

# 공정 넷 모델에 의한 공정 계획과 일정 계획의 통합 A Process-net based System for the Integration of Process Planning and Operations Scheduling

박지형, 감민형, 노형민 (한국과학기술연구원 CAD/CAM 연구 센터)

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

(CAD/CAM Research Center, Korea Institute of Science and Technology)

**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 is presented. The process net model includes the alternative process plans. The integrated system is applied for prismatic parts.

**Keywords** : Process Net Model (공정 넷 모델), Process Planning (공정 계획), Operations Scheduling (일정 계획), Integrated System (통합 시스템)

## 1. 서 론

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. 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.<sup>(1, 2)</sup> 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 CLPP (Closed Loop Process Planning), 공정 계획과 일정 계획을 동시에 수행하는 DPP (Distributed Process Planning) 등의 기법들이 제안되었다. NLPP의 경우 생산 현장 상황의 변화에 적절하

게 대응하기 위해서 방대한 기억 용량이 필요하며 CLPP와 DPP는 실시간 수행을 위해 고성능의 하드웨어를 요구하므로 실용화에 어려움이 있다.<sup>(3, 6)</sup>

본 연구에서는 이러한 방법들의 장점을 취한 공정 넷 모델을 도입하였으며, 공정 넷로부터 생산 현장의 상황을 반영한 공정 계획을 생성하는 기능을 추가하여 비회전 형상 부품에 대하여 공정 계획과 일정 계획의 두 기능이 효율적으로 통합되는 시스템을 구현하였다.

## 2. 공정 넷 모델

공정 넷은 가공 공정에 대한 지식을 표현하는 AND-OR 그래프로서 방대한 양의 공정 계획을 축약된 형태로 표현할 수 있다.<sup>(7, 9)</sup>

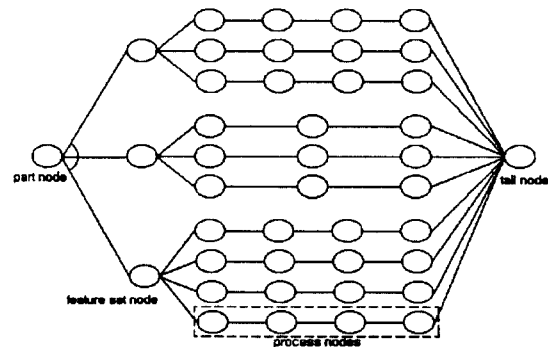


Fig. 1 : Process net

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.

### 3. 개발된 시스템의 데이터 구조

개발된 공정-일정 통합 시스템의 전체 데이터 구조는 Fig. 2와 같다.

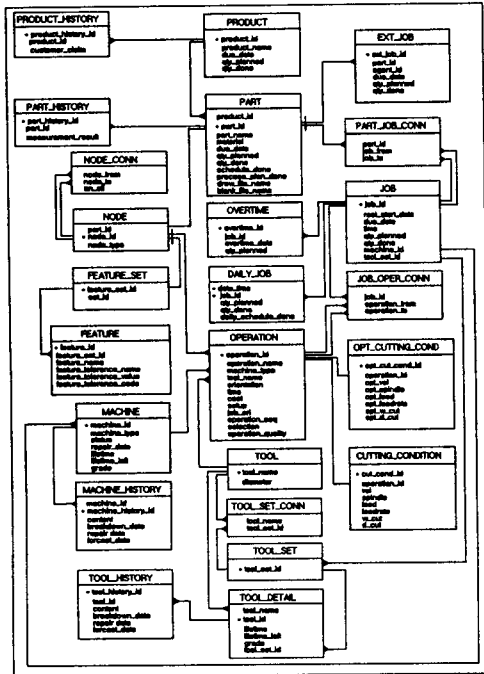


Fig. 2 : Data structure of the developed system

데이터베이스는 상용 DBMS인 ORACLE 7.0을 이용하여 구축하였으며, 다음과 같은 데이터 테이블로 구성된다.

- 제품/부품에 대한 정보
  - PRODUCT : 제품
  - PART : 부품
  - FEATURE : 형상
  - FEATURE\_SET : 형상군
  - PRODUCT\_HISTORY : 제품별 이력
  - PART\_HISTORY : 부품별 이력

- 공정/일정에 대한 정보

- JOB : 사내 작업
- EXP\_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.

### 4. 개발된 시스템의 구성과 기능

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

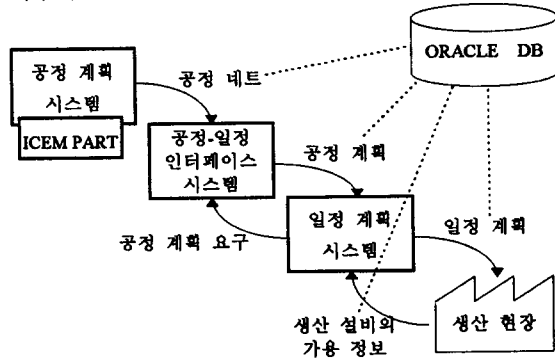


Fig. 3 : A process-net based integrated system of process planning and operations scheduling

공정 계획 시스템은 상용 소프트웨어인 ICEM PART를 이용하여 비회전 형상 부품의 CAD 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.

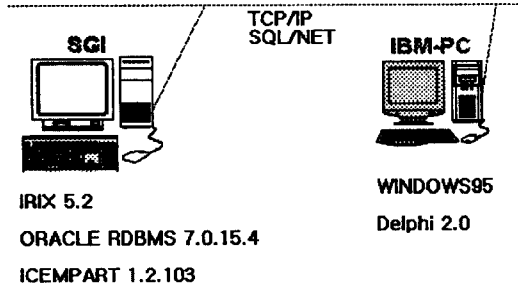


Fig. 4 : Computer system configuration

공정-일정 통합 시스템은 IBM-PC 에서 Delphi 2.0 을 이용하여 개발되었으며, ICEM PART 와 ORACLE RDBMS 는 SGI workstation 에 설치되었다.

### 5. 공정 계획 시스템

공정 네트의 생성에는 상용 공정 계획 소프트웨어인 ICEM PART 를 이용하였다. 이 공정 계획 시스템에서 비회전 형상 부품에 대한 공정 계획과 공정 네트가 생성되는 과정을 Fig. 5 에 보인다.

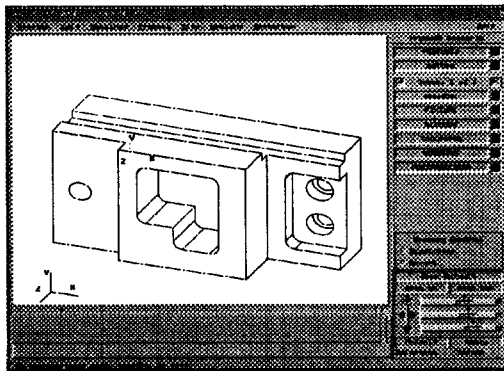


Fig. 5 : Process net generation by ICEM PART

ICEM PART 는 CAD 데이터로부터 공정 계획을 수립한다. 이때 기계 정보와 공구 정보를 변화시키며 공정 계획을 반복함으로써 하나의 부품에 대하여 다양한 공정 계획들을 수립할 수 있다. 수립된 공정 계획은 각각의 단위 공정을 process node 로 하는 node string 으로 표시된다. 기계 정보와 공구 정보를 변화시키며 공정 계획을 반복함으로써 하나의 형상에 대해 하나 이상의 node string 들이 생성된다. 이렇게 생성된 공정 계획들을 형상에 따라 분류한 후 상호 의존성이 있는 형상들을 하나의 형상군(feature set)으로 묶는다. 각각의 형상군에 대하여 하나씩의 feature set node 를 만들고 이것을 OR node 로 하여 해당 형상군의 모든 node string 들을 연결시킨 후 AND node 인 part node 를 만든다. Part node 에 모든 feature set node 를 연결하고 모든 node string 의 마지막 node 들을 tail node 에 연결시킴으로써 공정 네트가 완성된다. 생성된 공정 네트는 데이터베이스에 저장된다.

### 6. 공정-일정 인터페이스 시스템

공정-일정 인터페이스 시스템은 일정 계획 시스템으로부터 공정 생성 요청이 있으면 해당 부품의 공정 네트로부터 최적 공정 계획을 생성한다. 최적 공정 계획은 공정 네트로부터 생성되는 모든 공정 계획 중에서 총가공시간이 가장 짧은 것으로 한다. 이때 생산 현장의 상황을 반영하여 가용하지 않은 기계 또는 공구를 이용하는 node string 들은 공정 네트로부터 삭제시키므로 공정-일정 인터페이스 시스템이 만들어내는 공정 계획은 언제나 수행 가능한 공정 계획이 된다.

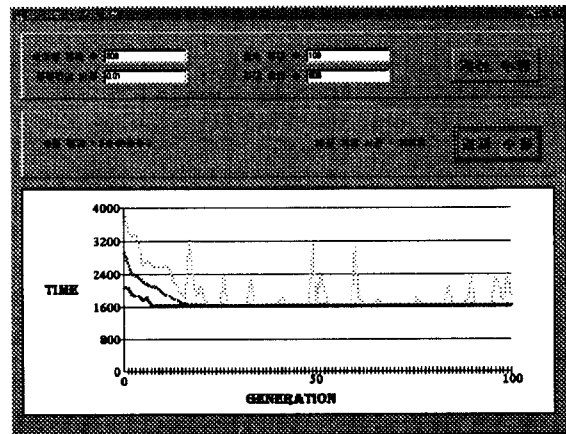


Fig. 6 : Process planning-scheduling interface system

공정-일정 인터페이스 시스템은 최적 공정 계획의 생성을 위하여 총가공시간을 목적함수로 하는 유전 알고리즘을 이용하여 개발하였다. Fig. 6에 보인 것과 같이 세대별 개체수, 최소 세대수, 최대 세대수, 돌연변이율 등을 조절하여 유전 알고리즘을 수행시킨 후 결과를 수용하거나 재계산을 시도할 수 있다. Fig. 6 하단의 그래프는 각 세대의 최대 총가공시간, 평균 총가공시간, 최소 총가공시간을 표시한 것이다.

### 7. 일정 계획 시스템

일정 계획 시스템의 주요 기능은 반자동 일정 계획, 수동 일정 계획, 일정 조회의 3가지이며 반자동 일정 계획과 수동 일정 계획은 신규 일정 생성과 일정 수정 기능을 수행할 수 있다. 일정 조회 기능은 도표 형태의 일정 조회와 Gantt도 형태의 일정 조회 등 2가지 방식이 가능하다.

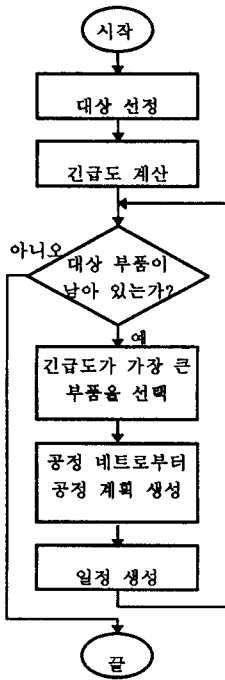


Fig. 7 : Flow chart of semi-automatic scheduling

반자동 일정 계획의 흐름도는 Fig. 7과 같다. 먼저 일정을 수립할 대상을 선정할 후 가공 소요 시간과 납기까지의 여유 시간을 비교하여 가장 긴급한 것부터 일정을 수립한다. 이때, 공정-일정 인터페이스 시스템을 호출하여 공정 네트워크로부터 생산 현

장의 상황에 적합한 최적 공정 계획을 생성한 후 이 공정 계획으로부터 일정을 생성한다.

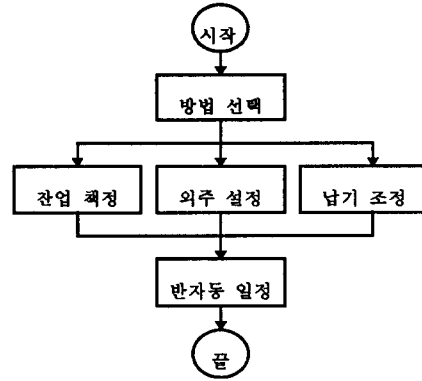


Fig. 8 : Flow chart of interactive scheduling

Fig. 8에 수동 일정 계획의 흐름도를 보인다. 수동 일정 계획에서는 작업 책정, 외주 설정, 납기 조정 등의 방법으로 작업 부하를 완화시킨 후 반자동 일정 계획과 같은 과정을 거쳐 일정을 생성한다.

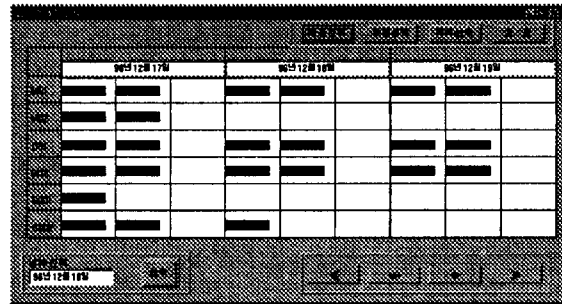


Fig. 9-a : Gantt chart - before the scheduling of new part

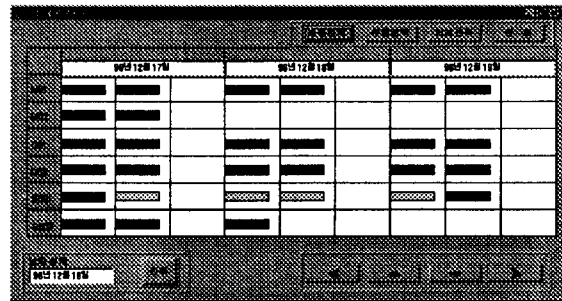


Fig. 9-b : Gantt chart - after the scheduling of new part

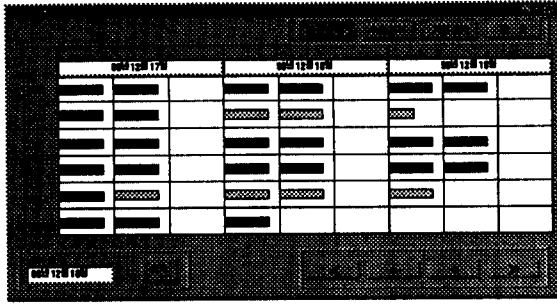


Fig. 9-c : Gantt chart - after the re-scheduling of new part

그림 9-a, 9-b, 9-c는 신규 일정 생성 및 일정 수정의 과정과 결과를 나타낸 Gantt도이다. 그림 9-a는 새로운 부품에 대한 일정 생성 전의 상태를 보이며, 그림 9-b는 새로운 부품에 대한 일정이 생성된 상태를 나타낸다. 그림 9-b에서 새로운 부품에 대한 일정 계획의 결과 마지막 부분에서 납기를 준수하지 못한 것을 알 수 있다. 그림 9-c는 납기를 준수하지 못한 작업을 일정 수정 대상으로 선정하고 대체 공정 계획을 이용하여 일정을 조정한 결과 다른 기계에 배당됨으로써 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 넷 모델을 제안하였으며 이 모델을 이용하여 공정-일정 통합 시스템을 구축하고 비회전형상 부품에 적용하여 그 유용성을 보였다. 향후 연구로는 공정-일정 통합 시스템의 기능을 더욱 확장, 보완하여 실제 생산 현장에 적용하는 것이 필요하다.

## 후 기

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

## 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* (1996)

3. Zhang, H.-C. and Alting, L., *Computerized Manufacturing Process Planning Systems*, Chapman & Hall (1994)

4. Detand, J. and Leuben, K. U., "The Generation of Non-Linear Process Plann", *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* (1993)

6. Kruth, J. P. and Detand J., "A CAPP System for Nonlinear Process Plann", *Annals of CIRP Vol. 41/1* (1992)

7. 박지형, 박면용, 강민형, "넷 모델을 이용한 대체 공정 계획 생성", *한국정밀공학회지 14/1* (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* (1997)

9. 노형민, 박지형, 강민형 외, *생산 정보 통합화 기술 개발 제 3 차년도 연구 보고서* (1996)