

선삭공정에서 CAD 인터페이스된 자동공정계획시스템개발에 관한 연구(Ⅱ) : 작업준비계획의 자동화⁺

조규갑* · 김인호*

A Study on CAD interfaced CAPP System for Turning Operation(Ⅱ) : Automatic Setup Planning

Kyu-Kab Cho*, In-Ho Kim*

Abstract

This paper presents an automatic setup planning system for turning operation of symmetric rotational parts. The proposed setup planning system determines workpiece holding method, number of setup, clamping surface, and workpiece holding device by using design data, part description database and part feature recognition information. The workpiece holding method is based on functional name and length/diameter ratio of the given part, and number of setup is determined by part profile type and its technological constraints. Clamping surface and workpiece holding device are determined by using information about the results of workpiece holding method and number of setup, and capacity of workpiece holding devices. A case study is performed to show the performance of the proposed system.

1. 서 론

일반적으로 공정계획의 기능은 부품정보로부터 형상인식, 공작기계의 선택, 공정 및 작업의 선정, 가공순서의 결정, 작업준비계획, 고정구의 설계, 절삭공구 및 절삭조건의 결정, 공구경로의 결정, NC파트프로그램의 생성과 같은 활동을 포함한다 [1, 2].

공정계획의 기능중 공정선정, 공작기계의 선택,

가공순서의 결정과 같은 거시적인 의사결정을 수행하는 공정설계에 관한 연구는 상당히 진행되어 왔으나 미시적인 의사결정을 수행하는 작업준비계획, 고정구의 설계 등의 작업설계에 관한 연구는 상대적으로 저조한 실정이므로, 자동화된 공정계획시스템의 개발을 위해서는 작업설계의 자동화에 관한 연구가 필요하다[3-8].

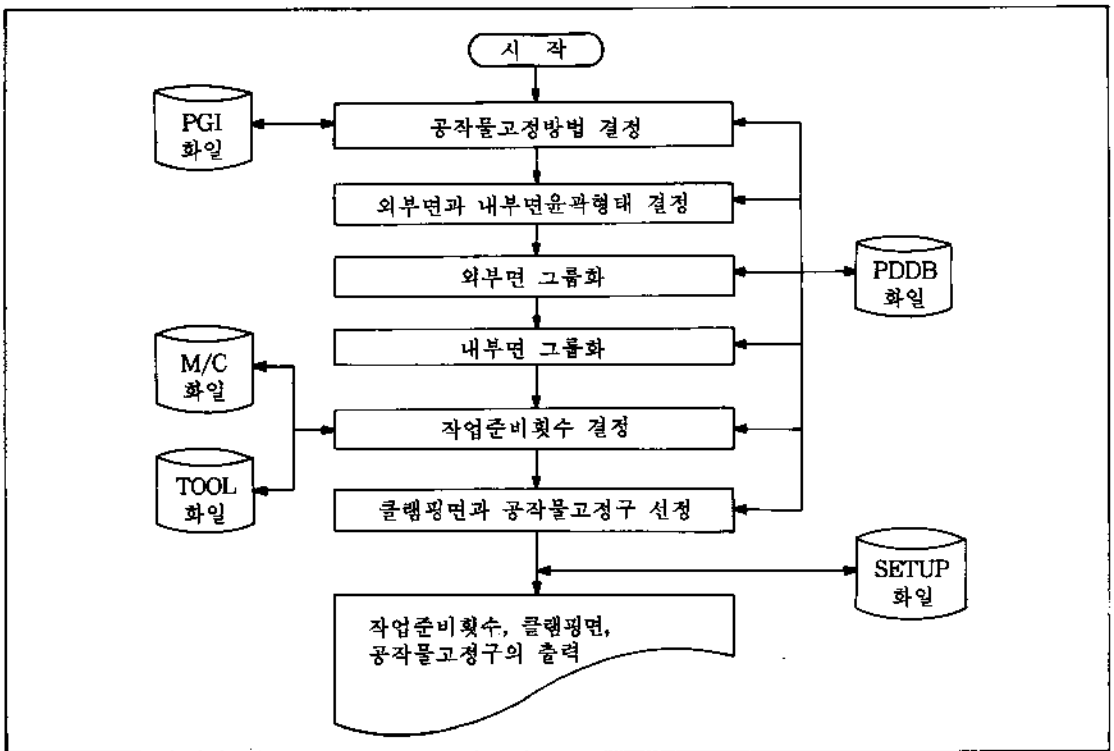
*본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구(과제번호 88021804)의 지원에 의하여 수행되었음.

*부산대학교 공과대학 산업공학과

본 연구는 선삭공정에서 CAD 인터페이스된 자동공정계획시스템개발에 관한 연구[9]의 계속으로 작업준비계획(Setup Planning)을 자동적으로 수행하는 기법을 개발함이 주된 목적이다. 연구의 대상은 기계가공부품들 중 많은 비중을 차지하는 NC선반가공용 회전형상부품을 대상으로 하였다. 연구의 내용은 공작물고정방법의 결정, 작업준비횟수의 결정, 클램핑(Clamping)면 및 공작물고정구의 선정에 관한 알고리즘을 개발하였으며, 소프트웨어는 개인용컴퓨터를 이용하여 Turbo-C(Version 2.0)를 사용하여 개발하였고[10, 11], 사례연구를 통하여 개발된 시스템의 유효성을 평가하였다.

2. 작업준비계획의 자동화시스템의 개발

본 연구에서 개발된 작업준비계획 자동화시스템의 전반적인 흐름도는 [그림 1]과 같다. 여기서 PGI 화일은 부품의 일반정보가 입력되어 있고, PDDDB 화일은 부품서술데이터베이스이며, M/C 화일은 공작기계와 고정구의 데이터베이스이며, TOOL 화일은 공구에 관한 데이터화일이며, SETUP 화일은 개발한 시스템의 출력정보가 저장된다.



[그림 1]. 작업준비계획 자동화시스템의 흐름도

2.1 시스템의 입력정보

본 연구에서 개발한 시스템의 입력정보는 도면상의 일반정보 및 부품서술데이터베이스(Part Description DataBase : PDDDB) 정보와 형상특징인식

정보이다. 일반정보는 부품명과 소재치수(길이와 직경)이며, PDDDB정보로는 기하학적형상정보와 표면다듬질정도, 기하공차 및 치수공차 등의 비형상정보이다. 형상특징정보는 회전형상부품을 구성하는 외부 및 내부의 표면형상을 주가공형상인 원

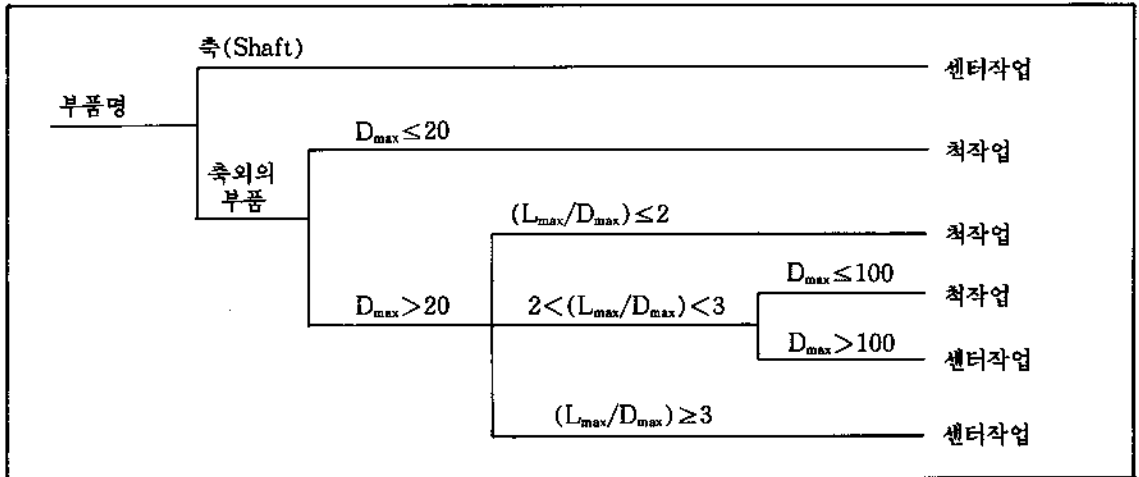
통, 원주, 측면, 블록, 오목과 부가공형상인 블록원호, 오목원호, 모따기, 나사홈파기, 홈으로 분류하였고, 분류한 형상특징들 중 대상부품을 구성하는 각 표면에 해당하는 형상특징들을 인식한 정보이다 [9]. 이와같은 입력정보를 이용하여 개발된 시스템에서의 작업준비계획에 관한 기능은 다음과 같이 수행된다.

2.2 공작물고정방법의 결정

NC 선반에서 가공되는 회전형상부품을 고정시키는 방법으로는 척(Chuck)에 의한 작업, 척-센

터(Center)에 의한 작업, 양센터에 의한 작업 및 특수 고정구(Fixture)에 의한 작업으로 분류할 수 있다[7].

본 연구에서는 NC 선반에서 많이 사용되는 척작업과 척-센터작업, 양센터작업에 의한 공작물고정방법에 대해 고려하였으며, 척작업과 센터작업(척-센터작업과 양센터작업을 포함함)중 선택기준은 부품명, 부품의 최대직경(D_{max}), 부품의 최대길이(L_{max})와 최대직경의 비(L_{max}/D_{max})에 따라 [그림 2]와 같이 분류된 의사결정나무(Decision tree)에 의하여 적절한 공작물고정방법을 선택한다[7].



[그림 2]. 공작물고정방법의 결정에 대한 의사결정나무

2.3 부품의 윤곽형태 인식

부품의 윤곽형태는 외부면들은 주가공형상특징의 표면들 중 최대의 Y좌표값을 갖는 표면들 기준으로, 내부면들은 주가공형상특징의 표면들 중 최소의 Y좌표값을 갖는 표면들 기준으로, 홈형상과 나사형상의 표면을 제외한 부품의 구성표면들이 일정한 형태인지, 증가하는 형태인지, 감소하는 형태인지, 또는 이들의 혼합형태인지에 따라 [그림 3]과 같이 4종류의 윤곽형태로 분류하였다.

부품의 윤곽형태의 인식에서 부품의 외부시작면 및 외부마지막면의 주가공형상이 측면형상이면 이 표면은 윤곽형태의 인식대상에서 제외한다. 주가공형상이 오목인 경우는 오목의 양끝점을 연결한 직선으로, 블록형상인 경우는 외부블록형상이면 블록의 시작점, $\theta = 90^\circ$ 인 블록점(단, θ 는 블록형상의 한 점이 수평선과 이루는 각도임)과 블록의 끝점을 연결하고, 내부블록형상이면 블록의 시작점, $\theta = 270^\circ$ 인 블록점과 블록의 끝점을 연결하며, 그 외의 다른 주가공형상들은 시작점과 끝점을 연결하

여 부품의 윤곽형태를 인식하게 된다[9]. 이때 외
부면들의 윤곽형태와 관통형상의 내부면들의 윤곽
형태로는 ①, ②, ③, ④ 중 한 형태를 인식하고,

비관통형상의 내부면들의 윤곽형태로는 ②, ③ 그
리고 ④의 내부혼합형 중 한 형태를 인식한다[그
림 3]참조.

번호	윤곽형태	도식적 표현	외부면의 보기	내부면의 보기
①	일정형			
②	증가형			
③	감소형			
④	혼합형			

[그림 3]. 부품의 윤곽형태

이상과 같은 부품의 윤곽형태의 인식절차는 다음
과 같다.

[단계1] 표면의 형상특징중 불투형상이 있으면
단계2로, 없으면 단계3으로 감.

[단계2] 외부(내부)불투형상이면 시작점, $\theta = 90^\circ$ ($\theta = 270^\circ$)인 점 및 끝점의 Y좌표
값을 구함.

[단계3] 표면들 중 Y의 최소값 Y_{min} 과 최대값 Y_{max} 를 구함.

[단계4] 외부시작면의 $Y_2 = Y_{max}$ 이면 단계5로,

아니면 단계6으로 감.

[단계5] 외부마지막면의 $Y_1 = Y_{max}$ 이면 외부윤곽
형태는 일정형, 아니면 외부윤곽형태는
감소형이고, 단계7로 감.

[단계6] 외부마지막면의 $Y_1 = Y_{min}$ 이면 외부윤곽
형태는 증가형, 아니면 외부윤곽형태는
외부혼합형이고, 단계 7로 감.

[단계7] 중심선의 $Y_1 = Y_{min}$ 이면 단계8로, 아니면
단계11로 감.

[단계8] 외부시작면의 $Y_1 = Y_{min}$ 이면 단계9로, 아

니면 단계10으로 감.

[단계9] 외부마지막면의 $Y_2 = Y_{min}$ 이면 단계14로, 아니면 내부윤곽형태는 비관통증가형이고, 단계14로 감.

[단계10] 외부마지막면의 $Y_2 = Y_{min}$ 이면 내부윤곽형태는 비관통감소형, 아니면 내부윤곽형태는 비관통혼합형이고, 단계14로 감.

[단계11] 외부시작면의 $Y_1 = Y_{min}$ 이면 단계12로, 아니면 단계13으로 감.

[단계12] 외부마지막면의 $Y_2 = Y_{min}$ 이면 내부윤곽형태는 일정형, 아니면 내부윤곽형태는 관통증가형이고, 단계14로 감.

[단계13] 외부마지막면의 $Y_2 = Y_{min}$ 이면 내부윤곽형태는 관통감소형, 아니면 내부윤곽형태는 관통혼합형이고, 단계14로 감.

[단계14] 멈춤.

2.4 작업준비횟수의 결정

일반적으로 작업준비횟수의 결정은 소재 및 부품의 길이와 직경관계, 기술적 고려사항과 부품의 윤곽형태에 의한 표면들의 그룹화, 사용가능한 공구, 공작기계 및 고정구의 사양 등의 영향을 받는다. 본 연구에서는 작업준비횟수의 결정에 중요한 요인이 되는 기술적인 고려사항과 표면의 그룹화에 대해 고찰한 후, 앞에서 분류한 공작물 고정방법들 중 척작업과 센터작업을 사용한 경우의 작업준비횟수를 결정하는 방법을 제안한다.

2.4.1 기술적인 고려사항

가공에 있어서 기술적인 고려사항은 표면거칠기, 치수공차 및 기하공차들이다[12-14]. 표면거칠기가 작업준비에 미치는 영향을 살펴보면, 만일 정밀하게 가공된 표면을 클램핑하면 그 표면의 다듬질 정도가 거칠어져 원하는 표면을 얻을 수 없으며, 따라서 이를 방지하기 위해서는 표면거칠기가 정밀급인 경우는 그 표면을 클램핑면에서 제외해야 함

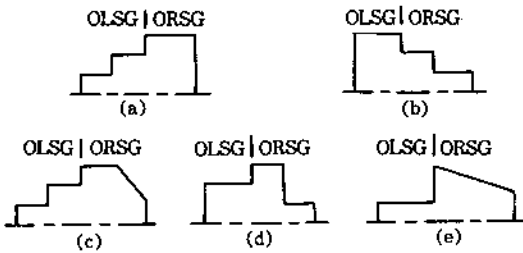
을 알 수 있다. 치수공차는 표면거칠기와 마찬가지로 정밀한 치수공차를 갖는 표면들은 클램핑면의 대상에서 제외시켜야 한다. 기하공차는 도면에 있어서 형상의 모양(form), 자세(attitude), 위치(position) 및 혼들림(runout)에 관한 공차로서, 그 종류는 적용하는 형상이 단독형상인 경우는 진직도, 평면도, 진원도, 원통도, 선의 윤곽도 및 면의 윤곽도가 있으며, 적용하는 형상이 관련형상인 경우는 평행도, 직각도, 경사도, 위치도, 동심도, 대칭도, 원주혼들림 및 온흔들림공차가 있다[14]. 회전형상부품에 있어서는 이러한 기하형상의 종류 중 진직도, 진원도, 원통도, 직각도, 동심도와 혼들림공차들이 적용되며, 이들 중 적용하는 형상이 관련형상인 경우에는 직각도, 동심도와 혼들림공차는 데이텀면이 존재하므로 기술적으로 동일한 작업준비에 의해 가공할 대상임을 알 수 있다.

본 연구에서는 표면이 기하공차와 관련이 있거나 정밀급의 치수공차 또는 정밀한 표면거칠기를 가진다면 이 표면을 '가공기술적 관계가 있는 표면'이라 한다.

2.4.2 표면의 그룹화

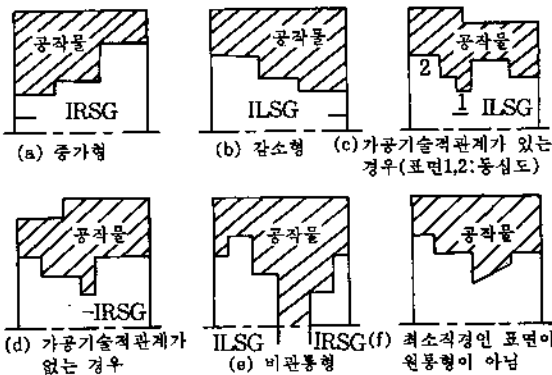
표면의 그룹화는 외부가공면들에 대해서는 최대 직경인 면을 기준으로 왼쪽의 표면그룹(Outer Left Surface Group : OLSG)과 오른쪽의 표면그룹(Outer Right Surface Group : ORSG)으로 나누며, 내부가공면들에 대해서는 최소직경인 면을 기준으로 왼쪽의 표면그룹(Inner Left Surface Group : ILSG)과 오른쪽의 표면그룹(Inner Right Surface Group : IRSG)으로 분류한다. 이 때, 외부가공면의 표면그룹의 기준이 되는 최대직경인 면이 원통면인 경우, 부품윤곽형태가 외부혼합형이면 가공기술적인 관계가 있는 표면그룹에 포함시키고, 가공기술적인 관계가 없으면 원통형상이 없는 표면그룹에 포함시킨다([그림 4(c)]). 또한 가공기술적인 관계가 없고 원통형상이 두 표면그룹에 존재하면, 가공시 부품의 균형을 가능한한 유지하기 위해

부품전체길이의 중심점의 X좌표값과 최대직경인 원통면의 시작점, 끝점의 X좌표값과의 차를 비교하여 큰 값을 갖는 방향의 표면그룹에 포함시킨다([그림 4(d)]. 최대직경인 표면이 원통면이 아닌 경우는 최대직경인 점을 기준으로 표면을 그룹화한다[그림 4(e)]. 외부면의 그룹화의 예는 [그림 4]와 같다.



[그림 4]. 외부면의 그룹화

내부면들의 그룹화에 있어서 기준이 되는 최소직경인 표면이 원통면이면, 그 표면은 부품의 내부 윤곽형태가 관통형이나 비관통형이나 관계없이 증가형이면 IRSG에[그림 5(a)], 감소형이면 ILSG에 포함시키며[그림 5(b)], 내부혼합형이고 관통형이면 기준인 내부원통면은 그 면과 가공기술적인 관계가 있는 표면이 속한 방향과 내부표면그룹에 포함시키고[그림 5(c)], 가공기술적인 관계가 없으면 최대직경의 외부면이 소속한 표면그룹과 동일한 방향의 내부면그룹에 포함시킨다[그림 5(d)]. 내



[그림 5]. 내부면의 그룹화

부혼합형이고 비관통형이면 외부시작면과 연결된 내부표면들은 감소형이므로 ILSG에 속하고, 외부 마지막면과 연결된 내부표면들은 증가형이므로 IRSG에 속하게 된다[그림 5(e)]. 최소직경인 표면이 원통면이 아닌 경우는 최소직경인 점을 기준으로 ILSG와 IRSG의 표면그룹으로 분류한다[그림 5(f)]. 내부면의 그룹화의 예는 [그림 5]와 같다.

2.4.3 척작업에서 작업준비횟수의 결정

[1] 작업준비횟수가 1회인 경우

척작업에 의해 가공되는 대부분의 부품들은 2회 이상의 작업준비로 완성가공되나, 1회의 작업준비에 의해 가공되는 경우에는 다음의 조건을 만족해야 한다.

(1) 주어진 소재조건

① 소재길이(Lm) > (부품최대길이(Lmax) + 절단용공구의 최대폭(TWmax) + 척이 공작물을 클램핑한 폭(CW)), 즉 소재의 길이가 충분히 길어서 소재를 부품치수로 가공하기 위해 최종작업인 절단을 할때 절삭공구와 척간의 충돌을 방지하는 경우임.

② ①을 만족시키지 않는 경우로서, 소재적경(Dm) = 부품의 최대직경(Dmax)이고, 소재의 끝면이 도면상에서 요구하는 가공면의 조건과 일치하는 경우임.

(2) 부품의 윤곽형태의 조건

① 부품이 외부표면들로만 구성된 경우 윤곽형태가 일정형, 증가형 또는 감소형일 것.

② 부품이 외부표면 및 내부표면들로 구성된 경우는 다음의 3가지중 하나일 것.

③ 외부표면의 윤곽형태는 일정형, 내부표면의 윤곽형태는 일정형, 증가형 또는 감소형일 것.

④ 외부표면의 윤곽형태는 증가형, 내부표면의 윤곽형태는 일정형 또는 감소형일 것.

㉔ 외부표면의 윤곽형태는 감소형, 내부표면의 윤곽형태는 일정형 또는 증가형일 것.

- (3) 부품의 최대직경이 스피들의 직경보다 작을 것.
- (4) 척의 최소가공능력(CDmin) < 부품의 최대직경(Dmax) < 척의 최대가공능력(CDmax)일 것.

이상과 같이 (1), (2), (3), (4)를 모두 만족하는 경우는 1회의 척작업으로도 부품을 완성가공할 수 있다.

[2] 작업준비횟수가 2회 이상인 경우

상기 [1]의 조건들 중 하나라도 만족시키지 않는 경우는 2회 또는 3회의 작업준비에 의해 가공되며, 이들은 부품의 윤곽형태에 따른 표면들의 그룹과 공차 및 가공정밀도 관계에 의해 작업준비횟수가 정해진다. 즉 부품의 모든 표면을 그룹화한 다음 OLSG 또는 ORSG에 포함된 표면들이 가공기술적인 고려대상인 경우는 첫번째 작업준비에 의해 하나의 표면그룹을 완성가공하고 두번째 작업준비를 한 후 다른 표면그룹을 완성가공하는 데, 이때 첫번째 작업준비에 의해 완성가공된 정밀급의 표면들이, 두번째 작업준비에서의 가공시에 정밀급을 유지하는 경우와 그렇지 않은 경우가 있으며, 이러한 경우는 각각 2회 및 3회의 작업준비에 의해 완성가공해야 한다. 본 연구에서는 이와같이 두번째 작업준비에서의 황삭작업시 첫번째 작업준비에서 가공된 표면그룹에 속한 표면들이 정밀도를 유지하지 못하는 경우의 기준을 치수공차와 표면거칠기가 매우 정밀급인 경우 그리고 관련형상이 있는 기하공차가 존재하는 경우로 정하였으며, 그 외의 경우는 2회의 작업준비로 원하는 부품을 완성

가공하도록 한다.

2.4.4 센터작업에서 작업준비횟수의 결정

부품을 센터작업(척-센터작업 또는 양센터작업)으로 가공할 때는 먼저 공작물의 한쪽 또는 양쪽단면에 센터구멍틀기작업을 해야 한다. 이 경우, 센터구멍은 양센터 또는 한쪽의 센터로 공작물을 지지하기 위한 구멍으로서, 절삭시 공작물의 중량에 충분히 견딜 수 있도록 뚫어야 한다. <표 1>은 공작물의 직경에 의하여 알수 있는 센터구멍의 크기이다[15].

본 연구에서는 센터구멍틀기작업을 위한 작업준비는 작업준비횟수의 결정에서 제외하였으며, 따라서 센터구멍틀기작업후 센터작업은 척작업과 유사하게 부품을 1회, 2회 또는 3회의 작업준비에 의해 완성가공할 수 있으며, 이러한 작업준비횟수는 사용자와의 대화에 의해 결정하게 하였다.

이상으로부터 작업준비횟수(Number of Setup : N_s)를 결정하는 순서는 다음과 같다.

<부호의 설명>

DY_{in} : 외부원통형상중 Y값이 감소하는 순서대로 배열한 i번째 표면번호.

S_i : 가공기술적인 관계가 있는 표면번호

u_{ri, j} : i번째 표면의 인덱스 j에 따른 X 또는 Y 좌표값(j=1 : X₁, j=2 : Y₁, j=3 : X₂, j=4 : Y₂)

<작업준비횟수의 결정순서>

[단계1] 공작물의 고정방법이 척작업이면 단계2로, 센터작업이면 N_s를 입력한 후 단계8로 감.

<표 1> 공작물직경과 센터드릴직경과의 관계

공작물의 직경(mm)	3	4	6	10	15	20	25	50	60	120	200	350	500
	-4	-6	-10	-15	-20	-25	-50	-60	-120	-200	-350	-500	-650
센터드릴 직경(mm)	0.5	0.7	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12

[단계2] 외부원통면이 있으면 단계3으로, 없으면 $N_s=2$ 이고 단계8로 감.

[단계3] $U_{DY(i), 21}=Y_{max}$ 이면 단계4로, 아니면 단계7로 감.

[단계4] ($D_{max} > CD_{min}$) 이고 ($D_{max} < CD_{max}$)이면 단계5로, 아니면 단계7로 감.

[단계5] ($D_m=D_{max}$) 또는 ($(L_m > (D_{max} + TW_{max} + CW))$)이고 ($D_{max} < \text{스핀들직경}$)이면 단계6으로, 아니면 단계7로 감.

[단계6] 1회의 작업준비에 해당하는 윤곽형태의 조건이면 $N_s=1$ 이고 단계8로 가고, 아니면 단계7로 감.

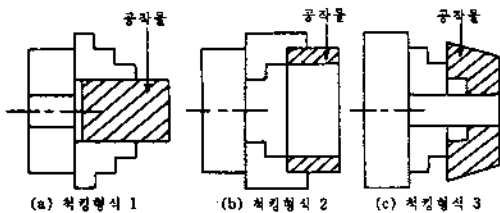
[단계7] $DY_{(i)}$ 중 S_i 가 존재하면 $N_s=3$, 아니면 $N_s=2$ 이고, 단계8로 감.

[단계8] 멈춤.

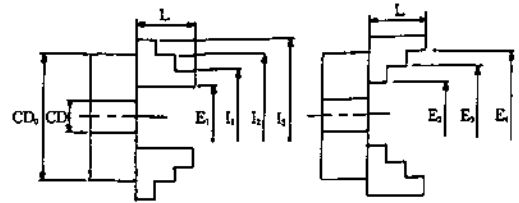
2.5 클램핑면 및 공작물고정구의 결정

2.5.1 척작업

공작물 고정방법 중 척작업에서의 공작물고정구(척킹형식)의 종류는 일반적으로 [그림 6]과 같이 3가지로 분류할 수 있다[15]. [그림 6]에서 척킹형식 1과 3은 순방향의 조오(jaw)를 사용한 경우이고, 척킹형식 2는 역방향의 조오를 사용한 경우이다. 이와같이 척킹형식에 따라 클램핑하는 표면의 위치가 다른 데, [그림 6]의 예에서 볼 때, 척형



[그림 6]. 척킹형식의 종류



(가) 척킹형식 1 및 척킹형식 3의 사양 (나) 척킹형식 2의 사양

[그림 7]. 척킹형식의 종류에 따른 사양

식 1, 2는 외부표면을, 척킹형식 3은 내부표면을 클램핑하게 된다.

분류한 척킹형식중 선택기준은 외부표면을 클램핑하는 척킹형식 1, 2를 우선적으로 선택하며, 외부표면을 클램핑할 수 없는 경우는 척킹형식 3을 선택하도록 한다. 또한 척킹형식 1과 2 사이의 선택은 가능한 한 넓은 면을 클램핑할 수 있는 척킹형식 1을 우선적으로 선택하도록 한다.

본 연구에서는 NC선반과 그에 따라 사용되는 [그림 7]과 같은 척킹형식의 각 종류의 사양을 고려하여 다음 경우와 같이 작업준비에 따른 최적의 클램핑면을 선정하고, 3가지의 척킹형식 중에서 조건을 만족시키는 척킹형식을 선택하도록 하였다.

[경우 1] 1회의 작업준비로 완성가공하는 경우

부품의 윤곽형태와는 무관하게 소재의 원통면이 클램핑면이 되며, 척킹형식의 종류는 $D_m \leq E_i$ 의 최대값($E_{i,max}$)이면 척킹형식 1, 그 외에는 척킹형식 2가 선정된다.

[경우 2] 2회의 작업준비로 완성가공하는 경우

이 경우의 첫번째 클램핑면으로 선정되는 소재의 원통면은 소재의 우측원통면 또는 좌측원통면으로 표현되기도 하는 데, 이는 두번째 클램핑면의 선정에 영향을 주기 때문이다. 클램핑면과 척킹형식은 외부원통면의 존재유무에 따라 다음과 같이 선정된다.

가) 외부면그룹인 OLSG, ORSG에 모두 원통면이 존재하는 경우

가공기술적으로 고려할 표면이 있으면 그 면이 있는 방향의 소재의 원통면이 첫번째 작업준비에서

의 클램핑면이고 척킹형식은 [경우 1]과 같다. 두 번째 작업준비에서의 클램핑면은 첫번째 작업준비에서 선정된 척킹형식에 따라 가공된 원통면들 중 최대직경인 원통면부터 클램핑의 가능여부를 확인하여 선정한다. 즉, 척킹형식 1이면 가공된 임의의 i 번째 원통면의 길이(L_{ri})가 클램핑이 가능할 정도의 충분한 길이인자, 그리고 $L_{ri-1} < CD$ 인지를 확인하여 선정하고, 척킹형식 2이면 가공된 원통면중 외부시작면 또는 외부마지막면에 가장 가까운 원통면이 클램핑면이 된다.

나) 외부면그룹중 왼쪽그룹(예로서 OLSG)에만 원통면이 존재하는 경우

첫번째 클램핑면은 원통면이 존재하지 않는 방향인 소재의 우측원통면이며 척킹형식은 [경우 1]과 같다. 두번째 클램핑면은 가)의 경우와 같이 선정된 척킹형식에 의해 클램핑이 가능한 최대직경의 원통면이다.

다) 외부면그룹에 원통면이 없는 경우

소재의 원통면과 부품의 내부원통면이 클램핑면의 선정대상이다. 부품의 내부시작면과 마지막면이 모두 원통면인 경우, 두 표면의 정밀한 정도에 따라 클램핑면을 선정하며, 하나의 표면만이 원통면인 경우는 그 원통면이 클램핑면이 된다. 예로서, 만일 원통면인 ILSG의 마지막면과 IRSG의 시작면 중 보다 정밀하게 가공해야 할 원통면이 ILSG 그룹에 속하면 첫번째와 두번째 클램핑면은 각각 소재의 좌측원통면과 IRSG의 시작면이다. 이 경우에는 첫번째 작업준비에서의 척킹형식은 [경우 1]과 같고, 두번째 작업준비에서는 척킹형식 3이 선정된다.

[경우 3] 3회의 작업준비로 완성가공하는 경우

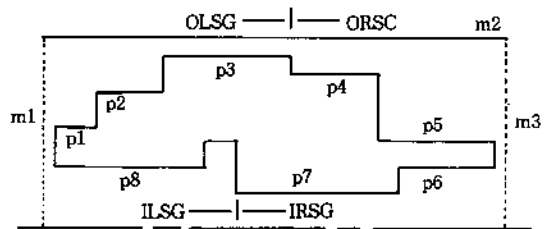
가) OLSG, ORSG에 속한 표면들이 기하공차관계가 있는 경우

이 경우는 기하공차관계가 있는 표면들은 동일한 클램핑에 의해 가공해야 하므로 클램핑면으로는 가공정밀도가 높은 그룹의 소재원통면, 가공정밀도가 낮은 그룹의 최대직경의 원통면, 그리고 내부면의

가장 우측 또는 좌측원통면이 선정된다. 척킹형식은 첫번째, 두번째의 작업준비에서는 [경우 2]의 가)와 동일하게 선정하며, 세번째는 척킹형식 3이 선정된다. 예로서, [그림 8]에서 부품의 표면번호 p2와 p5가 동심도의 기하공차관계가 있으면 클램핑면은 소재의 우측원통면(m2), OLSG중 외부최대원통면(p3), ILSG중 가장 왼쪽의 내부원통면(p8)이 선정되고, 치수조건이 $D_{m2} < E_{i,max}$, $E_{i,min} < D_{p3}$, $D_{p2} < CD$ 이면 척킹형식 1과 3이 선정된다.

나) OLSG, ORSG에 속한 표면들이 표면다듬질 정도, 치수공차가 매우 정밀한 경우

클램핑면으로는 소재원통면, 최대직경인 외부원통면, 최대직경이 포함되지 않은 표면그룹의 원통면들중 직경이 가장 큰 외부원통면이 선정되며 척킹형식은 [경우 2]의 가)와 같이 선정된다. [그림 8]의 예제도면에서 볼 때, 모든 외부원통면이 표면다듬질정도, 치수공차가 매우 정밀한 표면인 경우의 클램핑면은 m2, p3, p4이고 척킹형식은 1 또는 2 중 치수조건을 만족하는 척킹형식이 선정된다.



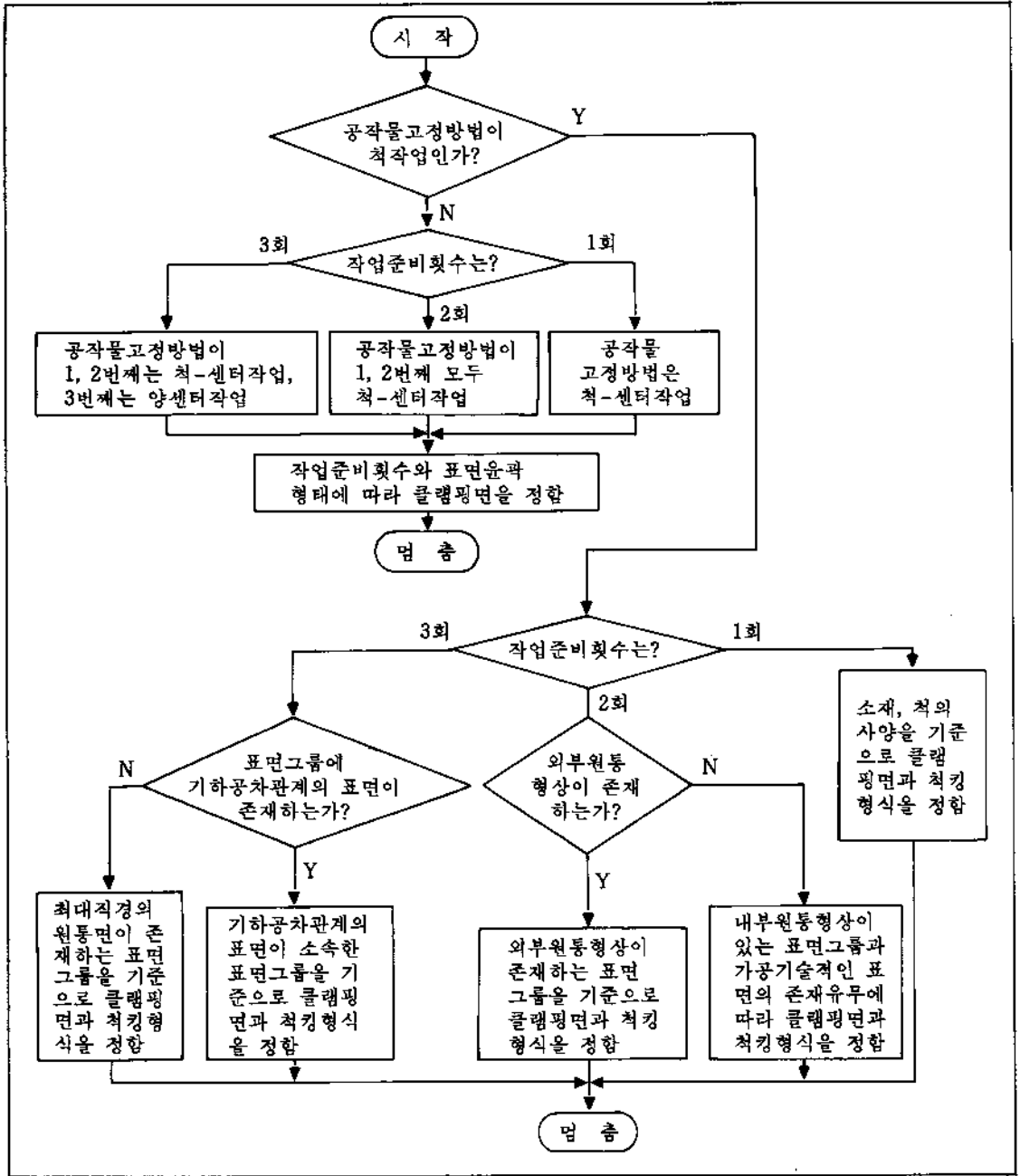
[그림 8]. 가공기술적인 관계가 있는 예제도면

2.5.2 센터작업

센터작업이 적용되는 부품 중 1회의 작업준비에 의해 완성가공되는 부품은, 소재의 원통면이 클램핑면이고 척-센터작업에서의 척킹형식은 척작업에서의 선정방법과 동일하다. 2회의 작업준비로 완성가공되는 부품은 척-센터작업에 의하며 첫번째 클램핑면은 소재의 원통면, 두번째 클램핑면은 부품의 가공된 표면 중 외부시작면 또는 외부마지막면

과 가장 가까운 곳의 원통면이다. 3회의 작업준비로 부품을 완성가공할 때는 첫번째 및 두번째의 클램핑면은 앞의 2회의 작업준비로 완성가공할 때의 클램핑면의 선정과 동일하며, 세번째는 양센터작업에 의해 완성가공되므로 클램핑면은 외부시작면 또

는 외부마지막면과 가장 가까운 곳의 원통면이다. 이상과 같이 개발한 작업준비계획에서의 클램핑면과 공작물고정구의 선정에 관한 흐름도는 [그림 9]와 같다.



[그림 9]. 클램핑면과 공작물고정구의 선정의 흐름도

3. 사례연구 및 고찰

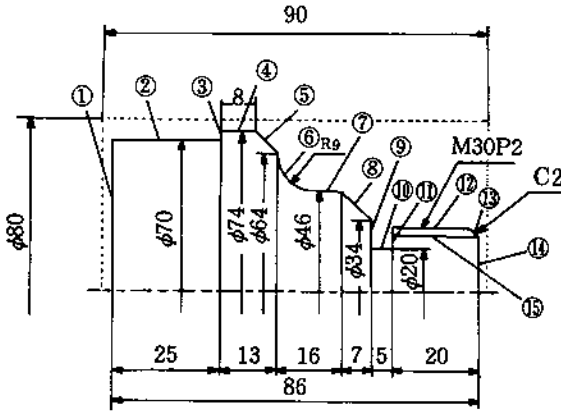
본 연구에서 개발한 기법을 [그림 10]의 도면을 통해 살펴보면 다음과 같다. 여기서 점선은 소재의 윤곽을 나타내며, 번호 1-15는 부품의 표면번호를

나타낸다. 또한 사용된 공작기계는 NC선반이며, 칩은 $CD_0=200$, $E_1=16-100$, $E_2=35-110$, $E_3=75-150$, $E_4=140-185$, $I_1=75-150$, $I_2=145-225$, $I_3=185-265$, $CD=30$, $L=40$ 의 사양을 갖는다.

(1) 시스템의 입력정보는 다음과 같다.

① 일반정보의 입력

품 명 : Test Piece 1
 품 번 : TP1
 재 질 : SM45C
 경 도 : 170
 소재치수 : $\phi 80 \times 90$
 중공소재 : $\phi 0$
 공정계획자 : Kim In Ho
 작성 일 : 1991. 9. 28



[그림 10]. 예제도면

② PDDDB정보의 입력

예제도면의 PDDDB정보

SN	ET	LC	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	X _c	Y _c	R	θ_1	θ_2	PaP	SR	DT	GT
1	L	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	A			
2	L	0	0	35	25	35	0	0	0	0	0	C			
3	L	0	25	35	25	37	0	0	0	0	0	A			
4	L	0	25	37	33	37	0	0	0	0	0	C			
5	L	0	33	37	38	32	0	0	0	0	0	D			
6	A	0	38	32	47	23	47	32	9	180	270	O			
7	L	0	47	23	54	23	0	0	0	0	0	C			
8	L	0	54	23	61	17	0	0	0	0	0	D			
9	L	0	61	17	61	10	0	0	0	0	0	E			
10	L	0	61	10	66	10	0	0	0	0	0	C			
11	L	0	66	10	66	15	0	0	0	0	0	A			
12	L	0	66	15	84	15	0	0	0	0	0	C			
13	L	0	84	15	86	13	0	0	0	0	0	D			
14	L	0	86	13	86	0	0	0	0	0	0	E			
15	L	0	66	13	86	13	0	0	0	0	0	C			

(Note)ET : Entity Type, L : Line, A : Arc, LC : Location

③ 형상특징정보의 입력

표면번호	1, 3, 9, 14	2, 4, 7, 12	5, 13	6	8	9, 10, 11	15
형상특징	측면	원통	모따기	오목원호	원추	수직홈	나사홈

(2) 개발된 작업준비계획 자동화시스템의 실행에 의한 출력결과는 다음과 같다.

-
- * Workpiece Holding Method = Chuck
 - * Numbe of Setup = 2
 - * 1st Clamping Surface = Right Cylinder of Material
 - * 2nd Clamping Surface = Sn 4
 - * Workpiece Holding Device = Chucking Style 1
-

이상과 같이 예제도면에 개발한 기법을 적용한 결과, 공작물고정방법은 최작업이고, 두번의 작업 준비에 의해 완성가공됨을 알 수 있으며, 또한 첫 번째 클램핑면은 소재의 우측면이므로 표면들은 좌측의 표면그룹→우측의 표면그룹의 순서로 가공되어야 하며, 가공시 각 작업준비에서 필요한 공작물 고정구는 척킹형식 1이 선정됨을 알 수 있다. 이상을 통해 살펴볼 때, 작업준비계획은 공정계획을 위해 가공순서의 결정전에 반드시 실행되어야 할 기능임을 알 수 있으며, 사례연구를 통하여 개발된 기법의 유효성을 입증하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 선삭공정에서 CAD 인터페이스된 자동공정계획시스템개발에 관한 연구의 계속으로 공정계획의 여러 기능중 미시적인 의사결정을 수행하는 작업준비계획을 자동화하는 기법을 개발하였다.

연구의 대상은 기계가공부품들 중 많은 비중을 차지하는 NC선반가공용 회전형상부품을 대상으로 하였고, 연구의 내용은 공작물고정방법의 결정, 작업준비횟수의 결정, 클램핑면 및 공작물고정구의

선정에 관한 기법과 알고리즘을 개발하였으며, 소프트웨어개발에 사용한 프로그래밍 언어는 Turbo-C(Version 2.0)를 이용하여 IBM PC/AT를 사용하여 개발하였다.

개발한 기법을 사례연구를 통해 적용한 결과 그 유효성을 입증하였으며, 보다 자동화된 공정계획을 위해 반드시 수행되어야 할 기능임을 알 수 있었다.

향후의 연구과제로는 선삭공정에서 CAD 인터페이스된 자동공정계획시스템의 개발을 위해, 공구선정 및 절삭매개변수의 선정, NC파트프로그램의 생성 등에 관한 연구와 함께 보다 다양한 대상부품에 적용가능한 자동공정계획시스템의 개발이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Chang, T.C., *Expert Process Planning for Manufacturing*, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
- [2] Hummel, K.E., and Brooks, S.L., "XPS-E Revisited: A New Architecture and Implementation Approach for an Automated Process

Planning System”, DR-88-PP-02, CAM-I, Arlington, TX, 1988.

[4] Boerma, J.R., and Kals, H.J.J., “FIXES, a System for Automatic Selection of Set-Ups and Design of Fixtures”, *Annals of the CIRP*, Vol.37/1, pp.443-446, 1988.

[5] Giusti, F., Santochi, M., and Dini, G., “KAPLAN : a Knowledge-Based Approach to Process Planning of Rotational Parts”, *Annals of the CIRP*, Vol.38/1, pp.481-484, 1989.

[6] Hinduja, S., and Huang, H., “Automatic determination of work-holding parameters for turned components”, *Proc. of Institution of Mechanical Engineers*, Vol.203, pp.101-112, 1989.

[7] van Houten, F.J.A.M., “Strategy in Generative Planning of Turning Processes”, *Annals of the CIRP*, Vol.35/1, pp.331-335, 1986.

[8] van Houten, F.J.A.M., “PART : A

Computer Aided Process Planning System”, Ph. D. Thesis, University of Twente, 1991.

[9] 조규갑, 김인호, “선삭공정에서 CAD인터페이스된 자동공정계획시스템개발에 관한 연구(Ⅰ) : 형상특징의 자동인식과 공정선정”, *대한산업공학회지*, 제 17권, 제 2호, pp.1-16, 1991.

[10] Miller, L.H., and Quilici, A.E., *The Official Borland Turbo C Survival Guide*, John Wiley & Sons, Inc., 1989.

[11] Hutchison, R.C., and Just, S.B., *Programming using the C Language*, McGraw-Hill Book Co., 1988.

[12] 한국공업규격 KS B-0161 “표면거칠기”.

[13] 한국공업규격 KS B-0401 “치수공차 및 끼워맞춤”.

[14] 한국공업규격 KS B-0608 “기하공차의 표시방법”.

[15] 金琦淵 編著, 旋盤技術, 省安堂, 1980.