부품 가공을 위한 최적의 공정계획을 생성하기 위한 유전알고리즘의 적용에 대해서 서술한다.

2. 병렬 NC 기계의 대한 개요

병렬 NC 기계는 $N(N \geq 1)$ 스픈들과 $M(M > 1)$ 터렛을 가지고서, 주어진 하나의 가공물에 m 절삭 공구($M \geq m > 1$)를 사용하여 가공하는 능력, 또는 n 개의 가공물($N \geq n > 1$)을 서로 다른 스픈들에서 m 절삭 공구($M \geq m > 1$)를 사용하여 가공하는 능력을

가진 기계로 정의된다. 본 논문에서 대상으로 하는 병렬 NC 기계는 아래의 세 가지가 있으며 각각의 특성은 다음과 같다.

2.1 1 스픈들/ 2 터렛 CNC 선반

이 기계는 하나의 스픈들과 두개의 터렛으로 구성되며(Fig. 1), 구조는 부품의 길이(L)가 직경(D)

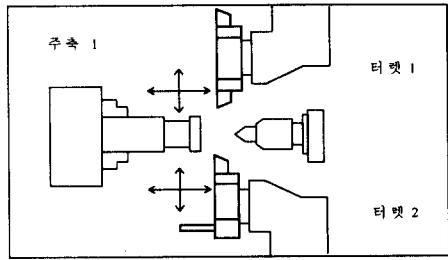


Fig. 1 1 스픈들/ 2 터렛 CNC 선반

보다 큰축부품(Shaft part)의 생산, 특히 장축부품 ($L \geq 4D$)의 생산에 적합하다. 2 터렛의 다양한 작업으로 ①터렛1과 터렛2의 동시 가공으로 가공시간의 단축 및 생산성을 대폭 향상, ②밸런스 절삭으로 장축 가공시의 떨림의 방지 등의 장점이 있다.

2.2 2 스픈들/2 터렛 CNC 선반

이 기계는 두 스픈들과 두 터렛으로 구성되며 (Fig. 2), 두개의 스픈들에서 두 부품의 병렬가공이

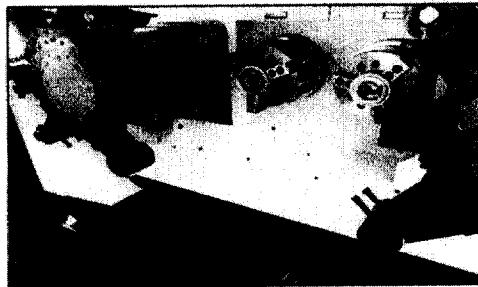


Fig. 2 2 스픈들/2 터렛 CNC 선반

가능하지만 각 터렛은 각 스픈들에 전용으로 사용되며 일반적으로 두 스픈들 사이에 차단막이 있다. 이러한 기계 구성은 한 공간에서 가공이 발생하므로 설치 면적을 줄이며, 이물질의 제거 및 방어가 쉬우며, 소재의 착탈이 용이하므로 취급이 편리하다. 두 스픈들이 같은 베드(bed) 위에 놓여있으므로 한 쪽 스픈들에서의 진동이 다른 스픈들에 전달되기

때문에 병렬가공에 대한 제약이 존재한다.

2.3 4축 터닝 센터

이 기계는 두개의 스픈들과 두개의 터렛으로 구성되며(Fig. 3), 부품가공은 병렬가공과 동시가공

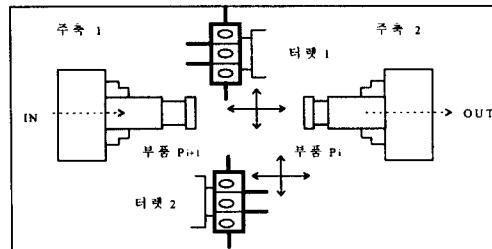


Fig. 3 4 축 터닝 센터

으로 특징 지어진다. 이 기계에서는 두 스픈들간에 부하의 불균형이 존재할 경우 동시가공의 활용으로 양 스픈들간의 사이를 타임을 평준화를 달성할 수 있다.

3. 병렬 NC 기계가공을 위한 공정계획

3.1 공정계획 전처리기

공정계획 전처리기는 특징형상 추출 및 인식 시스템의 결과를 사용하여 공정계획 생성기에서 사용되는 입력을 생성하는 모듈로 다음과 같은 작업을 수행한다.

1. 가공작업의 추출,
2. 가공작업의 선후행관계 추출,
3. 고정 특징형상(fixturing feature)의 결정,
4. 병렬 NC 기계의 구조와 가공 능력의 인식

본 논문에서 사용된 입력정보로는 다음과 같다.

(1) 가공작업과 각 가공작업의 속성

주어진 부품을 생산하기 위해 필요한 가공작업과 각 가공작업의 속성정보로 가공모드(스핀들 회전 또는 스픈들 고정), 가공시간, 가공정도, 표면 거칠기, 공구의 접근 방향 등이 있다.

(2) 가공작업간의 선후행관계

가공작업의 선후행관계는 기하형상, 공차, 가공 경험에 의한 관계가 존재한다. 이러한 선후행관계는 기하형상에 의한 선후행 관계는 트리(tree)구조로 표현하고, 공차와 가공경험에 의한 선후행관계는 유전 알고리즘의 디코딩(decoding) 과정에서 고려한다.

(3) 각 병렬 NC 기계의 가공능력

공작기계 사양에 대한 정보, 동시가공, 병렬가공, 그리고 각 터렛의 각 스픈들에의 접근에 관한

제약 조건에 관한 정보를 포함한다.

(4) 고정 특징형상

첫번째 스핀들과 두번째 스핀들에서의 가공작업을 위해 척(chuck)으로 고정할 부분을 결정하는 것이다.

3.2 공정계획 생성기

공정계획 생성기에서 공정계획 전처리기의 결과를 입력으로 다음과 같은 계획을 수행한다.

1. 각 스핀들에서의 가공 작업을 결정
2. 각 스핀들에서의 가공의 선후행 제약을 만족하고, 다공구간의 충돌방지를 고려한 가공순서의 결정과 각 공구의 터렛 할당
3. 동시가공의 가공경험을 고려한 가공 파라미터의 조정

본 논문에서는 공정계획 생성기에서 최적 공정계획을 생성하기 위해 유전알고리즘을 적용하였다.

3.3 공정계획 평가기준

(1) 개별 부품의 생산

개별 부품의 생산은 부품의 가공시간을 단축을 위해 접근 가능한 모든 터렛의 활용에 의한 동시가공이 권장된다.

(2) 부품의 뱃치 생산

2개의 스핀들을 가지는 병렬 NC 기계에서 뱃치 생산을 위한 공정계획을 수립하는데 있어서 가장 중요한 것은 가공시간의 단축과 더불어 양 스핀들에서의 사이클타임의 평준화이다.

4. 병렬 NC 기계가공 공정계획의 생성을 위한 유전알고리즘의 적용

유전알고리즘은 생태계의 적자생존 및 유전법칙에 바탕을 둔 최적해 탐색 알고리즘의 일종으로 전역적인 탐색을 통해 최적화 문제 등을 해결할 수 있는 탐색 방법 중의 하나이다⁽⁵⁾. 유전알고리즘은 해의 초기 모집단, 문제의 해를 표현하는 유전자, 평가함수 또는 적합도 함수 그리고 유전 연산자 등으로 구성된다. 병렬 NC 기계가공을 위한 공정계획 문제에 유전알고리즘을 정형화시키기 위한 첫번째 단계는 실제 문제의 해를 염색체로 표현하는 것이다. 실제 문제의 해는 병렬 NC 기계의 자원에 할당된 가공작업의 유효한 가공 순서로 가공작업 사이의 선후행관계, 각 스핀들에의 터렛의 접근에 관련된 제약, 모든 제약,

가공 경험에 관한 제약 등을 만족한다.

4.1 가공작업 선후행의 표현

본 논문에서 제시된 염색체 표현은 모든 유전 연산자에 대해 가공작업간의 선후행관계를 표현하고 보장한다. 각각의 가공작업 순서를 트리 순환(traversal) 탐색 전략을 이용하여 표현함으로써 선후행관계를 보장한다. 본 논문에서는 다음과 같은 트리 순환 탐색전략을 이용한다.

- 각 유전자의 값(allele)은 식(1)에 의해 각 단계에서 하위로 내려갈 가지(branch)를 결정하는데 사용된다.

$$\text{가지 값} = \text{최소 정수 } N \geq (\text{유전자의 값} / \text{최대 가지 값}) \times \text{각 단계에서의 가지의 총수} \quad (1)$$

- 가지 끝의 노드(node)는 자원의 하나에 다음 가공작업을 할당한다.

- 트리는 새롭게 할당된 작업을 그 작업의 형제들의 부모로 만듬으로써 새롭게 생성된다.

염색체 4-1-1-3-1-4-4에 대한 이 전략의 적용은 Fig. 4를 이용하여 설명한다. Fig. 4에 주어진 트리에서 최대 가지값은 4이고, 트리 순환을 위해 생성되

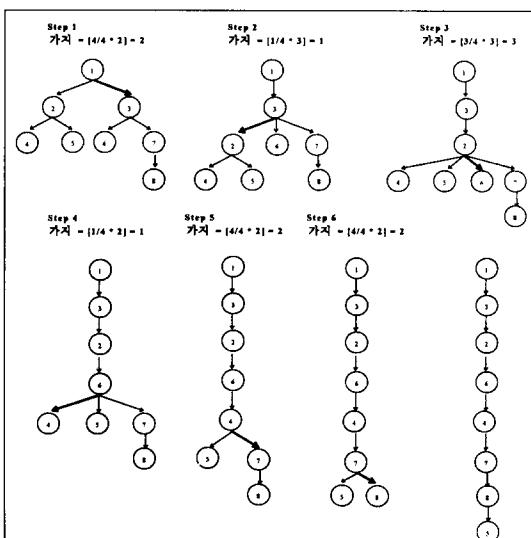


Fig. 4 트리 순환 전략의 예

는 유전자 값의 범위는 1 ~ 4이다. 그러므로 트리 순환 전략을 통해 형성된 가공작업의 직렬순서는 1-3-2-6-4-7-8-5이다.

4.2 가공작업의 터렛 할당

초기의 가공작업의 속성과 선후행 트리의 정보를 이용하여 각 스핀들에 가공작업을 할당한 후 각 가

공작업의 가공을 위한 터렛의 할당이 중요하다. 병렬 NC 기계사양에 따라 각 스픈들에 터렛의 접근이 자유로운 경우와 고정되어 있는 경우가 있다. 그러므로 기계의 구성에 따라 염색체를 표현하는 방법에 대해 서술한다.

(1) 1 스픈들/ 2 터렛 CNC 선반의 경우

이 사양은 병렬가공은 수행할 수 없지만, 동시 가공을 허용하기 때문에 트리의 순환에 필요한 정보와 터렛의 할당에 필요한 정보가 염색체에 표현된다. Fig. 4에 주어진 선후행 트리에서 1 - 4 - 2 - 1 - 1 - ... - 1의 염색체는 식(1)에 의해 1 - 2 - 2 - 1 - 1 - ... - 1의 염색체로 사상되어 첫번째 가공작업 1은 터렛 1로, 두번째 트리 순환에 의해 생성된 가공작업 3은 터렛 2로 그리고 다음 가공작업 2는 터렛 1에 의한 가공이 수행됨을 뜻한다. 나머지 가공작업들에 대해서도 동일하고, 맨마지막 가공작업은 터렛 1에 의해 수행된다.

(2) 2 스픈들/ 2 터렛 CNC 선반의 경우

동시가공이 허용되지 않기 때문에 각 스픈들에 가공작업을 할당은 그 가공작업을 위한 터렛의 할당은 자동으로 결정된다. 그러므로 트리 순환에 필요한 정보만이 염색체에 표현된다.

(3) 4 축 터닝 센터의 경우

이 사양에서는 양 스픈들의 사이클 타임 평준화를 위해 동시가공을 허용한다. 각 스픈들에 할당된 가공작업의 부하에 불균형이 존재할 경우 많은 가공작업이 할당된 스픈들에서 동시가공을 수행하여 양 스픈들간의 사이클타임 평준화를 추구한다. 이를 위해 트리의 순환에 필요한 정보와 터렛의 할당에 필요한 정보를 염색체에 표현한다.

4.3 병렬 NC 기계 자원에의 가공작업 할당

유전알고리즘은 두 단계의 디코딩 단계를 거친다. 첫번째 단계는 앞에서 언급된 트리 순환의 단계로 가공작업의 선후행관계를 지키도록 직렬의 가공작업의 순서를 생성하는 것이고, 두번째 단계는 이러한 직렬가공작업의 순서대로 병렬 NC 기계의 자원에 할당하는 것이다.

이처럼 각 병렬 NC 기계 사양에 가공작업을 할당하는데 있어서 고려해야 하는 정보는 ①주어진 스픈들에서의 가공작업의 선후행관계와 터렛의 접근관계, ②가공 모드, ③동시가공, 병렬가공에 관련한 가공 경험, 그리고 ④충돌방지 등이다

가공작업의 할당 결정은 식(2)에 의해 결정된다.

$$s[i,j] = \max(t[p[i], r[p[i]]], t[i-1,j]) \quad (2)$$

여기서,

$t[i,j]$ = 터렛 j 에서 가공작업 i 의 완료 시간

$r[i]$ = 가공 작업 i 에 할당된 터렛

$p[i]$ = 가공작업 선후행트리에서 가공작업 i 의 선행작업

$s[i,j]$ = 자원 j 에서 가공작업 i 의 시작 시간

위와 같은 가공작업의 기본적인 할당 규칙에 더해서 가공모드, 동시가공과 병렬가공 경험, 그리고 충돌방지 등에 관한 제약의 고려는 이미 진행중인 가공작업과 새로 할당된 작업이 서로 상충될 경우 진행 중인 작업이 완료되고 난 후에 새로 할당된 가공작업을 할당함으로써 제약조건을 만족시킨다.

5. 결론

본 논문에서는 병렬 NC 기계의 종류와 그 특징에 대하여 서술하였다. 이 공작 기계는 선삭과 밀링을 모두 수행하고, 동시가공과 병렬가공을 수행할 수 있지만 재래식 CNC 선반에 비하여 가격이 비싼 단점을 가진다. 본 논문에서 최적의 공정계획을 생성하기 위한 접근방법으로 사용된 유전알고리즘의 적용을 위하여 공정계획 문제에 대해 정의하고, 각 병렬 NC 기계의 특성에 따른 염색체의 표현과 해의 평가를 위한 트리 순환전략과 가공작업의 병렬 NC 기계 자원에의 할당에 관해 서술하였다.

참고문헌

- [1] J. B. Levin and D. Dutta, "Computer-Aided Process Planning For Parallel Machines", Journal of Manufacturing Systems, Vol 11, No 2., pp. 79-92, 1992
- [2] D. Yip-Hoi and D. Dutta, "A Genetic Algorithm Application For Sequencing Operation In Process Planning For Parallel Machining", IIE Transaction, Vol 28, pp. 55-68, 1996.
- [3] J.B. Levin and D. Dutta, "PMPS: A Prototype CAPP System For Parallel Machining", Transactions of the ASME Vol. 118, pp. 406-413, 1996.
- [4] D. Veeramani and A. Stinnes, " Optimal Process Planning For Four Axis Turning Centers", Proceedings of The ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference , 1996.
- [5] D. E. Goldberg., Genetic Algorithm in search, optimization & machine learning, Addison-Wesley, 1989