

# 타이어 사이드판의 문자 가공을 위한 4축 가공 시스템\*

이철수\*\* · 박광렬\*\*

A 4-axis NC Lettering System for the Side-wall of the Automobile Tire

Cheol-soo Lee · Gwang-ryeol Park

## 〈Abstract〉

The letters of the automobile tire are usually engraved on the side-wall. The shape of the side-wall is a sculptured surface generated by the rotational sweeping of a profile curve. The letters laid on the side-wall are usually designed by a 2-dimensional CAD. It is impossible to machine the letters on the surface accurately by 3-axis NC machining, because the axis of cutter should be tilted to align with the normal vector of the surface. In this case, the degree of freedom for the machine is at least four.

This paper describes an idea for tool path generation of a 4-axis machine by using the 2-dimensional CAD data of the letters and the surface of the side-wall. This study includes the following procedures; (1) measuring the profile of the side-wall surface and curve-fitting of the measured points, (2) the 'non-parallel projection' of the letters on the side-wall, and (3) an inverse kinematics of the 4-axis lettering machine.

Procedures in this paper are programmed in C-language on Windows95 environment. With a PC based CNC controller and a 4-axis lettering machine, these are tested successfully for the practical use.

## 1. 서 론

타이어를 두 부분으로 구분한다면 자면에 직접 닿으며 성능을 결정하는 트레드와 문자 등이 새겨진 사이드판으로 구분할 수 있다. 최근 타이어의 성능이 좋아지고 타이어 고유의 품질에 대한 차이가 없어지게 되자 소비자의 구매력이 타이어의 외형에 의하여 결정되고 있다. 타이어 제조업체도 타이어의 성능 뿐 아니라 심미성에 노력을 기울이면서 사이드 판의 문자나 무늬 등의 디자인과 가공에 노력을 기울이고 있다.

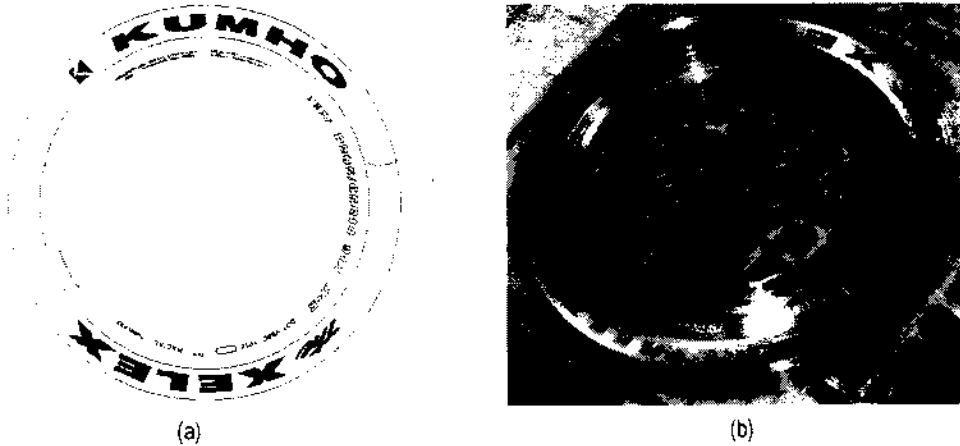
타이어의 곡면은 단면곡선이 원주를 따라 회전하면서 만들어지는 것이고 타이어 금형은 트레드 부분과 사이드판을 별도

로 제작한다. 트레드 금형은 주로 마스터 모델을 이용하여 제작되고[1] 사이드판 금형은 선반 등으로 곡면을 가공한 후에 바닥 곡면에 직접 가공한다. 하나의 타이어를 위한 사이드판 금형은 상하판 2개로 1벌이 된다. 문자는 주로 이미지 스캔에 의하거나 2차원 CAD를 이용하여 전개된 형상으로 직교 좌표계에서 디자인된다. 이 형상은 문자 전용 CAD시스템[2]에서 모양이나 크기와 위치 등이 변환되어 2차원 상의 문자 데이터가 된다. 〈그림 1〉의 (a)는 CAD에서 설계된 문자 데이터이고 (b)는 이 문자 데이터가 가공된 실제의 사이드판 금형이다.

사이드판은 프로파일 곡선이 원주방향으로 회전하면서 형성된 곡면이기 때문에 2차원 상에서 디자인된 형상의 적절한 두

\* 본 논문은 세화기계(주)와의 산학 합동 연구에 의하여 이루어졌음.

\*\* 전남대학교 산업공학과



〈그림 1〉 사이드판의 예 (a) 사이드판의 문자 (b) 가공된 사이드판 금형

영이 필요하다. 문자 데이터가 곡면이 전개된 형태의 도면이므로 일반 수직 투영을 하면 치수가 왜곡된다. 일반적으로 사이드판 금형에는 주로 음각으로 문자가 새겨지고 따라서 완성된 타이어의 문자는 주로 양각인데 곡면을 따라 도면상에 설정된 일정한 높이와 크기의 형상을 유지하는 경우가 대부분이다.

사이드판 금형의 바닥면은 곡면이기 때문에 문자를 가공할 때 수작업으로는 복잡하고 정밀한 가공이 불가능하며 3축 가공으로는 가공 형상의 제약이 매우 많다. 사이드판은 프로파일 곡선이 회전 이동하며 만드는 곡면이다. 이 곡면은 타이어의 회전 중심축을 Z축으로 할 때 ZX평면 상에 있는 단면 곡선이 Z축을 중심 축으로 회전 이동하며 생기는 궤적이다. 이 회전축이 C축이라면 X,Z,C의 세 축의 제어만으로 공구가 곡면 상의 원하는 위치를 가공할 수 있다. 그러나 곡면 상의 특정 위치에서 인의의 각도로 공구를 기울여 가공하려면 자유도를 추가하여 4축 또는 5축 가공이 필요하다.

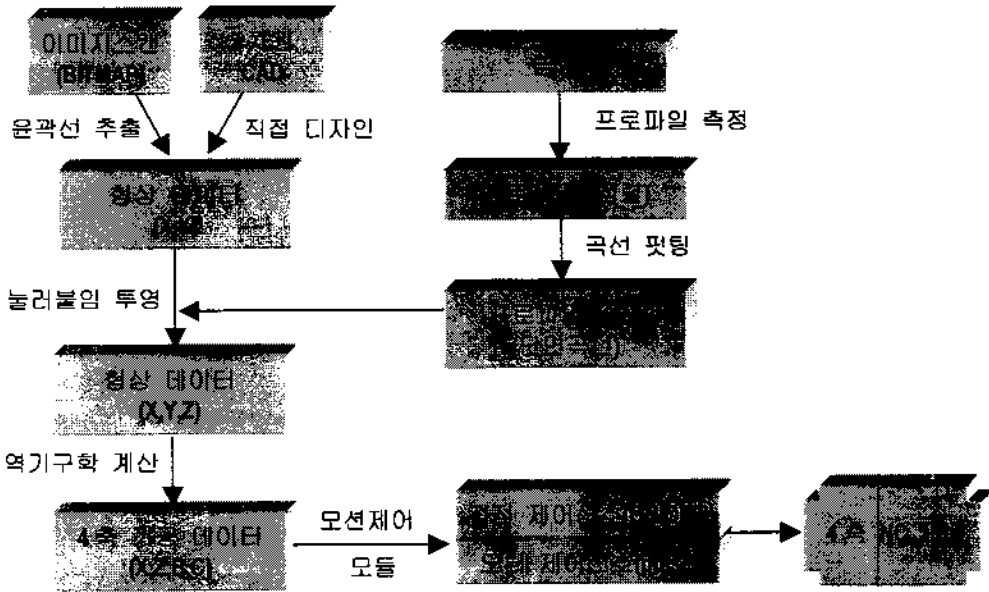
실제로 타이어에 새겨진 문자의 축벽이 볼록한 경우는 거의 없고 수직 벽 또는 일정한 각도의 테이퍼(taper)면이다. 이 경우는 공구가 법선 방향으로만 접근할 수 있어도 된다. Z,X,C의 3축인 경우 Z축 방향으로 접근하는 공구는 항상 C축에 대해 법선 방향을 유지한다. 따라서 ZX평면 상에서 곡선의 법선 방향으로 공구가 회전할 수 있으면 된다. 즉 Y축을 중심 축으로 회전하는 B축만 추가하면 되므로 Z,X,B,C의 4축으로 사이드판의 문자 가공이 가능하다.

## 2. 연구의 내용

### 2.1. 개요

사이드판의 문자나 로고는 주로 이미지 스캐너로 읽어 들여 외곽선(outline) 추출 과정을 거쳐 문자 데이터로 변환되거나 2차원 CAD로 직접 디자인된다. 이러한 2차원 문자 데이터는 곡면에 투영되면 3차원 데이터가 된다. 문자가 놓여질 곡면을 결정하는 프로파일 곡선은 금형을 직접 측정할 점적이고 이것은 실제로 가공 데이터를 산출할 때에는 곡선으로 컷팅(fitting)된다.

곡면에 투영된 문자나 로고 형상이 일정한 깊이와 두께를 가지도록 하기위해 공구는 법선 방향으로 접근하며 가공을 해야 한다. 이 때 4축 기계의 각 축의 길이와 각도를 구하기 위해 역기구학 계산이 필요하다. 각 축의 길이와 각도는 4축 NC 기계의 기구적 구조에 맞게 산출되는데 일반 NC코드와 같은 가공 데이터 형태로 만들어질 수 있다. 최종적으로 이 가공 데이터는 모터와 기타 액츄에이터(actuator)를 구동하는 전기적 신호로 변환된다. 〈그림 2〉에서 사이드판의 문자 조각 시스템의 전체적인 정보의 흐름을 보이고 있다. 본 논문에서는 2차원 CAD에서 설계된 문자 데이터의 4축 가공 데이터를 산출하기 위한 적절한 투영과 역기구학 계산 방법 및 이를 이용한 타이어 금형의 문자 가공 시스템 개발을 연구의 범위로 한다.



〈그림 2〉 사이드판 금형의 4축 문자 가공을 위한 정보의 흐름

## 2.2. 기계의 구조

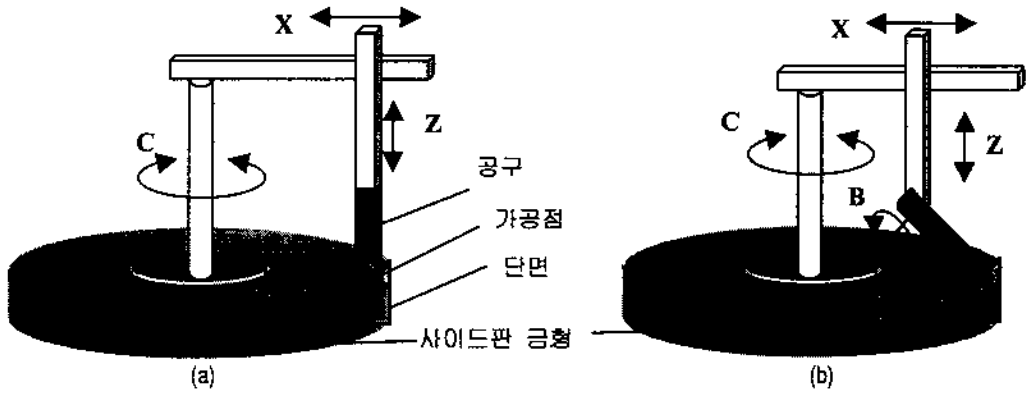
4축 기계는 기구적 구조에 따라 여러가지 형태로 설계가 가능한데 타이어의 사이드판에 적합한 기구적 구조는 2축의 회전 운동과 2축의 직선운동의 구조이다. 타이어가 회전축을 중심으로 회전하는 C축과 타이어의 단면에서 상하좌우 이동을 하는 Z축과 X축을 결정하면 사이드판 바닥의 프로파일 곡선은 ZX평면에 있게 된다. 이와 같이 X,Z,C의 3축이면 사이드판 바닥면의 임의의 위치로 공구를 이동할 수 있다. 그러나 공구가 바닥면과 법선 방향을 유지하며 가공하려면 공구를 틸팅하는 B축이 필요하다. 〈그림 3〉에서 이러한 경우의 3축과 4축 가공의 차이를 보이고 있다.

## 2.3. CNC컨트롤러로서 PCNC의 필요성

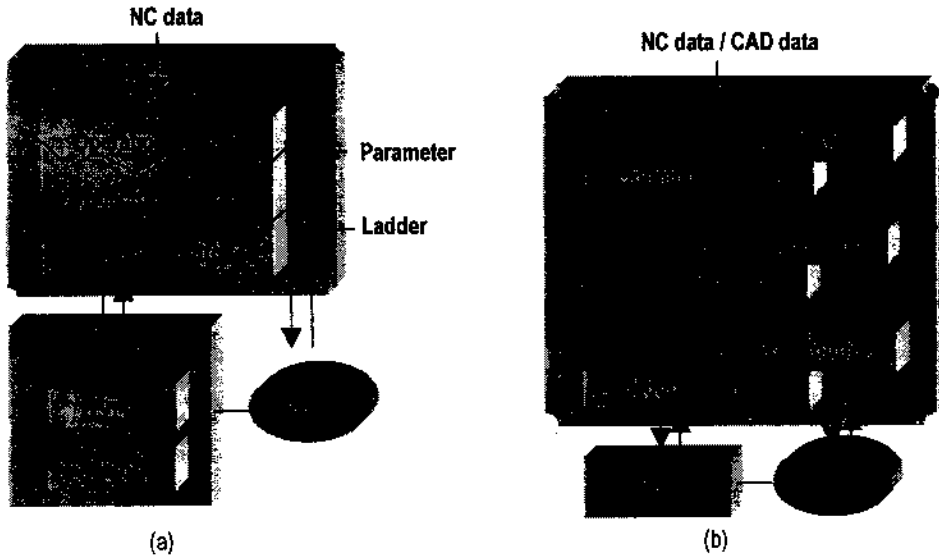
일반 CNC컨트롤러는 주로 CAM에서 생성된 NC코드와 같은 가공 데이터를 입력 받아 NC기계의 각 축을 구동하며 가공을 수행한다. 사이드판의 문자 데이터는 NC기계의 기구적 구조나 금형의 형상과 관계없는 2차원 데이터이다. 따라서 문자 데이터가 바로 가공이 되기 위해서는 NC기계에서의 프로파일 측정, 측정된 프로파일에 의한 곡면 생성, 곡면에 문자

데이터의 투영, 역기구학 계산에 의한 가공 데이터 산출 등의 과정이 한 곳에서 이루어져야 한다.

이것을 구현하려면 CAM모듈, DNC 그리고 측정을 위한 부가 시스템이 추가되어야 하는데 이것은 일반 CNC컨트롤러에서는 매우 어려운 일이다. 따라서 본 연구에서는 개방형 구조의 PCNC(Personal Computer based Numerical Control)컨트롤러를 개발하여 제한된 방법들을 적용하였다. 개방형 구조로 CNC컨트롤러를 설계함으로써 문자 데이터에 의해 가공 데이터를 산출하는 계산 과정을 CNC컨트롤러에 내장할 수 있고 일반 CNC컨트롤러보다 매우 유연한 방식의 구조로 편리한 사용자 인터페이스(Man Machine Interface)의 구축이 가능하다. 일반적인 CNC와 PCNC의 기본적인 구조의 차이[3]를 〈그림 4〉에서 보이고 있다. 〈그림4〉의 (a)는 일반 CNC의 구조인데 각 CNC마다 내부 모듈끼리 독자적인 인터페이스를 가지고 있음을 돕니 모양으로 표현하고 있다. 따라서 외부 모듈과의 결합이나 추가 모듈을 설계하기가 힘들다. 〈그림 4〉의 (b)에서 PCNC 내부의 각 모듈은 사각형 모양으로 표현되었는데 이는 모듈간의 결합이나 인터페이스가 매우 용이함을 의미한다. 실제로 본 연구에서와 같이 그래픽 CAM모듈이나 측정 모듈을 확장할 수도 있고 여러가지 방법의 다축 제어 모듈이나 곡선 보간 모듈 등을 쉽게 적용할 수 있다.



〈그림 3〉 사이드판의 문자 가공을 위한 기계의 기구적 구조 (a) 3축의 예 (b) 4축의 예



〈그림 4〉 일반 NC와 PCNC의 구성 (a) 일반 NC 시스템 구성 (b) PCNC 시스템 구성과 확장성

2.4. 타이어 금형 가공에 관한 기존의 연구

타이어 금형의 가공에 관한 기존의 연구로는 트레드 부분의 마스터 모델의 5축 가공에 관한 연구가 이루어진 바 있다[1]. 사이드판의 금형을 위한 상용 시스템으로 독일 LANG사의 4축 문자조각기 시스템이 있다[2]. 문자 디자인에 적합한 2차원 CAD와 문자 조각기로 구성되었는데 내부적인 알고리즘은 알려지지 않았다. 본 논문에서는 2차원CAD에서 디자인된 문자 데이터를 NC기계에서 직접 가공에 이용할 수 있는 방법을 제

시한다.

3. 가공 데이터의 산출 과정

가공 데이터는 문자 데이터와 측정된 프로파일 그리고 공구 길이 등과 같은 가공 조건과 NC기계의 기구적 특성에 의해 구해지는데 NC기계의 축이나 기구 장치를 실제로 동작시키는 데이터이다. 문자 데이터는 2차원 평면 상에 디자인된 문자 또는 무늬의 형상인데 이미지 스캐너(image scanner)로 읽어 온

곡선을 추출하거나 2차원 CAD에서 직접 디자인한 것이다.

문자 데이터는 평면 상의 형상이고 사이드판의 바닥은 곡면이므로 적절한 투영이 필요하다. 투영을 할 곡면이 사이드판이 단면곡선이 회전하며 생기는 궤적이므로 단면의 프로파일을 측정하여 구할 수 있다. 프로파일은 NC기계에서 사이드판 금형을 직접 측정하여 구하는데 측정기로는 점렬만 구해지므로 이것을 부드러운 곡선으로 핏팅할 필요가 있다. 프로파일 곡선에 의해 곡면이 정의되고 평면의 문자를 곡면으로 투영한다. 일반 수직 투영은 치수가 왜곡되므로 본 논문에서는 눌러붙임 투영이라는 방법을 사용한다. 곡면 상에 투영된 위치로 공구가 이동하도록 역기구학 계산에 의해 각 축의 이동량을 구하면 가공 데이터가 산출된다.

### 3.1. 프로파일 측정

사이드판 금형의 바닥 곡면의 형상을 알기 위해서 단면 곡선이 필요하므로 이 프로파일 곡선의 형상을 측정한다. 금형은 NC기계에서 직접 측정을 하는데 CNC컨트롤러는 NC기계를 움직이며 측정기에서 발생하는 신호를 측정 값으로 변환한다.

본 논문에서는 별도의 3차원 측정기를 이용하지 않고, 점접 방식 측정기를 4축 NC기계에 장착하여 프로파일을 측정하는 방식을 사용하였다. 이 측정기는 <그림 5>의 (a)와 같이 NC기계에 장착이 가능한 형태의 측정장치에 내장된다. 측정 장치는 점접의 상태를 CNC컨트롤러로 ON/OFF신호로 전달하도록 되어 있다. CNC컨트롤러는 각 축을 제어하여 측정기를 이리저리 움직이면서 금형 바닥면의 프로파일을 이 점접 신호로 측정한다. <그림 5>의 (b)는 점접의 작동 원리인데 금형에 닿는 끝 부분이 다이알 게이지(dial gauge)와 같은 원리로서 어느 정도 눌러지면 점접 신호가 OFF에서 ON으로 된다.

사이드판 금형을 <그림 5>의 (c)와 같이 NC기계의 원형 테이블(C축) 위에 누운 형태로 고정하면 프로파일은 <그림 5>의 (d)처럼 XZ평면에 있게 된다. NC기계에 공구 대신 장착한 측정기를 일정한 간격으로 수평이동(X축)하면서 그 때마다 측정기가 바닥에 닿을 때까지 수직이동(Z축)하면 금형 바닥의 높이를 알아낼 수 있다. 실제로는 Z축의 값을 미리 예상할 수 없으므로 적당한 안전높이에서 -Z방향으로 이동하면서 측정기의 점접이 ON되는 순간의 Z축의 값을 측정해야 한다. 다음 측정점도 다시 안전 높이로 이동한 후 계속 같은 방법으로 측정하면 원하는 X축 구간의 Z축의 값을 모두 구할 수 있다. 즉,

XZ평면에서 지정한 X축 좌표에 해당하는 Z좌표 값을 알아내어 프로파일 곡선을 지나는 점렬을 구하는 것이다.

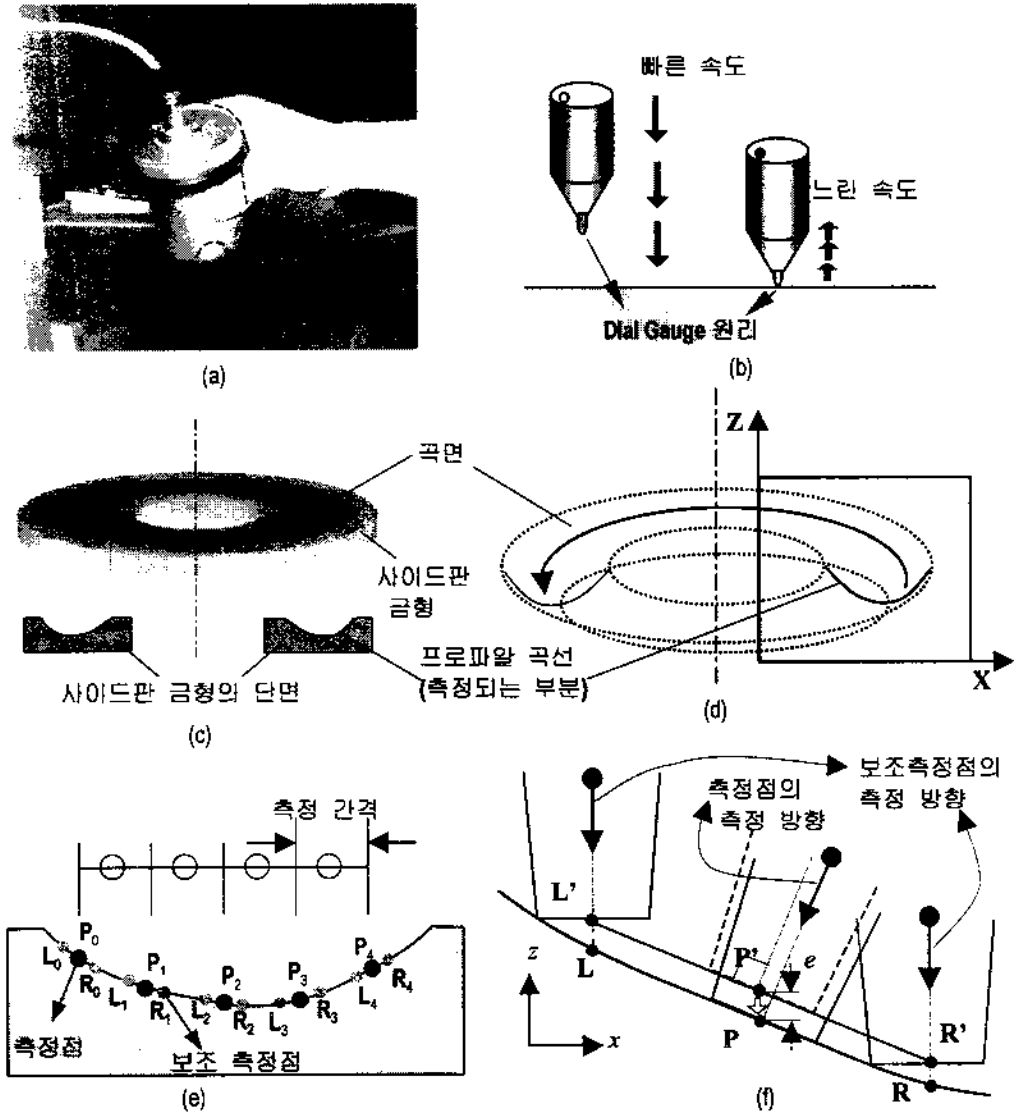
측정 간격은 좁을수록 프로파일의 정확성을 높일 수 있겠지만 측정 시간이 많이 소요된다. 측정 시간은 측정기의 이동 속도에도 관련이 있는데, 측정기를 너무 빠른 속도로 이동하면 정확도가 떨어진다. 본 연구에서는 측정기가 금형으로 접근할 때의 이동 속도를 빠르게 하고 점점 포착을 위한 이동 속도를 느리게 하여 측정 시간을 줄이고 측정치의 정밀도를 높일 수 있었다. 즉, 측정을 시작하는 안전 높이에서 빠르게 내려가면서 점점이 ON되면 멈추고 다시 천천히 위로 올라가면서 점점이 OFF되는 순간의 높이를 측정치로 결정하도록 하였다(<그림 5>의 (b)참조).

실제로 측정할 때에는 사이드판의 바닥면에 닿는 측정기의 끝부분의 모양 또는 접촉하는 순간에 끝부분이 좌우 방향으로 미끄러지는 현상 때문에 오차가 발생하게 된다. 이 오차는 측정기를 곡선의 법선 방향으로 접근시킴으로써 없앨 수 있는데 먼저 <그림 5>의 (e)와 같이 측정점 근처의 오른쪽과 왼쪽을 측정하여 측정점의 접선 방향을 구한다. ZX평면에서 이 접선 방향과의 수직방향이 프로파일 곡선 위의 측정점에 해당하는 법선 방향이 된다. ZX평면의 법선 벡터는 Y축 방향이므로 Y축을 중심축으로 측정기를 회전하면 되는데 NC기계에서는 B축의 값을 조정해 측정기를 법선 방향으로 기울일 수 있다. 이처럼 보조 측정점을 이용해 구한 법선 방향으로 측정기를 기울여 곡면에 접근함으로써 오차가 거의 없는 측정치를 구할 수 있다.

예를 들어 <그림 5>의 (e)에서 측정점 P를 측정하기 위해서 보조 측정점 L, R를 먼저 측정하는 방식으로 전체 측정점을 L<sub>0</sub>, R<sub>0</sub>, P<sub>0</sub>, L<sub>1</sub>, R<sub>1</sub>, P<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, R<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>, ...의 순서로 측정한다. 측정기를 기울여야 할 B축의 값을 P위치의 법선 방향을 구하면 결정된다. <그림 5>의 (f)와 같이 보조 측정점 L과 R위치에서 측정기를 수직으로 세워 L', R'을 구하고 이 점들에 의해 P'와 그 점에서의 단위법선벡터 n(nx, nz)을 구할 수 있다. 이 단위법선벡터의 방향으로 측정기를 기울여서 P에 접근하면 측정점 P와 측정점 P'와의 오차 e를 보정한 측정치를 산출할 수 있다. 측정점 P의 단위법선벡터 n은 시작점과 끝점이 L'과 R'인 직선의 기울기가 m일때 다음과 같이 구할 수 있다.

$$n = (nx, nz) = N / |N| \quad (\text{단, } N = (1, -1/m))$$

측정한 프로파일은 ZX평면상의 점렬의 형태인데 이 점렬 P



〈그림 5〉 사이드판 금형의 프로파일 측정 (a)측정기 (b)접점 동작 원리 (c)사이드판 금형의 단면 (d)단면의 프로파일 곡선에 의한 곡면 (e)측정 위치와 순서 (f)측정 오차의 보정

를 프로파일 데이터로 보관한다. 가공 데이터를 산출할 때는 저장된 점렬을 곡선으로 변환하여 프로파일로 이용한다.

### 3.2. 베지어 곡선 피팅

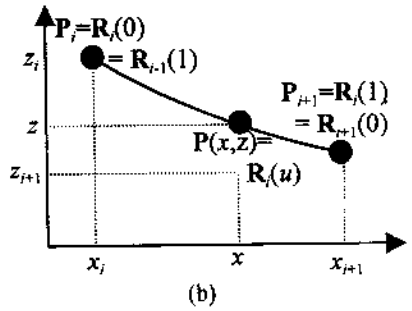
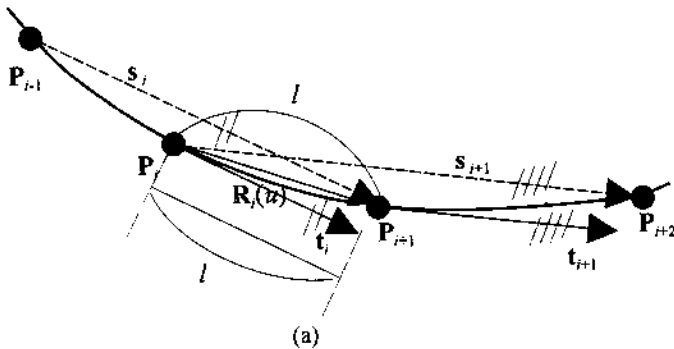
측정한 프로파일 점렬은 실제로는 사이드판 바닥면의 단면에 해당하는 곡선을 지나는 점이다. 따라서 실제 가공할 때는

이 점렬을 지나는 곡선을 알아야 임의의 위치에서의 정확한 법선 벡터를 구할 수 있다. 측정된 점렬을 지나는 부드러운 곡선으로 팻팅하면 이 곡선을 사이드판의 단면 곡선으로 정의할 수 있는데 본 연구에서는 점렬을 지나는 복합 베지어 곡선을 형성하는 방법을 이용하였다[4]. 각 측정 구간의 두 측정점을 시작점과 끝점으로 하는 3차 베지어 곡선을 형성하는데 각 측정점에서는 다음 베지어 곡선과 접선 연속을 만족하도록 해야

한다. 매개변수형으로 곡선의 식을 구하면 XZ평면에 있는 매개변수형 직선과 대응 관계를 쉽게 구현할 수 있고 법선 방향도 간단하게 계산할 수 있게 된다. 사이드판 바닥의 곡면에 문자 데이터를 투영하거나 역기구학 계산을 할 때 임의의 x위치에 해당하는 z값을 구하는 함수  $z=f(x)$ 가 필요한데  $f(x)$ 는 비매개변수형 곡선의 식으로 정의될 수 있다.

예를 들어 각 측정점 구간을 <그림 6>의 (a)와 같이 각 측정점 구간에서 측정점  $P_i(x_i, y_i)$ 와  $P_i$ 와  $P_{i+1}$ 사이의 3차 베지어 곡선  $R_i(u)$ 를 구하면 <그림 6>의 (b)와 같이 해당 구간에서 곡선의 X축 좌표로 Z축 좌표의 값을 구하는  $z=f(x)$  함수를 다음 과정에 의해 구할 수 있다. 먼저 <그림 6>의 (a)와 같이 시작점  $P_i$ 이고 끝점이  $P_{i+1}$ 인  $s_i$ 와 평행하면서 길이는  $lP_iP_{i+1}$ 인  $t_i$ 를 구한다.  $t_i$ 는  $R_i(u)$ 를 퍼거슨 곡선의 식으로 할 때 시작점의 접선벡터이고 같은 방법으로 구한  $t_{i+1}$ 은 끝점에서의 접선 벡터이다. 베지어 곡선과의 관계에 의해 다음과 같이  $R_i(u)$ 의 네 조종점  $Q_{0i}, Q_{1i}, Q_{2i}, Q_{3i}$ 을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Q_{0i} &= P_i \\
 Q_{1i} &= P_{i+1} + (1/3) t_i \\
 Q_{2i} &= P_i - (1/3) t_{i+1} \\
 Q_{3i} &= P_{i+1}
 \end{aligned}$$



<그림 6> 측정된 점렬에 의한 프로파일(profile) 곡선 피팅(curve fitting)

구할 수 있다.

$$u = (x - x_j) / (x_{j+1} - x_j) \quad (\text{단, } x_j \leq x \leq x_{j+1})$$

이와 같이  $R_i(u) = (x', z')$ 를 구하면  $x'$ 가  $x$ 와 항상 같지는 않다. 그러나 곡선이 평활하므로 그대로 사용해도 큰 문제는 없다. 필요하다면 재귀적(recursive)으로 허용오차를 만족할 때까지 반복할 수 있다.

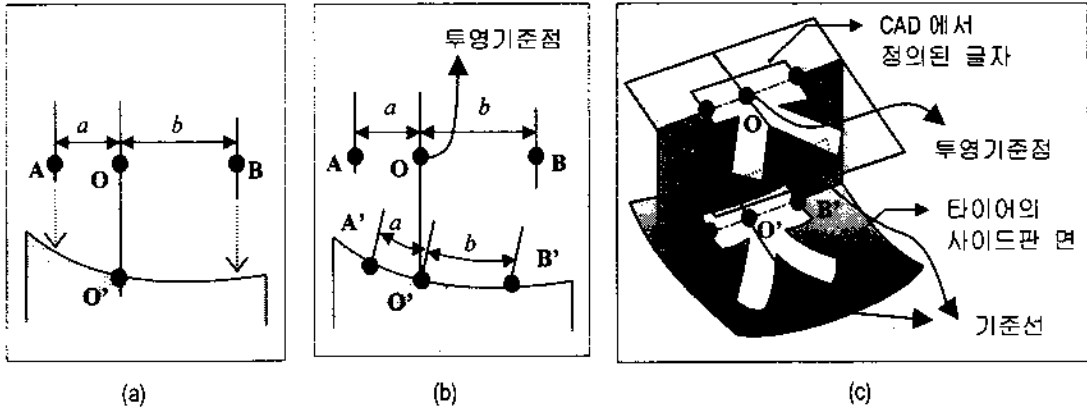
### 3.3. 투영

타이어 금형에 가공될 문자는 2차원 CAD시스템에 의하여 정의된다. 정의된 문자는 기계적 특성에 의하여 구해진 프로 파일에 투영함으로써 3차원 형상을 갖게 된다. 일반적으로 Z 방향 투영은 XY값에 따라 변하는 높이를 계산하는 것이지만 이 경우에는 단순한 투영이 아니다. 투영되었을 때 글자의 크기가 변하지 않는 것이라야 한다(<그림 7>의 (a) 참조). 전형적인 예는 원을 기울어진 면에 투영하면 타원이 되는 경우이다. 여기서는 이것을 '눌러붙임 투영'이라고 하였다.

이것을 계산하는 방법은 <그림 7>의 (b)와 같이 평면 상의 거리  $a$ 를 투영된 곡면 상의 호의 길이에 따라 변하는 것이다.

이와 같이 하면 측정 간격의 개수  $n$ 만큼의  $R_i(u)$  ( $i=1, \dots, n$ )를 구할 수 있다. <그림 6>의 (b)와 같이 곡선 위의 점  $P(x, z)$ 가 있을 때  $P(x, z) = R_i(u)$ 이므로  $x, z, u$  중에서 두 값만 알면 나머지 하나의 값을 구할 수 있다. 예를 들어 <그림 6>의 (b)에서  $x$ 좌표만 주어지고  $z$ 값을 모를 때 곡선의 식을 알고 있으므로  $u$  값만 구하면  $z$ 를 알 수 있다. 이때  $u$ 는 다음과 같은 방법으로

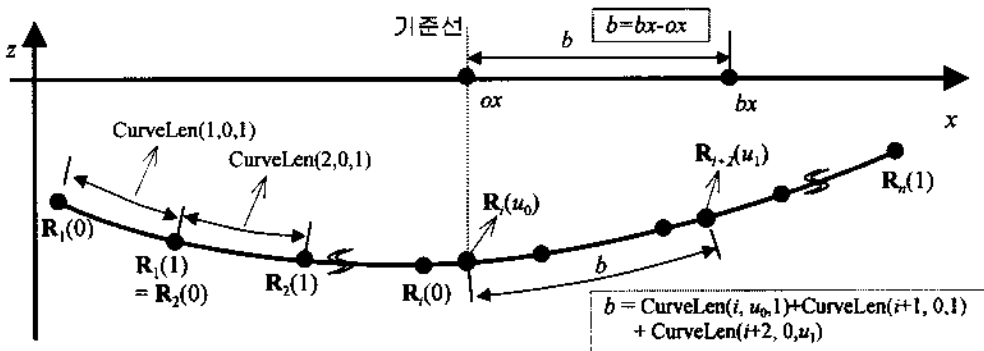
이때는 투영과는 다르게 기준 점이 필요하게 된다. 따라서 A가 A'로 투영되게 되는 것이다. 같은 방법으로 B는 B'로 투영된다. 투영될 곡선이 여러 개로 이루어진 복합 매개 곡선인 경우 특정 점이 투영된 점은 곡선의 인덱스와 매개변수로 표현될 수 있다. 기준 점에서 어떤 거리 만큼의 끝점을 찾으려면 간단한 방법으로 다음과 같이 구해볼 수 있다(<그림 8>참



〈그림 7〉 일반 투영과 불러블임 투영 (a)일반적인 투영 (b)불러블임 투영 (c)불러블임 투영의 예

```

Vertex2fv B_Projection (float ox, float bx)
{
    b = bx-ox
    for (i=1; i < n; i++) {
        if (xi,t - bx)(xi - bx) < 0) break;
    }
    u0 = (bx - xi) / (xi,t - xi)
    s = 0;
    while (i++ ≤ n) {
        s += Curve_len(i, u0, 1);
        if (s ≥ b) break;
        u0 = 1;
    }
    u1 = 1 - (s - b) / Curve_len(i, 0, 1);
    return (Ri(u1));
}
    
```



〈그림 8〉 불러블임 투영 방법



조).

먼저 기준점을 일반 투영하여 해당하는 곡선의 인덱스와 매개변수  $u_0$ 를 구하고, 그 다음에 곡선의 길이를 누적시키면서 거리  $b$ 와 비교하여 끝점에 해당하는 곡선의 인덱스와 매개변수  $u_1$ 를 구하면 된다. 이 방법으로 기준점이  $ax$ 이고 거리  $b$ 만큼 떨어진  $bx=ax+b$ 인 끝점에 해당하는 프로파일 곡선 위에 눌러붙임 투영된 점  $p(x,z)$ 를 구하는 과정을 프로그램으로 표현하면 <그림 8>과 같다.

### 3.4. 역기구학

역기구학은 가공이 일어나는 공구의 말단부 위치(Cutter Contact Point)와 그 점에서의 방향 벡터를 이용하여 각 축의 이동량이나 회전량을 계산하는 것을 말한다[5]. 본 논문의 4축 NC기계는 X,Z,B,C축을 갖고 있는데 투영에 의해 구한 곡면 위의 형상은 공구가 가공하도록 각 축의 값을 계산해야 한다. 가공에서 고려해야 할 것은 공구의 중심 축이 가공하려는 곡면(문자가 투영된 곡면)에 법선 방향이어야 한다는 것이다.

가공하려는 곡면은 프로파일을 360°만큼 Z축을 중심으로 회전한 것과 같으므로 만일 C축을  $-c$ 만큼 회전한다면 그 후의 공구의 움직임은 XZ평면에서 이루어 지게 된다. XZ평면에서는 프로파일(곡선)의 법선 방향으로 공구가 기울어지므로 기

울어짐 각도  $b$ 는 법선 벡터에 의해 쉽게 구할 수 있다. 가공점  $(x,y,z)$ 가 주어지고 XZ평면에서의 프로파일의 법선 벡터가  $(nx, nz)$ 로 주어졌다면  $b, c$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$b = \text{atan2}(nx, nz)$$

$$c = \text{atan2}(x, y)$$

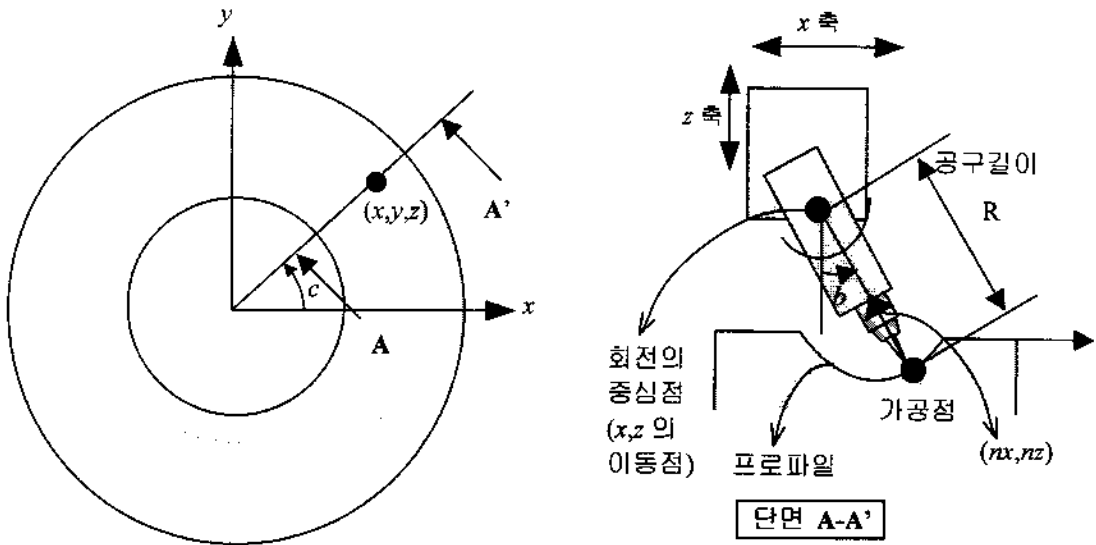
이때  $(x, z)$ 의 이동 점은 (<그림 9> 참조) 다음의 식으로 구해진다.

$$x_m = x + \text{공구길이} \cdot nx$$

$$z_m = z + \text{공구길이} \cdot nz$$

이에 의하여 곡면 상의 한 점을 가공하기 위하여 기계에 지령해야 할 이동량은  $(x_m, z_m, b, c)$ 이다.

평면 상의 문자 데이터가 눌러붙임 투영을 거쳐 3차원 형상을 가지고 역기구학 계산을 하면 이동량이 산출되는데 이 값이 각 축을 움직이는 가공 데이터이다.



<그림 9> 사이드 판의 4축 가공을 위한 역기구학

### 4. 적용 사례

#### 4.1. 문자 가공용 4축 NC기계

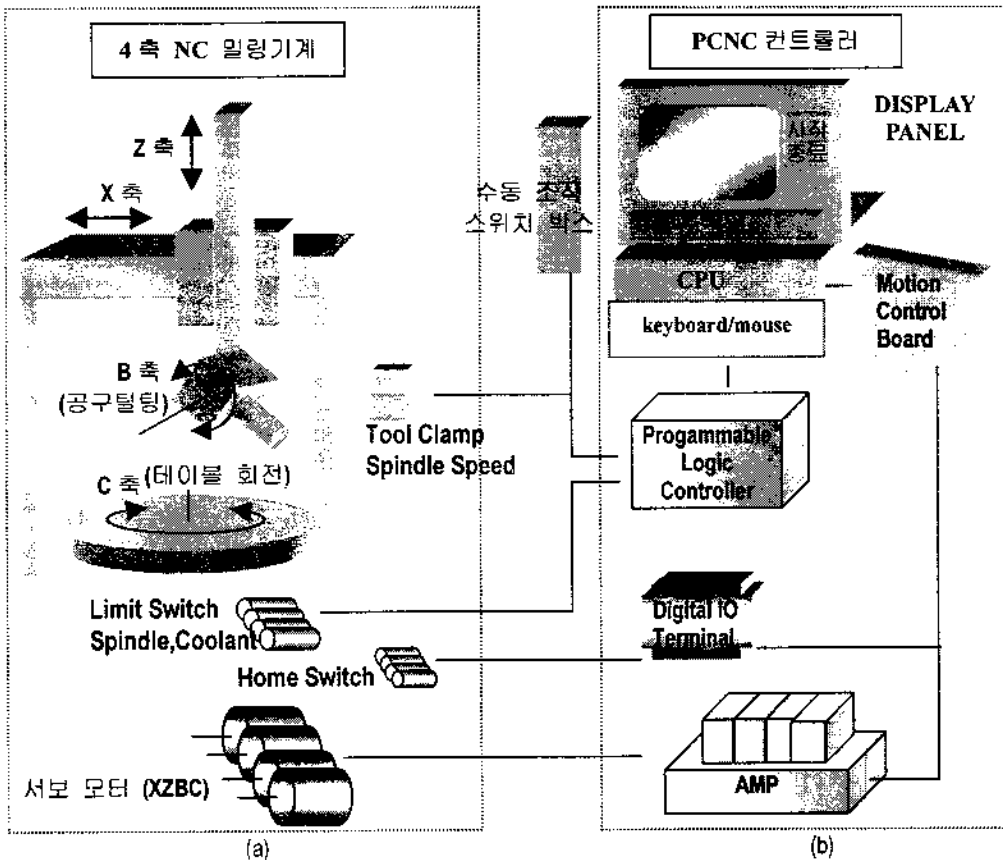
개발한 4축 NC기계는 본 논문에서 제안한 방법이 적용 가능한 기구적 구조를 가지고 있다. X,Z,B,C의 4축 중에서 X,Z는 직선운동이며 공구를 상하 좌우로 움직이고 B축은 Y축 방향을 중심축으로 회전하며 공구를 킬링한다. C축은 Z축 방향을 중심축으로 원형 테이블을 회전하는 방향인데 이 테이블 위에 사이드판 금형이 놓여진다.

각 축의 구동은 서보 모터를 사용하였는데 컨트롤러에서 보내오는 신호로 지정된 속도와 방향으로 지령한 만큼 회전한다. X,Z축에 회전 운동을 직선운동으로 변환하기 위해서 볼스크류 장치를 이용하고 B,C축에는 감속장치(harmonic drive)가

있다. 따라서 4축은 모두 모터의 회전 수와 실제 각 축의 움직이는 길이 또는 각도와 관련된 각각의 감속비를 가지고 있고 CNC컨트롤러에서는 이 값을 이용하여 모터의 모션 제어를 위한 지령치(펄스)를 계산한다.

#### 4.2. PCNC컨트롤러의 구성

제작된 PCNC컨트롤러는 크게 세 부분으로 구성되어 있는데 (1)모터와 이를 구동하기위한 드라이버 장치, (2)액츄에이터, 전원 등을 작동시키는 접점을 제어하기위한 PLC 등의 장치, (3)이 두 가지를 제어하는 중앙 제어부(CPU) 역할의 컴퓨터 장치가 있다. 기계에 관한 구성은 <그림 10>의 (a)와 같고 컨트롤러 내부의 각 장치 구성은 <그림 10>의 (b)와 같다. 실제로 개발된 시스템은 <그림 11>의 (a)와 같고 (b)는 문자 가

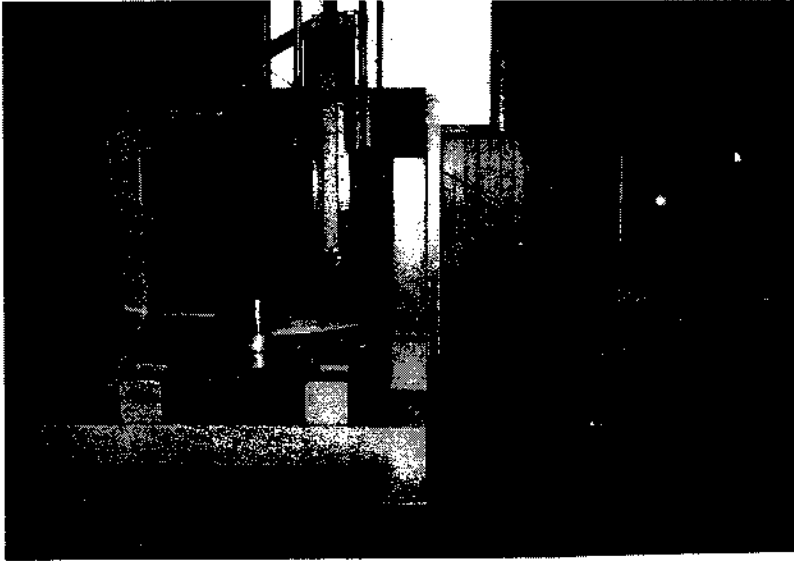


<그림 10> 4축 문자가공 시스템의 하드웨어 구성 (a)4축 NC기계 (b)4축 NC컨트롤러

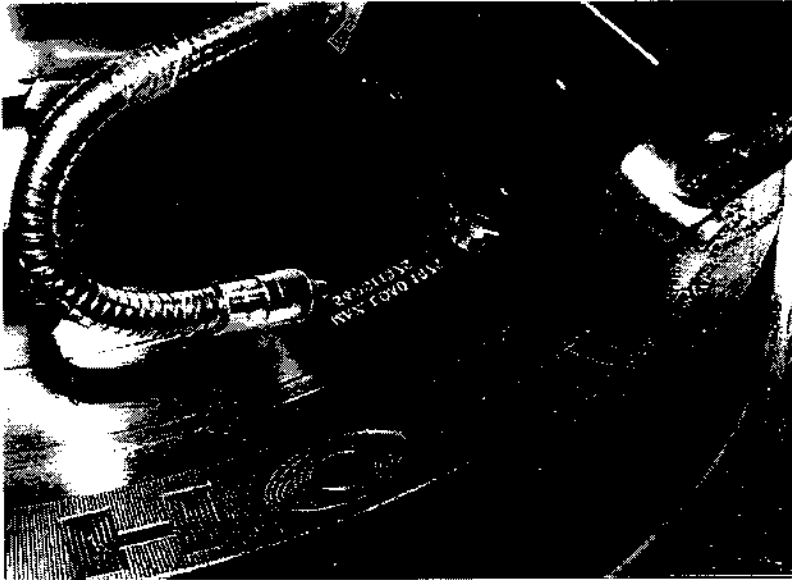
공 모습이다.

가공 데이터의 X,Z,B,C축에 해당하는 위치 및 각도와 가공 속도는 감속비와 모터 회전 속도 등을 감안한 디지털 값의 지

령치로 변환되는데 앰프가 이 값을 서보 모터가 구동되는 전기적 신호로 변환하고 지령한 값에 모터의 움직임이 계속 추종하도록 해준다.

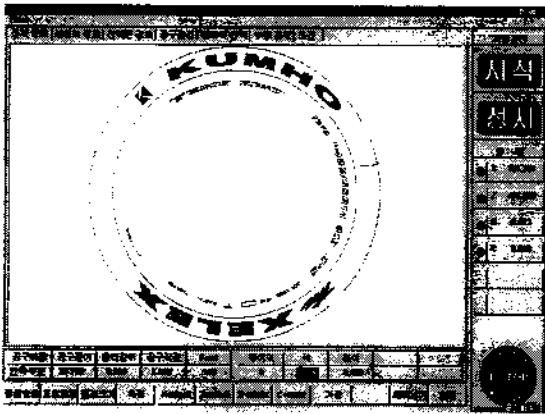


(a)

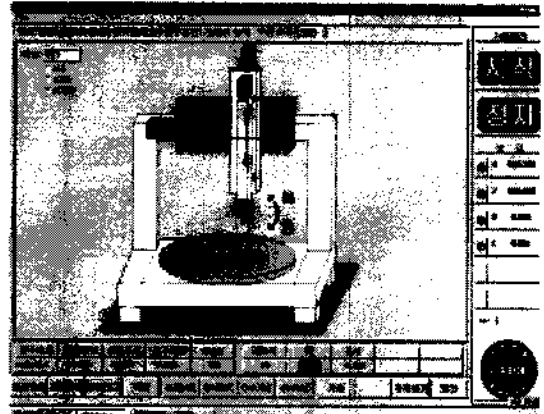


(b)

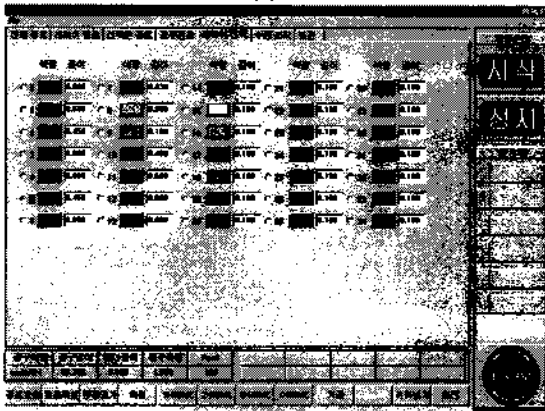
<그림 11> 개발된 사이드판의 문자 가공을 위한 4축 가공 시스템과 문자 가공 (a) 4축 컨트롤러 및 NC 기계 (b) 실제 문자 가공 모습



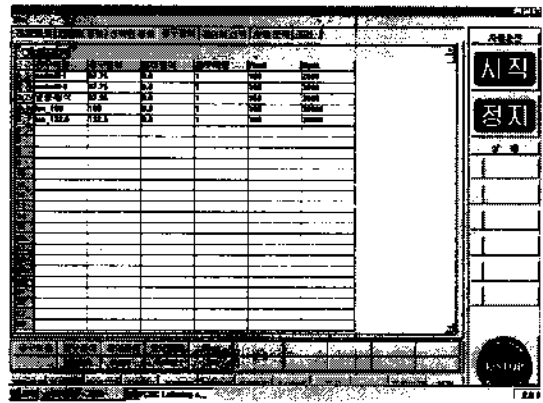
(a)



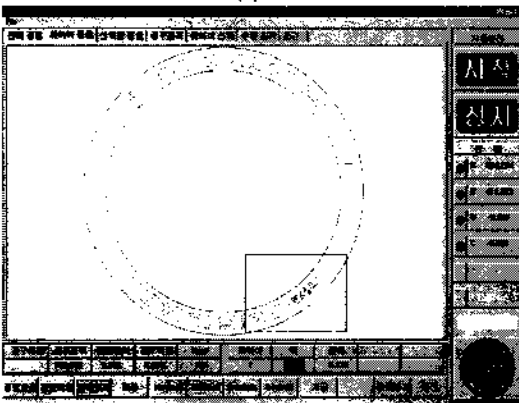
(b)



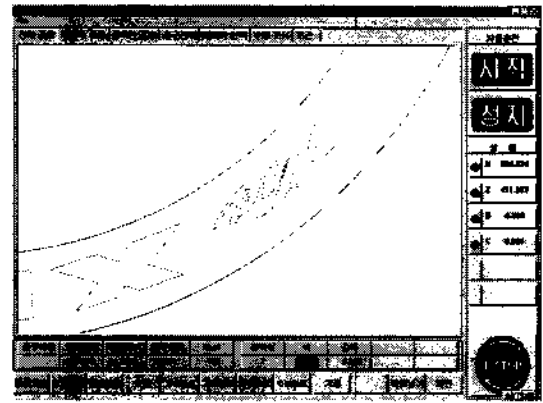
(c)



(d)



(e)



(f)

〈그림 12〉 개발된 PCNC 컨트롤러의 MMI(Man Machine Interface)의 예 (a) 문자 데이터 (b) 수동 조작(JOG MODE) (c) 레이어 관리 (d) 공구 관리 (e) 가공 영역의 선택 (f) 선택된 영역의 확대

접점 제어는 컨트롤러의 공구의 착탈이나 절삭유, 스핀들 제어 뿐 아니라 전원 공급과 차단 순서나 비상 정지 등의 안전 장치 등을 위해 필요하다. 접점 제어를 위한 로직(logic)은 래더(ladder) 프로그램으로 작성하여 PLC(Programmable Logic Controller)에 내장하였다[6]. 가공 데이터에 의해 자동으로 제어되는 절삭유나 스핀들은 디지털 입출력 단지(Digital Input/Output Terminal)를 이용하였다. 디지털 입출력 단지는 접점이 간접적으로 이루어지는데 한 쪽의 과전류 등을 차단해 줄 수 있다.

컴퓨터 장치는 가공 데이터를 해석하고 모션 및 접점 제어를 위한 값으로 변환해 주는 일반적인 역할을 수행한다. 개발된 PCNC컨트롤러는 일반 CNC기능 및 그래픽 CAM모듈을 구현한 소프트웨어와 함께 대용량의 보조기억장치를 내장하고 있어 각종 데이터를 독립적으로 관리하며 재사용할 수 있다.

#### 4.3. 소프트웨어 구성 및 사용자 인터페이스(Man Machine Interface)

소프트웨어는 크게 세 부분으로 구성되어 있는데 (1)일반 CNC컨트롤러가 가지는 기능을 구현하기 위한 CNC관련 모듈과 (2)사이드판의 가공을 위한 전용CAM관련 모듈 그리고 (3)작업자와의 인터페이스 모듈이다.

개발된 CNC컨트롤러는 PC기반의 개방형 구조이므로 일반 CNC컨트롤러 역할을 구현하는 소프트웨어 모듈을 모두 작성해 주어야 한다. CNC컨트롤러에서는 모터의 모션 제어와 각종 접점을 관리하는 기능이 매우 중요하다. 이 기능의 모듈은 해석된 가공 데이터의 내용에 따라 각 축의 모터와 각종 액츄에이터와 스핀들 등을 실제로 동작시킨다. 사용한 서보 모터는 펄스로 모션을 제어하는데 각 축의 좌표와 모터의 감속비를 고려하여 지령할 펄스를 계산할 수 있다. 예를 들어 4000 펄스로 1회전하는 모터가 1:900의 감속비라면 5도를 움직이기 위해  $4000 \times 900 \times (5/360) = 50000$  펄스를 지령하면 된다[7]. 컨트롤러의 전원과 비상 정지에 관련된 접점은 PLC에 의해 제어된다[6].

CAM관련 모듈은 본 논문에서 제안된 가공 데이터 산출 및 측정과 곡선 피팅 등의 계산 방법 등이 프로그래밍되어 있다. PCNC컨트롤러는 자체의 보조기억장치로 방대한 데이터의 관리가 가능할 때 저장된 문자 데이터나 측정된 프로파일은 언제든지 재사용이 가능하다. 스핀들이나 절삭유의 ON/OFF 접점은 CAM모듈의 프로그램에 의해 DIO로 제어된다.

작업자가 직접 조작하는 조작판은 모두 그래픽 사용자 인터

페이스이다. 예를 들어 일반 CNC컨트롤러처럼 가공 데이터 파일의 이름을 버튼으로 선택하지 않고 화면에 디스플레이된 문자 데이터에서 마우스로 가공 영역을 설정하여 가공을 수행한다. 수동 조작 모드는 화면의 그림을 보면서 직감적으로 조작할 수 있다. <그림 12>에서 이 같은 기능의 조작판 화면을 보이고 있는데, 이러한 MMI의 구축은 그래픽 CAM모듈과 일반 CNC컨트롤러 기능이 한 곳에서 이루어지는 개방형 PCNC컨트롤러이기 때문에 가능하다.

## 5. 결론

타이어의 사이드판 금형은 3축 가공으로는 가공 형상의 제약이 있고, 평면에서 디자인된 문자 데이터를 일반적인 투영 방법으로는 치수가 왜곡된다. 본 논문에서는 사이드판 금형의 프로파일 측정, 평면에서 디자인된 형상을 허용오차 내에서 치수의 왜곡 없이 프로파일 곡선에 의한 곡면에 투영하는 방법, 곡면에 투영된 형상을 가공하기 위한 4축 가공 데이터를 산출하는 역기구학 계산 방법 등을 제안하였다. 또한 제안된 방법을 4축 NC기계와 개방형 구조의 PCNC컨트롤러 시스템을 개발하여 적용함으로써 PCNC의 이용 가능성을 제시하였다.

본 논문에서 제안된 4축 문자 가공 시스템은 실제 산업 현장에서 사용 중이며 타이어 금형의 납기 단축 및 가공 정밀도 향상에 크게 이바지할 것으로 기대된다.

## 【참고 문헌】

- [1] 이철수, 자동차 타이어 모델의 곡면 모델링 및 5축NC가공, 산업공학, 9권, 2호, pp. 129 - 141, 1996.
- [2] LANG GmbH&Co.KG, LCAD Manual, LANG, 1995.
- [3] OSEC, <http://www.mli.co.jp/OSEC/>.
- [4] I.D. Faux, M.J. Paratt, Computational Geometry for Design and manufacturing, Ellis Horwood Pub., 1979.
- [5] P.J.McKerrow, ROBOTICS, Addison Wesley, 1992.
- [6] LG산전, LG Master-K 시리즈 프로그래머블 로직 컨트롤러 프로그래밍 매뉴얼, 1995.
- [7] Motion Engineering Inc., Motion Controller Installation/Programming Manual, MEI, 1995.



이철수

한양대학교 산업공학과를 졸업하고 한국과학기술원 산업공학과에서 석사와 박사학위를 받았다. 현재 전남대 산업공학과 부교수로 재직 중이다. 관심분야는 CAD/CAM과 CNC 컨트롤러이다.



박광렬

전남대학교 산업공학과에서 학사학위와 석사학위를 취득하고 현재 전남대학교 산업공학과 박사과정에 재학 중이다. CAD/CAM 분야를 공부하고 있다.

97년 10월 최초접수, 98년 2월 최종수정