

회전형상제품의 가공을 위한 컴퓨터 지원 공정계획 시스템[†]

A Semigenerative Process Planning System for Rotational Parts[†]

이진수* · 최후곤**

Jin Soo Rhee* and Hoo-Gon Choi**

Abstract

The purpose of this study was to develop a semigenerative process planning system for the turning processes required for rotational parts. The system developed in this study showed three major roles for a given part : selection of appropriate turning processes, scheduling of selected processes, and selection of appropriate tools to be used for selected processes. Four information files and six modules were developed to produce a process plan. When geometric features, dimension, tolerance, material types, and surface finish data are inputted to the system, optimal processes, processing sequences, selected tools, and machining costs are to be produced as a process plan.

1. 서 론

공정계획은 “투입된 자재로부터 제품을 경제적, 효율적으로 생산하는데 필요한 제조공정의 체계적인 결정을 위한 계획”이라고 정의할 수 있다. 일반적으로 공정계획은 제품의 종류와 수량, 재료와 부품의 종류, 보유생산설비와 제조기술의 수준에 따라 다르나, 일반적으로 공정설계와 작업설계로 구분할 수 있다. 공정설

계는 제품, 부품 및 소재에 관한 설계 정보로부터 가공 방법의 선정, 가공 순서의 결정, 가공기계의 종류 및 순서의 결정에 관한 거시적 계획을 의미하며, 작업설계는 공정설계의 출력 정보를 사용해서 각 작업공정에서 지그 및 고정구의 설계와 사용조건의 결정, 공정내의 작업순서 및 작업자의 결정, 공구의 선택, 최적가공조건의 결정, 공구경로의 결정 등에 관한 미시적 계획을 의미한다[17, 18].

기계 공업분야에서 컴퓨터 통합 생산시스템(CIMS)의 실현을 위해서는 CAD와 CAM을 연결시켜주는 기능을 가진 공정 계획의 자동화, 즉 컴퓨터 지원 공정계획 시스템의 개발이 중요하다. 이러한 컴퓨터 지원 공정계획 시스

† 본 연구는 1992년도 과학재단 일반기초연구 연구비지원에 의한 결과임(과제번호: 921-0900-015-1).

* 한국과학기술원 시스템공학연구소 자동화시스템연구단

** 성균관대학교 공과대학 산업공학과

템의 개발을 통하여 제품설계와 제품가공간의 총괄적 제어, 관리(즉 가공방법 및 제품설계의 수정과 정보관리를 포함한)가 가능해지고, 생산환경의 변화에 유연하게 대처하면서 일괄적인 관리를 할 수 있다[1, 2].

본 연구의 목적은 회전형상의 기계 가공품에 대한 공정설계의 자동화, 즉 가공품의 설계정보를 이용하여 가공작업들을 선택하고, 선정된 가공작업들의 순서결정 및 사용공구를 결정하는 소프트웨어의 개발을 목적으로 한다.

또한 본 연구는 기존의 연구에서 고려되지 못했던 제품의 생산량과 주문자의 중요도에 의해 생산정보의 기억 여부를 결정해 줌으로써 변성형 방법(variant process planning)의 단점인 과도한 기억용량의 사용을 줄이고, 프로그램의 실행 속도를 증대시키는 준창성형 방법(semi-generative process planning)을 이용하며, 가공시간과 비용을 고려해 줌으로써 좀더 현실적인 공정계획 수립을 가능하게 한다.

이 연구는 지식베이스를 기초로 하여 현장에서 바로 사용할 수 있는 자동공정계획의 완전한 수립이라는 과제의 초기단계에 해당되며, 현재 후속연구가 진행중이다.

2. 선행연구검토

국내에서는 연구가 미진하지만 미국, 일본의 경우 상당한 연구성과가 있었으며 자동공정계획의 첫번째 단계인 제품형상인식의 경우를 보면, Kakino[7]는 1977년에 컴퓨터의 자료정보구조로부터 제품설계정보를 변환시키는 기본개념을 처음으로 개발하였고, 1980년에 Kyprianou[8]는 제품에 대한 형상 표현의 정보발취 방식(solid modeller boundary representation database)를 발표하였고, 1982년에 Woo[14]는 한계표현법(boundary representation)을 이용한 2차원, 3차원 제품의 형상인식 이론인 'Alternating Sum of Volumes'를 발표하였으며, 같은 해에 Jakubowski[6]는 CSG(constructive solid geometry)모델을 통한 회전형상체의 형상인식을 위한 제품형상군의 코

드(code) 정의방법을 제안하였다. 그리고 Henderson[5]은 1984년에 3차원 제품묘사를 위한 전문가 시스템기법을 연구하였다. 또한 Li[10]는 CAD로부터 회전형상체의 제품정보를 받아 형상을 정의할 수 있는 방법에 대해 연구하였고, 24개의 형상부호벡터(vector primitives)를 기초로하여 형상정의 정보구조(part definition data structure)를 발표하였다. 또한 Li와 Hwang[11]은 1990년에 이연구를 확장하여 비회전(non-turning)형상에 대한 형상인식을 포함한 형상정의 정보를 발표하였다.

Zhang과 Gao[16]의 회전형상체의 가공을 위한 변성형 공정계획시스템인 TOJICAP은 공정계획 수립을 위한 하나의 시스템인데 군분류기술(group technology)의 결과에 따라 데이터베이스에 저장되어 있는 표준생산계획을 기초로 투입제품에 대한 표준계획과 생산지시서를 발부한다. 하지만 변성형 공정계획 시스템이기 때문에 유사성이 적은 제품이 투입될 경우 계획의 전반적인 수정이 필요하거나, 전혀 새로운 계획이 필요하다.

APPAS[15]와 CADCAM[3]을 발전시킨 Chang의 TIPPS(totally integrated process planning system)[2]는 창성형 공정계획 시스템으로 CAD데이터베이스에서 정보를 받아 외형표현법(boundary representation)으로 상자(box)형태의 제품 형상을 인식하는 공정계획 시스템이다. 이 시스템은 C언어로 정의된 함수 모듈에 의해 가공방법이 선택되며, 제품재질, 강도, 공구재질, 공구지름, 표면형태 등을 입력하면 자재, 가공방법, 공구종류, 고정구, 가공기계, 가공순서 등을 선택하고 가공시간 및 가공비용을 산출하며, 필요할 때마다 정보화일을 수정, 보완할 수 있도록 되어있다. TIPPS의 자료구조에는 컴퓨터 지원 설계(CAD)정보, 표면정보, 가공정보, 모수정보, 가공지식 정보 등이 포함되어 있다. TIPPS와 본 연구에서 개발된 시스템과는 입력 및 출력 정보는 유사하지만 본 시스템은 회전형상체를 다룬다는 점이 다르며, 공구 및 가공방법에 관한 입력이 필요하지 않으며 가공시간 계산에 전력, 힘, 공구수

명 등 가공에 필요한 요소가 모두 반영된다는 점이 다르다.

국내에서는 조규갑[17, 18]이 회전형상체의 가공을 위한 변성형 공정계획 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 마이크로 컴퓨터에서 Auto-CAD와 연결되어, 인식된 형상에 따라서 공정계획이 수립되지만 TOJICAP과 같이 변성형 공정계획 시스템이기 때문에 시스템에 정의되지 않은 복합적 형상의 제품이 투입될 경우 형상인식이 어렵다. 또한 공정계획 수정모듈이 없기 때문에 생산지시의 보완, 수정이 불가능하며 정확한 제품가공시간 및 비용에 근거한 경제적 계획 수립이 불가능하다.

3. 연구내용 및 방법

본 연구는 C-언어와 Foxpro 2.0을 사용하여 IBM PC386의 호환 기종에서 실행될 수 있도록 사용자 위주로 개발되었고, 제품정보 화일, 기계설비정보 화일, 공구정보 화일, 비용정보 화일 등 4가지 정보화일과 형상인식 모듈, 가공방법 결정모듈, 공구선택 모듈, 가공시간과 비용산출 및 최적화 모듈, 가공순서 결정모듈, 데이터베이스 관리모듈 6가지 모듈로 구성된다. 개발된 시스템이 이미 내장하고 있는 화일은 기계설비정보 화일, 공구정보 화일이며, 시스템이 자동으로 생성시키는 화일은 제품정보 화일이다. 사용자가 만들어야 할 화일은 기계설비정보 화일의 일부와 비용정보 화일이며, 이들 화일에는 사용자가 데이터베이스관리 모듈을 사용하여 새로운 정보를 추가시킬 수 있다.

이들 화일의 구축과 모듈의 실행은 Machining Data Handbook[13], Metals Handbook [12], 기타 핸드북[19~23]에 수록되어 있는 회전형상제품 가공에 필요한 데이터를 기초로 이루어지며, 이들 데이터의 이용을 위한 간단한 추론기관(Inference engine)과 규칙(Rules)들이 C언어환경에서 개발되었다.

회전형상 제품의 기하학적 형상 및 치수, 공차, 재질, 표면조도가 입력되면 도면상의 형상

을 컴퓨터화면에서 확인할 수 있고, 입력된 형상을 가공하기 위한 가공방법, 가공기계, 사용공구, 가공순서가 최적비용 및 시간을 토대로 결정되어 공정계획표로 출력된다. 또한 생산량과 주문자의 중요도를 고려하여 일정 등급 이상의 제품에 대해서는 그 가공방법을 기억하여 차후에 사용할 수 있다.

4. 가정 및 용어

본 연구는 다음과 같은 가정하에서 수행되었다.

- 1) 가공기계는 한대이다. 즉 제품은 한대의 수치제어 선반기계에서 필요한 선삭 가공이 모두 수행된다.
- 2) 가공방법 및 공구에 따른 가공속도는 기지이다.
- 3) 생산량은 1개이다.
- 4) 기계관리를 위해 필요한 작업원 한명이다.
- 5) 가공을 완료하기 위하여 필요한 공구의 움직임(pass)수에는 제약이 없다.

본 연구에서 사용된 주요 용어들의 정의는 다음과 같다.

- 1) 준 창성형 공정계획 : 특정 공장(예 : 비행기 엔진 생산공장) 또는 특정형상(예 : 회전형상)의 제품만을 대상으로 하는 창성형 공정계획.
- 2) 형상인식 : 제품의 도면정보를 사용하여 제품의 형상을 정의하는 것.
- 3) 검색면 : 형상인식을 하고자하는 대상 면.
- 4) 기준면 : 제품의 형상인식 과정에서 검색면의 형상을 인식하기 위해 비교하는 면.
- 5) 가공면 : 기준면과 검색면의 좌표를 비교하여 형상인식을 한후 결정되는 실제 가공되는 면.
- 6) 단면 : 제품을 구성하는 각각의 면.
- 7) 회전 가공면 : 가공면들 중 회전가공(straight turning)에 의해 가공되는 면.
- 8) 비회전 가공면 : 가공면 중 제품의 외부

에 위치하며 회전가공으로 가공할 수 없는 면.

- 9) 회전 제품 형상면 : 흠, 흠, 모따기 등과 같이 제품의 내부에 위치한 흠가공, 사선가공 등의 가공방법에 의해 가공되는 면.
- 10) 비회전 제품 형상면 : 제품의 내부에 위치한 면들 중 회전형상이 아닌 면.
- 11) 절단점 : 제품의 형상인식 과정에서 검색면과 기준면의 교점.
- 12) 가공점 : 형상인식 후 가공면을 구하기 위하여 기준면, 검색면의 좌표와 절단점에 의해 계산되는 가공면을 구성하는 끝점.
- 13) 시작점 : 가공면 또는 기준면을 만드는 양쪽 두점중 먼저 입력된 출발점.
- 14) 끝점 : 가공면 또는 기준면을 만드는 양쪽 두점중 나중에 입력된 종착점.
- 15) 마지막 점 : 제품의 도면 좌표값을 입력할 때 제일 마지막에 입력된 점.

아울러 각 면에서 상·하·좌·우 및 윗면과 아랫면은 직교좌표계의 X, Y좌표값에 의하여 정의되었으며, 중심선(회전형상의 회전축)을 기준으로 하였다. 즉 중심선의 Y좌표값은 "0"이다.

5. 정보화일과 모듈

각 화일의 내용과 모듈의 가능설명은 다음과 같다.

5.1 정보화일

5.1.1 제품정보 화일

이 화일은 제품의 수주 또는 개발시 제품의 형상을 인식하고 그 가공방법을 결정하기 전에 그제품에 대한 필요정보를 임시로 저장하고, 일단 가공방법 및 사용공구가 결정된 제품중 저장이 필요한 제품의 정보를 저장하여 동일한 형상특징의 제품이 다시 가공될 때 같은 가공방법 및 공구에 대한 정보를 재활용하는 것을

목적으로 한다. 저장하고 있는 정보는 다음과 같다.

- 제품명
- 제품 code
- 생산량
- 납기, 주문일
- 제품표면 좌표
- 형상코드
- 가공방법
- 사용공구
- 가공시간
- 가공비용

5.1.2 공구정보 화일

이 화일은 "Machining Data Handbook" [13]의 내용을 기초로 생성되었으며 제품의 가공방법 결정 후 사용공구를 결정하기 위하여 고려해야 할 요소들의 정보를 저장하고 있다. 저장하고 있는 정보는 다음과 같다.

- 공구재질
- 가공가능 제품재질
- 가공가능 가공깊이
- 가공속도
- 가공방법
- 표면조도
- 치수공차

5.1.3 기계설비정보 화일

이 화일은 선반공작법에 관한 핸드북[20, 22, 23]의 내용을 기초로 생성되었으며 선반(Lathe) 가공시 사용되는 기계설비의 종류와 특성에 관한 정보를 저장하고 있으며, 가공기계 결정 및 비용산출에 사용된다. 저장하고 있는 정보는 다음과 같다.

- 기계명
- 기계코드
- 배치공정명
- 가능 가공방법
- Bed의 크기
- 최대허용 제품무게
- 가공가능 제품재질
- 구입비

5.1.4 비용정보 화일

이 화일은 제품의 가공방법, 공구, 가공기계 등의 결정이 수행된 후 가공비용을 산출하여 이를 최소화하는 합리적인 가공방법, 공구 가공기계를 결정하기 위한 기본 비용정보를 저장하고 있다. 저장된 정보는 다음과 같다.

- 일인당 직접노무비
- 시간당 전력비

단 기계구입비 정보는 기계설비정보 화일에 저장되어 있다.

5.2 모듈

5.2.1 형상인식 모듈

개발된 시스템의 가장 핵심적인 모듈로서 회전형상 제품의 기하적인 형상을 인식하며, 인식결과를 제품정보 화일에 저장시키며, 인식된 형상을 컴퓨터 화면상에서 확인할 수 있도록 하며, 사용자가 형상의 각 면별로 입력시킨 공차, 표면조도, 제품재질을 제품정보화일에 저장시켜 나머지 모듈에서 활용되도록 한다. 특히 이모듈에서는 두가지 종류로 투입된 제품의 형상을 정의하게 되는데 첫째는 실제로 제품이 가공될 때 정의되는 가공면 형상(turning feature)이며 이 정보는 가공순서 결정모듈과 가공방법 선택모듈에서 사용하게 된다. 다른 하나는 완성된 제품의 형상을 표현하는 제품형상(turning surface)으로 가공방법 선택모듈에서 그 정보를 사용하게 된다. 이들 정보도 역시 제품정보 화일에 입력된다.

입력되어진 제품의 기하학적 형상을 인식하여 다른 모듈에서 사용 가능하도록 정보화일에 입력하는 모듈로 형상의 표현 및 인식 방법으로는 외형표현법(boundary representation)을 사용한다. 즉 CAD도면정보가 들어오면, 형상의 외형을 이루고 있는 개개의 점들의 X-Y 축 좌표값이 왼쪽으로부터 오른쪽으로(즉 시계방향) 순차적으로 입력되도록 한다. 일단 좌표값이 입력되고나면, 형상코드가 생성되어 정확하게 형상을 정의하고 있는지 컴퓨터모니터상에서 검색할 수 있다. 정확한 형상인식이 되고 나면 제품의 형상을 Li와 Hwang[11]의 인식 방법에 비해 보다 세분된 벡터 primitive(표 1)로 정의하고 이것을 형상코드로 변환시킨다. 형상코드에는 수직면, 수평면, 곡면, 나선면, 경사면, 홈, 홀, 돌출부, 모따기 등을 포함하며 4digit로 표현된다. 또한 공차, 표면조도, 제품재질 등이 3digit로 표현되어 총 7digit로 가공품의 입력정보를 표현하여 다른 모듈과의 정보교환 및 모듈의 활용시 사용된다.

일단 형상코드로 변환되면 각 면에 부여된 입력순서는 가능한 가공순서중 하나가 되어,

가공순서 결정모듈에서 그 최적성이 검토된다.

이들 형상을 표현하는 방법에는 3차원 모델 내에서 철골형 표현(wire-frame), 서페이스 모델(surface model), 솔리드 모델(solid model)이 대표적으로 사용되나, 본 연구에서는 솔리드 모델의 외형표현법(boundary representation-B-reps)을 사용하였는데 형상의 경계면, 정점, 면의 번호로 데이터구조가 형성된다.

a. 형상인식 방법의 결정

이들 형상을 인식하기 위한 방법은 여러가지가 있으나 순열식(syntactic)방법, 상태변환 및 자동처리(state transition diagram and automata)방법, 분해방법(decomposition approach), 논리방법(logic approach), 그래프방법(graph-based approach) 등의 다섯가지가 특히 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 순열식과 논리방법을 혼합한 방법을 사용한다[1, 9, 10].

예로서 표 1의 형상부호 결정규칙을 복잡한 제품의 형상에 적용하면 그림 36과 같은 결과를 얻게된다. 그림 36에 보인 제품형상에 적절한 형상부호가 정의되면, 본 연구에서 개발된 2개의 형상인식 알고리즘이 적용되어, 단면과 여타 모듈에서 활용될 제품형상을 정의하게 된다. 정의된 형상부호를 사용하여 먼저 제품의 단면방향(왼쪽단면, 오른쪽 단면, 윗면, 홀)을 정의하고(단면정의 알고리즘) 왼쪽과 오른쪽 회전가공면(회전가공에 의해 가공할 수 있는, 홀과 홈을 제외한 형상)을 정의한다(제품형상정의 알고리즘). 그리고 이 과정이 끝나면 제품형상정의 알고리즘을 사용하여 다음과 같은 세부형상을 정의한다.

- | | |
|-------|-------|
| ① 수직면 | ② 수평면 |
| ③ 경사면 | ④ 곡선면 |
| ⑤ 수직홈 | ⑥ 수평홈 |
| ⑦ 나선면 | ⑧ 홀 |

이들은 모두 중심선을 기준으로 하는데 중심선은 회전형상제품의 관통홀의 중앙으로 정의된다. 경사면이란 빗변을 갖는 면이며, 곡선면

표 1. 형상부호(pattern primitives) 결정표

| 방향 | 코드 | 결정규칙 | 방향 | 코드 | 결정규칙 |
|----|----|--|----|----|--|
| ↑ | A | $X_1 = X_2, Y_1 < Y_2,$ | ↗ | B | $X_1 < X_2, Y_1 < Y_2$ |
| → | C | $X_1 < X_2, Y_1 = Y_2$ | ↘ | D | $X_1 < X_2, Y_1 > Y_2$ |
| ↓ | E | $X_1 = X_2, Y_1 > Y_2$ | ↙ | F | $X_1 > X_2, Y_1 > Y_2$ |
| ← | G | $X_1 > X_2, Y_1 = Y_2$ | ↖ | H | $X_1 > X_2, Y_1 < Y_2$ |
| ↻ | I | $X_1 > X_2, Y_1 > Y_2,$ $X_1 \leq X_3, X_2 < X_3, Y_2 \geq Y_3$ | ↻ | J | $X_1 < X_2, Y_1 > Y_2,$ $X_1 < X_3, X_2 > X_3, Y_2 < Y_3$ |
| ↻ | K | $X_1 < X_2, Y_1 < Y_2,$ $X_1 \geq X_3, X_2 > X_3, Y_2 \leq Y_3$ | ↻ | L | $X_1 > X_2, Y_1 < Y_2,$ $X_1 > X_3, X_2 \geq X_3, Y_2 > Y_3$ |
| ↻ | M | $X_1 < X_2, Y_1 > Y_2,$ $X_1 \geq X_3, X_2 > X_3, Y_2 \geq Y_3$ | ↻ | N | $X_1 > X_2, Y_1 > Y_2,$ $X_1 > X_3, X_2 \geq X_3, Y_2 < Y_3$ |
| ↻ | O | $X_1 < X_2, Y_1 < Y_2,$ $X_1 \leq X_3, X_2 < X_3, Y_2 \leq Y_3$ | ↻ | P | $X_1 < X_2, Y_1 < Y_2,$ $X_1 < X_3, X_2 \leq X_3, Y_2 > Y_3$ |
| ↻ | Q1 | $X_1 < X_2, Y_1 < Y_2,$ $X_1 < X_3, X_2 > X_3, Y_2 > Y_3$ | ↻ | Q2 | $X_1 < X_2, Y_1 > Y_2,$ $X_1 < X_3, X_2 > X_3, Y_2 \geq Y_3$ |
| ↻ | Q3 | $X_1 < X_2, Y_1 = Y_2,$ $X_1 \leq X_3, X_2 \geq X_3, Y_2 > Y_3$ | ↻ | R1 | $X_1 > X_2, Y_1, Y_2,$ $X_1 > X_3, X_2 < X_3, Y_2 < Y_3$ |
| ↻ | R2 | $X_1 > X_2, Y_1 < Y_2,$ $X_1 > X_3, X_2 < X_3, Y_2 \leq Y_3$ | ↻ | R3 | $X_1 > X_2, Y_1 = Y_2,$ $X_1 \geq X_3, X_2 \leq X_3, Y_2 < Y_3$ |
| ↻ | S1 | $X_1 > X_2, Y_1 < Y_2,$ $X_1 > X_3, X_2 < X_3, Y_2 > Y_3$ | ↻ | S2 | $X_1 > X_2, Y_1 > Y_2,$ $X_1 > X_3, X_2 < X_3, Y_2 \geq Y_3$ |
| ↻ | S3 | $X_1 > X_2, Y_1 = Y_2,$ $X_1 \geq X_3, X_2 \leq X_3, Y_2 > Y_3$ | ↻ | T1 | $X_1 < X_2, Y_1 > Y_2,$ $X_1 < X_3, X_2 > X_3, Y_2 < Y_3$ |
| ↻ | T2 | $X_1 < X_2, Y_1 < Y_2,$ $X_1 < X_3, X_2 > X_3, Y_2 < Y_3$ | ↻ | T3 | $X_1 < X_2, Y_1 = Y_2,$ $X_1 \leq X_3, X_2 \geq X_3, Y_2 < Y_3$ |
| ↻ | U1 | $X_1 > X_2, Y_1 > Y_2,$ $X_1 \leq X_3, X_2 < X_3, Y_2 < Y_3$ | ↻ | U2 | $X_1 < X_2, Y_1 > Y_2,$ $X_1 < X_3, X_2 \leq X_3, Y_2 < Y_3$ |
| ↻ | U3 | $X_1 = X_2, Y_1 > Y_2,$ $X_1 \leq X_3, X_2 \leq X_3, Y_2 < Y_3$ | ↻ | V1 | $X_1 < X_2, Y_1 < Y_2,$ $X_1 \geq X_3, X_2 > X_3, Y_2 > Y_3$ |
| ↻ | V2 | $X_1 > X_2, Y_1 < Y_2,$ $X_1 > X_3, X_2 \geq X_3, Y_2 > Y_3$ | ↻ | V3 | $X_1 = X_2, Y_1 < Y_2,$ $X_1 \geq X_3, X_2 \geq X_3, Y_2 > Y_3$ |
| ↻ | W1 | $X_1 > X_2, Y_1 < Y_2,$ $X_1 \leq X_3, X_2 < X_3, Y_2 > Y_3$ | ↻ | W2 | $X_1 < X_2, Y_1 < Y_2,$ $X_1 < X_3, X_2 \leq X_3, Y_2 > Y_3$ |
| ↻ | W3 | $X_1 = X_2, Y_1 < Y_2,$ $X_1 \leq X_3, X_2 \leq X_3, Y_2 > Y_3$ | ↻ | Z1 | $X_1 < X_2, Y_1 > Y_2,$ $X_1 \geq X_3, X_2 > X_3, Y_2 < Y_3$ |
| ↻ | Z2 | $X_1 > X_2, Y_1 > Y_2,$ $X_1 > X_3, X_2 \geq X_3, Y_2 < Y_3$ | ↻ | Z3 | $X_1 = X_2, Y_1 > Y_2,$ $X_1 \geq X_3, X_2 \geq X_3, Y_2 < Y_3$ |

주) X_i 와 Y_i 는 cartesian coordinate system에서의 좌표값

은 곡선함수로 정의되는 면이고, 나사면이란 나사가공이 필요한 면, 홀은 관통홀을 의미한다.

b. 단면 정의 알고리즘

단계 1. 가장 큰 Y좌표값을 갖는 점을 찾는다. 단계 2로 간다.

단계 2. 단계 1에서 찾은 점들의 X좌표값을 비교한다.

- 1) 가장 작은 X좌표값을 갖는 점이하의 점들은 왼쪽 수직단면을 나타낸다.
- 2) 가장 큰 X좌표값을 갖는 점을 찾는다.
- 3) 단계 3으로 간다.

단계 3. 전체 점들 중에서 가장 큰 X좌표값을 갖는 점을 찾는다.

단계 4.

- 1) 단계 3에서 찾은 점들중 가장 작은 Y좌표값을 갖는 점을 찾는다.
- 2) 단계 2의 2)에서 선택된 점과 단계 4의 (1)에서 찾은 점의 사이에 있는 점들은 오른쪽 수직단면을 나타낸다.
- 3) 왼쪽 수직단면 끝점부터 오른쪽 수직단면 시작점 까지는 윗면을 나타낸다.
- 4) 오른쪽 수직단면 끝점부터 형상부호를 왼쪽면부터 오른쪽면까지 순차적으로 부여할 때 제일 마지막면의 마지막 점 까지는 홀을 나타낸다.

단계 5. 끝

그림 36을 대상으로 하여 단면 정의 알고리즘을 적용시켰을 경우 각 단계별 결과는 다음과 같다.

단계 1. 10, 11, 16, 17

단계 2. 1) 10

1번점부터 10번점까지는 왼쪽 수직단면을 나타낸다.

2) 17

단계 3. 23, 24

단계 4. 1) 24

2) 17번점부터 24번점까지는 오른쪽 수직단면을 나타낸다.

3) 10번점부터 17번점까지는 윗면을 나타낸다.

4) 24번점부터 28번점까지는 홀을 나타낸다.

단계 5. 끝

c. 제품형상정의 알고리즘

형상코드는 수직면, 수평면, 경사면, 곡선면, 수직홈, 수평홈, 나사면, 홀 등으로 정의한다.

단계 1. 왼쪽 회전가공면의 정의

1) 왼쪽 단면의 형상부호 중 끝점의 Y좌표값이 시작점의 Y좌표보다 큰면을 찾는다. 찾은 면 중 시작점과 끝점의 X좌표값을 비교하여 좌표값이 작은 점의 X좌표값이 작은 면부터 검색하고, 만일 모든면의 검색이 끝났으면 단계 5로 간다.

2) 검색면 끝점의 Y좌표가 기준면의 끝점의 Y좌표와 같거나 작으면, 단계 5로 간다.(그림 1)

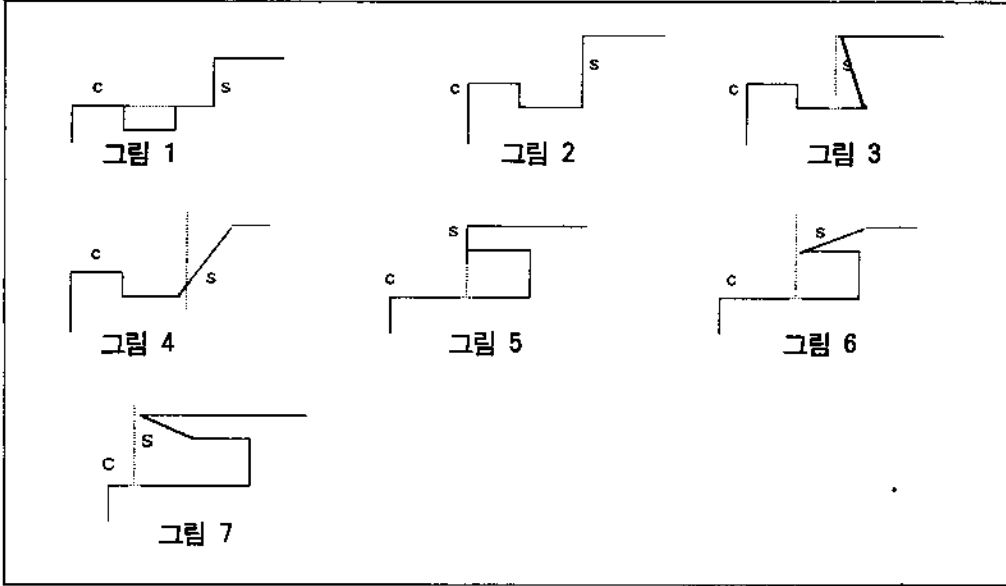
3) 검색면의 끝점의 Y좌표가 기준면의 끝점의 Y좌표보다 크면, 검색면의 시작점의 Y좌표와 기준면의 끝점의 Y좌표를 교환한다.

a. 만일 검색면의 시작점의 Y좌표가 작으면, 검색면의 시작점의 X좌표와 끝점의 X좌표를 비교한다(그림 2, 그림 3, 그림 4). 시작점의 X좌표가 크거나 같으면 검색면의 시작점과 끝점을 지나는 직선과 기준면의 끝점을 지나고 X축에 평행한 직선과의 교점을 구한다. 검색면을 이 교점을 중심으로 둘로 분리하고 교점 이후면에는 새로운 형상부호를 부여한다. 끝점의 X좌표가 크면 검색면의 끝점을 지나고 Y축에 평행한 직선과 기준면의 끝점을 지나고 X축에 평행한 직선의 교점을 구한다.

b. 만일 검색면의 시작점의 Y좌표가 크

거나 같으면, 검색면의 시작점과 끝점중 X좌표가 큰점을 지나고 Y축에 평행한 직선과 기준면의 끝점을 지나고 X축에 평행한 직선과의 교점을 구한다. 구한 교점은 아래쪽 절단점, 검색면의 끝점은 위쪽 절단점으로 정의한다(그림 5, 그림 6, 그림 7).

4) 구한점에서 출발한 Y축에 평행한 직선과 검색면의 끝점에서 출발한 X축에 평행한 직선과의 교점을 구한다. 이점은 새로운 기준면의 끝점이 되고, 새로운 기준면의 시작점은 (새로운 기준면의 X좌표, 최대 Y좌표)가 된다. 단계 2로 간다.

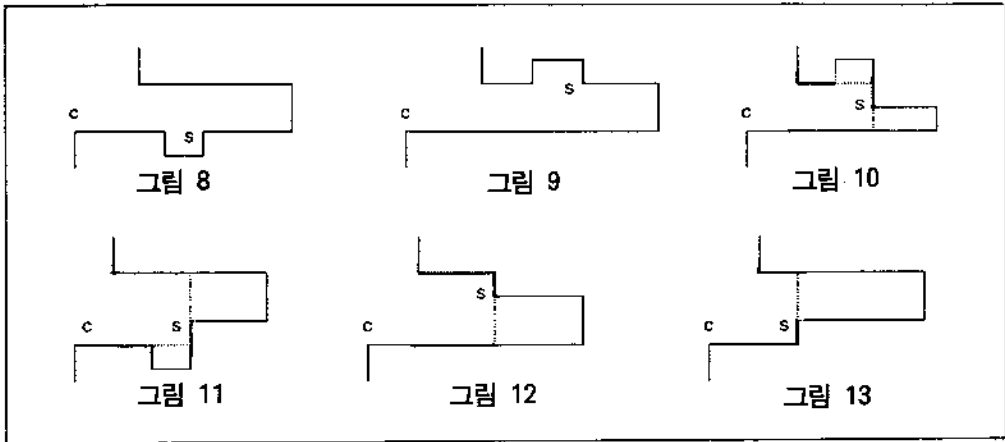


주) 점선은 선반에 의해 회전가능되는 면을 나타낸다. 또한 s는 검색면을 c는 기준면을 나타낸다.

단계 2. 왼쪽 수평흡의 정의

- 1) 수평흡을 구성하는 형상부호 중 시작점의 Y좌표가 끝점의 Y좌표보다 작은 면을 찾는다. 찾은 면 중 시작점의 X좌표와 끝점의 X좌표중 작은 점의 X좌표가 작은면부터 검색한다.
- 2) 검색면의 끝점의 Y좌표가 아래쪽 절단점의 Y좌표보다 작거나 같으면, 단계 5로 간다(그림 8).
- 3) 검색면의 시작점의 Y좌표가 위쪽 절단점의 시작점의 Y좌표보다 작거나 같으면, 단계 5로 간다(그림 9).
- 4) 검색면의 시작점의 Y좌표가 아래쪽 절단점의 Y좌표 보다 작고, (그림 11, 그림 13)
 - a. 검색면의 시작점의 X좌표가 끝점의

- X좌표보다 작거나 같으면, 아래쪽 절단점을 지나고 X축에 평행한 직선과 검색면의 시작점과 끝점을 지나는 직선의 교점을 구한다. 단계 5로 간다.
- b. 검색면의 시작점의 X좌표가 끝점의 X좌표보다 크면, 아래쪽 절단점을 지나고 X축에 평행한 직선과 검색면의 끝점을 지나고 Y축에 평행한 직선과의 교점을 구한다. 단계 5로 간다.
- c. 검색면의 끝점은 새로운 아래쪽 절단점이 되고, 새로운 위쪽 절단점은 (새로운 아래쪽 절단점의 X좌표, 위쪽 절단점의 Y좌표)가 된다.
- 5) 검색면의 시작점의 Y좌표가 위쪽 절단점보다 크고, (그림 10, 그림 12)
 - a. 검색면의 시작점의 X좌표가 끝점의



주) 점선은 선반에 의해 회전가공되는 면을 나타낸다. 또한 s는 검색면을 c는 기준면을 나타낸다.

X좌표보다 크거나 같으면, 윗쪽 절단 점을 지나고 X축에 평행한 직선과의 검색면의 시작점과 끝점을 지나는 직선과의 교점을 구한다.

b. 검색면의 시작점의 X좌표가 끝점의 X좌표보다 작으면, 윗쪽 절단면을 지나고 X축에 평행한 직선과 검색면의 시작점을 지나고 Y축에 평행한 직선과의 교점을 구한다.

c. 검색면의 시작점은 새로운 윗쪽 절단면이 되고, 새로운 아래쪽 절단점은 새로운 윗쪽 절단점의 X좌표, 아래쪽 절단점의 Y좌표가 된다.

터 검색하고, 만일 모든면의 검색이 끝났으면 단계 5로 간다.

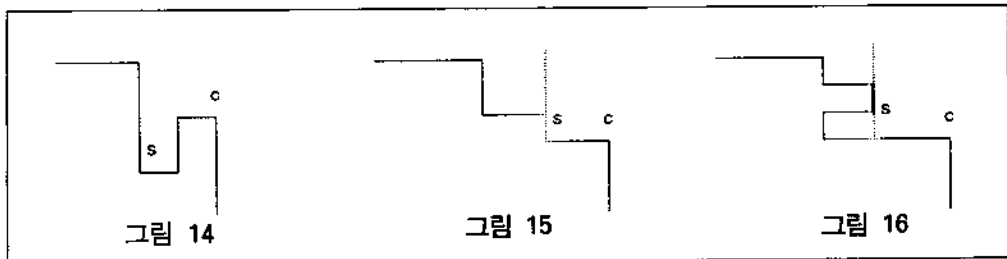
2) 검색면의 시작점의 Y좌표가 기준면의 끝점의 Y좌표보다 작거나 같으면 단계 5로 간다(그림 14).

3) 검색면의 시작점의 Y좌표가 기준면의 끝점의 Y좌표보다 크면, 검색면의 끝점의 Y좌표와 기준면의 끝점의 Y좌표를 비교한다.

a. 만일 검색면의 끝점의 Y좌표가 작으면, 검색면의 시작점 X좌표와 끝점의 X좌표를 비교한다(그림 15). 시작점의 X좌표가 크면 검색면의 시작점을 지나고 Y축에 평행한 직선과 기준면의 끝점을 지나고 X축에 평행한 직선과의 교점을 구한다. 끝점의 X좌표가 크거나 같으면 검색면의 시작점과 끝점을 지나는 직선과 기준면의 끝점을 지나고 X축에 평행한 직선과의

단계 3. 오른쪽 회전 가공면의 정의

1) 오른쪽 단면의 형상부호 중 끝점의 Y좌표가 시작점의 Y좌표보다 작은 면을 찾는다. 찾은면중 시작점의 X좌표와 끝점의 X좌표중 큰점의 좌표가 큰면부



주) 점선은 선반에 의해 회전가공되는 면을 나타낸다. 또한 s는 검색면을 c는 기준면을 나타낸다.

교점을 구한다. 검색면을 이 교점을 중심으로 돌로 분리하고 교점 이후면에는 새로운 형상부호를 부여한다.

- b. 만일 검색면의 끝점의 Y좌표가 크거나 같으면, 검색면의 시작점과 끝점 중 X좌표가 큰점을 지나고 Y축에 평행한 직선과 기준면의 끝점을 지나고 X축에 평행한 직선과의 교점을 구한다. 구한 교점은 아랫쪽 절단점으로 검색면의 끝점은 윗쪽 절단점으로 정의한다. 단계 4로 간다(그림 16).
- 4) 구한 점에서 출발한 Y축에 평행한 직선과 검색면의 끝점에서 출발한 X축에 평행한 직선과의 교점을 구한다. 이점은 새로운 기준면의 끝점이 되고, 새로운 기준면의 시작점은 (새로운 기준면

의 X좌표, 최대 Y좌표)가 된다.

단계 4. 오른쪽 수평홈의 정의

- 1) 오른쪽 수평홈을 구성하는 형상부호 중 시작점의 Y좌표가 끝점의 Y좌표보다 큰면을 찾는다. 찾은 면 중 시작점의 X좌표가 큰면부터 검색한다.
- 2) 검색면의 끝점의 Y좌표가 윗쪽 절단점의 Y좌표보다 크거나 같으면, 단계 6으로 간다(그림 18).
- 3) 검색면의 시작점의 Y좌표가 아래쪽 절단점의 Y좌표보다 작거나 같으면, 단계 5로 간다(그림 19).

그림 17은 왼쪽 회전가공면과 오른쪽 회전가공면을 정의한 결과이다.

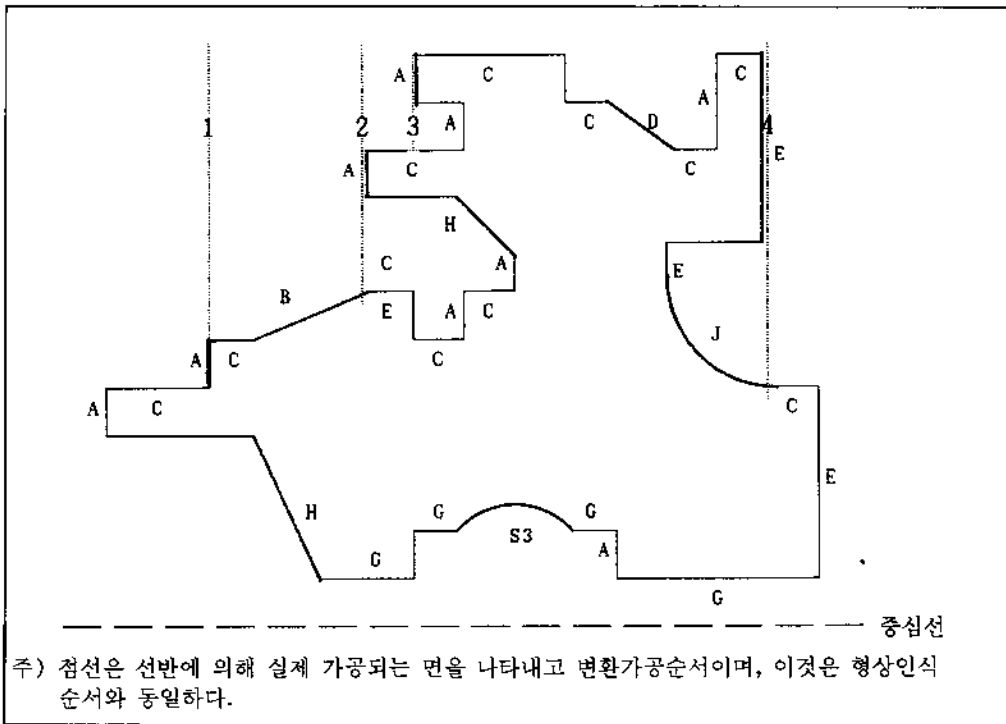


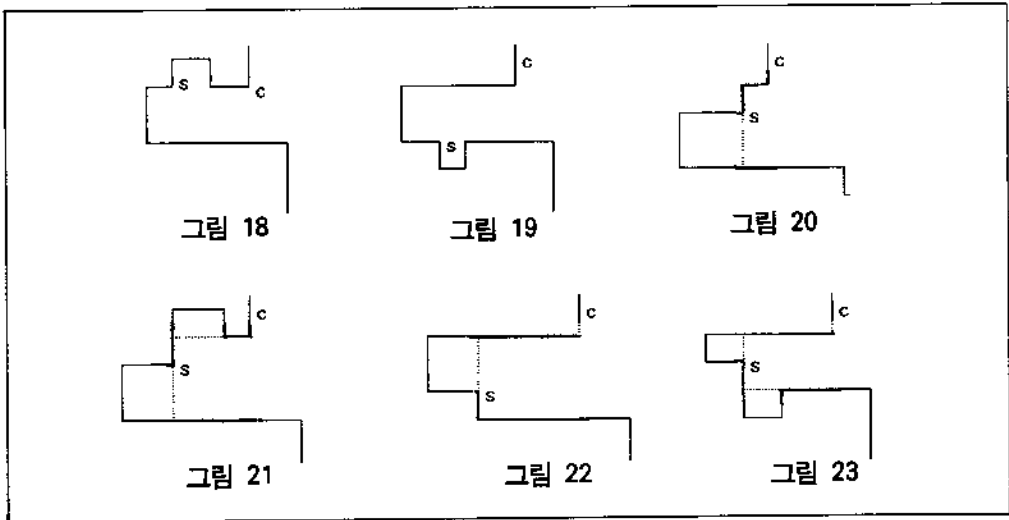
그림 17. 회전가공면의 정의

- 4) 검색면의 시작점의 Y좌표가 윗쪽 절단점의 Y좌표보다 크고 (그림 20, 그림 21)

- a. 검색면의 시작점의 X좌표가 끝점의 X좌표보다 크거나 같으면, 검색면의 시작점과 끝점을 지나는 직선과 윗쪽

- 절단면을 지나고 X축에 평행한 직선과의 교점을 구한다.
- b. 검색면의 시작점의 X좌표가 끝점의 X좌표보다 작으면, 검색면의 끝점을 지나고 Y축에 평행한 직선과 왼쪽 절단점을 지나고 X축에 평행한 직선과의 교점을 구한다.
 - c. 검색면의 끝점은 새로운 왼쪽 절단점이 되고 새로운 아래쪽 절단점은 새로운 절단점의 X좌표, 아래쪽 절단점의 Y좌표가 된다.
- 5) 검색면의 시작점의 Y좌표가 아래쪽 절단점보다 크고, (그림 22, 그림 23)
- a. 검색면의 시작점의 X좌표가 끝점의

- X좌표보다 작거나 같으면, 검색면의 시작점과 끝점을 지나고 Y축에 평행한 직선과 아랫쪽 절단점을 지나고 X축에 평행한 직선과의 교점을 구한다.
- b. 검색면의 시작점의 X좌표가 끝점의 X좌표보다 크면, 검색면의 시작점을 지나고 Y축에 평행한 직선과 아랫쪽 절단점을 지나고 X축에 평행한 직선과의 교점을 구한다.
 - c. 검색면의 시작점은 새로운 아랫쪽 절단점이 되고 새로 왼쪽 절단점은 (새로운 아랫쪽 절단점의 X좌표, 왼쪽 절단점의 Y좌표)가 된다.



주) 점선은 선반에 의해 회전가공되는 면을 나타낸다. 또한 s는 검색면을 c는 기준면을 나타낸다.

단계 5. 수직홈의 정의

- 1) 시작점 또는 끝점의 Y좌표가 기준면의 끝점의 Y좌표보다 작은 면을 찾는다. 시작점 또는 끝점의 Y좌표 중 작은 점의 좌표가 큰 면부터 검색한다. 모든 면의 검색이 끝났으면 단계 8로 간다.
- 2) 검색면의 시작점의 Y좌표와 끝점의 Y좌표 중 작은점을 찾는다. 시작점과 끝점의 Y좌표를 비교한다.
 - a. 시작점의 Y좌표가 작으면, 이점을 우

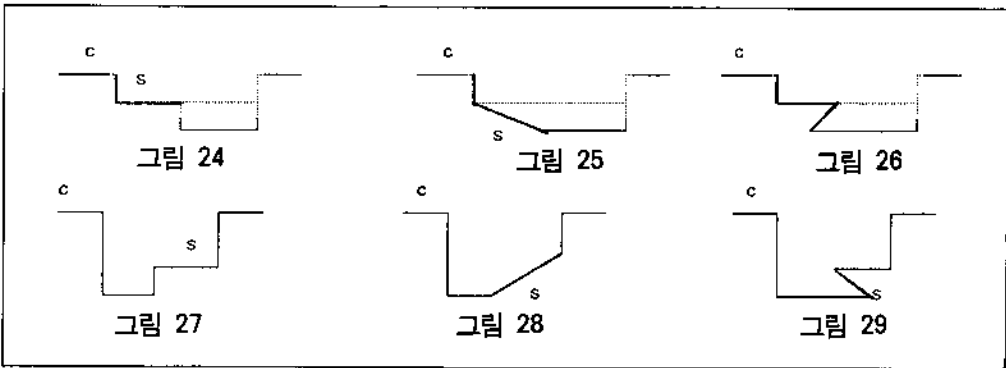
- 측 가공점(새로운 기준면의 끝점)이라 정의한다. 단계 5의 3)으로 간다.
- b. 끝점의 X좌표가 작으면, 이점을 좌측 가공점(새로운 기준면의 끝점)이라고 정의한다. 단계 5의 4)로 간다.
- 3) 시작점의 Y좌표가 우측 가공점보다 큰 면을 찾는다. 찾은 면의 시작점과 끝점의 X좌표를 비교한다(그림 24, 그림 25, 그림 26).
 - a. 시작점의 X좌표가 크면, 시작점을 지

나고 Y축에 평행한 직선과 우측 가공점을 지나고 X축에 평행한 직선과의 교점을 구한다. 이 교점을 좌측 가공점이라고 정의한다. 단계 7로 간다.

- b. 끝점의 X좌표가 크면, 찾은 면의 시작점과 끝점을 지나는 직선과 우측 가공점을 지나고 X축에 평행한 직선의 교점을 구한다. 이점을 좌측 가공점이라고 정의한다. 단계 7로 간다.
- c. 두점의 X좌표가 같으면, 찾은 면의 시작점과 끝점을 지나는 직선과 우측 가공면을 지나고 X축에 평행한 직선

과의 교점을 구한다. 이점을 좌측 가공점이라고 정의한다. 단계 5의 1)로 간다.

- 4) 끝점의 Y좌표가 좌측 가공점보다 큰면을 찾는다. 찾은면의 시작점과 끝점의 X좌표를 비교한다(그림 27, 그림 28, 그림 29).
 - a. 시작점의 X좌표가 크면, 끝점을 지나고 Y축에 평행한 직선과 좌측 가공점을 지나고 X축에 평행한 직선과의 교점을 구한다. 이 교점을 우측 가공점이라고 정의한다. 단계 7로 간다.



주) 점선은 선반에 의해 회전가공되는 면을 나타낸다. 또한 s는 검색면을 c는 기준면을 나타낸다.

- b. 끝점의 X좌표가 크면, 찾은면의 시작점과 끝점을 지나는 직선과 좌측 가공점을 지나고 X축에 평행한 직선의 교점을 구한다. 이점을 우측 가공점이라고 정의한다. 단계 7로 간다.
- c. 두점의 X좌표가 같으면, 찾은면의 시작점과 끝점을 지나는 직선과 좌측 가공면을 지나고 X축에 평행한 직선과의 교점을 구한다. 이점을 우측 가공점이라고 정의한다. 단계 5의 1)로 간다.

단계 6. 모따기 면의 정의

검색면의 시작점과 끝점을 지나는 직선을 빗변으로 갖는 직각 삼각형 모양으로 절단한다.

단계 7. 홀 가공면의 정의

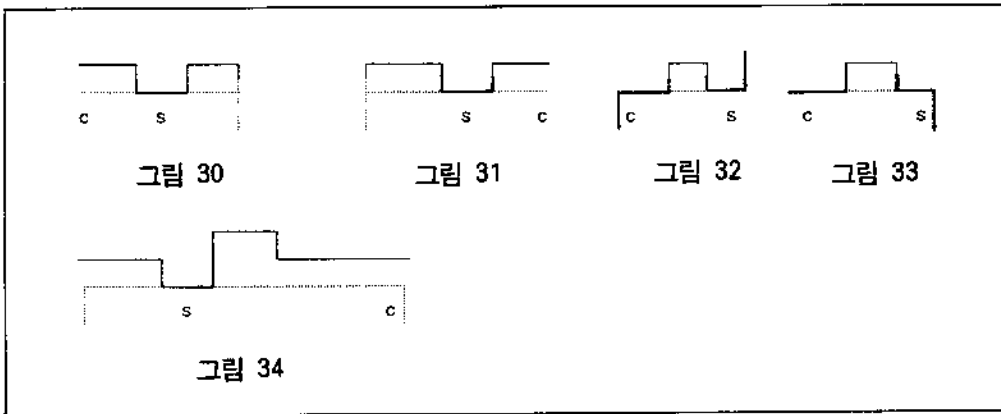
- 1) 끝점의 Y좌표가 0인 면을 찾는다. 이 면을 우측 기준면이라고 정의하고, 이 면의 시작점을 기준면의 시작점이라고 정의한다. 단계 8의 4)로 간다(그림 30, 그림 33).
- 2) 시작점의 Y좌표가 0인 면을 찾는다. 이 면을 좌측 기준면이라고 정의하고, 이 면의 끝점을 기준면의 시작점이라고 정의한다. 단계 8의 4)로 간다(그림 31, 그림 32).
- 3) 시작점 또는 끝점의 Y좌표가 0인 면이 없으면, 이 홀은 관통홀이고, 홀의 구성면 중 시작점 또는 끝점 중 Y좌표가 가장 작은 점이 기준면의 시작점이 된다(그림 34). 관통홀을 기준면의 시작점을 기준으로 좌측 홀과 우측 홀로 분리하여 형상을 정의한다. 단계 8의 4)

로 간다.

- 4) 홀의 구성면 중 시작점의 Y좌표와 끝점의 Y좌표가 같지 않은 면을 찾는다.
 - a. 시작점과 끝점의 Y좌표 중 작은 점의 Y좌표가 가장 작은 면부터 검색하며, 그런 면이 여러개 있으면 그중 시작점 또는 끝점의 X좌표가 가장 작은 면부터 검색한다. 이 면은 새로운 기준면이 된다.
 - b. 검색면의 시작점과 끝점 중 값이 작은

점을 지나고 X축에 평행한 직선과 우측 기준면의 시작점을 지나고 Y축에 평행한 직선과의 교점을 구한다. 이점이 새로운 기준면의 시작점이 된다.

- c. 홀의 구성면 중 시작점 또는 끝점의 X좌표가 새로운 기준면의 시작점의 X좌표 보다 크고, Y좌표가 새로운 기준면의 시작점의 Y좌표보다 큰 면을 찾는다. 만일 그런면이 존재하면 수직 홈가공 및 모따기를 실시한다.



주) 점선은 선반에 의해 회전가공되는 면을 나타낸다. 또한 s는 검색면을 c는 기준면을 나타낸다.

5.2.2 가공순서 결정모듈

가공공정의 순서결정에서 고려해야 할 요소는 가공의 기술적 관제와 공정계획자의 노우하우와 같은 가공기술 정보이다. 가공공정의 순서결정을 위해서 형상인식모듈에서 정의된 각 가공면 형상들에 대한 가공의 선후 관계를 표시하는 가공순서 관계행렬을 사용한다. 이 모듈에서는 최적화모듈에서 결정된 최적 가공방법에 대하여 효율적인 가공 순서를 결정한다.

5.2.3 가공방법 결정모듈

제품은 여러가지 형상의 가공면들로 구성되므로 이 가공면 형상에 따라 가공작업을 선정할 수 있다. 이 모듈에서는 먼저 형상인식모듈에서 정의된 제품형상정보를 형상코드 정보화일내에 이미 있는 데이터베이스와 비교 분석하여 과거 동일한 제품이 있었는지를 확인하고 공정계획에 관한 정보가 있을 경우 그 정보를

출력한다. 그러나 새로운 제품인 경우 가능한 가공방법들이 인식된 형상, 형상의 각 면에 대하여 입력된 공차, 표면조도, 제품재질을 토대로 새로이 결정된다. 가능한 가공방법의 결정에는 Machining Data Handbook[13]이 사용되었으며, 회전형상 제품가공에 사용가능한 방법은 다음과 같다.

- 직선 회전가공(straight turning)
- 사선 회전가공(taper turning)
- 곡면 회전가공(contour turning)
- 자유 회전가공(tracer turning)
- 외부 나사가공(external threading)
- 홀 가공(drilling)
- 홈 가공(tapping)
- 내부나사가공(internal threading)
- 다듬질(boring)
- 홈 다듬질(taper boring)

- 평면 다듬질(shoulder facing)
- 외부 다듬질(external grinding)
- 내부 다듬질(internal grinding)

- vertical lathe
- copying lathe
- turret lathe
- multicut lathe
- relieving lathe
- automatic lathe

표 2는 각 가공면에 대한 가능한 가공방법을 보여준다. 가공순서에 따라 가공면 형상들에 대해 표면조도와 치수공차를 고려하여 가능한 가공방법을 선택할 수도 있는데 조도와 공차에 따른 가능한 가공방법은 표 3과 같다. 1차 가공이 끝나면, 다듬질로 들어가는데 다듬질정도는 주어진 조도와 공차에 의하여 결정되며 다듬질의 종류는 내·외부 다듬질, 홈다듬질, 평면 다듬질이 있다.

특히 speed lathe와 engine lathe는 한단계씩 더 분류된다. 즉

Speed Lathe :

- wood working lathe
- metal spinning lathe
- centering lathe
- polishing lathe

engine lathe :

- step-cone pulley drive from line shaft lathe
- step-cone pulley drive from individual motor lathe
- gear-head drive
- stepless speed drive
- variable speed drive

표 2. 가공방법 선택 기준표[2, 4, 13]

| 가공부위 | | 가공방법 |
|---------------|-------|-------------------------|
| 평면 부위 | | 직선 회전가공 |
| 경면 부위 | 외부경사면 | 사선 회전가공 |
| | 홈 경사면 | 홈 가공 |
| 평면과 경사면의 연결부위 | | 직선회전가공후사선회전가공 자유회전가공 |
| 홀 부위 | | 홀 가공 홀 가공 후 홈 가공 |
| 홀의 내부 | | 홈 가공 |
| 나사면 부위 | 홀 내부 | 내부 나사가공 |
| | 외부 | 외부 나사가공 |

표 3. 가공방법에 따른 표면조도와 공차의 정도[4, 12, 13]

| 가공방법 | 조도(μin) | 치수공차(in) |
|----------|---------|-------------------|
| Truning | 16-90 | +0.0002 - +0.0001 |
| Drilling | 63-250 | +0.002 - +0.01 |
| Grinding | 4-63 | ±0.0001 |
| Boring | 90-250 | +0.0005 |

가능한 가공방법이 결정된 후, 가능한 가공기계가 선택된다. 회전형상 제품을 가공할 수 있는 선반기계(Lathe)는 다음과 같다[22, 23].

- speed lathe
- bench lathe
- crankshaft lathe
- gap lathe
- engine lathe
- tool-room lathe
- wheel lathe
- face lathe

가능한 선반기계를 결정하는데는 제품재질, 제품을 가공하기 위한 원자재의 크기 및 무게, 가공방법, 제품의 형상이 중요요소로 고려되며 제품재질에 따라 선반이 분류되고, 제품의 무게 및 크기와 선반의 bed크기 및 setup가능 무게와 비교하여 가능한 선반을 결정한다. 일단 가능선반이 결정되면 제품의 형상과 가공방법에 따라 동력전달방법, 고정구 및 chuck의 종류와 고정방법이 대안으로 제시된다. 하지만 절삭유의 선택은 추후의 연구로 남겨두었으며, 가공부위에 따라 공구의 형상이 달라지는 경우도 추후연구로 넘겼다.

5.2.4 공구선택모듈

이 모듈에서는 가공방법 결정모듈에서 결정된 가능한 가공방법들 각각에 대하여 투입될 제품의 재질, 표면조도, 공차 그리고 형상인식 모듈에서 인식된 가공면 형상 및 치수를 고려하여 Foxpro 2.0으로 구축된 공구 정보화일의 정보를 이용, 공구를 선택한다. 이 모듈에서는 각각의 가공방법에 대하여 사용 가능한 여러종류의 공구가 선택될 수 있으며 이때 각각 공구에 대해 가공속도가 아울러 결정되어 최적화

모듈에서 사용된다.

가능한 가공방법이 결정되면 가공깊이(depth of cut)와 재질 및 재질의 경도(hardness)에 따라 가공공구와 가공속도가 선택되어진다. 가공깊이의 산출은 표 4와 같고, 제품의 재질은 다음 다섯가지 종류를 고려한다[12, 13].

- 카본강(carbon steel)
- 합금강(alloy steel)
- 고강도강(high-strength steel)
- 스테리스강(stainless steel)

- 주철강(gray cast iron)

공구의 재질은 가공시(절삭시) 경사각(rake angle), 온도, 압력에 따라 가공가능한 절삭속도가 주어져 공구수명을 결정하기 때문에 중요한 요소이다. 아울러 공구재질에 따른 공구수명은 공구비용 산출에 필수적인 요소이기 때문에 최적화 모듈과도 관계가 있다. 현재 이에 대한 연구가 수행 중이며 본 연구에서는 제외되었다. 고려될 공구의 종류는 고속도강, 초경공구, 세라믹, 다이아몬드, 스페이드 드릴이다.

표 4. 가공깊이 산출식

| 가공면 종류 | 가공깊이 산출식 |
|-----------|---------------------------------|
| 수직면 및 수평면 | 기준면의 시작점의 Y좌표 - 기준면의 끝점의 Y좌표 |
| 수평 홈 | 새로운 기준면의 끝점의 X좌표 - 기준면의 끝점의 X좌표 |
| 수직 홈 | 새로운 기준면의 끝점의 Y좌표 - 기준면의 끝점의 Y좌표 |
| 홀 | 새로운 기준면의 시작점의 Y좌표 *2 |
| 경사면 및 곡선면 | 검색면의 끝점의 Y좌표 - 검색면의 시작점의 Y좌표 |
| 나사면 | 기준면의 시작점의 Y좌표 - 기준면의 끝점의 Y좌표 |

5.2.5 가공시간과 비용산출 및 최적화 모듈

이 모듈에서는 선택된 가공방법과 공구들에 따른 공구수명, 공구교환횟수(필요한 공구수), 개개의 가공면에 대한 가공시간, 전력소요량을 계산하고 이에 근거한 총가공시간 및 총가공비용을 계산하고 총가공시간과 총가공비용을 최소화할 수 있는 최적 가공방법 및 공구를 결정한다. 이 모듈의 함수들은 C언어로 정의되었다.

a) 가공시간 산출

가공시간은 가공방법과 제품재질, 사용공구에 따라 차이가 나며 이것은 공구 및 제품의 이송속도에 차이가 있기 때문이며, 또한 가공면의 가공깊이에 따라 같은 가공방법 및 공구를 사용하더라도 차이가 난다. 그러므로 제품의 형상치수에서 산출된 가공깊이, 가공속도, 가공방법 및 공구정보화일에서 획득한 가공속도를 가공시간 산출식에 대입하여 각 가공면별 가공시간을 계산한다. 또한 같은 방법으로 공구수명 계산식에 의해 공구의 수명을 계산한

다. 가공방법별 가공시간 및 공구수명의 계산식은 다음과 같고 가공깊이의 계산은 표 5와 같다[2, 4].

① 수직면, 수평면, 홈가공, 다듬질, 나사가공:

$$\text{가공시간}(t_m) = \frac{l_w}{f \times n_w} \quad n_w = \frac{V}{\pi \times D_w}$$

$$\text{공구수명}(t) = K_T \times V^T \times f^T \times a_p^T$$

② 홀 가공:

$$\text{가공시간}(t_m) = \frac{l_w}{f \times n_t} \quad n_t = \frac{V}{\pi \times D_t}$$

$$\text{공구수명}(t) = K_T \times V^T \times f^T \times a_p^T \times D_t^T$$

여기서

- l_w = 가공깊이 K_T = 힘에 관한 상수 (경험치)
- V = 가공속도 α^T = 속도상수 (경험치)
- f = 이송 β^T = 이송상수 (경험치)
- D_w = 제품의 지름 γ^T = 가공깊이 상수 (경험치)
- D_t = 공구지름 δ^T = 공구지름상수 (경험치)
- a_p = 가공깊이

표 5. 가공길이 산출식

| 가공면 종류 | 가공 길이 산출식 |
|-----------|----------------------------------|
| 수직면 및 수평면 | 새로운 기준면의 끝점의 X좌표 - 기준면의 끝점의 X좌표 |
| 수평 홈 | 새로운 기준면의 끝점의 X좌표 - 기준면의 끝점의 X좌표 |
| 수직 홈 | 새로운 기준면의 끝점의 X좌표 - 기준면의 끝점의 X좌표 |
| 홀 | 새로운 기준면의 X좌표 - 홀 시작점(또는 끝점)의 X좌표 |
| 경사면 및 곡선면 | 검색면의 끝점의 X좌표 - 검색면의 시작점의 X좌표 |
| 나사면 | 기준면의 시작점의 X좌표 - 기준면의 끝점의 X좌표 |

b) 가공비용 산출

가공비용 결정에는 공구 구입비용과 가공시간을 비용으로 환산하기 위해 필요한 기계의 가공시간별 감가상각비, 전력사용비, 작업원 임금 등이 있다. 공구 구입비용은 계산된 가공시간을 공구수명으로 나누어 필요한 공구의 수를 계산한 후, 가공정보책자[12, 13, 19, 20, 21, 22, 23]에 의거하여 미리 입력된 공구가격을 곱하게 한다. 전력사용비도 비용산출의 중요한 요소인데 사용비는 제품가공시간당 필요한 전력 소요량을 계산하고 k_w 당 전력 사용료를 고려하여 산출한다. 또한 작업원 임금은 제조업체의 연평균 최저임금을 시간당으로 환산하여 제품 가공시간당 임금으로 산출하며, 기계의 감가상각비는 선반기계의 초기 구입비용을 기초로 시간당 감가상각비를 산출한 후 가공시간당 상각되는 감가상각비를 계산한다. 총가공비용은 다음식에 의하여 결정된다.

$$TC_p = C_m \times [t_m + t_m/t^* (C_r/C_m)]$$

여기서

t_m = 기계 가공시간

t^* = 공구수명

C_r = 공구구입비용

C_m = 전력사용비, 인건비, 감가상각비의 합

5.2.6 정보관리 모듈

이 모듈은 사용자가 계속적으로 제품정보 정보화일, 기계설비 정보화일, 공구 정보화일, 비용정보 화일 등의 내용을 수정, 보완, 삭제, 추가, 검색할 수 있도록 사용자위주로 개발되었다.

6. 시스템 흐름도

본 연구의 최종목표는 회전형상 제품을 대상으로 지식베이스에 기초한 준창성형 공정계획의 수립에 있다. 공정계획의 구체적인 수립은 6개의 모듈과 4개의 정보화일로 구성되는 소프트웨어에 의해 실행되는데 이들 모듈들과 정보화일들의 연결은 그림 35와 같다.

7. 시스템 실행 예

본 연구에서 개발한 컴퓨터 지원 공정계획 시스템을 적용하기 위한 표본으로써 회전형상면, 수직홈, 수평홈 및 관통홀을 가지고 있는 제품에 대한 실행과 그 결과를 보이면 다음과 같다.

7.1 형상인식

- a. 이 도면정보에 대하여 형상부호 정의 규칙에 따라 각 면에 형상부호를 부여하면 그림 36과 같다.
- b. 모든 면에 대하여 제품도면 정보에 근거한 형상부호를 부여한 후 단면을 정의한다. 즉 1번면부터 9번면까지는 왼쪽 단면, 17번면부터 23번면까지는 오른쪽 단면, 10번면부터 16번면까지는 윗쪽단면 그리고 24번면부터 마지막 면까지는 홀로 정의된다.
- c. 단면의 정의가 끝나면 시스템은 왼쪽단면과 오른쪽 단면에 대하여 제품형상 정의 알고리즘의 단계 1과 단계 3에 따라 회전

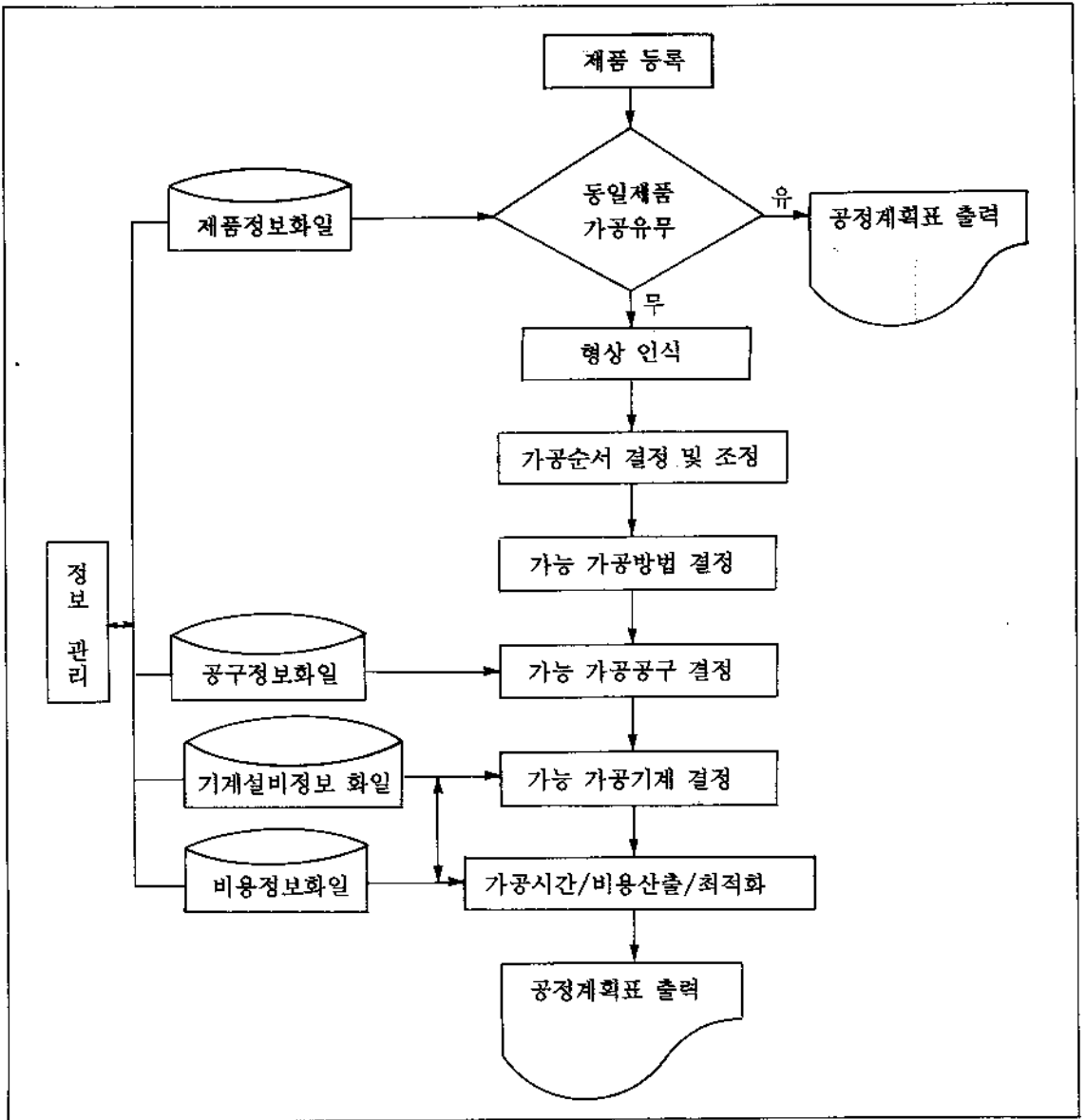


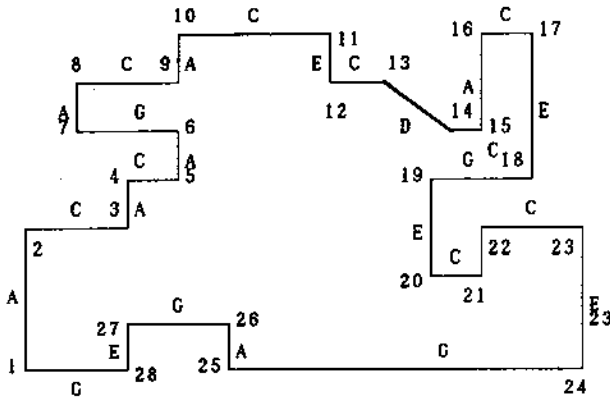
그림 35. 시스템 흐름도

가공면을 정의하고, 회전 가공면의 정의가 끝나면 제품형상 정의 알고리즘의 단계 2와 단계 4에 근거하여 수평홈, 수직홈의 순서로 회전 가공면을 정의하게 된다. 그 결과는 그림 37과 같다.

- d. 왼쪽 단면과 오른쪽 단면에 대한 형상정의가 끝나면, 뒷쪽 면과 아랫쪽 면에 대하여 형상정의 알고리즘의 단계 5와 단계 7

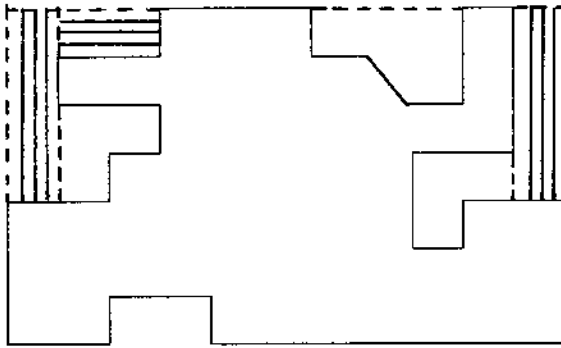
을 사용하여 형상을 정의한다. 그 결과는 그림 38과 같다.

- e. 위와 같은 절차에 의해 제품의 형상정의를 수행하면서, 동시에 시스템은 가공면의 좌표값, 절삭깊이 및 절삭길이를 계산하고, 또한 가능한 가공방법을 선정하게 된다.
- f. 제품의 각 가공면에 대하여 가능 가공방



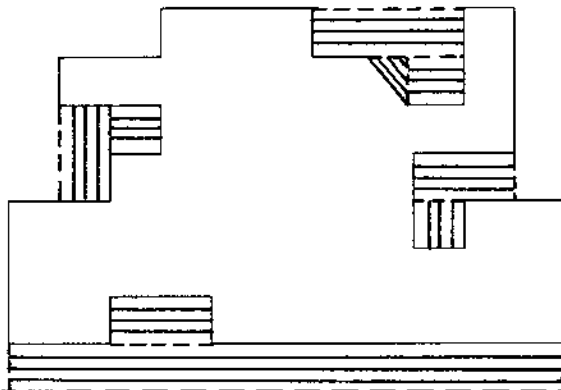
중심선

그림 36. 표본 제품의 형상 부호군



중심선

그림 37. 회전 가공면



중심선

그림 38. 가공면 형상 정의

법, 절삭깊이 및 절삭길이를 결정한 후 시스템은 가공방법 및 공구정보화일에 저장되어 있는 정보를 검색하여 가공시간과 비용을 계산하고, 최종적으로 공정계획표를 출력하게 된다.

7.2 최적화 모듈에 적용되는 상수

- $K_T=1$ • $\alpha^T=0.8$
- $\beta^T=0.8$ • $\gamma^T=8$
- $\delta^T=8$

이러한 상수 값들은 실험값 또는 경험치이고, 가공 기계의 종류와 원자재의 재질 및 공구의 재질, 그리고 가공 힘에 따라 모두 다르지만 본 연구에서는 모수 값 구하기 위한 실험이 불가능하기 때문에 동일한 수치를 사용하였으며, 이러한 모수값들은 시스템을 실행시키기 전에 사용자에게 의하여 정의된다.

7.3 공정계획표에 나타난 가공방법 및 공구 종류에 관한 코드

- a. 가공방법 코드
- ST : 직선 회전 가공

- TAT : 사선 회전 가공
- TRT : 자유 회전 가공
- COT : 곡선 회전 가공
- D : 홀 가공
- B : 다듬질 가공
- G : 다듬질 가공
- ITH : 내부 나사 가공
- ETH : 외부 나사 가공

- b. 공구종류 코드
- HSS : High Speed Steel tool
 - CAR : Carbide tool
 - CERA: Ceramic tool
 - SPA : Spade Drilling tool
 - HSCA: Cast Iron with High Speed Steel and Carbide Cutoff tool

7.4 출력 결과

표 6, 7, 8, 9는 제품재질에 따른 공정계획서이다. 총가공시간 및 총가공비용은 여타 가능한 가공방법에 비하여 최소값이다. 출력된 공정계획표상에는 최종적으로 선택된 기계는 보여주지 않고 있으나 컴퓨터 화면상에서는 볼

표 6. 제품명 : SAM-4

제품재질 : CARBON STEEL

| 가공방법 | 가공면 | 가공깊이 | 가공길이 (in) | 가공경로수 | 가공시간 (분) | 가공비용 (원) | 공구종류 |
|------|-----|------|-----------|-------|----------|----------|------|
| ST | 7 | 4.0 | 1.0 | 7 | 46.7 | 1033.33 | HSS |
| TAT | 3 | 2.0 | 1.0 | 4 | 20.0 | 500.00 | HSS |
| TAT | 5 | 1.0 | 1.0 | 2 | 10.0 | 1000.00 | HSS |
| ST | 9 | 1.0 | 2.0 | 2 | 26.7 | 2433.33 | HSS |
| ST | 17 | 5.0 | 1.0 | 9 | 60.0 | 1300.00 | HSS |
| TAT | 19 | 1.0 | 2.0 | 2 | 13.3 | 1266.67 | HSS |
| TAT | 20 | 1.0 | 1.0 | 2 | 5.0 | 500.00 | HSS |
| TAT | 12 | 1.0 | 3.0 | 4 | 10.2 | 2803.64 | CERA |
| TAT | 14 | 1.0 | 1.0 | 2 | 11.7 | 1133.33 | HSS |
| TRT | 13 | 1.0 | 1.0 | 2 | 11.7 | 1133.33 | HSS |
| D | 24 | 2.0 | 10.0 | 4 | 9.1 | 281.82 | SPA |
| TAT | 26 | 1.0 | 2.0 | 2 | 6.7 | 633.33 | HSS |

총 가공 시간 : 230.94분

총 가공 비용 : 14018.79원

표 7. 제품명 : SAM-4

제품재질 : ALLOYS STEEL

| 가공방법 | 가공면 | 가공깊이 | 가공길이 (in) | 가공경로수 | 가공시간 (분) | 가공비용 (원) | 공구종류 |
|-------------------|-----|------|--------------|-------|---------------------|-------------|------|
| ST | 7 | 4.0 | 1.0 | 7 | 57.4 | 1248.72 | HSS |
| TAT | 3 | 2.0 | 1.0 | 4 | 24.6 | 592.31 | HSS |
| TAT | 5 | 1.0 | 1.0 | 2 | 12.3 | 1346.15 | HSS |
| ST | 9 | 1.0 | 2.0 | 4 | 10.0 | 2800.78 | CERA |
| ST | 17 | 5.0 | 1.0 | 9 | 73.8 | 1576.92 | HSS |
| TAT | 19 | 1.0 | 2.0 | 4 | 5.0 | 1400.39 | CERA |
| TAT | 20 | 1.0 | 1.0 | 2 | 6.2 | 723.08 | HSS |
| TAT | 12 | 1.0 | 3.0 | 4 | 13.2 | 4163.53 | CERA |
| TAT | 14 | 1.0 | 1.0 | 4 | 4.4 | 1387.84 | CERA |
| TRT | 13 | 1.0 | 1.0 | 4 | 4.4 | 1387.84 | CERA |
| D | 24 | 2.0 | 10.0 | 4 | 9.3 | 285.19 | SPA |
| TAT | 26 | 1.0 | 2.0 | 2 | 8.2 | 864.10 | HSS |
| 총 가공 시간 : 228.84분 | | | | | 총 가공 비용 : 17776.86원 | | |

표 8. 제품명 : SAM-4

제품재질 : HIGH-STRENGTH STEEL

| 가공방법 | 가공면 | 가공깊이 | 가공길이 (in) | 가공경로수 | 가공시간 (분) | 가공비용 (원) | 공구종류 |
|-------------------|-----|------|--------------|-------|---------------------|-------------|------|
| ST | 7 | 4.0 | 1.0 | 14 | 21.1 | 1742.47 | CERA |
| TAT | 3 | 2.0 | 1.0 | 4 | 40.0 | 900.00 | HSS |
| TAT | 5 | 1.0 | 1.0 | 4 | 4.7 | 2694.81 | CERA |
| ST | 9 | 1.0 | 2.0 | 4 | 12.6 | 5452.84 | CERA |
| ST | 17 | 5.0 | 1.0 | 17 | 26.9 | 1837.28 | CERA |
| TAT | 19 | 1.0 | 2.0 | 4 | 6.3 | 2726.42 | CERA |
| TAT | 20 | 1.0 | 1.0 | 4 | 2.4 | 1347.42 | CERA |
| TAT | 12 | 1.0 | 3.0 | 4 | 16.6 | 5531.85 | CERA |
| TAT | 14 | 1.0 | 1.0 | 4 | 5.5 | 2710.62 | CERA |
| TRT | 13 | 1.0 | 1.0 | 4 | 5.5 | 2710.62 | CERA |
| D | 24 | 2.0 | 10.0 | 4 | 27.8 | 655.56 | SPA |
| TAT | 26 | 1.0 | 2.0 | 4 | 3.2 | 1363.21 | CERA |
| 총 가공 시간 : 173.65분 | | | | | 총 가공 비용 : 29673.08원 | | |

수 있다. 사용자는 이 시스템이 제안하는 기계를 임시적으로 보면서 가공조건, 작업준비를 할 수 있는데 사용자는 기계의 종류, 기계별 작업조건 및 작업준비를 자신의 생산환경에 맞

추어 변경할 수 있다. 즉 이 시스템이 제시하는 공정계획은 사용자가 합리적이며 일관성있는 공정계획을 수립할 수 있도록 도와주는 것이며 사용자의 최종적인 공정계획표는 시스템

표 9. 제품명 : SAM-4

제품재질 : STAINLESS STEEL

| 가공방법 | 가공면 | 가공깊이 | 가공길이 (in) | 가공경로수 | 가공시간 (분) | 가공비용 (원) | 공구종류 |
|-------------------|-----|------|--------------|-------|---------------------|-------------|------|
| ST | 7 | 4.0 | 1.0 | 7 | 46.7 | 1033.33 | HSS |
| TAT | 3 | 2.0 | 1.0 | 4 | 20.0 | 500.00 | HSS |
| TAT | 5 | 1.0 | 1.0 | 2 | 10.0 | 1000.00 | HSS |
| ST | 9 | 1.0 | 2.0 | 2 | 26.7 | 2433.33 | HSS |
| ST | 17 | 5.0 | 1.0 | 9 | 60.0 | 1300.00 | HSS |
| TAT | 19 | 1.0 | 2.0 | 2 | 13.3 | 1266.67 | HSS |
| TAT | 20 | 1.0 | 1.0 | 2 | 5.0 | 500.00 | HSS |
| TAT | 12 | 1.0 | 3.0 | 4 | 11.2 | 2824.00 | CERA |
| TAT | 14 | 1.0 | 1.0 | 2 | 11.7 | 1133.33 | HSS |
| TRT | 13 | 1.0 | 1.0 | 2 | 11.7 | 1133.33 | HSS |
| D | 24 | 2.0 | 10.0 | 4 | 26.7 | 633.33 | SPA |
| TAT | 26 | 1.0 | 2.0 | 2 | 6.7 | 633.33 | HSS |
| 총 가공 시간 : 249.53분 | | | | | 총 가공 비용 : 14390.67원 | | |

이 제시한 계획표와 내용상에 차이가 있을 수 있다.

8. 결론 및 추후과제

본 연구에서는 회전형상제품에 대하여 마이크로 컴퓨터에서 실행되는 준 창성형 공정계획 시스템을 개발하였으며, 사용자에게 공정계획 뿐만 아니라 다음과 같은 정보를 제공한다는 점에서 효과적인 시스템이라고 하겠다.

- ① 가공시간 및 가공비용 정보
- ② 제품가공을 위한 좌표값
- ③ 절삭경로 수

형상인식방법으로 사용한 순열식(syntatic) 인식방법에서는 기존의 연구에 비하여 더욱 자세하고 세분된 40개의 형상부호를 정의함으로써 좀더 정확한 형상인식이 가능하며, 형상인식과정에서 선반가공에 필요한 가공 좌표값의 계산이 가능하다. 또한 수립된 공정계획은 가공시간 및 비용의 최소화와 정보책자(data handbook)의 정보, 그리고 기술적 제약 및 제품형상을 고려한 규칙들에 근거한 것이기 때문

에 객관적인 공정계획이라 할 수 있다.

그러나 개발된 시스템은 제품 도면정보 입력이 사용자에게 의하여 이루어지는 단점과 시스템이 제품을 가공하는 가공기계와 직접 연결되지 못한 단점이 있다. 현재 이에 대한 연구가 진행중이다.

완전한 형태의 컴퓨터 지원 공정계획 시스템이 개발되기 위해서는 다음과 같은 추후 연구를 통한 시스템 확장이 필요하다.

- ① 제품 도면정보의 자동 입력
- ② 시스템에서 계산된 가공 좌표값을 이용한 자동 기계가공 프로그램의 산출
- ③ 가공 좌표값 및 절삭 경로수에 근거한 최적 가공경로 결정
- ④ 보다 세분화된 제품재질, 공구재질, 표면조도, 치수공차의 이용 등이 필요
- ⑤ 전문가 시스템(expert system)의 도입에 의한 공정계획 수립의 지능화

감사의 글

저자들은 본논문의 질이 향상되도록 고견을 준 심사위원들에게 감사드립니다.

참고 문헌

1. Chang, T. C., *Expert Process Planning for Manufacturing*, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
2. Chang, T. C., R.A. Wysk, H.P.Wang, *Computer-Aided Manufacturing*, Prentice-Hall, 1991.
3. Chang, T. C., *Interfacing CAD and CAM - A Study of Hole Design*, Unpublished M. S. thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Va., 1980.
4. DeGarmo, E. P., J. T. Black, and R. Kohser, *Material and Process in Manufacturing*, Macmillan Publishing Company, 1988.
5. Henderson, M. R., *Syntactic Pattern Recognition and Application*, Englewood Cliffs, 1982.
6. Jakubowski, R., *Syntactic Characterization of Machined Part Shapes*, Cybernetics, Vol. 13, 1982.
7. Kakino, Y. et al., *A New Method of Parts Description for Computer-aided Production Planning*, In *Advances in Computer-aided Manufacturing*, edited by McPherson, North-Holland, 1977.
8. Kyprianou, L. K., *Shape Classification in Computer-aided Design*, Unpublished Ph. D. Dissertation, University of Cambridge, 1980.
9. Li, J., C. Han, and I. Ham, "COREC-APP: A Company-Oriented Semi-Generative CAPP System", *CIRP Manufacturing System Seminar on CAPP*, 1989.
10. Li, R. K., "A Part-feature Recognition System for Rotational Parts", *International Journal of Production Research*, Vol. 26, No. 9, 1451-1475, 1988.
11. Li, R. K. and T.Z. Hwang, "A Part-feature Recognition System for Rotational Part-Non Turning Features", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 2, No. 5, 257-267, 1990.
12. ASM International Handbook Committee, *Metals Handbook*, Vol. 16, 1989.
13. METCUT, Research Associates, Inc, *Machining Data Handbook*, Machinability Data Center, Cincinnati, Ohio, 3 ed., 1991.
14. Woo, T. C., "Feature Extraction of Manufacturing Details from Geometric Models", *Proceedings of The Conference on CAD/CAM in Mechanical Engineering*, 1982.
15. Wysk, R. A., *An Automated Process Planning and Selection Program: APPAS*, Ph.D. thesis, Purdue University, West Lafayette, Ind., 1979.
16. Zhang, S. and W.G. Gao, "TOJICAP-A System of Computer Aided Process Planning System for Rotational Parts", *Annals of the CIRP*, Vol. 33, No. 1, 1984.
17. 조규갑, "자동공정설계에서 가공작업의 선정 및 순서결정을 위한 소프트웨어개발", 아산사회복지사업재단, 1987.
18. 조규갑, "지식 베이스 접근법에 의한 자동공정계획시스템", 제29회 학연산연구 교류회, 1990.
19. 이용성, "기계가공시간 산출법", 한국이공학사, 1992.
20. 강명순, 손명환 공저, "최신 기계공작법", 문운당, 1991.
21. 이철수, "NC Program과 커스텀 매크로", 한국금형정보센터, 1992.
22. 김정두, 윤종학 공저, "정밀가공을 위한 선반공작법", 성안당, 1992.
23. 김기연, "선반기술", 성안당, 1992.