

## 3축선반에서의 스크류 가공을 위한 CAM 시스템 개발

이원규\*, 안중환\*\*

## Development of a CAM System for 3-Axis NC Machining for Screws

W.K.Lee\*, J.H. Ahn\*\*

## ABSTRACT

NC machining of large screw which is usually used as a part in an extruder for injection molding is done on 3-axis turning machine, and it is very time-consuming process. Not only in machining but in preparing part program for a NC machine, it requires very long time because the shape of the screw is not easy to model when using an existing general CAD/CAM software even though it is workstation level software. In addition, tool path generation procedure for NC turning for screw shape is also very tedious one because large amount of data for cutter location point must be produced and there is no specific CAM software for the machining. In this paper, development of a CAM system for screw machining which saves the role of CAD software by use of menu driven data input system for various screw shapes is introduced.

**Key Words** : NC machining(NC 가공), 3-axis turning(3축 터닝), Screw(스크류), CAD/CAM(전산원용 설계/전산원용 가공), Cycle pattern(반복유형, 주기형상)

## 1. 서론

1950년대에 NC가공기의 출현 후 지금까지 이의 하드웨어 및 소프트웨어 발전과 더불어 이 가공기의 활용을 위한 많은 CAM시스템들이 개발되어 왔다<sup>(1,2)</sup>. 드릴링, 와이어 커팅 등과 같은 2축 가공기로부터 복잡한 자유형상을 위한 5축 가공기에 이르기까지 다양한 CAM시스템들이 개발 보급되어 왔으며 이제는 우리나라 제조업의 전반적인 분야에서도 이들이 활용되고 있다<sup>(3,4,5)</sup>.

그러나 이들 대부분은, 그들이 어느 특정한 가공기의 특정목적 활용을 위한 시스템이 아니라 기존의 CAD시스

템을 이용한 모델링과 더불어 범용성을 가진 CAM시스템들로서<sup>(7,8,9)</sup>, 특정분야 특정목적의 NC가공예의 응용에는 너무 높은 비용과 시간소모를 초래하여, 제한된 제품만을 생산하는 중소기업체들이나 또는 대기업체이라도 제한된 제조활동만을 하는 부서에서는 그 사용을 기피하거나 또는 사용하더라도 그 효율성이 저하되고 있는 특징이 있다. 예를 들어 C축 적용 가공이나 스크류와 같은 규칙성을 지닌 단순한 형상이지만 가공데이터는 상당히 많고 CAD시스템에서 모델링하기에는 상당한 시간이 소모되며 더우기 이로부터 비교적 낮은 축수의 가공기에서의 가공을 위한 데이터를 산출해 내는 작업은 비용효율적인 작

\* 울산대학교 기계공학과  
\*\* 부산대학교 지능기계공학과

업이 되지 않고 있다.

따라서 본 논문에서는, 소규모의 제조시스템에서 쉽게 사용할 수 있으며 확장이 용이하고 PC급에서 구현되는, 3축(x-z-c축) NC선반의 C축적용 가공인 스크류 가공을 위한 메뉴를 이용한 CAM시스템의 개발을 소개하고자 한다.

### 2. 3축선반에서의 스크류 가공

3축 선반에서는 일반적인 선삭가공 이외에도 공구대에 회전공구를 장착, 밀링작업을 수행할 수 있으므로 가공할 수 있는 형상은 다양하다. 대표적인 예로서 주축과 평행한 표면에 임의의 형상을 가공하는 경우와 주축에 수직한 단면에 형상을 가공하는 경우가 있다. 이와 같은 형상은 선삭에 의한 가공이 용이하지 않은 것으로서 2축선반의 나사질삭기능으로도 수행하기 곤란한 경우의 형상이다. 본 논문에서는 주축에 평행한 면에 어떤 형상을 가공하는 경우로 스크류가공을 대상으로 하였다.

#### 2.1 스크류의 형상정의

Fig.1은 리드 L인 스크류 단면의 기하학적 형상을 나타낸다. 본 연구에서는 주축에 수직으로 일정한 단면형상을 갖고 주축의 거리에 따라 그 단면이 회전하여 생성되는 대표적인 형상 10가지만을 대상으로 하였다. 이들을 단면 형상의 특징에 따라 분류하여 그룹화 하면 Fig. 2에서와 같다.

이들을 분류한 기준은 다음과 같다. Fig. 3에서 x-y좌표계 내의 x 또는 y좌표값의 양(+)음(-)을 모두 고려한다면 각도변화에 따른 각 좌표의 증감주기는 어느 형상에서나 360도로서 동일하다. 따라서 각 좌표의 증감 주기를 바탕으로 단면형상의 특징을 나타낼 수 없다.

한편 3축선반에서의 가공을 위한 데이터로서는, 스펀들의

회전 중심으로부터의 거리(이는 항상 양(+))의 값만 갖는다)와 공구의 축방향 위치 및 스펀들의 회전각만이 사용되는 특징이 있다. 이런 점을 고려하여 스펀들의 회전 중심으로부터의 거리를 기준으로 이 거리의 1회 증감을 1주기로 정했다. 따라서, 2주기 형상(2 cycle pattern)의 경우 그 거리의 증감은 2회 반복되며 3주기 형상(3 cycle pattern)의 경우는 3회, 4주기 형상(4 cycle pattern)의 경우는 4회 반복된다. 이와 같은 기준에 따라 단면형상을 분류해 준 이유는 시스템 사용자의 선택을 용이하게 해 줄 수 있을 뿐만 아니라 추후 가공 데이터의 생성을 위한 공통된 함수를 정의해 줄 수 있는 장점이 있기 때문이다.

이들 형상과 관련하여 본 시스템 내에서, 2주기 형상 각각에 대하여 차례대로 1번 2번 3번 모듈로 하였고, 3주기 형상 각각에 대하여 4번 5번 6모듈로 하였으며, 4주기 형상 각각에 대하여는 7번 8번 9번 및 10번 모듈로 하였다. 각 모듈에서 형상정보를 입력하는데 필요한 파라미터는 정해져 있으며, 5번 모듈의 경우를 예를 들면 Fig 4에서와 같다. 이와 같이 형상정보와 관련된 파라미터의

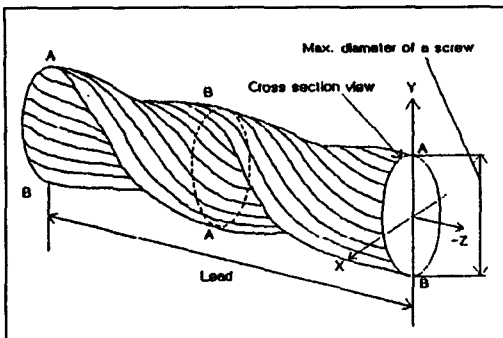


Fig. 1 리드 L인 스크류의 기하학적 형상

Pattern	Shape	모듈번호
2 cycle		1 ~ 3
3 cycle		4 ~ 6
4 cycle		7 ~ 10

Fig. 2 대표적인 가공 단면 형상

외곽선 좌표 단면형상	직각 좌표계	극 좌표계

Fig. 3 단면형상의 주기

여러가지 다른 수치들을 입력시켜줌으로서 동일 부류에서 다양한 치수의 가공물을 정의해 줄 수 있다. 뿐만 아니라 각 모듈은 독립적으로 구성 작동될 수 있도록 하여 추후 필요시 시스템의 확장을 용이하게 해 주었다. 소재의 형상은 항상 원형 바(bar)를 사용하도록 하고 선정된 모듈의 입력된 파라미터들의 값들로부터 요구되는 형상가공에 필요한 공구궤적을 산출하도록 하였다.

### 2.2 스크류 가공의 단계

가공과정은 다음과 같이 일반적으로 4단계로 구성된다.

- ① 1단계:소재 우단에서의 스피들 및 공구위치 결정 (Fig. 5)
- ② 2단계:공구의 z축 이동 및 스피들의 c축 회전 (Fig. 6)
- ③ 3단계:스핀들의 일정각 회전(Fig. 7)
- ④ 4단계:공구와 스피들의 반대방향 이동(Fig. 8)

이 단계들이 반복되어 Fig. 9에서와 같이 가공이 진행된다.

### 2.3 공구궤적 계산

C축 적용 스크류 가공에서는 공구위치 데이터의 산출을 위한 계산이 비교적 직접적이고 용이하다. 그 이유는 일정한 단면이 주축 방향으로 규칙적인 회전에 의해 생성되는 형상을 취급하기 때문이며, 여기서의 공구궤적이란 단면 형상의 외곽을 따른 공구이동경로를 의미하기 때문

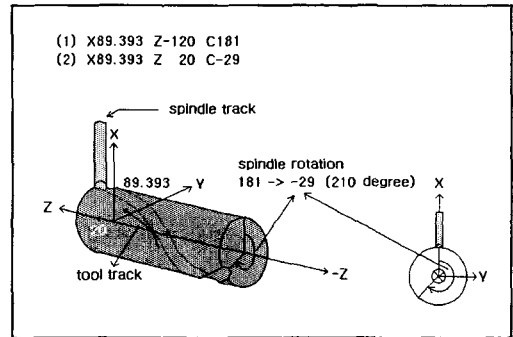


Fig. 6 공구의 z축 이동 및 스피들의 c축 회전

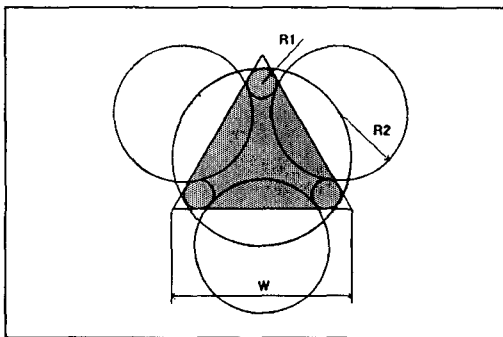


Fig. 4 모듈 5의 형상정보 예

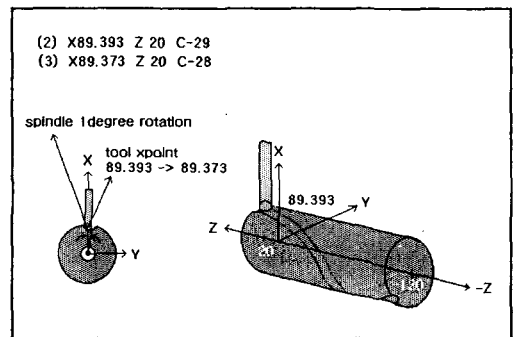


Fig. 7 스피들의 일정각 회전

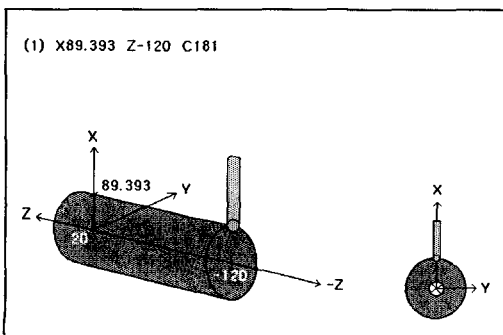


Fig. 5 소재의 우단에서 스피들 및 공구의 위치 결정

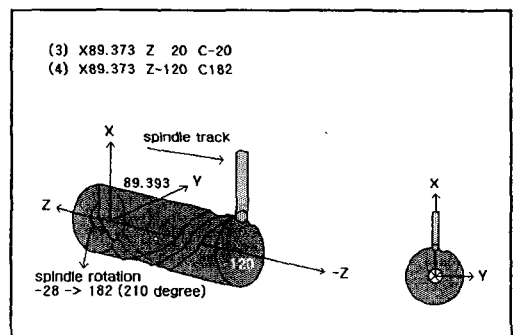


Fig. 8 공구와 스피들의 반대방향 이동

이다. 또한 원형 바(bar)의 소재로부터 요구되는 단면형상을 가공해 내야 하므로 단 한번의 형상의곽을 따른 절삭만으로 그 형상을 가공할 수 없다. 따라서 원형 바의 최외곽 위치로부터 여러 단계를 거쳐 요구되는 단면형상을 가공해 내어야 하며, 가공시간의 단축을 위해 황삭 단계에서는 공구위치 데이터의 간격을 가능한 한 크게 해 주고 정삭단계에서만 그 간격을 요구되는 공차에 따라 조밀하게 해 주어야 한다.

Fig. 10는 첫번째 모듈의 형상을 예로 한 황삭 및 정삭 경로와 일반적인 공구의 위치를 나타낸다.

일반적인 공구궤적 계산 절차를 설명하면 다음과 같다

- ① Fig. 11에서, 가공형상의 외곽을 공차를 고려하여 산출된 간격으로 분할하되 각 점을 공구의 접촉점(CC Point)으로 한다.
- ② 각 CC 점으로부터 공구의 중심점인 CL점을 계산한다. 이 때 물론 공구반경벡터를 고려해야만 한다.
- ③ CL점으로부터 공구의 끝점(P1,P2 등)의 좌표를 계산한다.

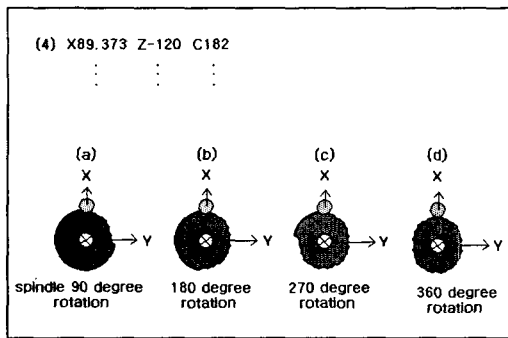


Fig. 9 1단계부터 4단계까지 반복과정의 단면

- ④ 공구의 끝점(P1, P2 등) 좌표들로부터 사용되는 가공기계 해당 축의 값으로 변환한다. 예를 들어 Fig. 10에서의 x,y좌표들은 이에 해당하는 x(r좌표), z(스핀들축 상의 공구 위치) 및 c좌표(스핀들의 회전각)로 변환한다.

### 2.3.1 황삭 경로를 위한 공구 간격 계산

황삭과 정삭 모두의 경우 동일한 계산과정을 따르나, 다른점은 사용되는 스펀들의 단위 회전각, 절삭깊이 및 가공단계에 따른 형상데이터가 다르다. 황삭과정에서는 가공면의 공차를 고려하지 않아도 되므로 절삭깊이 및 공구간격을 가능한 한 최대로 해 주어야 한다.

정삭 전 다단계의 황삭이 선행될 경우 단면형상의 중심(즉 좌표계의 원점)으로부터 가장 가까운 곡선상의 점까지의 거리를 구하고 이 거리에 정삭여유를 더한 다음 그 크기와 소재반경과의 차이를 등간격으로 나누어 단계별 절삭깊이를 결정한다. 이 때 단계별 절삭깊이(d)가 가능한 한 최대로 하되 공구에 과부하가 걸리지 않기 위해 여기서는 공구반경의 1/2보다는 작게해 준다.

다음, 공구의 경로사이 간격(pick feed)을 결정하는데 있어서는 직전의 절삭공정에서 발생한 커스프가 다음의 절삭공정에 과도한 깊이가 되지 않도록 하여야 한다. Fig. 12를 참조하면 1단계 절삭시에 발생한 커스프의 정점 I1으로부터 2단계 절삭면까지의 거리(Pt21부터 I1까지의 거리)가 공구의 반경보다 크지 않아야 한다. 즉 커스프의 높이 hc, 절삭깊이 d, 공구반경 R 사이에는 다음과 같은 관계가 성립해야 한다.

$$h_c < \frac{1}{2}R, d < \frac{1}{2}R, \therefore h_c + d < R$$

따라서 1단계에서 발생할 커스프의 높이와 2단계의 절삭

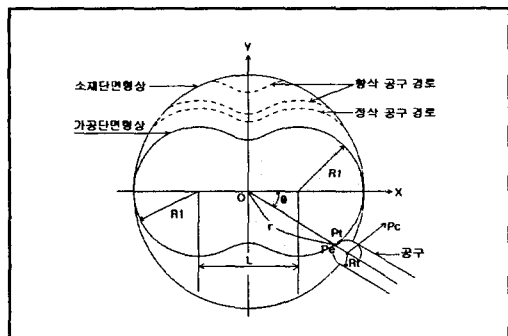


Fig. 10 공구와 가공형상간의 위치관계

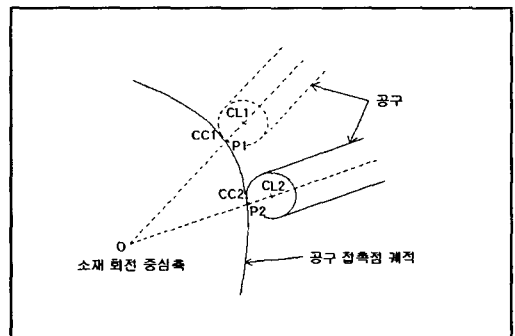


Fig. 11 CC, CL 및 프로그램 Points 예

깊이를 더한 값이 공구의 반경보다 작도록, 공구의 접촉점 궤적을 따른 간격( $P_{11}$ 부터  $P_{12}$ 까지)이 결정되어야 한다. 이 때 다음과 같이 주어지는, 커스프(Cusp)의 높이( $h$ ), 경로간의 간격( $l$ ), 공구의 반경( $R$ ) 및 공구의 진행에 수직방향 곡면상의 곡률반경  $\rho$  사이의 관계식<sup>(10)</sup>을 사용할 수도 있다.

이 식에서, 볼록한 곡면일 때  $\rho > 0$ 이고, 오목한 곡면일 때  $\rho < 0$ 이다.

스크류와 같이 해석함수로 그 곡면을 표시할 수 있는 경우의 황삭공정에서는 절삭행정의 횡수를 줄이기 위해 절삭깊이는 공구반경의 1/2과 같은 값을 취할 수 있으며, 이 값이 커스프의 높이가 되도록 공구의 간격을 정할 수 있다.

### 2.3.2 정삭경로를 위한 공구간격 계산

C축 선반에서의 가공형상 윤곽에 따른 공구의 이동은 스피들 축으로부터 공구 끝점까지의 거리인 x좌표와 스피들의 회전각인 c좌표를 조정하여 이루어지므로, 동일한 c좌표값(중심각)의 변화에 대하여 가공단면의 중심으로부터 거리가 멀수록 윤곽을 따른 거리의 이동이 커진다

정삭경로를 위한 공구경로의 간격을 구할 때 일정한 c축의 분해각 값을 사용할 경우, 단면의 중심으로부터 거리가 먼 곳과 가까운 곳의 표면이 균일하지 않게 된다. 또한 공작물 표면의 곡률에 따라 가공면의 거칠기가 달라질 수 있으므로 가공면 전체에 대한 균일한 가공을 위해 공구경로간 간격을 조정해 주어야 할 필요가 있다.

따라서 주어진 공차 내에서 가공이 이루어지도록 하기 위해 커스프의 높이를 고려한 CC데이터를 조정해 주어야 한다. Fig. 13은 동일한 높이( $E_1 = E_2$ )를 갖는 커스프라 할지라도 위치에 따라 그의 CC데이터 점들 사이의 거리는 서로 다를 수 있음( $L_1 < L_2$ )을 보인다.

본 CAM 시스템에서는 가공면이 정의 형상으로부터 일정한 커스프 높이를 갖도록 형상의 윤곽을 따른 공구경로간의 간격이 공구의 위치에 따라 변화되게 하고 있다.

### 3. 스크류 가공 CAM 시스템의 구성

본 CAM 시스템은 스크류가공만을 위한 시스템이므로 가공을 위한 공구의 위치 데이터가 직접 생성되게 하고 있다. 또한 사용자의 편의를 위하여 다단계(형상 모델링, 공구계획계획에 의한 CC데이터 생성, 기계에 따른 CL데이터 생성 및 NC데이터의 생성 단계 등)에 의한 시스템 사용을 회피하고 모든 단계에 필요한 데이터를 일련의 파라미터를 통하여 입력하는 방식을 택하고 있다. 형상에 따른 메뉴방식을 채택하고 있으며, 시스템의 구성도 형상 메뉴들의 집합으로 되어 쉽게 확장할 수 있도록 구성하였다.

본 CAM 시스템은 Fig. 14에서와 같이 기능으로 보아 가공형상 선정부분, 데이터 입력부분, 데이터 출력부분,

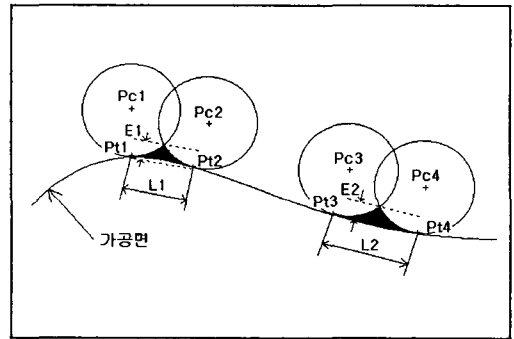


Fig. 13 가공위치에 따른 동일 커스프 높이에 대한 CC데이터의 간격

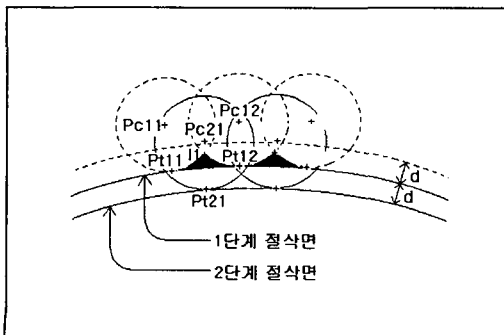


Fig. 12 황삭단계별 절삭깊이 및 공구간격의 설정

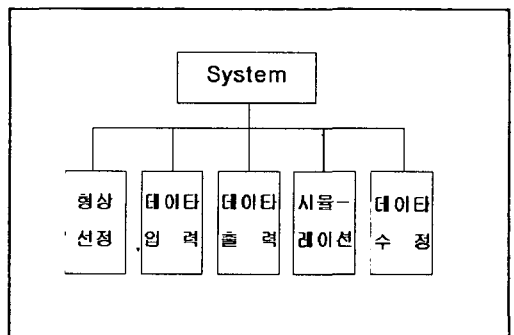


Fig. 14 CAM 시스템의 구성

수정부분 및 검증을 위한 시뮬레이션 부분으로 구성되며 이들은 스크류 가공을 위한 10개의 모듈 각각에 대하여 공통으로 적용된다. 각 모듈은 다시 28개의 서브모듈들을 공유하고 있다.

#### 4. 시뮬레이션 및 실험 결과

본 CAM 시스템에서는 필요한 모듈의 선정후 요구되는 파라미터 값들을 입력하면 공구가 가공형상을 따라 절삭이동해 가는 과정을 컴퓨터 스크린 상에 보이도록 하였다. 이런 과정을 시스템에 추가함으로써 생성 데이터의 시각적 확인을 도모하였다.

한 예로서 위의 여러가지 메뉴 중 첫번째 메뉴를 선택하여 요구되는 데이터를 모두 입력하면 절삭횟수가 상단 왼쪽에 표시되면서 마지막 까지 절삭하는 화면이 Fig. 15에서와 같이 나타난다.

이 그림에서 큰 간격의 원으로 표시된 공구궤적은 황삭 단계를 나타내고 촘촘한 간격의 원으로 표시된 공구궤적은 정삭단계를 나타낸다. 따라서 이 경우 황삭은 3단계로 되어 있으며 정삭은 1단계로 되어 있음을 알 수 있다. 마지막 절삭(정삭)에 대하여 상단 왼쪽에 공구의 크기에 비례하는 정삭율이 함께 표시되어 시각적 및 수치적으로 확인할 수 있게 하였다.

이에 의해 실제의 가공을 위한 장치, setup 및 가공결과는 Fig. 16에 보이고 있다. 사용된 가공기계는 한국공작기계(주)의 PROTRUN 시리즈 100x2000으로서, 공구대에 밀링어태치먼트가 있다. 가공물의 소재는 알루미늄으로 직경 150mm 길이 400mm이고, 공구는 직경 25mm인 볼엔드밀을 사용하였다. 황삭시 가공조건은 공구회전속도 300RPM 이송량은 200mm/min이었으며

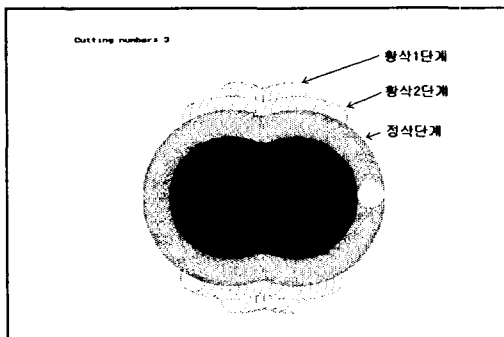


Fig. 15 황삭 및 정삭 시뮬레이션

정삭의 경우에도 작업여건으로 인하여 가공프로그램의 여러블록을 생략하며 가공하였으므로 황삭과 동일한 조건을 사용하였다. 스펀들의 회전속도는 z 방향의 이송 및 리이드에 따라서 자동으로 정해진다.

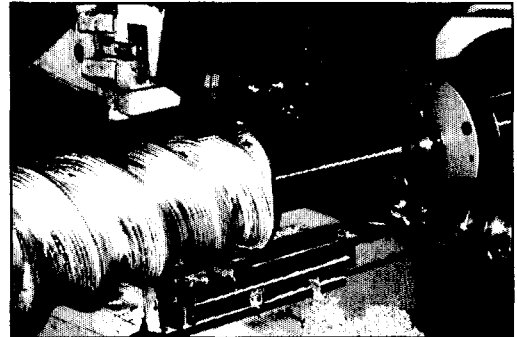


Fig. 16 가공장치, setup 및 가공결과

#### 5. 결 론

본 연구에서는 스크류 가공용 CAM시스템 개발에 관한 연구를 수행하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기존의 범용 CAD 및 CAM 시스템에서는 지원이 곤란한 스크류 가공을 위한 CAM 시스템을 개발하였다..
- (2) 주어진 공차를 만족하도록 C축의 분할이 자동적으로 이루어지게 하였다.
- (3) 스크류의 형상을 주기에 따라 패턴화 함으로써 CL 데이터의 생성을 용이하게 하였다.

앞으로 보완해야 할 내용은 다음과 같다.

- (1) 리이드 값이 가공단면의 직경과 비교하여 작은 경우에 발생하는 공구와 소재간 간섭의 회피.
- (2) z축 방향의 위치에 따라 리이드 변화를 갖는 가공물을 위한 모듈의 개발.

#### 참 고 문 헌

1. Ibrahim Zeid, "CAD/CAM Theory and Practice", McGraw-Hill Inc. pp.8-19, pp25-42.1991.
2. Farid M. L. Amirouche, "Computer-Aided

- Design and Manufacturing”, Prentice-Hall Int. Inc. pp22-23, 257-272.1993.
3. 전차수, 박세형, 전용태, “자유곡면 5축 NC 가공을 위한 CAM 시스템 개발”, 한국정밀 공학회지 제10권 제1호, 3. pp51-61.1993.
  4. C. G. Jensen and D. C. Anderson, “A review of numerically controlled methods for finish-sculptured-surface machining”, IIE Transactions, pp30-39.1996.
  5. 전용태, 박세형, “Development of a CAM system for Impeller Machining”, 대한기계학회 춘계학술대회논문집(I), pp217-220.1994.
  6. KOSEF 88-0218-04, “선반 가공용 CAM시 스템의 개발”, 한국과학재단, 1992.
  7. Publication 03703-010000-5010 “Autosurf” Release 2.1, 1993-1994.
  8. MicroCADDs Reference and User Guide etc. IBM. 1987.
  9. MicroStation Reference Guide and User’s Guide, Version 5, Intergraph, 1993.
  10. 최병규 “Calculation of Economic CL-data for Sculptured Surface Machining”, 대한산업공학회지, Vol.9, NO. 2, 1983.