

自動工程設計에서 加工作業의 選定 및 順序決定 技法의 開發

조규갑* · 김인호* · 노형민**

An Automated Process Selection and Sequencing Method in Computer-Aided Process Planning

Kyu-Kab Cho*, In-Ho Kim* and Hyung-Min Rho**

Abstract

This paper deals with development of a computer-aided process selection and sequencing technique and its software for metal cutting processes of rotational parts.

The process selection procedure consists of selection for proper machining operations and machine tools suitable for the selected operations. Machining operations are selected based on machining surface features and machine tools are selected by employing a conversion table which converts machining operations into machine tools. The process sequence is determined by the proper manipulation of the precedence relation matrix.

A computer program for the proposed technique is developed by using Turbo-Pascal on IBM PC/AT compatible system. The proposed technique works well to real problems.

1. 서 론

공정계획 (process planning)은 “소재로부터 제품을 경제적, 효율적으로 생산하는데 필요한

제조공정의 체계적인 결정”이라고 정의할 수 있다[1]. 일반적으로 공정계획은 제품의 종류와 수량, 재료와 부품의 종류, 보유 생산설비와 제조기술의 수준에 따라 다르나, 공정설계(pro-

* 부산대학교 산업공학과

** KAIST CAD/CAM 연구실

cess design)와 작업설계(operation design)로 구분할 수 있다. 기계가공에 대한 공정계획에 있어서 공정설계는 제품, 부품 및 소재에 관한 설계정보로부터 가공방법의 선정, 가공순서의 결정, 가공기계의 종류 및 순서의 결정 등에 관한 거시적 계획을 의미하며, 작업설계는 공정설계의 출력정보를 사용해서 각 작업공정에서 수행해야 할 상세한 기술정보, 즉 지그 및 고정구의 설계와 사용조건의 결정, 공정내의 작업순서 및 작업자의 결정, 공구의 선택, 최적 가공조건의 결정, 공구 경로의 결정 등에 관한 미시적 계획을 의미한다[2].

기계공업분야에서 컴퓨터 통합 생산시스템의 실현을 위해서는 CAD와 CAM을 연결시켜 주는 기능을 가진 공정계획의 자동화, 즉 자동공정계획(Computer-Aided Process Planning; CAPP) 시스템의 개발이 중요하다. 컴퓨터 지원에 의한 자동화 기술의 급속한 발전과 더불어 지난 20여년 동안에 약 150여가지의 자동공정계획시스템이 개발되어 있다[3, 4].

자동공정 계획시스템은 크게 변성형 방법(variant method)에 의한 시스템[5, 6], 준창성형 방법(semi-generative method)에 의한 시스템[7-9] 및 창성형 방법(generative method)에 의한 시스템[10-13] 등이 있으며, 80년대 초부터 인공지능의 기법을 도입한 자동공정계획 시스템이 개발되고 있다[4, 14-17].

본 연구는 회전형상의 기계가공 부품에 대한 공정설계의 자동화, 즉 부품의 설계정보를 이용하여 부품의 가공에 소요되는 가공작업과 가공기계를 선정하고, 선정된 가공공정의 순서를 결정하는 자동화 기법과 이의 소프트웨어 개발을 목적으로 한다. 소프트웨어 개발은 Turbo-Pascal 언어를 사용하여 IBM PC/AT의 호환성 기종에서 대화형으로 개발하였고, 사례연구를 통하여 개발된 시스템의 유효성을 평가하였다.

2. 가공공정의 선정기법의 개발

2.1 가공작업의 선정

공정계획 시스템의 입력요소는 부품의 기하학적 형상 및 치수, 공차, 표면 다듬질 精度 등에 관한 기술정보이며, 이들은 가공공정의 선정 및 순서의 결정에 직접적으로 영향을 주는 중요 요소들이다[18].

부품은 여러가지 형상의 가공면들로 구성되므로, 이 가공면 형상에 따라 가공작업을 선정할 수 있다. 본 연구에서는 회전형상 부품에 대하여 가공면의 형상특징을 가공방법을 고려해서 표 1에 표시한 바와 같은 가공면 형상특징코드(Machining Surface Feature Code: MSF 코드)를 고안하였으며[8](표 1의 MSF 코드란 참조), 따라서 고안된 형상특징요소들로 구성된 회전형상 부품들에 대해서는 가공작업의 선정이 가능하다.

가공작업의 선정은 MSF 코드에 대한 가공작업을 대응시킨 가공면 형상특징코드-가공작업(MSF-MO)의 변환표(단, MO는 Machining Operation을 의미함)를 개발하여 사용한다[8]. 표 1은 가공작업의 선정을 위한 MSF-MO의 변환표를 나타내는데, 가공작업코드는 한국공업규격의 가공방법기호[19]를 사용하였으며, 이들의 기호에 대한 설명은 한국공업규격의 공작기계용어[22]에 잘 나타나 있다.

MSF-MO의 변환표에 의해 얻은 가공작업은 가공의 정밀도에 대한 사항이 고려되지 않았으므로, 본 연구에서는 선삭 및 연삭가공에서 정밀도에 중요한 요소인 치수공차와 표면다듬질 精度를 가공작업의 선정시에 고려하였다. 즉, 치수공차는 한국공업규격의 치수공차 및 끼워맞춤[20]에 의거하여 이를 거친급, 보통급, 정밀급(초정밀급 포함)으로 나누어서, 각 정도에 대응하는 가공작업을 선정하고, 표면다듬질 정도

표 1. 가공면 형상특징 코드-가공방법의 변환표

형 상 특 징 요 소		M S F 코 드	가공방법 기호									
			LLLLLLLLLL TETCSFCRRR PCHNKROCNF	DDD RT	B	MMMMMM FSEGCFF CD OL	B R	GGGGGG EISCTE L R	S L	T C		
외 개 형	원 통 면	1	*						*	*		
	원 추 면	2	*						*	*		
	곡선회전면	3							*		*	
	구 상 부 평 면	4		*					*		*	
		5				*			*			
외 면 가 공	나사가공	6	*									
	원추면절삭	7		*								
	단면절삭	8				**						
	슬롯트 홈	9			0			*			0	
	스플라인	10						*				
외주 기면	외측다변형	12				**						
	치 차	13							*		*	
내개형	중심구멍	14			*	*			*			
내 면 가 공	테이퍼면	15	*						*			
	곡선회전면	16		*								
	원심원통면	17			*	*						
	나 사 면 홈	18		*					*			
	내 평 면	19							*			
	치 차 면	20							*			*
단 면	센터구멍	22		*								
	동심회전면	23	*									
	홈 절 취	24				*						
	곡면·주기면	25					*					
	평 탄	26				*			*			
보 조 구 멍	단순보조구멍	27			*							
	관통 구멍	28			*							
	나사 구멍	29			*							
	테이퍼구멍	30			*							
	깊은 구멍	31			*							
보조 가공	모 따 기	32		*								
	블록[오목]면	33		*								

* 0의 표시는 슬롯트 가공시 D작업을 한 후 SL작업을 함을 나타냄.

는 각 가공면에 표시된 다듬질 기호를 한국공업규격의 표면거칠기 구분[21]을 사용하여 이에 대응하는 가공방법을 선정하도록 하였다.

표 2는 각 공차 등급에 따라서 사용 가능한 공정들의 범위를 나타낸다. 여기서 선삭에 대한 공차등급 분류는 가공방법 기호 L-LCF의 11가지, 드릴링은 D, DT의 2가지, 평밀링은 MSD-MFL의 5가지, 센터 연삭에 대한 분류는 GE, GT, GFR에 동일하게 적용된다.

2.2 가공기계의 선정

가공작업이 선정된 다음, 이 작업을 수행할 수 있는 최적의 가공기계의 선정은 표 3에 나타난 가공작업-가공기계(MO-MC)의 변환표를 개발하여 사용하였다[8]. 가공기계는 한국공업규격에 표시된 가공기계기호[19]를 사용하였으며, 이들 기호의 설명은 한국공업규격의 공작기계의 명칭에 관한 용어[23]에 잘 나타나 있다.

표 3을 살펴보면, 하나의 가공면에 대한 가공작업을 수행할 수 있는 가공기계에는 여러 종류가 있을 수 있다. 이러한 기계들은 다른 가공면을 얻기 위해 선택되는 가공기계들과 서로 비교하여 공통으로 사용할 수 있는 기계를 검색하여 선정하므로써, 선정된 기계의 사용 효율을 높이도록 하였다. 이 경우, 선정된 가공기계가 2종류 이상이면 이들 기계는 상호 대체 가능한 기계가 된다.

3. 가공공정의 순서결정 기법의 개발

가공공정의 순서결정에서 고려해야 할 요소는 기하학적 형상 및 공차, 부품의 치수 등의 도면 정보와 가공의 기술적 관계 및 공정계획자의 노우하우 등의 가공기술정보이다.

기하학적 형상 및 공차의 특징을 나타내는 것에는 평면도, 진직도, 진원도, 원통도, 선의 윤

표 2. 각 등급에 사용되는 작업들의 정밀도

작업 방법	치수공차의 등급(ISO)에 따름											
	1-3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14-16
선삭				●	●	○	○	○	*	*	—	—
보오링				●	●	○	○	○	*	*	—	—
드릴링								●	○	*	*	—
리이밍			●	●	○	○	*	*	—	—	—	—
평밀링					●	●	○	○	*	*	—	—
페이스밀링					●	●	○	○	*	*	—	—
슬로팅					●	●	○	○	*	*	—	—
가야 절삭						●	○	○	○	*	*	—
브로우칭			●	●	○	○	*	*	—	—	—	—
센터 연삭			●	○	○	*	*	—	—	—	—	—
센터릭스연삭			●	○	*	*	*	—	—	—	—	—
내면 연삭			●	○	○	*	*	—	—	—	—	—
평면 연삭			●	○	○	*	*	—	—	—	—	—

(주) — 거친급 ○ 정밀급
 * 보통급 ● 초정밀급

표 3. 가공방법-가공기계 변환표

가공 방법 기호	LLLL EBTCV NO	D	BBB HVf	MMM HVU	B R	GGGGG EUISCT RL	S L	TTF OCC HS H
L	***							
LTP	*							
LFC	**							
LTH	*							
LCN	*							
LSK	*							
LFR	*							
LCO	*	*						
LRC	*							
LRN	*							
LCF	*							
D		*						
DR			***	*				
DT		*						
B	*		***					
MFC				*				
MSD				*				
ME				*				
MG				*				
MCO				*				
MFL				***				
BR					*			
GE						**		
GI						**		
GS						*	*	
GCL						*	*	
GT						*	*	
GFL						****	*	
SL				**	*			*
TC								***

꺾도, 면의 윤곽도, 직각도, 경사도, 평행도, 흔들림, 위치도, 동심도, 대칭도 등이 있다. 이 가운데 처음 4가지는 부품의 형상과 관계가 있고 기준면을 가지지 않으나, 나머지 9가지는 기준면 또는 기준선과 관련이 있고, 따라서 이들은 각 가공면들간의 작업순서에 영향을 미친다. 예로서, 두 면 사이에 직각도의 관계가 있을 경우에는 작업순서는 기준면을 먼저 가공한 후에 다음 면을 가공해야 된다.

가공의 기술적 관계는 예를 들면, 리이밍 작업은 반드시 드릴링 작업 다음에 수행되어야 하고, 또 높은 표면 다듬질 정도를 얻기 위해서는 선삭 작업과 연삭작업을 차례로 수행해야 하는 것과 같이 가공기술적인 제약에 따른 가공의 선후행 관계를 의미한다.

부품의 치수관계는 외경이 큰 것은 작은 것에 우선해서 가공해야 하는 것처럼 치수가 가공순서에 미치는 영향을 의미하며, 이것은 공정계획자의 경험에 의존하는 경우가 많이 있다.

공정계획자의 기술적 노우하우가 가공작업의 순서에 큰 영향을 미치는데, 이것은 공정계획은 일반적 이론이 없고, 가공 경험에 주로 의존하기 때문이다.

본 연구에서 가공공정의 순서결정을 위해서 각 가공면에 대한 가공의 선후행 관계를 표시하는 '선행관계 행렬 (Precedence Relation Matrix)' (편의상 'P 행렬'이라 부른다)을 구성하여, 이 P 행렬을 사용하여 가공공정의 순서결정 기법을 개발하였다.

본 연구에서 가공면에 대한 가공면 번호의 부여 순서는 일관성을 기하기 위하여 먼저 외부의 구성면들은 가장 왼쪽에서부터 오른쪽으로, 그 다음 내부의 구성면들은 가장 오른쪽의 위에서부터 왼쪽의 아래의 순서로 차례대로 부여한다.

가공면에 표면 다듬질 기호가 있는 경우에는 가공 도중에 형성되는 가공면은 가공작업과 가공기계의 선정에 영향을 주므로, 이러한 가공면에는 가공면 번호가 자동적으로 부여되도록 하였다. 예로서, 임의의 가공면 i에 다듬질 기호(▽▽▽)가 표시되어 있으면, 이를 가공하기 위해서는 거친급(▽)의 선삭 → 보통급(▽▽)의 선삭 → 정밀급(▽▽▽)의 선삭[원통연삭(GE) 또는 센터리스 연삭(GCL)] 작업을 해야 하며, 이들 작업에 의해 가공되는 면들은 각각 가공면 번호 i, 10i, 20i로 구분하여 부여한다.

선행관계 행렬은 그림 1에 표시한 바와 같이 n×n 행렬(단, n은 도면상에 표시된 가공면의 수와 가공과정에 생기는 가공면의 수의 합계)로써, P 행렬의 요소(i, j)는 가공면 i와 j 사이의 가공의 선후행 관계를 나타내는 다음과 같은 특정한 부호로 표시하였다.

- (1) D : 치수에 의한 선후행 관계

(2) G : 기하학적 형상과 공차에 의한 선후행 관계

(3) T : 가공의 기술적 제약에 의한 선후행 관계

(4) E : 공정계획자의 경험에 의한 선후행 관계

임의의 요소(i, j)가 공란이면 가공면 i와 j 사이에는 가공의 선후행 관계가 없음을 의미하고, 특정한 부호가 있으면 가공면 i는 j보다 먼저 가공되어야 함을 의미한다.

그림 1의 선행관계 행렬에 부가적으로 표시한 SRS, SCS 및 SEQ의 의미는 다음과 같다.

(1) SRS(Sum of Row Surfaces) : 각 열(column)에 표시된 부호의 갯수의 합을 나타낸다. SRS의 값이 0이면, 이에 해당하는 열의 가공면 j가 지금 가공되어야 함을 의미한다. 가공이 끝난 다음에는 이 가공면 j에 대한 SRS의 값을 부호 'X'로 표시하여 가공이 완료되었음을 나타내고, 가공면 j는 이후의 선행관계에는 관련이 없다.

(2) SCS(Sum of Column Surfaces) : 각 행(row)에 표시된 부호의 갯수의 합을 나타낸다. SCS의 값이 공란이면 이에 해당하는 행의 가공면 i에 대한 가공순서가 정해졌음을 의미한다. SCS의 값이 0이면, 이에 해당하는 행의 가공면 i보다 나중에 가공되는 가공면들이 없음을 의미한다.

가공면번호	1	2	3	·	·	n	SCS	SEQ
1		G						
2			D					
3				E				
⋮					T			
⋮								
n								
SRS								

그림 1. 선행관계행렬의 형식

(3) SEQ(SEquence) : 가공공정의 순서를 영어의 소문자로 표시하였으며, 공정순서는 알파벳 순서이다.

P 행렬을 사용하여 가공공정의 순서를 결정하는 절차는 다음과 같다.

(1) SRS 값과 SCS 값을 계산하여 해당되는 각 행과 열에 기재한다.

(2) SRS 값이 '0'이 되는 열의 가공면 번호를 찾는다.

(a) '0'이 하나인 경우에는 '0'의 위치에 'X' 표시를 하고, 해당 가공면 번호에 대응하는 SEQ에 순서를 차례대로 명기한다.

(b) '0'이 둘 이상 있는 경우에는 직전에 선택된 가공면과의 관계에 의해 가공면 번호를 선택하여 'X' 표시를 한다.

(a) 또는 (b) 다음에는 (1)로 가고, 아니면 (3)으로 간다.

(3) 모든 가공면의 가공공정 순서가 정해지므로 정지한다.

이상의 개념을 사용하여 다음과 같이 4개의 모듈로 구성된 가공공정의 선정 및 순서결정 기법에 관한 소프트웨어를 개발하였다.

- 1) 가공작업을 결정하는 모듈
- 2) 가공기계를 결정하는 모듈
- 3) 가공공정의 순서를 결정하는 모듈
- 4) 최종 공정표를 작성하는 모듈

개발된 소프트웨어의 입력방식은 문자입력 방식을 채택하였으며, 사용된 언어는 Turbo-Pascal Version 3.0이고, 화면의 내용은 한글 및 영문자를 사용하였다.

개발된 가공공정의 선정 및 순서결정기법의 흐름도는 그림 2와 같다.

4. 사례연구 및 고찰

본 연구에서 개발한 기법을 그림 3의 부품도

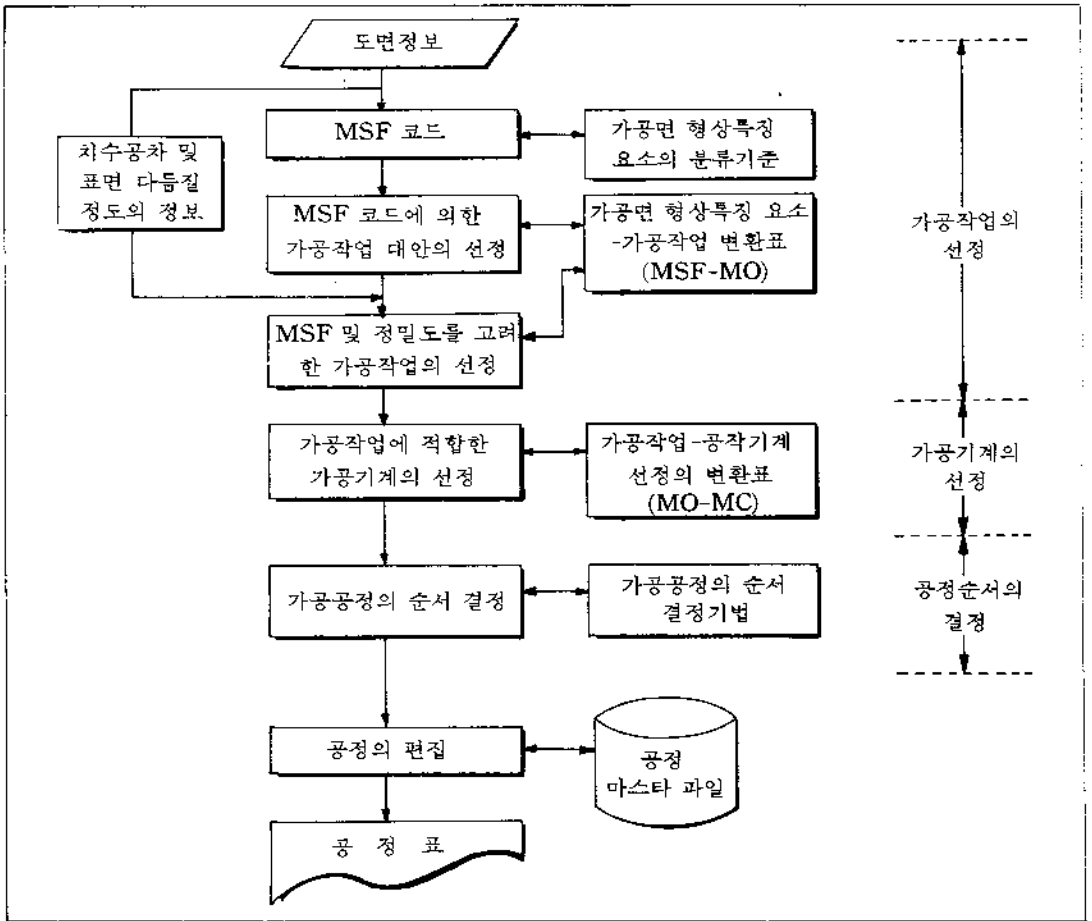


그림 2. 가공공정의 선정 및 순서결정의 흐름도

를 사용하여 가공에 필요한 공정의 선정과 순서를 결정하여 공정계획을 작성한다.

단계 1: 각 가공면에 대응하는 MSF 코드를 입력하고 치수공차, 표면 다듬질 정도를 갖는 가공면 번호에 대응하는 값들을 입력한다. 그림 4에 MSF 코드의 입력과정이 나타나 있다.

단계 2: 가공정도에 따른 가공면 번호가 자동적으로 생성되고 그림 5와 같이 각 가공면 번호에 가공방법과 가공기계가 선정된다. 이때 가공기계 2와 3은 가공기계 1과 대체 가능한 기계이다.

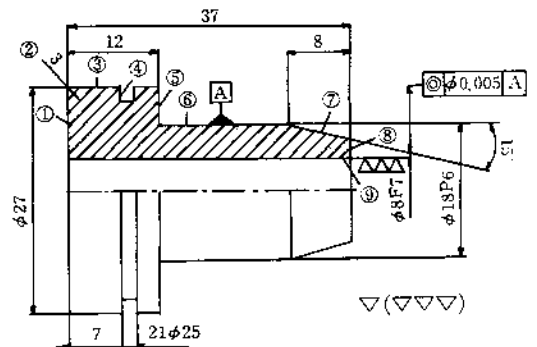


그림 3. 회전형상 부품도

MSF	: 기본적인
코드번호	: 형상특징
1	: 외부 원통면
2	: 외부 원추면
3	: 외부 곡선회전면
4	: 외부 구상부
5	: 외부 평면
6	: 외부 나사
7	: 외부 원주면
8	: 외부 단면
9	: 외부 슬롯트
10	: 외부 홈
11	: 외부 스플라인
12	: 외부 다변형
13	: 외부 치자
14	: 내부 관통구멍
15	: 내부 경사면
16	: 내부 곡선회전면

최종 가공면 번호 : 9 최대 코드번호 : 33
 ((코드번호=99) → 다음 과정)

가공면 번호	1.....	코드번호	23
가공면 번호	2.....	코드번호	33
가공면 번호	3.....	코드번호	1
가공면 번호	4.....	코드번호	7
가공면 번호	5.....	코드번호	23
가공면 번호	6.....	코드번호	1
가공면 번호	7.....	코드번호	2
가공면 번호	8.....	코드번호	23
가공면 번호	9.....	코드번호	14

도면상에 표면 다듬질 기호가 있는 가공면이 있습니까? (Y/N)y

그림 4. MSF 코드의 입력

가공면 번호	MSF 코드	가공 작업명	가공	가공	가공
			기계 1	기계 2	기계 3
1	23	LFC	LE	LT	
2	33	LRN	LE		
3	1	L	LE	LT	
4	7	LRC	LE		
5	23	LFC	LE	LT	
6	1	L	LE	LT	
7	2	LTP	LE		
8	23	LFC	LE	LT	
9	14	D	D		
106	1	L	LE	LT	
206	1	GE	GU		
109	14	D	D		
209	14	GI	GU		

그림 5. 가공방법과 가공기계의 선정

단계 3: 선행관계 행렬의 구성에 필요한 가공면 번호들을 입력하여 그림 6과 같이 선행관계행렬이 형성된다.

가공면 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	106	206	109	209
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
106													
206													
109													
209													

그림 6. 선행관계행렬

단계 4: 가공면들의 가공순서가 얻어지고 대체 기계의 필요에 따른 가공면 번호 및 대체 기계명을 입력하여 그림 7과 같이 모든 가공면들의 가공순서가 결정된다.

공정 순서	가공면 번호	가공 작업명	가공 기계 1	가공 기계 2	가공 기계 3
1	8	LFC	LE	LT	
2	6	L	LE	LT	
3	106	L	LE	LT	
4	5	LFC	LE	LT	
5	7	LTP	LE		
6	1	LFC	LE	LT	
7	3	L	LE	LT	
8	2	LRN	LE		
9	4	LRC	LE		
10	9	D	D		
11	109	D	D		
12	206	GE	GU		
13	209	GI	GU		

그림 7. 가공순서의 출력

이상으로 그림 3의 부품도에 대해 본 기법의 적용결과 얻어진 가공순서와 기존의 공정계획자를 통해 얻은 가공순서를 비교해 보면, 공정계획자가 행한 가공순서는 8 → 6 → 106 → 5 → 7 → 9 → 109 → 1 → 3 → 2 → 4 → 206 → 209이며, 이 순서는 본 연구에서의 기법을 적용하여 얻은 결과인 그림 7의 가공순서와 매우 유사함을 알수 있다. 여기서 가공면 9의 순서는 공정계획자는 선반에서의 내경 선삭이 가능하므로 동일한 척킹상태에서 가공면 7을 가공한 후 가공면 9를 가공하도록 정했으나, 본 연구에서는 드릴링 기계에서 행하는 드릴링 작업의 전문성을 고려하였으므로, 그림 7과 같은 가공순서의 결과가 출력되었다.

본 연구에서 개발한 프로그램을 사용하여 실제 문제에 적용해 본 결과, 현장의 공정계획자가 적용하는 가공순서와 유사한 실용적인 공정계획을 얻을수 있었으며, 개인용 컴퓨터를 사용하여 대화형 프로그램을 개발하였으므로 사용자가 쉽게 사용할 수 있는 실용성 있는 결과를 얻었다고 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 회전형상의 기계가공 부품을 대상으로 하여, 부품을 구성하는 가공면들의 형상특징 요소와 도면상의 각종 기술정보를 이용하여 가공공정 및 가공기계를 선정하고, 가공의 기술적 관계와 공정설계자의 노우하우를 이용하여 각 가공면에서 행해지는 공정의 순서를 자동적으로 결정하는 기법을 제안하였으며, 개발된 기법의 소프트웨어는 IBM PC/AT 의 호환성 기종을 사용하여 Turbo-Pascal 언어를 이용하여 대화형으로 개발하였다.

가공작업의 선정은 가공면 형상특징 코드-가공방법의 변환표의 사용 및 치수공차와 표면 다듬질 정도를 고려하여 얻었으며, 가공기계는 가공작업-가공기계의 변환표를 사용하여 선정하였고, 가공공정 및 기계를 선정할 때 공통의 가공공정 및 기계를 선정하므로써 사용기계의 효율을 높일수 있도록 하였으며, 기계의 부하를 고려하여 공정계획자가 대체 기계를 사용할 수 있도록 하였다.

가공순서의 결정은 가공공정의 선후행 관계를 나타내는 선행관계 행렬을 구성하여, 이 행렬을 사용하여 체계적으로 구하였다. 제안된 기법의 유효성을 실제 문제에 적용한 결과 합리적인 공정계획을 얻을수 있어서 실용성이 입증되었다.

앞으로는 기계의 부하와 일정계획을 고려한

자동공정계획 및 전문가 시스템의 접근방법에 의한 지식베이스의 공정계획 분야의 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

附 記

이 論文은 峨山社會福祉事業財團의 1987年度 研究費 支援에 의하여 研究되었음.

참고문헌

1. Tulkoff, J.: "Process Planning; An Historical Review and Future Prospects", Proceedings of 19th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Pennsylvania State University, pp.207-210, June 1987.
2. 岩田一明外 5 人: 生産 システム學, CORONA 社, 1982.
3. Zhang, H., and Alting, L.: "Introduction to an Intelligent Process Planning System for Rotational Parts", Advances in Manufacturing System Engineering, ASME PED-Vol. 31, pp.15-26, 1988.
4. Ham, I., and Lu, S. C-Y.: "Computer-Aided Process Planning; The Present and The Future", 38th CIRP General Assembly Keynote Paper, Tokyo, Japan, 1988.
5. Chang, T.C., and Wysk, R.A.: An Introduction to Automated Process Planning Systems, Prentice-Hall Publishing Company, 1985.
6. Link, C.H.: "CAPP-CAM-I Automated Process Planning System", Proceedings of the 13th Numerical Control Society Annual Meeting and Technical Conference, Cincinnati, Ohio, March 1976.
7. Ham, I., and Emerson, C.D.: "Automated Coding and Process Selection -ACAPS", SME Papers, 1981.
8. Fukuda, Y., Kanda, Y., and Ozawa, M.: "Development of the Operation and Management Software in Diversified Manufacturing System", 日本機械振興協會 技術研究所, March 1984.
9. Wang, H.P., and Wysk, R.A.: "Microcomputer-Based Process Planning Systems", AIIE Conference Proceedings, pp.145-153, 1985.
10. Allen, D.K., and Smith, P.R., "Computer Aided Process Planning", Report of Computer-Aided Manufacturing Laboratory, Brigham Young University, Provo, Utah, October 1980.
11. Chang, T.C., and Wysk, R.A.: "Integrating CAD and CAM through Automated Process Planning", Int. J. Prod. Res., Vol. 22, No. 5, pp.877-894, 1984.
12. Kotler, R.A.: "Computerized Process Planning-Part 1 and 2", Army Man Tech Journal, Vol. 4, Nos. 4 and 5, 1980.
13. van't Erve, A.H., and Kals, H.J.J.: "XPLANE, Generative Computer Aided Process Planning for Part Manufacturing", Annals of the CIRP, Vol. 35, No. 1, pp.325-329, 1986.
14. Descotte, Y., and Latombe, J.C.: "Making Compromises Among Antagonist Constraints in a Planner", Artificial Intelligence, Vol. 27, pp.183-217, 1985.

15. Matsushima, K., Okada, N., and T. Sata: "The Integration of CAD and CAM by Application of Artificial Intelligence Techniques", *Annals of the CIRP*, Vol. 31, No. 1, pp.329-332, 1982.
 16. Iwata, K., and Fukuda, Y.: "KAPPS; Know-How and Knowledge Assisted Production Planning System in the Machine Shop", 19th CIRP International Conference on Manufacturing Systems, pp.287-294, 1987.
 17. Wang, H.P., and Wysk, R.A.: "A Knowledge-based approach for automated process planning", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 26, No. 6, pp.999-1014, 1988.
 18. 宋地復, 曹圭甲 編著: 工程設計, 서울, 省安堂, 1986.
 19. 한국공업규격 KS B-0107, "가공방법 기호".
 20. 한국공업규격 KS B-0401, "치수공차 및 끼워맞춤".
 21. 한국공업규격 KS B-0161, "표면거칠기".
 22. 한국공업규격 KS B-0114, "공작기계 용어".
 23. 한국공업규격 KS B-0105, "공작기계의 명칭에 관한 용어".
-