

본 연구는 정부 출연 기관 연구 개발 사업의 일부 지원(N13610)으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

네트 모델을 이용한 대체 공정 계획 생성

박지형*, 박면웅*, 강민형*

Generation of Alternative Process Plan by Net Model

Ji-Hyung Park*, Myon-Woong Park*, Min-Hyoung Kang*

ABSTRACT

A process planning system that generates alternative process plans offers multiple process plans for a part, thereby provides the flexibility to cope with the changes in shop floor status. In this paper, we introduce the concept of process net as a model for the generation of alternative process plans. We also show the usefulness of process net model in generating alternative process plans by implementing the developed system to construct process net, and devising an algorithm to generate alternative process plans for rotational parts.

Key Words : Alternative Process Plans (대체 공정 계획), Process Net (공정 네트)

1. 서론

대체 공정 계획을 제공하는 공정 계획법은 생산 시스템의 유연성을 확보하기 위한 방법으로서 하나의 가공품에 하나 이상의 공정 계획을 제시함으로써 작업 현장에서의 상황 변화에 유연하게 대응할 수 있도록 해 준다.

대부분의 산업 현장에서는 하나의 생산품에 대해 하나의 공정 계획만을 적용하고 있으나 이러한 방식으로는 작업 현장에서의 상황 변화에 유연하게 대처하기가 어렵다. 따라서, 대체 공정 계획을 제공할 수 있는 공정 계획 시스템과 현재의 작업 현장 상황을 반영할 수 있는 일정 계획 시스템의 유기적인 결합이 요구된다.⁽¹⁾⁽²⁾

대체 공정 계획을 제공하기 위하여 NLPP (Non-Linear Process Planning), CLPP (Closed Loop

Process Planning), DPP (Distributed Process Planning) 등의 다양한 방법들이 제시되어 왔다.⁽³⁾ NLPP는 가능한 모든 대체 공정을 미리 생성하여 필요에 따라 최적이라고 생각되는 공정 계획을 선택하여 수행하는 방법으로서 FLEXPLAN⁽⁴⁾은 이러한 방식을 채택하고 있다. 이 방식은 가능한 모든 대체 공정을 생성하여 저장해야 하므로 매우 큰 기억 용량과 강력한 지식 기반 시스템을 요구한다는 문제점이 있다.⁽³⁾

CLPP는 먼저 공정 계획을 생성한 후에 작업 현장의 상황에 따라 이미 생성된 공정 계획을 수정해가는 방식이며 일정 계획의 입장에서 공정 계획을 통제하게 된다.⁽³⁾ DPP는 공정 계획과 일정 계획을 동시에 수행함으로써 작업 현장의 상황에 맞는 공정 계획을 생성한다. IPPM (Integrated Process Planning Model)⁽³⁾⁽⁵⁾과 IPPS

* KIST, 기전연구부

(Integrated Process Planning Project)⁽⁶⁾는 DPP의 개념을 구현하기 위한 공정 계획 기능과 일정 계획 기능의 통합 모델이다. 실시간 공정 계획 및 일정 계획을 구현하기 위하여 CLPP와 DPP는 대단히 빠른 처리속도를 가진 하드웨어를 요구하므로 아직 실용화되지 않고 있다⁽⁸⁾.

본 연구에서는 공정 네트의 개념을 소개하고 공정 네트를 생성하기 위한 시스템을 구현하여 회전형 부품의 공정 네트를 작성하고 공정 네트로부터 대체 공정 계획을 생성함으로써 대체 공정 계획을 위한 공정 네트의 이용 가능성을 보이고자 한다.

2. 공정 네트

공정 네트의 유사 개념은 1990년대 초에 Zhang과 Kruth에 의해 제시되었다. Zhang은 공정군을 그래프 형태로 구성하고 그래프를 탐색함으로써 가능한 대체 공정 계획을 생성하는 방식을 소개하였으며⁽⁶⁾⁽⁷⁾ 그래프 탐색을 위한 전용 언어인 ALPS를 제안하였다.⁽⁶⁾ Kruth는 가공물의 형상에 따른 대체 공정 계획을 페트리네트의 형태로 구현하여 FLEXPLAN에 이용하고 있다⁽⁷⁾.

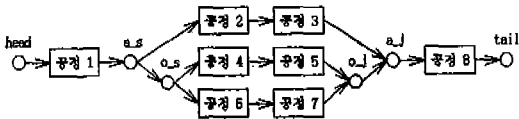


Fig. 1 An example of a process net

공정 네트는 Fig. 1에 보인 것과 같이 공정들을 AND-OR 그래프의 형태로 배치한 것으로서 이러한 네트를 탐색함으로써 Fig. 2에 제시된 것과 같은 대체 공정 계획들을 만들 수 있다. 이렇게 생성된 대체 공정 계획을 이용하여 NLPP 또는 그와 유사한 방식에 의한 대체 공정 계획을 수립할 수 있다.

본 논문에서는 회전형 부품을 구성하는 각각의 형상(feature) 및 그 형상들을 가공하기 위한 공정을 형상별 공정 네트의 형태로 정의한다. 이러한 형상별 공정 네트를 중첩하여 부품별 공정 네트를 생성하고 여기에 기계/공구를 할당하여 부품별 기계/공구 네트를 생성하는 방법을 제시하며 이러한 공정 네트와 기계/공구 네트로부터 대체 공정을 생성할 수 있는 알고리즘을 소개한다.

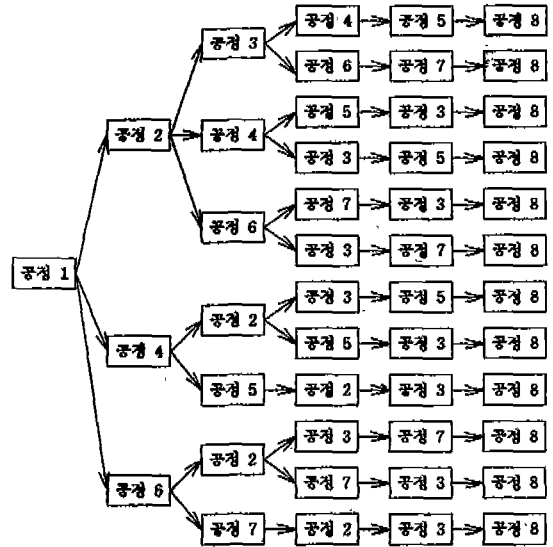


Fig. 2 Alternative process plans generated from the process net in Fig. 1

공정 네트를 이용한 대체 공정 계획 방식은 많은 수의 대체 공정들이 하나의 네트로 축약되어 표현되므로 모든 가능한 대체 공정 계획을 미리 저장하고 있어야 하는 종래의 NLPP에 비하여 기억 장소를 적게 소모하면서도 충분한 정보를 저장할 수 있다.

또한, 공정 네트에 의한 공정 계획 방식은 NLPP에서와 같이 대체 공정 계획을 미리 준비하여 저장하는 방식이므로 작업 개시 직전에 공정 계획이 생성되어야 하는 CLPP, DPP 등 just-in-time 공정 계획 방식에 비해 하드웨어의 작업 부담이 적으므로 비교적 용이하게 생산 현장에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 시스템 구성 및 기능

시스템의 전체 구성은 Fig. 3에 보인 바와 같이 형상 입력 모듈, 공정 네트 생성 모듈, 기계 네트 생성 모듈, 대체 공정 계획 생성 모듈, 그래픽 출력 모듈의 5 부분으로 이루어져 있으며 그밖에도 시스템은 형상별 공정 네트 파일, 기계 데이터 파일, 공구 데이터 파일을 제공한다.

본 논문에서 구현된 공정 네트 및 대체 공정 계획의 형성 과정은 다음과 같은 5 단계로 수행된다.

- (1) 형상 입력 단계 : 사용자는 대화형 입력기인 형상

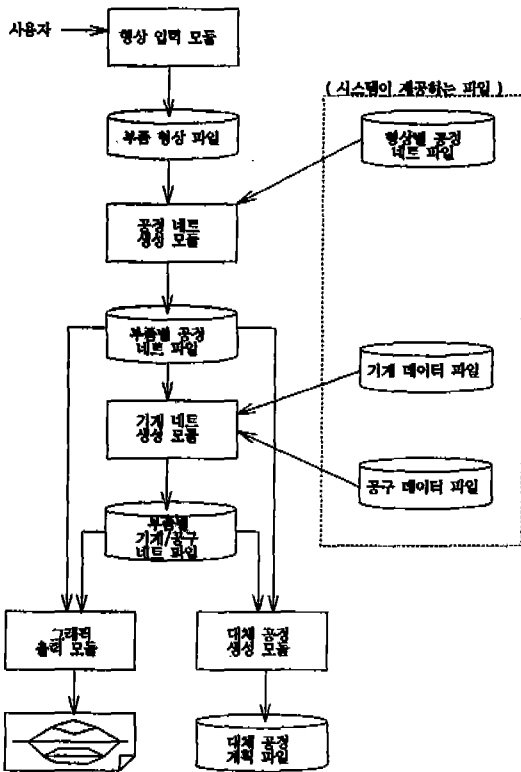


Fig. 3 Overview of the system

입력 모듈을 통해 가공하고자 하는 부품의 형상 정보를 입력한다. 입력된 결과는 부품 형상 파일로 저장된다.

(2) 공정 넷 생성 단계 : 공정 넷 생성 모듈은 각각의 형상에 대해 그 형상을 가공하기 위한 형상별 공정 넷 파일과 단계 (1)에서 생성된 부품 형상 파일을 입력받아 부품별 공정 넷 파일을 생성한다.

(3) 기계 넷 생성 단계 : 기계 넷 생성 모듈은 각각 작업 현장의 기계/공구 상황을 반영하고 있는 기계 데이터 파일, 공구 데이터 파일과 단계 (2)에서 생성된 부품별 공정 넷 파일을 입력받아 부품별 기계/공구 넷 파일을 생성한다.

(4) 그래픽 출력 단계 : 이것은 부수적인 기능으로서 그래픽 출력 모듈은 단계 (2)와 (3)에서 생성된 부품별 공정 넷 파일과 부품별 기계/공구 넷 파일을 입력받아 사용자가 알아보기 쉬운 그래픽 형태로 출력한다.

(5) 대체 공정 계획 생성 단계 : 단계 (2)와 (3)에서 생성된 부품별 공정 넷 파일과 부품별 기계/공구 넷 파일을 입력받아 대체 공정 계획 파일을 생성한다.

3.1. 형상 입력 단계

사용자는 형상 입력 모듈을 통해 가공하고자 하는 부품의 형상 정보를 대화식으로 입력한다. 입력되는 내용은 형상의 이름 (OUTER_DIAMETER, INNER_THREAD, END_SURFACE 등 미리 정의된 형상명 중에서 선택한다), 치수, 셋업 방향, 우선 순위, 가공 소요 시간등이다. 입력된 내용은 부품 형상 파일에 저장된다.

3.2. 공정 넷 생성 단계

형상별 공정 넷 파일은 각각의 형상에 따른 공정을 Fig. 4와 같이 넷 형태로 정의하고 있다. 넷의 각 절점 (node)은 HEAD, TAIL, PROCESS, AND_SPLIT, AND_JOIN, OR_SPLIT, OR_JOIN, CONDITIONAL_SPLIT, CONDITIONAL_JOIN, CONDITION 등 10가지 종류로 구분되며 각각의 기능은 다음과 같다.

HEAD : 하나의 형상을 가공하기 위한 넷의 시작을 나타낸다.

TAIL : 하나의 형상을 가공하기 위한 넷의 끝을 나타낸다.

PROCESS : 공정의 내용을 나타낸다. Fig. 4에서 사각형으로 표시된 절점들이 여기에 해당한다.

AND_SPLIT/AND_JOIN : 쌍을 이루어 쓰이며 둘 이상의 공정군이 순서에 무관하게 모두 수행되어야 하는 경우를 나타낸다.

OR_SPLIT/OR_JOIN : 쌍을 이루어 쓰이며 둘 이상의 공정군 중 어느 하나만을 선택하여 수행하는 경우를 나타낸다.

CONDITIONAL_SPLIT/CONDITIONAL_JOIN : 쌍을 이루어 쓰이며 둘 이상의 공정군 중 어느 하나만을 치수나 정밀도 등의 조건에 따라 선택하여 수행하는 경우를 나타낸다.

CONDITION : CONDITIONAL_SPLIT와 CONDITIONAL_JOIN으로 연결된 공정군에 쓰이며 치수나 정밀도 등의 조건을 표시한다.

Fig. 4에 예시한 것은 원통형 부품의 내경 가공을 위한 형상별 공정 넷이다. CONDITIONAL_SPLIT와 CONDITIONAL_JOIN으로 연결된 두 분지는 각각 CONDITION 절점의 내용에 따라 반경이 10 이하인 경우에는 DRILLING 가공을, 그 이외의 경우에는 OR_SPLIT와 OR_JOIN으로 연결된 두 분지인 TURNING 가공 또는 DRILLING과 BORING에 의한 가공을 선택하게 됨을 나타낸다.

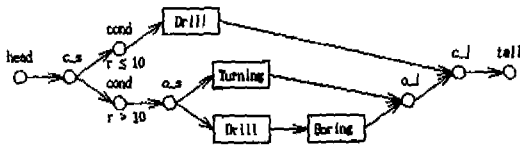


Fig. 4 Feature process net for inner diameter of cylindrical parts

공정 넷 생성 모듈은 부품 형상 파일을 읽어 가공해야 할 형상에 해당하는 공정을 형상별 공정 넷 파일로부터 추출해낸 후 넷트를 탐색하여 조건에 맞지 않는 절점들을 삭제한다. 예를 들어, 반경이 10을 넘는 내경 가공인 경우 Fig. 4의 형상별 공정 넷트는 Fig. 5와 같이 변형된다.

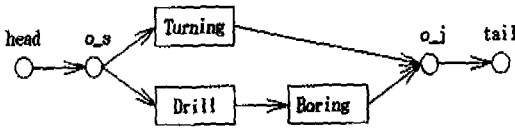


Fig. 5 Feature process net for inner diameter of cylindrical parts in case of $R > 10$

가공해야 할 모든 형상에 대해 형상별 공정 넷트를 결정 한 후 Fig. 6과 같이 모든 형상에 대한 형상별 공정 넷트를 AND_SPLIT와 AND_JOIN을 이용하여 중첩시킴으로써 부품별 공정 넷트 파일이 완성된다.

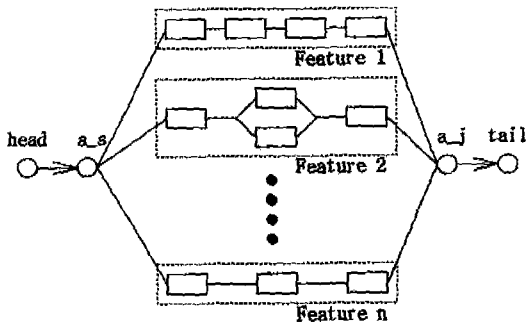


Fig. 6 Generation of part process net by combination of feature process nets

3.3. 기계 넷 생성 단계

임의의 시간에 각각의 기계와 공구는 작업중/이용가능/고장 등의 세 가지 중 한 상태에 해당되며 기계 데이터 파일과 공구 데이터 파일은 각 기계 및 공구의 이용가능 시간에 대한 정보를 제공한다. 기계 넷 생성 모듈은 기계 데이터 파일과 공구 데이터 파일을 참조하여 부품별 공정 넷트 파일의 모든 PROCESS 절점에 대해 적합한 기계/공구를 할당함으로써 부품별 기계/공구 넷트 파일을 생성한다.

3.4. 그래픽 출력 단계

앞 단계에서 생성된 부품별 공정 넷트 파일과 부품별 기계/공구 넷트 파일은 논리적으로는 절점(node)과 간선(arc)으로 구성되어 있으나 실제 파일 내용은 텍스트 형태로 되어 있으므로 사용자가 그 내용을 파악하기 어렵다. 그래픽 출력 모듈은 사용자가 공정 넷트와 기계/공구 파일을 쉽게 참조할 수 있도록 넷트 그래프 형태로 출력한다.

3.5. 대체 공정 계획 생성 단계

공정 생성을 위해 개발된 넷트 탐색 알고리즘을 이용하여 앞 단계에서 생성된 부품별 공정 넷트 파일과 부품별 기계/공구 넷트 파일로부터 대체 공정 계획 파일을 생성한다.

대체 공정 계획을 생성하기 전에 각 공정의 우선 순위를 나타내는 pmatrix(precedance matrix) [P]를 다음의 규칙에 따라 작성한다.

$P_{ij} = 1$: i번째 형상이 j번째 형상 이후에 가공되어야 하는 경우

$P_{ij} = 0$: 그 이외의 경우

공정 넷트를 탐색함으로써 얻을 수 있는 대체 공정 계획의 수는 비교적 단순한 공정 넷트의 경우에도 대단히 많은 것이 일반적이므로 적당한 기준에 따른 최적의 대체 공정 계획을 빠른 시간에 생성할 수 있는 넷트 탐색 알고리즘이 필요하다. 본 연구에서 제시된 알고리즘은 총가공시간을 휴리스틱 함수로 갖는 AND-OR 그래프의 깊이 우선 탐색 방법을 변형한 것으로 생성할 대체 공정 계획의 갯수 N을 미리 경험적으로 결정해둔 후 총가공시간이 짧은 순서로 N개의 대체 공정 계획을 생성한다. 대체 공정 계획 생성을 위한 공정 넷트 탐색 알고리즘은 다음과 같다.

1. 생성할 대체 공정 계획의 최대수 N을 결정한다.
2. HEAD node를 cand. set(candidate set)에 넣는다.
3. total_time = 0 으로 설정하고 임시 string을 초기화한다.
4. cand. set에서 pmatrix의 row sum = 0 인 node 하나를 방문하여 방문한 node를 현재 node로 한다. 단, AND_JOIN은 모든 parent node가 방문되기 전에는 방문할 수 없다.
5. 현재 node가 PROCESS node인 경우 (total_time + 현재 node의 가공 소요 시간 + 셋업 시간)을 total_time으로 둔다. 셋업 시간은 마지막으로 방문한 PROCESS node의 기계와 현재 PROCESS node의 기계가 같지 않은 경우에만 가산된다.
6. 계산된 total_time이 이미 생성된 대체 공정 계획의 total_time들과의 비교에서 순위 N을 넘으면 pmatrix를 복구하며 back track.
7. 방문한 node에 방문 표시를 한다.
8. 현재 node를 임시 string에 추가하고 cand. set에서 뺀다.
9. 현재 node가 OR_SPLIT node가 아니라면 현재 node의 모든 child node를 cand. set에 넣는다. 단, cand. set에는 같은 node가 이중으로 존재할 수 없으므로 이미 cand. set에 들어 있는 AND_JOIN node의 경우에는 cand. set에 중복하여 추가하지 않는다.
10. 현재 node가 OR_SPLIT node라면 현재 node의 방문하지 않은 child node중 하나만을 cand. set에 넣는다.
11. 현재 node가 소속된 형상에 해당하는 pmatrix의 열 전체를 0으로 만든다.
12. cand. set에 TAIL node만 남으면 임시 string을 대체 공정 계획으로 저장하고 total_time을 기록한 후 pmatrix를 복구하며 back track.

4. 적용 사례

구현된 시스템의 기능을 검증하기 위하여 단순한 원통형 부품을 대상으로 부품별 공정 넷 및 부품별 기계/공구 넷을 생성하고 그러한 넷을 탐색함으로써 대체 공정 계획을 생성하였다.

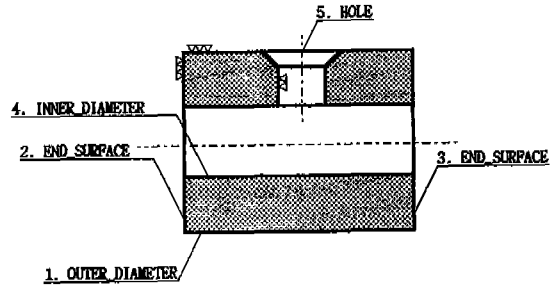


Fig. 7 An example of a cylindrical part

Fig. 7은 대상 부품의 도면으로서 외경과 내경, 양단면과 측면 구멍 등 5개의 형상으로 구성되어 있다. 이 부품에 대한 pmatrix는 다음과 같다.

$$[P] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Fig. 8은 Fig. 7의 부품으로부터 생성된 부품별 공정 넷을 나타낸다. 5개의 형상에 대응하는 5개의 공정군이 선택되어 하나의 공정 넷으로 결합되었다.

Fig. 9는 Fig. 7의 부품으로부터 생성된 부품별 기계/공구 넷이다. Fig. 8의 공정 넷의 각 공정들이 그 공정에 적합한 기계로 치환되어 있음을 볼 수 있다.

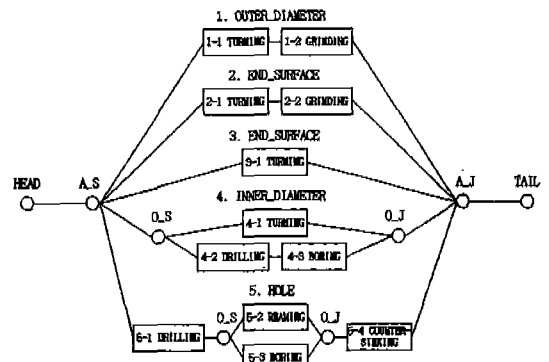


Fig. 8 Part process net

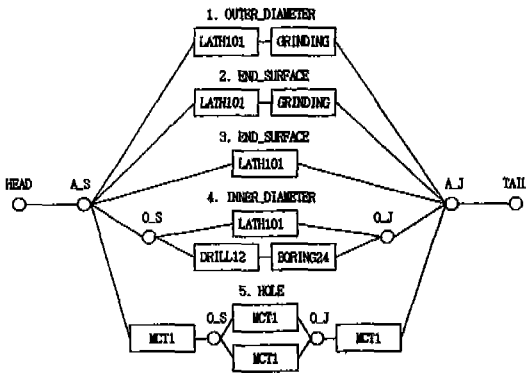


Fig. 9 Part machine/tool net

1-1 TURNING	1-1 TURNING	1-1 TURNING	1-1 TURNING	3-1 TURNING
2-1 TURNING	2-1 TURNING	2-1 TURNING	3-1 TURNING	1-1 TURNING
1-2 GRINDING	1-2 GRINDING	3-1 TURNING	2-1 TURNING	2-1 TURNING
2-2 GRINDING	2-2 GRINDING	1-2 GRINDING	1-2 GRINDING	2-2 GRINDING
3-1 TURNING	4-1 TURNING	2-2 GRINDING	2-2 GRINDING	1-2 GRINDING
4-1 TURNING	5-1 DRILLING	4-1 TURNING	4-1 TURNING	4-1 TURNING
5-1 DRILLING	5-2 REAMING	5-1 DRILLING	5-1 DRILLING	5-1 DRILLING
5-2 REAMING	5-4 COUNTER-SINKING	5-2 REAMING	5-2 REAMING	5-2 REAMING
5-4 COUNTER-SINKING	3-1 TURNING	5-4 COUNTER-SINKING	5-4 COUNTER-SINKING	5-4 COUNTER-SINKING

Fig. 10 Generated process plans

Fig. 10은 Fig. 7의 부품으로부터 생성된 대체 공정 계획을 나타낸다. N = 5 로 두고 네트 탐색 알고리즘을 적용하여 총가공시간이 가장 짧은 5개의 대체 공정 계획을 생성하였다.

5. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 대체 공정 계획을 수행하기 위한 공정 네트의 개념을 소개하고 공정 네트를 생성하기 위한 시스템을 구성함으로써 NLPP에 비해 기억 장소를 적게 소모하며 CLPP나 DPP에 비해 하드웨어의 작업 부담을 줄일 수 있는 대체 공정 계획 방법을 제시하였다. 또한, 생성된 공정 네트를 효율적으로 탐색하여 총가공시간을 최소화하는 대체 공정 계획을 생성할 수 있는 알고리즘을

개발하였으며 개발된 알고리즘을 이용하여 대체 공정 계획을 생성하였다.

향후의 연구에서 절삭 가공 이외의 소성 가공이나 기타 특수 가공을 포함할 수 있도록 형상별 공정 네트의 내용을 확장하고 비회전형 부품의 가공에도 적합하도록 개선함으로써 형상별 공정 네트의 적용을 확대할 계획이다.

참고 문헌

- 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.
- Lee, M. S., Rho, H. M., and Kang, M. J., "An Evaluation System of Order Acceptability under Consideration of Machine Loading in Die Manufacturing", *Annals of CIRP Vol. 44/1*, 1995.
- Zhang, H.-C. and Alting, L., *Computerized Manufacturing Process Planning Systems*, Chapman & Hall, 1994.
- Detand, J. and Leuben, K. U., "The Generation of Non-Linear Process Plans", *Preprints of the 22nd CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Section 2*, 1990.
- Zhang, H.-C., "IPPM-A Prototype to Integrate Process Planning and Job Shop Scheduling Functions", *Annals of the CIRP Vol. 42/1*, pp 513-518, 1993.
- Huang, S. H., Mei, J., and Zhang, H.-C., "IPPS: An Integrated Process Planning Project", *Proceedings of Autofact*, pp 123-128, 1992.
- Kruth, J. P. and Detand, J., "A CAPP System for Nonlinear Process Plans", *Annals of the CIRP Vol. 41/1*, pp 489-492, 1992.
- 박지형, 박면용, 강민형, "네트 모델을 이용한 대체 공정 계획 생성", *한국정밀공학회 95년도 추계학술대회 논문집*, pp. 743-747, 1995.