

본 연구는 정부 출연 기관 연구 개발 사업의 일부 지원(2E14430)으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사 드립니다.

공정 네트 모델과 유전 알고리즘에 의한 공정 계획과 일정 계획의 통합

박지형*, 강민형*, 노형민*

Integration of Process Planning and Operations Scheduling by Process Net Model and Genetic Algorithm

Ji-Hyung Park*, Min-Hyoung Kang*, Hyung-Min Rho*

ABSTRACT

In order to provide a manufacturing system with efficiency and flexibility to cope with the changes in shop floor status, the integration of process planning and operations scheduling is required. In this paper, an integrated system of process planning and operations scheduling based on the concept of process net model and genetic algorithm is suggested. The process net model includes the alternative process plans. The integrated system is applied for prismatic parts.

Key Words : Process Net Model (공정 네트 모델), Genetic Algorithm (유전 알고리즘), Process Planning (공정 계획), Operations Scheduling (일정 계획), Integrated System (통합 시스템)

1. 서론

공정 계획과 일정 계획은 생산 시스템의 운영에 필요한 핵심적인 두 기능이며, 이들 기능의 효율성과 생산 현장의 상황 변화에 대한 유연한 대처 능력은 생산성과 직결된다. 또한, 공정 계획과 일정 계획이 효율적으로 수행되기 위해서는 두 기능 사이에 원활한 정보 교환이 이루어져야 한다. 이를 위하여 공정 계획 시스템은 일정 정보와 보유 자원의 가용 정보를 반영함으로써 생산 현장의 상황 변화에 용이하게 대처할 수 있어야 하며, 일정 계획 시스템은 생산 현장의 상황 변화에 대응되는 공정 계획을 생성하기 위해 요구되는 정보를 공정 계획 시스템에 제공할

수 있어야 한다. 또한, 대부분의 산업 현장에서는 하나의 생산품에 대해 하나의 공정 계획만을 적용하고 있으나 대체 공정 계획을 도입하면 작업 현장에서의 상황 변화에 좀더 용이하게 대처할 수 있다.^(1, 2) 따라서, 생산 활동에 관련된 제반 정보의 원활한 흐름과 공유를 위해서는 대체 공정 계획을 제시할 수 있는 공정 계획 시스템과 작업 현장의 상황을 반영할 수 있는 일정 계획 시스템의 유기적인 결합이 요구된다.

대체 공정 계획을 수용하기 위한 방법으로서 대체 공정 계획을 공정 계획 시점에서 미리 생성해 두는 NLPP (Non-Linear Process Planning), 생산 현장의 요구에 따라 실시간으로 공정 계획을 생성하거나 수정하는

* 한국과학기술연구원, CAD/CAM 연구 센터

CLPP (Closed Loop Process Planning), 공정 계획과 일정 계획을 동시에 수행하는 DPP (Distributed Process Planning) 등의 기법들이 제안되었다. NLPP의 경우 비선형 공정 계획의 탐색에 많은 시간을 소요하게 되며 CLPP와 DPP 역시 실시간 수행을 위해 실행 속도가 빠른 고성능의 하드웨어를 요구하므로 실용화에 어려움이 있다. (3-6)

본 연구에서는 NLPP에 기반을 둔 공정 네트 모델을 도입하였으며, 공정 네트로부터 생산 현장의 상황을 반영한 공정 계획을 생성하는 기능을 추가하여 비회전 형상 부품에 대하여 공정 계획과 일정 계획의 두 기능을 효율적으로 통합하기 위한 시스템을 제안하였다.

2. 공정 네트 모델

공정 네트는 가공 공정에 대한 지식을 표현하는 AND-OR 그래프로서 방대한 양의 공정 계획을 축약된 형태로 표현할 수 있다. (7-10)

본 연구에 이용된 공정 네트의 구조를 Fig. 1에 보인다. 하나의 부품에 대하여 하나의 공정 네트가 구성된다. 각각의 부품은 몇 개의 feature set으로 이루어지므로 part node는 AND node의 역할을 한다. Feature set node는 OR node이며 각각의 feature set는 한 가지 이상의 가공 방법 중 하나를 택할 수 있다. 공정 네트는 기존의 NLPP와는 달리 process node에서 분기가 일어나지 않으므로 네트 탐색 알고리즘을 용이하게 작성할 수 있다.

공정 계획의 시점에는 생산 현장의 상황과 자원의 가용 정보를 참조할 수 없으므로 가능한 모든 공정이 공정 네

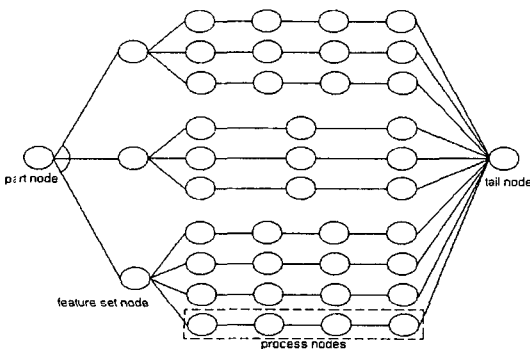


Fig. 1 Process net

트에 저장된다. 일정 계획의 시점에는 생산 현장의 상황과 자원의 가용 정보를 참조하여 공정 네트를 탐색함으로써 최적의 공정 계획을 얻을 수 있다.

부품의 형상이 복잡해지면 공정 네트의 탐색 공간이 급증하므로 일반적인 탐색 방법으로는 최적 공정을 얻을 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 공정 네트의 효율적인 탐색을 위하여 유전 알고리즘을 이용한다. 공정 네트를 이용함으로써 공정을 일정 계획 시점 이전에 미리 생성할 수 있으므로 CLPP 또는 DPP에서 요구되는 고성능의 하드웨어를 필요로 하지 않으며, 유전 알고리즘의 적용에 의해 기존의 NLPP의 문제점인 네트 탐색 소요 시간을 단축할 수 있다.

3. 개발된 시스템의 데이터 구조

제안된 공정-일정 통합 시스템의 전체 데이터 구조는 Fig. 2와 같다. 제안된 데이터 베이스는 다음과 같은 데이터 테이블로 구성된다.

- 제품/부품에 대한 정보
 - PRODUCT : 제품
 - PART : 부품
 - FEATURE : 특징 형상
 - FEATURE_SET : 특징 형상군
 - PRODUCT_HISTORY : 제품별 이력
 - PART_HISTORY : 부품별 이력
- 공정/일정에 대한 정보
 - JOB : 사내 작업
 - EXT_JOB : 외주
 - DAILY_JOB : 일일 작업
 - OVERTIME : 잔업
 - OPERATION : 단위 공정
- 기계/공구 정보
 - MACHINE : 기계
 - TOOL : 공구
 - TOOL_SET : 공구 세트
 - TOOL_DETAIL : 개별 공구 정보
 - TOOL_HISTORY : 공구 이력
- 절삭조건에 대한 정보

- CUTTING_CONDITION : 절삭조건
- OPT_CUTTING_CONDITION : 최적절삭조건
- 공정 네트를 구성하는 테이블
 - NODE : 공정 네트의 절점
 - NODE_CONN : 절점들의 연결 관계

이밖에 다중 연결 관계를 표시하기 위한 테이블로서 PART_JOB_CONN, JOB_OPER_CONN, TOOL_SET_CONN 등이 있다.

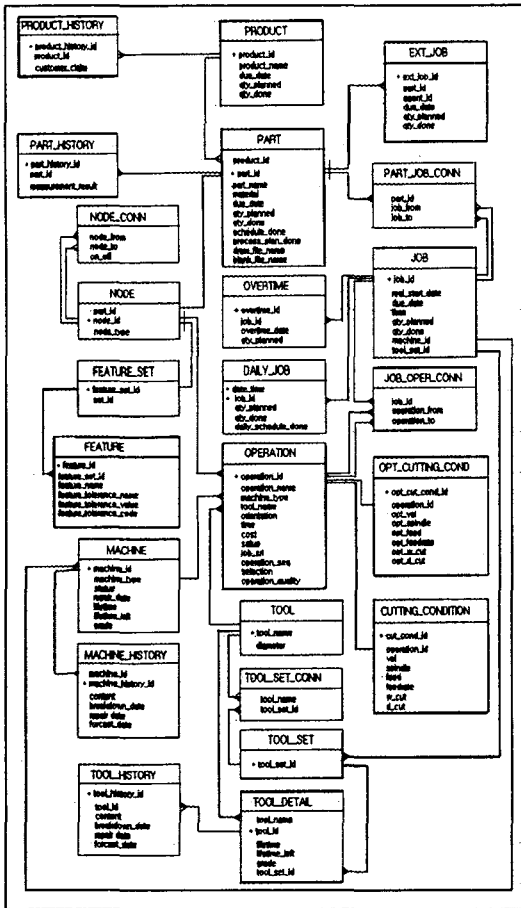


Fig. 2 Data structure of the developed system

4. 개발된 시스템의 구성과 기능

제안된 공정-일정 통합 시스템의 구성은 Fig. 3에 표시된 바와 같이 공정 계획 시스템, 공정-일정 인터페이스

시스템, 일정 계획 시스템의 3 부분으로 이루어진다.

공정 계획 시스템은 상용 소프트웨어인 ICEM PART를 이용하여 비회전 형상 부품의 CAD 모델링 데이터로부터 대체 공정 계획을 생성하며, 만들어진 대체 공정 계획은 공정 네트의 형태로 저장된다. 일정 계획 시스템은 일정 생성 또는 일정 수정의 시점에서 공정-일정 인터페이스 시스템에 공정 계획을 요구한다. 공정-일정 인터페이스 시스템은 유전 알고리즘을 이용하여 공정 네트를 탐색함으로써 생산 설비의 가용 정보가 반영된 최적의 공정 계획을 생성한다. 일정 계획 시스템은 제공받은 공정 계획을 이용하여 신규 일정 수립 또는 일정 수정 기능을 수행한다.

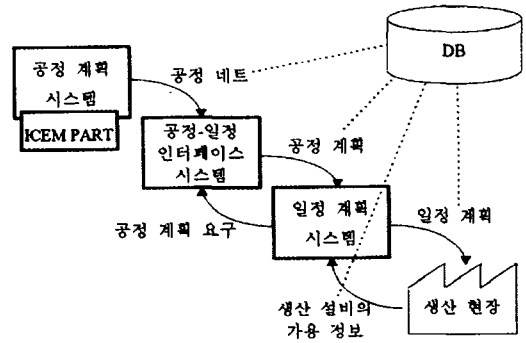


Fig. 3 Structure of the process-net based integrated system of process planning and operations scheduling

공정-일정 통합 시스템은 IBM-PC에서 Delphi 2.0을 이용하여 개발되었으며, ICEM PART와 ORACLE RDBMS는 SGI workstation에 설치되었다.

5. 공정 계획 시스템

공정 네트의 생성에는 상용 공정 계획 소프트웨어인 ICEM PART를 이용하였다. Fig. 4는 ICEM PART의 실행 화면을 보여준다.

ICEM PART는 가공하고자 하는 부품의 CAD 모델링 데이터와 생산 설비 정보로부터 특정 형상 인식 단계, 셋업 결정 단계, 기계 및 공구 세트 결정 단계, 치구 결정 단계, 공정 생성 단계, 공구 경로 결정 단계, NC 프로그램 생성 단계, 후처리 결정 단계 등을 거쳐 공정 계획을 생성한다. 이때 기계 정보와 공구 정보를 변화시키며 공정 계획을 반복함으로써 하나의 부품에 대하여 다양한 공

정 계획들을 수립할 수 있다. 수립된 공정 계획은 각각의 단위 공정을 process node로 하는 node string으로 표시된다. 기계 정보와 공구 정보를 변화시키며 공정 계획을 반복함으로써 하나의 특징 형상에 대해 하나 이상의 node string들이 생성된다. 이렇게 생성된 공정 계획들을 특징 형상에 따라 분류한 후 상호 의존성이 있는 특징 형상들을 하나의 특징 형상군(feature set)으로 묶는다. 각각의 특징 형상군에 대하여 하나씩의 feature set node를 만들고 이것을 OR node로 하여 해당 특징 형상군의 모든 node string들을 연결시킨 후 AND node인 part node를 만든다. Part node에 모든 feature set node를 연결하고 모든 node string의 마지막 node들을 tail node에 연결시킴으로써 공정 네트워크가 완성된다. 생성된 공정 네트워크는 데이터베이스에 저장된다.

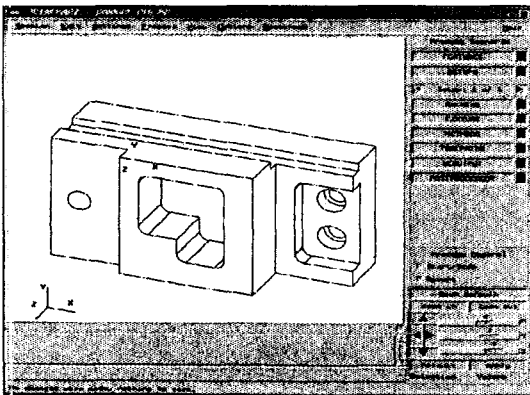


Fig. 4 Executing ICEM PART

6. 공정-일정 인터페이스 시스템

공정-일정 인터페이스 시스템은 일정 계획 시스템으로부터 공정 생성 요청이 있으면 해당 부품의 공정 네트워크로부터 최적 공정 계획을 생성한다.

최적 공정 계획은 공정 네트워크로부터 생성되는 모든 공정 계획 중에서 총가공시간이 가장 짧은 것으로 한다. 한편, 총가공시간은 가공 공정에 소요되는 시간과 셋업 변화, 기계간 이동, 부품 교체 등에 필요한 시간을 모두 합산한 것으로 한다. 이때 생산 현장의 상황을 반영하여 가용하지 않은 기계 또는 공구를 이용하는 node string들은 공정 네트워크로부터 삭제시킴으로써 공정-일정 인터페이스 시스템이 만들어내는 공정 계획은 언제나 수행 가능한 공정

계획이 된다.

공정-일정 인터페이스 시스템은 최적 공정 계획 생성을 위하여 유전 알고리즘을 이용하였다. 공정 네트워크의 선택 가능한 모든 분지(branch)의 id를 나열하여 생성된 문자열을 유전자로, 총가공시간을 목적함수 및 적합도 함수로 하여 Fig. 5에 보인 것과 같이 세대별 개체수, 최소 세대수, 최대 세대수, 돌연변이율 등을 조절하여 유전 알고리즘을 수행시킨 후, 결과를 수용하거나 재계산을 시도할 수 있도록 하였다. Fig. 5 하단의 그래프는 각 세대의 최대 총가공시간, 평균 총가공시간, 최소 총가공시간을 표시한 것이다.

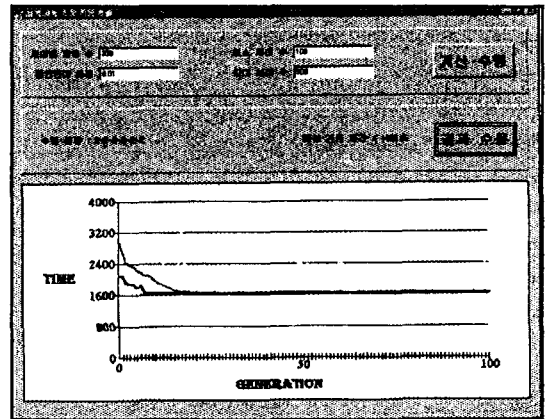


Fig. 5 A screen of process planning-scheduling interface system

7. 일정 계획 시스템

제안된 일정 계획 시스템의 주요 기능은 반자동 일정 계획, 수동 일정 계획, 일정 조희의 3가지이며 반자동 일정 계획과 수동 일정 계획은 신규 일정 생성과 일정 수정 기능을 수행할 수 있다.

반자동 일정 계획의 흐름도는 Fig. 6과 같다. 먼저 일정을 수립할 대상을 선택한 후, 가공 소요 시간과 납기까지의 여유 시간을 비교하여 가장 긴급한 것부터 일정을 수립한다. 이때, 공정-일정 인터페이스 시스템을 호출하여 공정 네트워크로부터 생산 현장의 상황에 적합한 최적 공정 계획을 생성한 후 이 공정 계획으로부터 일정을 생성한다.

Fig. 7에 수동 일정 계획의 흐름도를 보인다. 수동 일정 계획에서는 잔업 책정, 외주 설정, 납기 조정 등의 방

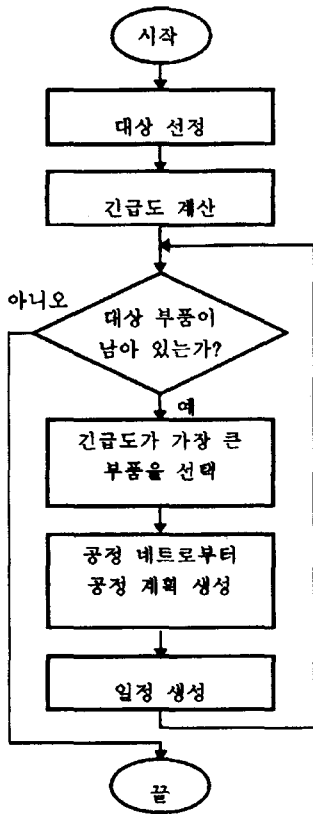


Fig. 6 Flow chart of semi-automatic scheduling

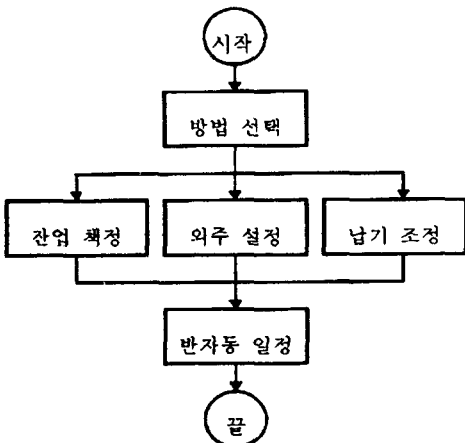


Fig. 7 Flow chart of interactive scheduling

법으로 작업 부하를 완화시킨 후 반자동 일정 계획과 같은 과정을 거쳐 일정을 생성한다.

제안된 통합 시스템이 문제 발생에 대처하는 예를 Fig. 8-a, 8-b, 8-c에 보였다. 그림 8-a는 새로운 부품에 대한 일정 생성 전의 상태를 보이며, 그림 8-b는 새로운 부품에 대한 일정이 생성되어 추가된 상태를 나타낸다. 그림 8-b에서 새로운 부품에 대한 일정 계획의 결과 마지막

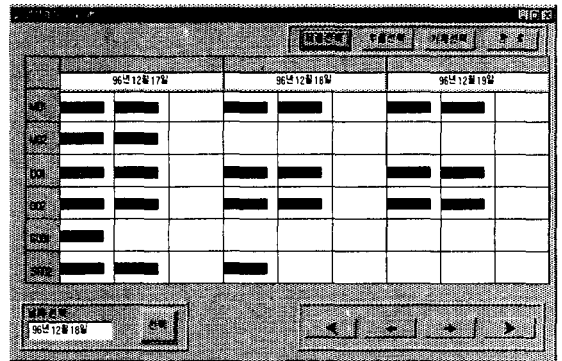


Fig. 8-a Gantt chart - generation of parts schedules

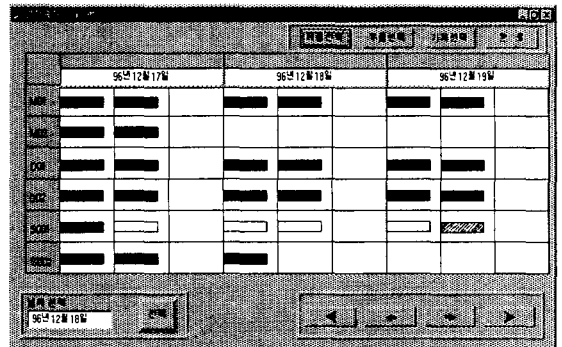


Fig. 8-b Gantt chart - after the scheduling of new parts

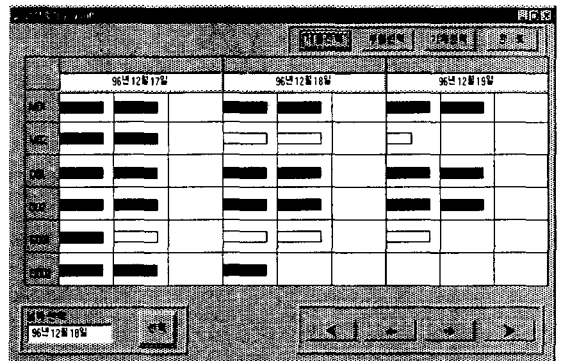


Fig. 8-c Gantt chart - after the re-scheduling of new parts

부분에서 납기를 준수하지 못한 것을 알 수 있다. 그림 8-c는 납기를 준수하지 못한 작업을 일정 수정 대상으로 선정하고 대체 공정 계획을 이용하여 일정을 조정한 결과 다른 기계에 작업이 할당됨으로써 납기를 지키는 새로운 일정이 수립되는 것을 보인다.

8. 결 론

본 연구에서는 대체 공정 계획 기능을 수용하는 공정 계획 시스템과 생산 현장의 상황 변화에 유연하게 대처할 수 있는 일정 계획 시스템의 통합을 위하여 공정 네트워크 모델과 유전 알고리즘을 이용한 통합 시스템을 제안하였다. 공정 네트워크 모델을 이용함으로써 고성능의 하드웨어를 요구하지 않으면서도 생산 현장의 상황 변화에 유연하게 대응할 수 있는 공정-일정 통합 시스템을 구성할 수 있었으며 유전 알고리즘을 채용하여 복잡한 공정 네트워크를 탐색하는 데에 소요되는 시간을 단축하였다.

향후 연구로는 공정-일정 통합 시스템의 기능을 더욱 확장, 보완하여 실제 생산 현장에 적용하는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

1. Hou, T.-H. and Wang, H.-P., "Integration of a CAPP System and an FMS", *Computers ind. Engng* Vol. 20, No. 2, pp. 231-242, 1991.
2. Lee, K. I., Kang, M., and Park, J. H., "A Collaborative Scheduling System for Make-to-order Manufacturing", *Annals of CIRP*

- Vol. 45, pp. 461-464, 1996.
3. Zhang, H.-C. and Alting, L., *Computerized Manufacturing Process Planning Systems*, Chapman & Hall, pp. 244-246, 1994.
4. Detand, J. and Leuben, K. U., "The Generation of Non-Linear Process Plans", *Preprints of the 22nd CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*, 1990.
5. Zhang, H.-C., "IPPM-A Prototype to Integrate Process Planning and Job Shop Scheduling Functions", *Annals of CIRP* Vol. 42/1, pp. 513-518, 1993.
6. Kruth, J. P. and Detand J., "A CAPP System for Nonlinear Process Plans", *Annals of CIRP* Vol. 41/1, pp. 489-492, 1992.
7. 박지형, 박면웅, 강민형, "네트워크 모델을 이용한 대체 공정 계획 생성", *한국정밀공학회지* 14/1, pp. 168-173, 1997.
8. Kang, M.-H., Park, J.-H., and Park, M.-W., "Generation of Alternative Process Plans by Net Model", *Proceedings of ICMA '97*, Vol. 1, pp. 577-582, 1997.
9. 노형민, 박지형, 강민형 외, *생산 정보 통합화 기술 개발 제 3차년도 연구 보고서*, 1996.
10. 박지형, 강민형, 노형민, "공정 네트워크 모델에 의한 공정 계획과 일정 계획의 통합", *한국정밀공학회 '97 춘계 학술대회 논문집*, pp. 445-449, 1997.5.