

## 현장상황을 고려한 회전형상 부품의 공정계획 시스템 구축과 운영에 관한 연구

전성범\* · 박남규\*\* · 신기태\*\*\* · 김기동\*\*\* · 박진우\*\*\*

### A Study on Computer Aided Process Planning System for Rotational Parts Considering Shop Floor Status

Sung Bum Jeon · Nam Kyu Park · Ki Tae Shin ·  
Ki Dong Kim and Jin Woo Park

〈Abstract〉

This thesis reports the development of a Computer-Aided Process Planning system for rotational parts. The developed system ultimately generates process plans for rotational parts through a knowledge-base. The knowledge-base and decision-making algorithms are represented by Pascal computer programming language. We have developed a process planning system which adjusts the sequence of processes by itself to ensure the quality of the parts. This system generates more detailed job sequence and descriptions than other well-known process planning systems. We present realistic and efficient process plans through the integration of process planning and scheduling. This system optimizes flow time of parts by decreasing the number of machine set-ups.

### 1. 서론

공정계획(process plan)이란 부품에 대한 형상정보, 재료의 종류, 완성품의 표면 거칠기, 허용 오차 등의 정보를 이용하여 요구된 품질의 부품을 생산하기 위한 구체적인 생산지시서를 작성하는 과정으로서, 생산 지시서에는 부품가공을 위한 작업순서, 작업내용, 작업기계, 작업에 필요한 파라미터, 작업시간 등의 정보가 포함된다. 이러한 정보들 중 작업순서와 작업시간은 스케줄링 단계에서 중요한 입력 정보로 사용된다.

따라서 이러한 정보들이 공장 내의 상황 정보를 얼마나 자세히 반영하고 있는가에 따라 스케줄링의 성취도는 많은 영향을 받게 된다. 결국 생산 시스템의 효율을 높이기 위해서는 공정계획과 스케줄링 문제는 순차적으로 풀어야할 문제가 아니라 동시에 해결되어야 하는 문제이다[7].

기존의 공정계획 시스템은 대부분의 경우, 일단 만들어진 공정계획들(공장내의 상황이 고려되지 않은)은 곧바로 데이터 베이스에 저장되고, 스케줄링 단계에서는 필요한 시기에 기계 설비의 상태를 고려하여

\* 쌍용 컴퓨터(주)

\*\* Purdue Univ. Post Doc.

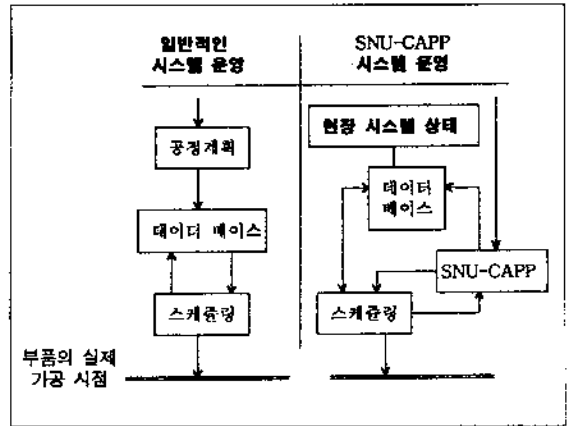
\*\*\* 서울대학교 산업공학과

적합한 공정계획 정보를 데이터 베이스에서 검색하는 방법을 통해 부품의 가공 경로(routing)를 결정한다. 이처럼 기존의 시스템에서는 데이터 베이스를 사이에 두고 공정계획 단계와 스케줄링 단계를 분리 유지하고 있으며 시스템에서의 정보는 공정계획 단계에서 일방적으로 스케줄링 단계로 흐르게 된다.

본 연구에서는, 부적당한 공정계획으로 말미암아 추가되는 비용과 시간을 줄이기 위해 부품이 실제로 투입되는 시점에서의 기계상태를 고려한 공정계획을 생성시킬 수 있는 공정계획 시스템을 제시한다. 본 연구에서 고려한 스케줄링의 성능평가 기준은 부품의 시스템 체류시간(flow time)을 줄이는 것으로서, 공정계획 단계에서 셋업의 횟수를 최소화 하는 작업 순서를 도출함으로써 스케줄링의 효율을 높이하고자 한다. 본 연구에서 구축하고자 하는 시스템은 분류상으로 컴퓨터를 이용한 창생(generative) 타입의 공정계획 시스템이며, 대상부품은 기계가공 부품 중 가장 많은 비중을 차지하는 회전형상 부품(rotational parts)이다. 본 연구에서 제안하는 운영방안은 공정계획과 스케줄링의 통합을 지향하고 있으며, 일반적인 공정계획 시스템이 가지는 기능 이외에 부품투입 시점에 있어서의 기계상태를 반영하여 공정계획을 생성하는 기능을 가지고 있다. 여기에서 기계상태란 기계의 고장여부 또는 정상가동여부를 일컫는다.

본 연구에서 제시할 공정계획 시스템(본 연구에서 제시한 공정계획 시스템을 SNU-CAPP(Seoul National University-CAPP)라 하겠으며 앞으로는 SNU-CAPP로 부른다.)의 개략적인 운영 방안을 살펴본다. 실제로 부품을 가공하기 직전에 스케줄링 모듈은 가공에 들어갈 부품에 대한 공정계획의 실시 명령을 공정계획 모듈에 내린다. 공정계획 모듈은 그때의 기계 상태와 부품의 형상 및 가공조건을 입력받아 공정계획을 생성한다. 이와 같이 공정계획 모듈과 스케줄링 모듈은 서로 독립적인 모듈이 아닌 상호 유기적 관계로 운영된다. <그림 1.1>에 일반적인 공정계획 시스템의 시스템 운영 방식과 SNU-CAPP의 시스템 운영 방식을 비교해서 도시했다.

2장에서 관련 연구와 기존의 시스템에 대하여 살펴보고, 3장에서는 SNU-CAPP의 세부적인 기능과 운영



<그림 1.1> 일반적인 시스템 운영과 본 연구의 시스템 운영

방안을 설명하고, 4장에서는 SNU-CAPP의 실행 예제 및 Micro-GEPPS와의 특성 비교를 제시한다. 마지막으로 5장에서 연구의 결론 및 추후과제를 논한다.

## 2. 관련 연구와 기존 시스템의 고찰

대개의 경우 공정계획(process plan)은 제조 공정을 포괄적으로 알고, 자신 또한 기계를 잘 다루는 숙련된 작업자에 의해서 만들어지는 것으로서 복잡하고 어려운 과정을 통하여 얻어진다. 그러나 요즘의 산업 현장에서는 이러한 작업을 수행할 수 있는 기술을 가진 작업자가 부족한 추세이다. 따라서 기존의 전문가를 대신할 수 있는 컴퓨터를 이용한 공정계획 시스템이 필요하게 되었으며 이 분야에 대한 연구활동도 활발히 이루어지고 있다. 컴퓨터를 이용한 공정계획 시스템의 개발에는 많은 노력이 필요하지만, 실제 산업 현장에서는 컴퓨터를 이용한 공정계획의 이득이 꾸준히 나타나고 있다. 이러한 공정계획에는 다음과 같은 세가지의 접근방법이 있다[3].

### (가) 변환형(variant) 접근방법

공정계획 수립時, 부품 코드 별로 미리 작성된 표준 공정계획의 데이터 베이스에서 부품에 해당되는 표준 공정계획을 검색하여 수정하는 방법으로 새로운

공정계획을 수립하게 된다.

#### (나) 창생형(generative) 접근방법

창생형 공정계획 시스템은 컴퓨터를 이용한 공정계획 시스템에 큰 변혁을 가져왔다. 시스템 내에 제조 데이터 베이스를 이용할 수 있는 논리구조가 있고 어떤 부품에 대하여도 공정계획을 창생하기에 적합한 부품 표현구조가 있다.

#### (다) 반창생형(semi-generative) 접근방법

반창생형 공정계획 시스템은 차세대의 공정계획 시스템으로 변환형 시스템보다 진보적이다. 변환형 시스템에서와 같이 부품에 대하여 부품군을 확인한 뒤 사용자에게 몇 가지의 선택권을 준다.

창생적 접근방법을 이용한 대표적인 시스템으로는 APPAS(Wysk, 1977), CMPP(Waldman, 1983), EXCAP(Davies and Darbyshire, 1984), XPLAN(Lenau and Altig, 1986) 등이 있으며, 회전형상 부품을 대상으로 한 창생형 타입의 시스템으로는 XPLAN-R(Zhang, 1987), TURBO-CAPP(Wang and Wysk, 1987), EXCAP(Davies and Darbyshire, 1984) 등이 있는 것으로 알려져 있다[2]. 이러한 시스템들은 1장에서 설명한 바와 같이 계층적인 단계를 밟아 정보가 흐르고 의사결정이 이루어지며, 이와 같은 작업은 실제로 부품이 가공에 들어가기 일주일이나 한 달 그리고 때에 따라서는 일년 정도 앞서서 이루어진다. 만들어진 공정계획들은 데이터 베이스에 저장된다. 그리고 스케줄링 단계에서는 필요한 시기에 필요한 공정계획 정보를 데이터 베이스에서 찾는 방법을 통해 기계상태에 적합한 부품의 경로(routing)를 선택하는 운영체제 안에서 모든 작업이 이루어진다. 결국 어떤 부품에 대한 공정계획과 스케줄링을 하는 시점은 달라지게 되는데, 이러한 두 모듈의 실행시점 간격은 얼마든지 벌어질 수 있다는 문제점을 내포하고 있다. 그래서 데이터 베이스에 있는 공정계획들이 이미 실제 기계설비의 환경에 맞지 않는 공정계획이 되어 버릴 수도 있

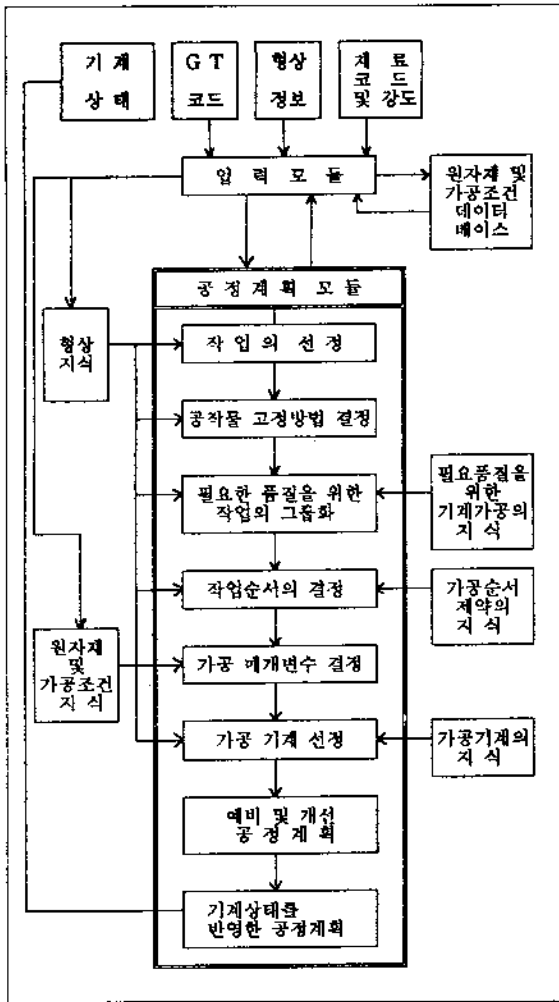
다. 스케줄링 작업의 기초가 되는 공정계획 결과들이 작업 환경에 맞지 않는 결과들이라면 다시 공정계획을 실행시키거나 스케줄링 작업시 이러한 문제를 해결해야 되며 이로 인하여 추가 시간과 비용이 지출된다.

1장에서 말한 바와 같이 SNU-CAPP는 공정계획과 스케줄링의 통합을 지향하고 있는데, 이러한 두 기능의 통합에 관한 연구의 예로는 Jablonski와 Reinwald [11], Sundaram과 Meenakshi [14] 등의 연구가 있다. Jablonski와 Reinwald의 연구는 적응적(adaptive)이고 동적(dynamic)인 제조공정의 통제를 위하여 공정계획과 Job shop 스케줄링의 통합을 제시하는 연구이다. Sundaram과 Meenakshi의 연구는 생산성 개선을 위한 공정계획과 스케줄링의 통합방법을 제시하고 있는데, 주어진 작업에 대한 대체 기계(alternative machine)의 명시(specification)가 두 기능의 통합에 중요한 역할을 한다고 강조하고 있다. 그러나 스케줄링과 공정계획을 완벽히 통합해서 운영되는 구체적인 시스템은 현재까지는 존재하지 않는다.

### 3. SNU-CAPP의 공정계획 단계와 운영 방안

SNU-CAPP는 실제로 부품이 가공되기 직전에 스케줄링 모듈로부터 필요한 부품에 대한 공정계획의 실시 명령과 현재 기계 설비의 상태를 입력받는다. 이외에도 Opitz 코드와 부품의 형상정보, 재료 코드와 재료의 강도와 같은 부품 가공에 필요한 정보를 입력받는다. 이러한 입력정보를 이용하여 작업의 선정, 가공 부품(공작물)의 고정방법을 결정한 후, 작업순서를 결정한다. 그런 후 각 작업에 대해서 재료의 강도와 재료에 맞는 가공 조건을 데이터 베이스에서 검색하여 결정하고, 가공에 필요한 마력(HP)에 따라 적당한 기계들을 선정한다. 이러한 과정에는 많은 기계 가공 지식이 필요한데, 이러한 지식은 전문가의 도움을 얻어 데이터베이스로 구축했다.

기계의 셋업횟수를 줄이기 위해서 각 작업에 배정된 기계를 고정시키고, 고정된 범위 내에서 작업순서를 수정하여 개선된 공정계획을 만든다. 결과적으로 부품의 시스템 체류시간(flow time)을 줄일 수 있는



〈그림 3.1〉 SNU-CAPP시스템의 공정계획 단계

보다 나은 작업 순서를 결정한다. 그리고 최종적으로, 입력받은 기계상태를 반영하여 공정계획을 다시 수정하는데 이때에도 되도록 기계의 셋업횟수를 줄이는 방향으로 수정한다. SNU-CAPP의 전체적인 공정계획 흐름을 〈그림 3.1〉에 도시했다.

### 3.1 SNU-CAPP에서의 가정

SNU-CAPP에서는 다음의 가정을 전제로 공정계획이 생성된다.

① 이 시스템의 환경은 다품종 소량생산의 Job Shop 이라고 가정한다.

② 부품 가공時, 최초로 수행될 작업을 위한 모든 조건이 갖추어져있고, 필요한 장비나 부품도 준비되어 있다고 가정한다.

③ 기계는 선반, 밀링머신, 드릴링 머신, 그라인딩 머신, 보오링 머신 등이 있다고 가정한다. (가장 많이 쓰이는 선반은 14대 이고, 그 외의 기계는 1대라고 가정, 기계의 수는 쉽게 수정이 가능하다.)

④ 선반의 경우 터릿선반 7대와 엔진선반 7대로 구성이 되었다.

### 3.2 세부적인 공정계획의 고찰

SNU-CAPP는 프로그램 언어 Pascal로 구현한 공정 계획 시스템으로 부품의 시스템내 체류시간(flow time) 단축을 목표로 하고 있으며, 세부적인 공정계획 절차를 살펴본다.

#### (1) 입력

기계 가공에 필요한 기본적인 입력 데이터는 GT코드, 재료의 규정, 그리고 부품 형상에 대한 정보 등으로 다음과 같다.

- ① GT-code (Opitz)
- ② 재료의 종류와 처리조건 및 강도(BHN)
- ③ 회전형상 부품의 부품 치수와 공차 등을 위한 세부입력

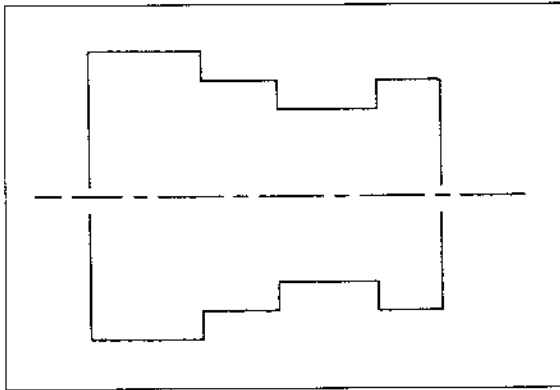
GT 코드로는 Opitz 코드를 이용하고 있으며 이러한 형상 코드는 공정계획 모듈안의 Chuck Strategy Procedure에서 부품의 고정 순서를 결정하는 데 이용이 된다. 원자재의 종류와 처리조건 및 강도의 입력은 원자재와 공정에 알맞은 가공조건을 결정하기 위한 것으로, 가공조건 데이터 베이스에서 적절한 가공조건을 검색하는 데 이용된다. 부품의 형상에 대한 정보는 레코드(record) 단위로 입력된다. 예를 들면 아래의 〈표 3.1〉에는 부품 바깥 표면의 형상정보 레코드에 대한 각 데이터 필드(data field)의 의미를 설명하고 있다.

아래의 〈그림 3.2〉에는 예제 부품의 형상을 도시했고, 이 예제 부품에 대한 입력정보는 〈표 3.2〉에 제시했다. 레코드의 첫 필드에서 No란 형상의 구분을 위

〈표 3.1〉 부품 바깥 표면과 Hole의 형상 정보

field 번호	field 이름	표현방법	참 고
1	Face 번호	integer	
2	Start Radius	real	단위 : inch.
3	Length	real	x축으로의 평행 길이로 + / - 부호를 갖는다.
4	End Radius	real	단위 : inch.
5	Type	integer	1. straight 2. thread 3. round
6	Tolerance	real	(+/-) inch.
7	Surface Roughness	real	(+/-) inch.

해 붙인 면의 번호를 나타내기 위한 것이고 편의상 부품의 왼쪽부터 오른쪽으로 면 번호를 붙이게 된다.



〈그림 3.2〉 예제 부품의 부품 형상

## (2) 형상 인식

형상 인식에서는 부품 형상에 대한 입력 정보를 바탕으로 각 면에 대한 특성을 인식한다. 이러한 형상 인식을 위해 간단한 규칙 기반형(rule-based) 시스템을 구축했다. 위의 〈표 3.2〉의 정보를 예를 들면, 5,6,7 번 레코드를 읽으면 주어진 규칙에 의해 이러한 면들이 홈을 이루고 있다는 것을 인식한다. 또한 가장 처음 레코드와 마지막 레코드의 반지름을 이용하여 반지름이 더 큰 면에 대한 사실도 인식하는데, 이 정보는 부품의 고정 방법 선정에서 이용된다.

〈표 3.2〉 예제 부품 형상에 대한 입력 정보

번호	시작점의 반지름	길이	끝점의 반지름	형 태	공차 (+)	공차 (-)	조 도 (+)	조 도 (-)
1	0.0	0.0	5.5	1	0.01	0.01	0.02	0.02
2	5.5	4.0	5.5	1	0.003	0.003	0.02	0.02
3	5.5	0.0	4.5	1	0.01	0.01	0.02	0.02
4	4.5	3.0	4.5	1	0.003	0.003	0.02	0.02
5	4.5	0.0	3.5	1	0.01	0.01	0.02	0.02
6	3.5	4.0	3.5	1	0.01	0.01	0.02	0.02
7	3.5	0.0	4.5	1	0.01	0.01	0.02	0.02
8	4.5	2.0	4.5	1	0.003	0.003	0.02	0.02
9	4.5	0.0	0.0	1	0.01	0.01	0.02	0.02

## (3) 작업의 선정

형상 인식에서 얻은 형상 지식으로부터 각 면에 필요한 작업들을 선정하게 된다. 형상인식을 한 뒤 각 면마다 필요한 작업을 선정하는 것이 작업선정인데, 프로그램상에서는 각 면마다 큐(queue)를 설정하여 그 면의 가공을 위해 필요로 하는 작업을 해당면의 큐에 저장시키게 된다.

## (4) 필요품질을 위한 작업의 그룹화

도면이 요구하는 품질을 위하여 어떤 작업들은 한 기계에서 이루어져야 하는 것이 있고 이러한 작업들을 그룹으로 만든다. 이러한 작업은 대개 일련의 순서를 가지고 있는데, 예를 들어 어떤 부품이 보오링(boring)작업과 리밍(reaming)작업을 수행할 필요가 있을 때 이런 작업은 한 기계에서 이루어져야만 좋은 품질이 보장된다. 이 때 언제나 보오링 작업은 리밍 작업보다 먼저 이루어져야한다. 이런 특성을 이용하여, 어떤 면을 가공하기 위한 작업의 큐 속에 위와 같은 작업들이 저장되어 있을 경우 이런 작업들은 같은 기계에서 연속적으로 작업을 하도록 공정계획을 수립한다.

## (5) 부품(공작물)의 고정 방법 선정

선반에서 가공되는 회전가공 부품을 고정시키는 방법으로는 척(chuck)에 의한 방법, 척-센터에 의한 작업, 양 센터에 의한 작업 및 특수 고정구에 의한 작업으로 분류할 수 있다. SNU-CAPP에서는 형상 정보

로부터 부품 최대직경과 길이를 입력받아 부품의 고정방법을 결정하고 있다. 부품 고정방법은 부품의 최대 직경과 길이의 비를 이용하여 다음 식에 의해 결정된다[5,9,10].

- i)  $D_{max} \leq 20$  (cm) : 척에 의한 고정
- ii)  $20(\text{cm}) \leq D_{max} \leq 100$  (cm)
  - $\Rightarrow (L_{max} / D_{max}) < 3$  : 척에 의한 고정
  - $\Rightarrow (L_{max} / D_{max}) \geq 3$  : 센터에 의한 고정
- iii)  $D_{max} > 100$  (cm) : 센터에 의한 고정

(6) 작업순서 결정

작업순서 결정은 단순히 각 면마다 선정된 작업들의 순서를 결정하는 것 이외에, 부품의 어떤 쪽을 기계에 먼저 물리고 이런 상태에서 어느 면까지 가공을 해야하는가 등의 전반적인 사항을 결정하는 중요한 모듈이다.

먼저 형상인식의 정보를 이용하여 어떤 척물림으로 부품의 어떤 면들을 먼저 가공해야 할지를 결정한다. 이런 사항의 결정은 부품의 품질을 위해서나 가공時 편리함을 위해서 또는 현실성 있는 가공순서 제시를 위해서 필요하다. 이것이 결정되면 선정된 범위 내의 면들 중 어떤 면을 먼저 가공할 것인가를 결정하고, 결정된 면에 대하여 어떤 작업을 먼저 실시해야 할 것인가를 결정한다. 이러한 세부적인 가공순서 결정에는 <그림 3.1>에서 볼 수 있듯이 가공순서 제약의 지식을 이용한다.

(7) 절삭 가공 파라미터 선정

절삭가공시 어떤 가공 조건으로 가공을 해야 될 것인가의 결정은 수행될 작업의 종류별로 원자재의 종류 및 강도 등의 조합을 인덱스로 하여 원자재 및 가공조건 데이터 베이스에서 찾아 결정하게 된다. 여기에서 얻게 되는 정보는 스피드(speed), 피드(feed), 절삭 깊이(depth of cut) 등이다.

(8) 가공기계 선정

작업별 가공기계의 선정은 두가지의 정보를 필요로 한다. 즉, 가공 부품의 최대직경과 가공기계의 지식이 그것인데, 먼저 작업 별로 선정된 가공 파라미터를 이

용하여 필요한 마력수를 계산한다. 필요한 마력(HP)의 계산식은 다음과 같다.

$HP = Q \times P$

여기서,  $Q = 12 \times d \times f_r \times v_c$

$P$  (Unit Power) = 원자재와 작업별 요구되는 단위힘

$d$  = 절삭깊이(Depth of cut)

$f_r$  =  $f_m / \text{rpm}$

$v_c$  = 절삭속도(Cutting speed)

$f_m$  = 피드율(Feed rate)

$\text{rpm}$  = 분 당 회전 횟수

이렇게 계산된 필요마력을 이용하여 기계선정을 위한 비교작업에 들어간다. 필요마력이 기계가 낼 수 있는 최대의 마력보다 작고, 그 기계가 가공할 수 있는 작업물 최대직경이 가공될 부품의 최대직경보다 커야 한다는 조건을 모두 만족시키는 기계를 선정하는데, 되도록 감가상각비가 작은 기계를 선정하게 된다[8,9].

(9) 기계 셋업횟수를 줄이기 위한 공정계획 개선

본 연구의 공정계획의 목적함수는 부품의 시스템 내 체류시간(flow time)을 줄이는 것으로서 부품이 거쳐야 할 기계의 셋업횟수를 줄임으로써 최소화시킬 수 있다.

예비 공정계획의 결과는 기계의 셋업횟수를 줄이기 위하여 작업별 기계는 그대로 고정시키고, 가능하다면 작업의 순서를 바꾸게 된다. 이와 같이 어느 기계에서 하나의 작업을 하고 있으며 같은 기계가 공정의 앞이나 뒤에서 여러 작업을 행하고 있을 경우에는 일단 공정의 이동을 고려해 보게 된다. 이때 어떤 작업을 앞뒤로 이동시킬 수 있는나의 여부는 각 작업이 가지는 우선순위의 비교에 의하여 결정을 한다. 여기에서 우선순위는 작업의 선정시 각 작업마다 부여하게 된다.

(10) 기계 설비 상태를 반영한 공정계획의 수정

일단 기계의 셋업횟수를 줄인 공정계획은 기계상태를 반영하여 다시 공정계획을 수정하게 된다. 기계상

태의 반영은 다음과 같이 두가지 방법으로 해결한다.

첫번째 방법은 실제 상황에서 고장난 기계를 다른 대체 가능 기계로 대체하는 것이다. 이때 대체기계는 이러한 작업을 할 수 있는 기계 중 감가상각비가 가장 낮은 기계이다. 둘째 기능은 부품의 시스템 내 체류시간을 줄이자는 데에 맥락을 같이 하는 방법으로 고장난 기계가 수행하여야 할 작업을 선행 작업에 할당된 기계로 대체하는 것을 고려해 보자는 것이다.

#### (11) 출력

다음과 같은 사항을 공정계획의 결과로 출력하고 있다.

- 형상 인식이 된 부품의 형상과 면(face)번호
- 작업 순서 번호
- 작업이 행하여지는 면(face)
- 작업의 명세(description)
- 작업을 수행하게 될 기계
- 작업 조건(machining parameter)

### 3.3 SNU-CAPP의 운영상 특징

SNU-CAPP의 운영상 특징은 공정계획에 공정계획 시점에서의 기계상태를 반영했다는 점이다. SNU-CAPP에서는 일반적인 시스템 운영에서처럼 공정계획과 스케줄링이 독립적·일방적으로 운영되지 않고 상호 연관되어 동시적으로 운영된다. 스케줄링 모듈에서 공정계획의 실행을 지시하는 방식으로 운영되므로 결과적으로 공정계획시점은 스케줄링 시점의 바로 앞에 놓이게 된다. 이러한 방식으로 명령을 받은 공정계획 모듈은 일반적인 기존의 공정계획 시스템에서는 고려하지 않는 기계상태를 고려하여 공정계획을 생성시킴으로 공정계획과 스케줄링을 통합시킨 결과를 가져온다.

## 4. 실행 예제 및 Micro-GEPPS와의 특성 비교

### 4.1 실행 예제

본 연구가 제시하는 공정계획의 절차와 운영에 대

한 예를 들어보겠다. 여기에서 형상 정보의 입력으로는 앞에서 제시한 <표 3.2>를 사용하였고 그의 GT코드는 11000으로 이 코드는 프로그램 내에서 상호 대화식으로 넣을 수 있다. 재료는 공정계획시 선택하는 것으로 Free Machining Carbon Steels, Wrought를 선택하였고, 이 재료는 Low Carbon Resulfurized되었다고 가정하였다. 또한 재료의 강도는 200 BHN이라고 가정하였다.

이와 같이 재료의 종류 및 처리조건, 강도 그리고 GT코드를 입력하면 일단의 예비 공정계획 결과가 나온다. 그 결과는 <표 4.1>과 같다.

다음 단계는 <표 4.1>의 예비의 공정계획에서 선정된 기계를 바꾸지 않는 범위 내에서 가공순서를 바꾸는 방법을 통하여 셋업횟수를 줄이는 단계이다. 그 결과로 개선된 공정계획은 아래의 <표 4.2>와 같다. 예비 공정의 두번째 작업은 선행 그리고 후행 작업에 할당된 기계와 다르기 때문에 이러한 작업에 한하여 우선적으로 작업순서 이동을 고려하게 된다. <표 4.2>에서 볼 수 있듯이 결과적으로 예비 공정계획의 두번째 작업이 열번째 작업 앞으로 이동되어 전체의 기계 셋업횟수가 일곱 번에서 다섯 번으로 줄었다.

다음 단계로, 개선된 공정계획의 결과에 기계상태를 반영시키는데 이것은 고장난 기계나 부하가 많이 걸린 기계를 대체기계로 바꾸든지 아니면 기계의 셋업횟수를 줄이기 위해서 가능하다면 선행 작업에 할당된 기계로 대체시킨 것이다.

예를 들어 개선 공정계획의 여덟 번째 작업에 할당된 기계 m-c103 이 고장이 났을 경우 대체기계를 고려하지 않고 선행 작업에 할당된 기계로 대체 해주는 데 그의 결과는 아래의 <표 4.3>과 같다. 그래서 기계는 대체되었고 셋업횟수는 네번으로 줄었다. 그런데 만약 고장이 난 기계가 작업을 두개 이상 담당하고 있었으면 그 기계는 단순히 대체 기계로 교체하게 된다.

### 4.2 Micro-GEPPS와의 특성 비교

Micro-GEPPS는 Wang과 Wysk (Purdue Univ.)가 1987년에 개발한 회전형상을 위한 공정계획 시스템으로서, 여기서 언급된 특성 비교는 Micro-GEPPS Ver.

〈표 4.1〉 예비 공정계획의 결과

no	maching face	description	machine	speed	feed
10	1	rough facing	m-e203		
20	1	finish facing	m-e203	90	0.018
30	2	external rough straight turning	m-e203	168	0.007
40	2	external finish straight turning	m-e101	100	0.020
50	9	ruough facing	m-e203	168	0.007
60	9	finish facing	m-e203	90	0.018
70	4, 6, 8	external rought straight turning	m-e203	168	0.007
80	6	external rough necking(groove)	m-e401	100	0.020
90	3, 5, 7	external rough shoulder facing	m-e103	72	0.027
100	4, 8	external finish straight turning	m-e101	128	0.015
110	6	external finish necking(groove)	m-e101	168	0.007
120	3, 5, 7	external finish shoulder facing	m-e101	168	0.007
130	2	external grinding	gmc-10	168	0.007
140	4, 8	external grinding	gmc-10		

주 : m-e#는 엔진 선반, gmc는 grinding machine을 나타낸다.

〈표 4.2〉 개선된 공정계획의 결과

no	maching face	description	machine	speed	feed
10	1	rough facing	m-e203	90	0.018
20	1	finish facing	m-e203	168	0.007
30	2	external rough straight turning	m-e203	100	0.020
40	2	ruough facing	m-e203m-e203	168	0.018
50	9	finish facing	m-e203	90	0.007
60	9	external rought straight turning	m-e203	168	0.020
70	4, 6, 8	external rough necking(groove)	m-e401	100	0.027
80	6	external rough shoulder facing	m-e103	72	0.015
90	3, 5, 7	external finish straight turning	m-e101	128	0.007
100	4, 8	external finish straight turning	m-e101	168	0.007
110	6	external finish necking(groove)	m-e101	168	0.007
120	3, 5, 7	external finish shoulder facing	m-e101	168	0.007
130	2	external grinding	gmc-10	168	
140	4, 8	external grinding	gmc-10		

2.3을 대상으로 하였으며 그 결과는 아래의 〈표 4.4〉와 같다[12,13]. SNU-CAPP는 창생형이고 Micro-GEPPS는 반 창생형이므로 직접적인 비교는 공정한

비교가 되지 않지만 현재 공장 내부의 기계 가동 상태를 반영한 공정계획 시스템에 대한 연구 결과가 드물어서 이에 만족하기로 한다.



〈표 4.3〉 기계의 상태를 반영한 공정계획

no	maching face	description	machine	speed	feed
10	1	rough facing	m-e203	90	0.018
20	1	finish facing	m-e203	168	0.007
30	2	external rough straight turning	m-e203	100	0.020
40	2	rough facing	m-e203	90	0.018
50	9	finish facing	m-e203	168	0.007
60	9	external rough straight turning	m-e203	100	0.020
70	4, 6, 8	external rough necking(groove)	m-e401	72	0.027
80	6	external rough shoulder facing	m-e401	128	0.015
90	3, 5, 7	external finish straight turning	m-e101	168	0.007
100	4, 8	external finish straight turning	m-e101	168	0.007
110	6	external finish necking(groove)	m-e101	168	0.007
120	3, 5, 7	external finish shoulder facing	m-e101	168	0.007
130	2	external grinding	gmc-10		
140	4, 8	external grinding	gmc-10		

〈표 4.4〉 Micro-GEPPS와의 비교

시스템 모 들	SNU-CAPP	Micro-GEPPS
입 력	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Header data</li> <li>· Opitz code</li> <li>· 재료와 강도</li> <li>· 형상정보 data</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Header data</li> <li>· KK3 code</li> <li>· 재료 code</li> <li>· interactive 형상정보</li> </ul>
출 력	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Header data</li> <li>· 작업할 부품의 면</li> <li>· 작업 description</li> <li>· 선정된 기계번호</li> <li>· feed</li> <li>· speed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Header data</li> <li>· 작업코드</li> <li>· 작업 description</li> <li>· feed</li> <li>· speed</li> <li>· 부품 가공시간</li> </ul>
장 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 자세한 공정계획을 세운다</li> <li>· 기계선정을 한다.</li> <li>· 부품형상의 수정이 용이하다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가공시간을 출력한다.</li> </ul>
단 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가공시간의 출력이 없다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 정확한 부품형상의 입력이 없기 때문에 자세한 공정계획이 어렵다.</li> <li>· 부품형상의 세부입력이 복잡하여 번거로우며 수정시 처음부터 다시 시작하여야 한다.</li> <li>· 부품형상의 출력이 없다.</li> </ul>

## 5. 결론 및 추후 연구과제

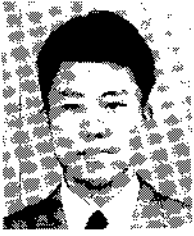
본 연구에서는 기계의 상태를 반영하는 회전정상 부품의 공정계획과 이의 운영방법에 관해 다루었다.

본 연구는 공정계획과 스케줄링의 통합을 지향하고 있으며, 공정계획의 실시 명령을 스케줄링 단계에서 지시한다. 이때 기계상태를 공정계획 모듈에 넘겨줌으로써 공정계획과 부품의 실제 가공시간의 차이를 줄여, 기계의 실제환경에 적합한 공정계획을 산출하기 때문에 기존의 시스템에 비하여 적은 시간과 비용으로 제품생산이 가능할 것으로 기대된다.

본 연구에서는 작업순서 바꿈의 여부와 기계의 셋업횟수를 줄이기 위한 가능성 여부를 조사할 때 선행작업과 후행작업에 할당된 기계가 서로 다른 작업에 대하여만 할당기계를 대체시키는데, 추후 연구 과제로서 기계의 가공시간을 고려하는 기타의 대안과도 정확하게 비교하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

### [참고문헌]

- [1] 조규갑, 김인호, "선삭공정에서 CAD 인터페이스된 자동공정계획시스템개발에 관한 연구(II) : 자동준비계획의 자동화", *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 1992, vol.18, no.1.
- [2] Alting, Leo and Hongchao Zhang, "Computer Aided process planning : The state of the art survey", *Internal Journal of Production Research*, 1989, vol.27, pp.553-585.
- [3] Ham, Inyong , "Computer-Aided process planning : The present and the future", *Annals of the CIRP*, 1988, vol.27, pp.591-601.
- [4] Hassan, G. A. and S. M. A. Suliman, "Experimental modeling and optimization of turning medium carbon steel", *Internal Journal of Production Research*, 1990, vol.28, pp.1057-1065.
- [5] Houlten, F. J. M. van, "Strategy in generative planning of turning processes", *Annals of the CIRP*, 1986, vol.35, pp.331-335.
- [6] Joseph, A. T. and B. J. Davles, "Knowledge based process planning system for turned components", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1989, 5, pp.52-65.
- [7] Lenderink, A. and H. J. J. Kals, "The integration of process planning and machine loading in small batch part manufacturing", *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, 1993, Vol.10, No.1/2, pp.89-98.
- [8] Liao, T. W., E. R. Coates, F. Aghazadeh, L. Mann, and N. Guha, "Modification of CAPP systems for CAPP/scheduling integration", *Computer and Industrial Engineering*, Vol. 25, No. 1-4, pp. 203-206, 1993.
- [9] Machinability Data Center, *MACHINING DATA HANDBOOK*, 1980, 3rd edition, vol.1
- [10] Noe, Dragica and Janez Peklenik, "A knowledge based planning of clamping in turning operations", *Proceedings of ICCIM*, 1991, pp.530-533.
- [11] Prabhu, P. and H. P. Wang, "Algorithms for computer-aided generative process planning", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1991, 6, pp.3-15.
- [12] Wang, Hsu-Pin(Ben) and Richard A. Wysk, "AIMSI : a prelude to a new generation of integrated CAD/CAM systems", *Internal Journal of Production Research*, 1988, vol.26, pp.119-131.
- [13] Wang, Hsu-Pin(Ben) and Richard A. Wysk, "A knowledge-based approach for automated process planning", *Internal Journal of Production Research*, 1988, vol.26, pp.999-1044.
- [14] Weill, R., G. Spur and W. Eversheim, "Survey of Computer-aided process planning systems", *Annals of the CIRP*, 1982, vol.31.



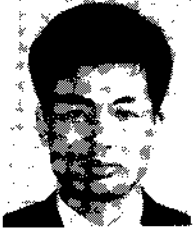
**전성범**

서울대학교 산업공학과에서 석사 학위를 취득하고 현재 쌍용 컴퓨터(주)에 재직중이다. 관심 분야는 CAD/CAM, CAPP, 경영전략 등이다.



**박진우**

현재 서울대학교 산업공학과 부교수로 재직중이다. 서울대 산업공학과에서 학사, 한국과학원에서 공학석사를 취득한 후, 현대양행에 근무하였으며 미국 UC/Berkeley 대학교에서 공학박사 학위를 취득하였다. 연구분야는 제조정보 시스템 및 시뮬레이션 등이다.



**박남규**

서울대학교 산업공학과에서 학사, 석사, 박사 학위를 취득하였다. 동신대학교 산업공학과 전임강사를 역임하였으며 현재 미국 Purdue 대학교에서 연구를 수행한다. 연구분야는 CIM, 정보시스템 모형화 및 설계, 데이터베이스 응용, Autonomous System에 대한 시뮬레이션 등이다.



**김기동**

현재 서울대학교 산업공학과 박사과정에 재학중이다. 서울대학교 산업공학과에서 학사, 석사학위를 취득하였고, 연구분야는 CAPP, Computer Vision, 제조정보시스템 등이다.



**신기태**

서울대학교 산업공학과에서 학사, 석사 학위를 취득하고 현재 박사과정에 재학중이다. 관심분야는 CIM, 제조정보 시스템 설계, 데이터 베이스 등이다.