

자동차 타이어 모델의 곡면 모델링 및 5축 NC 가공*

이철수**

Surface Modeling and 5-axis NC machining of Automobile Tire Model

Cheol Soo Lee

〈Abstract〉

Recently, the tire mold of a passenger car is made almost via aluminum casting, and it is necessary to prepare a master model of the tire for the casting. Because of the geometrical feature of tire, as well known, the master model must be machined by a 5-axis NC machine.

The paper proposes a procedure to model and machine the master model. The approach includes (a) transformation of 2D drawing of tire into 3D geometry, (b) modeling surfaces of tire, and (c) inverse kinematics of a 5-axis NC machine. An implementation of the proposed procedure is also presented.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 필요성

소비자의 다양한 욕구는 이제 제품의 품질은 물론 제품의 형상까지 이르고 있다. 타이어를 구매하는 소비자의 취향도 변하여 타이어의 기본적인 역할인 제동력, 조용하고 안락한 주행 등을 고려하기 보다는 오히려 제품의 겉 모습에 더욱 신경을 쓰는 경향으로 바뀌었다. 이것은 타이어의 기능적인 측면의 기술이 발전하여 소비자의 요구를 만족시키고 있다는 반증일 수도 있다. 따라서 소비자는 타이어의 형상이 '예쁘다'든지 '깨끗하다'는 등의 느낌으로 타이어를 구매하게 된다. 이것은 젊은 운전자와 여성 운전자가 증가하면서 더욱 많아지는 현상이다.

이런 현상에 따라서 타이어 회사는 다양한 종류의 타이어 형상을 생산하여 수많은 소비자의 요구를 만족시킬 수 있도록 하고 있다. 그러기 위해서는 타이어 금형이 빠르게 개발되어야 한다. 그러나 기존의 수작업에 의한 타이어 생산 방법에 의해서는 요구되는 납기를 만족시킬 수 없고 금형의 품질도 요구되는 만큼 향상시키기가 쉽지 않다.

따라서 컴퓨터를 이용한 타이어의 금형 생산이 필요하게 된다. CAD/CAM에 의한 가전 제품이나 자동차 금형의 생산은 일반화되어 있지만 타이어 금형의 생산은 매우 제한되어 있다. 그 이유는 타이어 금형을 가공하려면 필연적으로 5축 기계를 사용하여야 하기 때문이다. 가전 제품이나 자동차의 금형을 생산할 때 사용되는 방법은 3축 기계에 의한 것으로 5축 기계는 3축 기계와 달리 기계 형태에 따라 기구학

* 본 연구는 세화기계(주)와의 산학협동 연구에 의하여 이루어졌음.

** 전남대학교 산업공학과

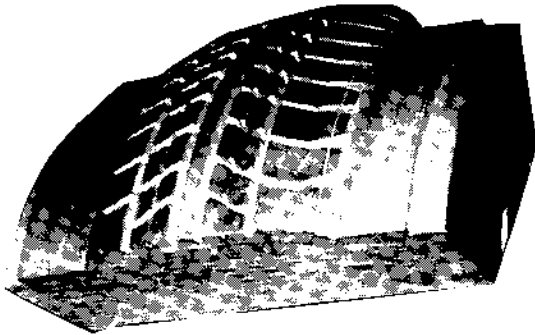
(kinematics)적인 측면이 바뀌므로 적용이 그만큼 어렵다. 이런 어려움 때문에 5축 기계는 매우 제한적으로 사용되고, 완벽하게 5축을 제어할 수 있는 CAD/CAM 시스템이 그렇게 많지 않다. 현재 5축 기계를 보편적으로 이용하는 분야는 터빈 블레이드나 선박의 스크류, 항공기의 일부 부품의 가공 등이다.

타이어 금형의 CAD/CAM화를 지연시킨 또 다른 이유는 타이어 금형을 표현하는 도면의 특수성 때문이다. 타이어 무늬를 나타내는 도면은 전개도로 표시되는데 그런 도면을 가지고 3차원 형상을 만들어 내는 방법을 지원하는 CAD/CAM 시스템이 적다. 따라서 타이어의 도면 표현 방법을 형상 모델링으로 변환하는 방법이 필요하게 된다.

1.2 연구의 범위

일반적으로 타이어 금형을 가공하기 위해 CAD/CAM화를 행하는 분야는 트레드의 마스터 모델(master model of tread)과 사이드 판(side plate), 로스트 왁스법을 위한 금형 등이다.

트레드의 마스터 모델은 <그림 1>과 같이 알루미늄 주조에 의해 타이어 금형을 제작하기 위한 것으로 타이어의 트레드 부분을 3차원 형상으로 모델링하고 그것을 NC 기계에 의하여 가공하는 것이다. 이 분야는 특히 5축 NC 가공을 하여야 하는 부분으로 본 연구의 핵심이다.



<그림 1> 수작업으로 제작된 타이어의 마스터 모델

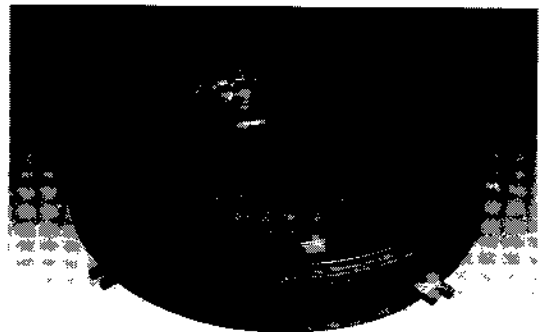
사이드 판 분야는 타이어의 시각적 효과가 중요해짐에 따라 타이어에 새겨지는 문자에 많은 노력을 기울이고 있는데 타이어 옆면에 새겨지는 모든 글자를 CAD/CAM에 의하여 가공하는 것이다. 벡터 폰트를 이용하여 간단하고 정밀한 가공이 되도록 하는 것이다. 로스트 왁스의 형틀은 알루미늄 주조가 아닌 스틸(steel) 금형을 개발하기 위한 것으로 로스트 왁스를 위한 형(型)틀 제작을 5축 NC 가공에 의하여 이루어지도록 하는 것이다.

본 논문에서는 타이어 금형의 도면을 이용하여 컴퓨터에 의한 곡면 모델을 만들고 그것을 5축 가공하는 방법론을 다룬다.

2. 타이어 금형

승용차용 타이어 금형의 종류는 아래와 같은 기준에 의하여 분류할 수 있다.

- 금형 구조에 따른 분류
 - Two-piece 금형
 - Segment 금형
- 금형의 제작 과정에 의한 분류
 - 로스트 왁스법(lost wax process)에 의한 방법
 - 알루미늄 주조에 의한 방법



<그림 2> Two-piece 타이어 금형

· 소재에 따른 분류

- 스틸(steel)
- 알루미늄(aluminum)

〈그림 2〉는 two-piece 금형을 보여 주고 있는데 이것은 금형을 원주 방향으로 둘로 나누는 방법이다. 이와는 다르게 타이어 중심을 기준으로 8개의 조각으로 나누어 금형을 제작하는 것을 segment 금형이라 한다. 〈그림 3〉은 segment 금형의 조각 형상을 보여 주고 있다.



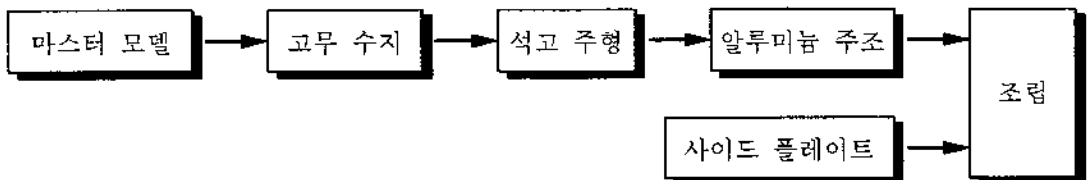
〈그림 3〉 Segment 타이어 금형

라 한다. 〈그림 3〉은 segment 금형의 조각 형상을 보여 주고 있다.

로스트 왁스 법에 의한 금형의 제작 과정은 먼저 선반에 의하여 타이어의 주요 회전 형상을 가공한다. 선반에 의하여 가공되므로 타이어의 무늬(일반적으로 rib 또는 groove라 한다)는 가공할 수 없다. 선반에 의하여 가공된 면에 타이어 무늬를 부착하는데 이 때 부착하는 무늬는 다른 제작 과정에 의하여 만들어진다. 무늬를 만드는 과정 중에서 대표적으로 사용되는 방법은 로스트 왁스 법(lost wax process)이다. 로스트 왁스법에 의하여 만들어지는 무늬는 수작업에 의하여 부착된다. 이 금형은 제작 과정이 복잡하고 수작업이 많기 때문에 이 금형으로 타이어를 생산하였을 때 표면이 거칠어질 우려가 있다. 이 금형의 재질은 대부분 스틸이다.

요즘 각광 받고 있는 승용차 용 타이어 금형은 알루미늄 주조에 의한 것이다. 알루미늄 주조를 위해서는 주형이 필요한데 그 주형은 석고로 제작하게 된다. 이를 위해 마스터 모델이 필요하다. 마스터 모델을 수작업으로 만드는 경우는 석고를 이용하여 조각하고 NC 가공에 의하여 만드는 경우는 절삭성이 매우 좋은 인공 수지를 사용한다.

〈그림 4〉는 알루미늄 주조에 의한 타이어 금형의 제작 과정을 표시하고 있다. 완성된 마스터 모델을 이용하여 고무 수지(natural rubber 또는 silicone rubber)를 찍어내고 생성된 고무 수지에 필요한 형상을 덧붙이거나 수정하여 석고를 찍어낸다. 이 석고는 알루미늄 주조를 하는 주형이 된다. 알루미늄으로 주조된 금형은 기계 가공 후 조립되어 타이어 금형으로 완성된다. 알루미늄 금형은 표면 형상이 매끈하고 미려하여 발전된 타이어 금형으로 인정을 받고 있다.



〈그림 4〉 알루미늄 주조에 의한 타이어 금형 제작 과정

3. 5축 가공의 개요

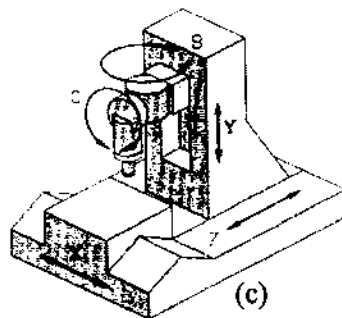
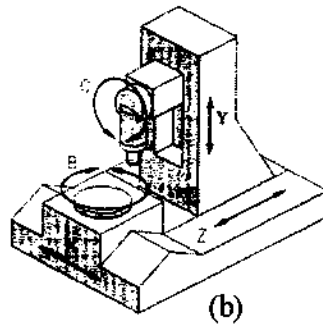
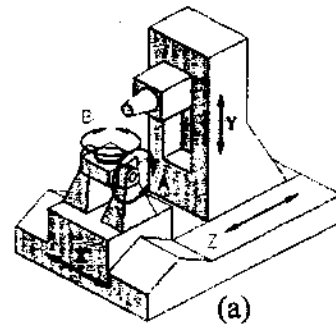
일반적으로 금형을 가공하는 방법은 3축 기계에 의한 것이 대부분이다. 3축 기계는 NC 프로그램 방법이 일반화되어 있어서 사용하기가 편리하지만 가공 형상에 언더컷이 있는 경우에는 가공물을 세롭게 세팅하지 않는 한 가공할 수 없다. 타이어 금형은 그 형상의 특성상 필연적으로 언더컷이 생길 수 밖에 없다. 따라서 타이어 금형을 가공하기 위해서는 5축 기계를 사용하여야 한다.

5축 기계는 기계의 기구학적 자유도가 5인 기계를 말한다. 5개 자유도는 공구의 위치를 결정하는데 3개가 사용되고 2개는 공구의 방향 벡터를 결정하는데 사용된다. 공구의 방향 벡터란 공구의 회전 중심 축이 가르키는 방향을 말한다. 수평형 3축 NC 밀링인 경우에 공구의 방향 벡터는 지면과 수평이고 수직형 3축 NC 밀링인 경우에 공구의 방향 벡터는 지면과 수직이다. 5축 기계는 공구의 중심 벡터가 임의의 방향을 가르키고 있으므로 언더컷이 있는 부분도 가공할 수 있게 된다.

5축 NC 밀링 기계를 기계적으로 구현하는 방법은 여러 가지가 있다. 그 중에 대표적인 것, 3개를 살펴 보면 아래와 같다.

- (i) 3축 NC 밀링과 2축 로터리 테이블을 사용하는 방법이다. <그림 5>-(a)와 같이, 로터리 테이블은 틸팅(tilting)이 되고 회전(rotating)된다. 로터리 테이블을 3축 NC 기계의 베드(bed) 위에 올려 놓으면 간단하게 5축 기계를 구현할 수 있다. 물론 NC 컨트롤러는 동시 5축을 지원할 수 있어야 한다.
- (ii) 1축 로터리 테이블과 공구가 틸팅(tilting)되는 4축 기계를 사용하는 방법이다. <그림 5>-(b)와 같이 회전하는 로터리 테이블이 있고 기계의 주축이 틸팅이 된다면 5축 기계가 되는 것이다.
- (iii) <그림 5>-(c)와 같이 NC 기계의 주축이 틸팅될 뿐만 아니라 수직 또는 수평축을 중심으로 회전하는 기계를 이용하는 방법이 있다.

기계 제작 업체의 입장에서 보면 (i)번이 가장 제작하기 쉽고 (iii)번이 가장 제작하기 어렵다. 그러나 (i)번은 로터리 테이블의 크기를 크게 하면 오히려 비용이 증가하고 기계적 강성이 좋지 않으므로 대형 또는 중량이 큰 가공물은 가공할 수 없다는 단점이 있다. 대형의 중량물을 가공하려면 (ii)번이나 (iii)번 기계를 사용하는 것이 좋다. 그러나 5축 기계는 어떤 기계를 사용하든 기계적 강성이 3축 기계보다 좋아지는 않는다. 여기서 가공될 제품은 가공물이 작으므로



<그림 5> 5축 기계의 예 : (a) 테이블이 회전/틸팅되는 기계,
(b) 테이블이 회전되고 주축이 틸팅되는 기계,
(c) 주축이 회전/틸팅되는 기계

(i)의 방법을 택해도 무난할 것으로 보아 이 방법을 사용하였다.

5축 기계의 사용을 위해서는 위의 기계 구조에 맞는 NC 코드를 생성하여 주어야 한다. 5축 기계의 사용을 저해하는 요인 중의 하나는 5축 기계는 그 기계의 구조가 다르면 기구학적인 특성이 달라진다는 것이다. 앞에서 대표적인 5축 기계의 예로 설명한 기계도 각각의 기계마다 사용하는 NC 코드가 다르다. 따라서 어느 기계를 사용하느냐에 따라 그에 대한 기구학 또는 역기구학(inverse kinematics)을 구해 주어야 한다. 앞으로, 여기서는 (i)의 방법에 대해서만 설명하기로 한다. 현재 5축 가공에 관련하여 행하여지는 연구는 공구간섭의 체크에 치중하고 있는데 이에 따라 여러 성과가 나타나고 있다[1][2].

4. 타이어의 형상 모델링

4.1 타이어의 형상과 도면

타이어 금형을 제작 과정과 NC 가공할 형상을 중심으로 타이어 형상을 표시하는 용어를 정리하면 다음과 같다.

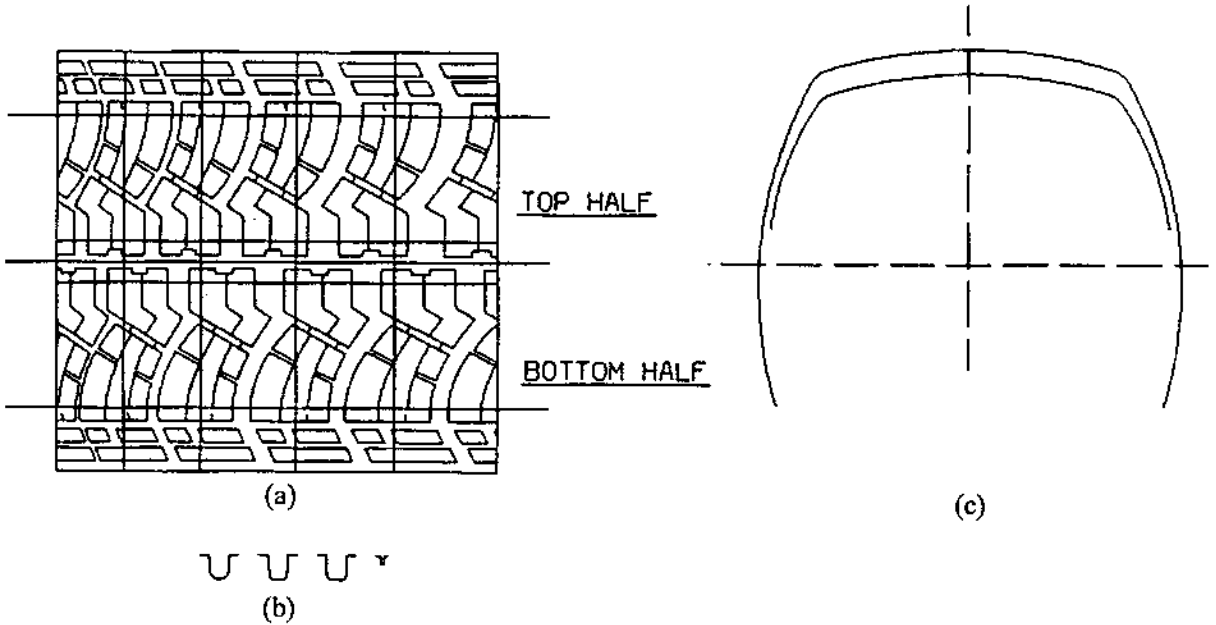
- 트레드(tread) : 노면과 접촉되는 부분이다. NC 가공을 위한 측면에서 보면 단순한 회전 곡면으로 가공하는 데에는 큰 문제가 없다. 5축 가공하면 사상을 하지 않아도 될 정도로 가공할 수 있지만 경우에 따라서 3축 가공을 하는 것도 가능하다. 여기서 만들어진 곡면을 트레드 곡면이라 한다.
- 리브(rib) 또는 그루브(groove) : 트레드에 파진 홈 부분으로 타이어의 조종 안정성과 견인력, 제동력 등의 기능을 한다. 트레드에 연결되는 형상으로 5축 가공이 필수적이다. 이것을 리브 곡면이라고 한다.
- 사이프(sipe) : 리브보다 좁은 폭(약 0.5mm-1.0mm)을 가지고 있다. 단순히 5축으로 트레드를 따라

일정 깊이를 가공한다.

- 사이드 판(side plate, side wall) : 타이어의 옆 부분으로 자동차에 장착하였을 때 옆에서 보이는 부분이다. 타이어 메이커의 이름과 타이어의 이름이 새겨지는 부분이다. 소비자가 가장 많이 보는 부분이므로 깨끗하고 멋진 이미지를 주기 위해 노력한다. NC가공의 입장에서 표면은 NC 선반에 의하여 정확하게 가공할 수 있고 글자나 그림은 곡선을 5축 또는 4축으로 가공하여 완성한다.
- 핏치(pitch) : 타이어의 원주 방향으로 일정한 모양의 리브의 모임(군)이 반복된다. 이 리브의 군을 핏치라 한다. 핏치는 폭이 다른 것이 1개에서 5개가 무작위로 원주 방향으로 반복된다.

트레드의 마스터 모델은 트레드에 리브와 사이프를 포함한 것을 말한다. 마스터 모델을 표시하는 도면은 다음과 같은 정보를 담고 있다.

- 전개도 : <그림 6>-(a)와 같이 타이어 리브의 형상의 모양을 타이어의 윗면에 대한 전개도로 표시한다.
- 리브 단면도 : 타이어의 리브를 표시한다. <그림 6>-(b)와 같이 리브의 형상은 다양하고 NC 가공을 위해서는 이 형상을 프로그래밍 하는 것이 가장 중요하다. 타이어 면에 새겨진 홈이라고 생각하면 된다.
- 타이어 단면도 : <그림 6>-(c)는 타이어의 단면도를 나타내고 있다.
- 사이프 형상 : 사이프의 형상은 여러 형상인데 NC 가공이 아닌 후가공에서 처리되므로 NC 가공에서는 단순히 후가공을 위한 자리만을 표시한다.
- 핏치 배열 : 원주 방향을 따라 배열되는 핏치의 순서를 나열한다. 이것은 타이어의 무늬의 크기가 원주 방향으로 무작위로 배열된 것을 표시하는 것이다.



〈그림 6〉 타이어의 도면 : (a) 전개도, (b) 리브 사이프, (c) 단면도

4.2 곡면의 모델링

(1) 전개도를 3차원 도형으로 표현

타이어 형상의 모델링에서 가장 중요한 것은 전개도를 3차원으로 만드는 것이다. 예를 들어 〈그림 7〉과 같이 회전 곡면(surface of revolution)이 있고 곡선 $R(u)$ 이 전개도로 그려져 있다면 전개도의 곡선을 3차원으로 표현하는 방법은 다음과 같다. 곡선 $R(u)$ 상의 한 점이 (x,y) 로 주어졌다고 하자.

- (i) 회전 곡면의 단면 곡선의 시작점에서 거리가 y 되는 곳의 위치를 찾는다. 그 점을 (s,t) 이라고 하자(〈그림 7〉-(a)).
- (ii) 단면 곡선의 시작점에서 원점까지의 거리(타이어의 반지름)를 r 이라고 할 때 x 에 의하여 각도 a 를 다음과 같이 구한다(〈그림 7〉-(b)).
 $a = x/r$
- (iii) 위에서 구한 (s,t) , a 를 이용하면 곡면 상의 한 점 (P_x, P_y, P_z) 를 구할 수 있다(〈그림 7〉-(c)).

$$(P_x, P_y, P_z) = (0, s, t, l) \begin{pmatrix} \cos a & 0 & -\sin a & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin a & 0 & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & -r & 1 \end{pmatrix}$$

(2) 트레드 곡면

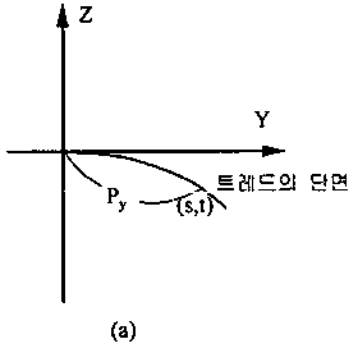
트레드를 곡면으로 모델링하는 방법은 타이어의 단면을 타이어의 원주 방향으로 회전하면 된다[3]. 트레드 곡면을 정의한 예는 〈그림 8〉과 같다.

(3) 리브 곡면

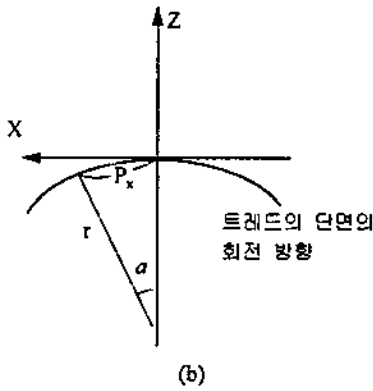
리브 곡면의 종류는 아래와 같다[4].

- 한 단면과 바닥 면이 일정한 R로 펠렛팅된 경우 (〈그림 9〉-(a))
- 양 쪽 단면과 바닥 면의 3면이 확장 반지름 ("FULL-R")으로 펠렛팅된 경우(〈그림 9〉-(b))
- 리브의 한 끝이 막힌 경우(〈그림 9〉-(c))

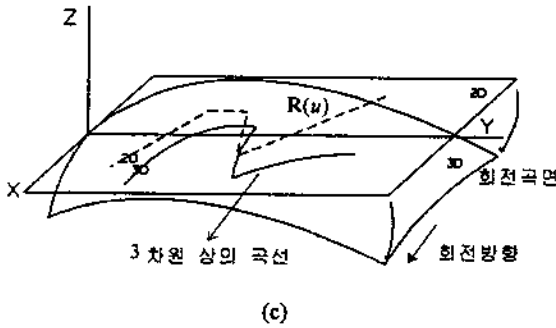
리브 곡면의 모델링 방법은 일반적인 곡면 모델링 방법과 비교하여 크게 차이가 없으므로 여기서는 단면과 바닥이 일정한 R로 펠렛팅되는 경우만 개념적으로 설명한다.



(a)



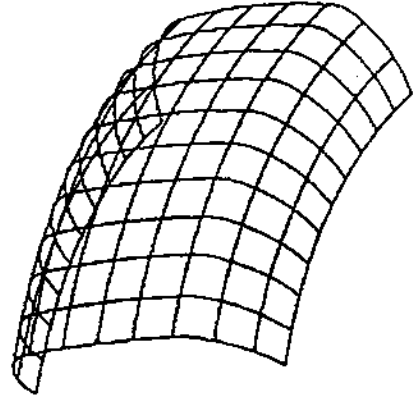
(b)



(c)

〈그림 7〉 전개도 상의 곡선을 트레드 곡면 위의 곡선으로 표현하는 방법 : (a) YZ 평면, (b) ZX 평면, (c) 3차원 뷰(view)

- (i) 우선 리브의 경계곡선 4개($R_1(u)$, $R_2(u)$, $R_3(u)$, $R_4(u)$ 라 하자)를 앞에서 언급한 전개도를 3차원화 하는 방법에 의하여 3차원 곡선으로 만



〈그림 8〉 트레드 곡면

든다. (〈그림 10〉-(a))

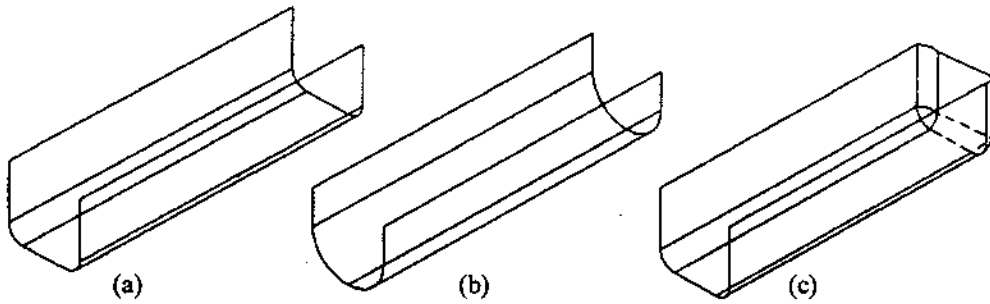
- (ii) 이웃하는 곡선을 이용하여 룰드(ruled) 곡면을 형성한다. $R_1(u)$ 과 $R_2(u)$, $R_2(u)$ 와 $R_3(u)$, $R_3(u)$ 와 $R_4(u)$ 에 의하여 3개의 곡면이 형성된다. (〈그림 10〉-(b))
- (iii) 이웃하는 곡면 사이를 정해진 반지름에 의하여 필렛팅하고 트리밍한다. (〈그림10〉-(c))

(4) 기타 형상

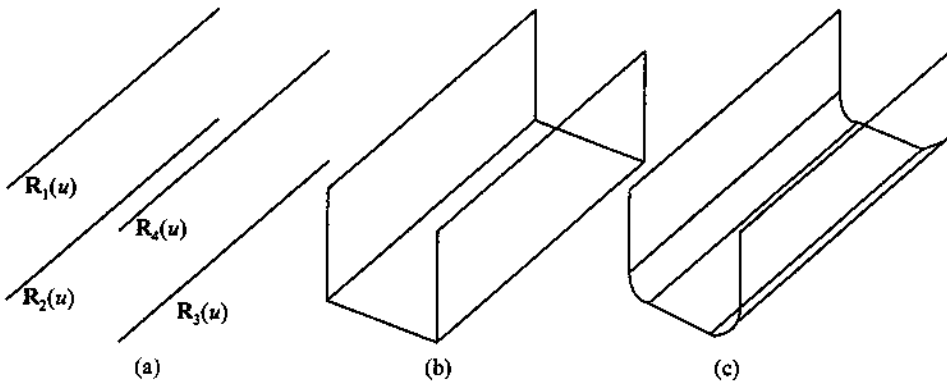
사이드는 후가공(사이드 형상을 철판 조각(blade)으로 만들어 부착함)에서 처리되는데 그 가공을 위하여 사이드 자리를 가공하여 주는 것이 필요하다. 사이드는 단순히 곡선으로 정의하여 그 곡선을 가공한다.

사이드 판에 가공되는 문자는 이미 정의된 벡터 폰트에서 불러들여서 사용한다. 벡터 폰트의 각 문자는 곡선으로 변환되고 곡선을 가공하는 모듈에 의하여 가공된다.

핏치는 정의된 기준 피치를 원주 방향으로 단순한 스케일링(scaling)에 의하여 정의된다. 각 핏치를 표시하는 리브 곡면과 사이드 곡선의 모임을 원주 방향으로 확대/축소, 이동하여 3차원 공간으로 옮겨 놓는다.



〈그림 9〉 리브 곡면의 종류 : (a) 일정 R 필렛팅, (b) 확산 반지름, (c) 한 끝이 막힘



〈그림 10〉 리브 곡면의 모델링 순서

5. 가공 데이터의 산출

5.1 CL 데이터의 산출

5축 가공을 위한 CL(Cutter Location)데이터에는 공구 중심 끝 좌표 값, $P=(P_x, P_y, P_z)$ 와 공구의 중심 축 데이터, $A=(A_x, A_y, A_z)$ 가 필요하다. 일반적으로 3축 가공에서는 공구 축의 벡터가 $(0,0,1)$ 로 고정되지만 5축 가공에서는 공구축의 벡터가 반드시 지정되어야 진정한 5축 가공을 하게 된다. 5축 가공에 의하여 정의된 곡면을 가공하는 방법은 대표적으로 다음의 3가지가 있다.

(i) 곡면의 법선 방향을 공구의 축 벡터로 하여 가공하는 방법 :

이 방법은 트레드 곡면을 가공하거나 리브 곡면의 바닥, 사이프, 글자의 가공을 위해 사용되는 방법으로 공구 축의 벡터가 바닥 곡면의 법선벡터와 같다(〈그림 11〉-(a)).

P = 곡면 상의 점

A = 곡면의 법선 벡터

(ii) 두개의 곡선을 공구의 측면이 가공하도록 하는 방법 :

이 방법은 리브 곡면의 측벽을 가공할 때 사용하는 방법이다(〈그림 11〉-(b)). 주어진 두 개의 곡선을 따라

서 공구의 측면에 의하여 가공한다. 만일 두 곡선이 $R_1(u)$, $R_2(u)$ 로 주어졌을 때 CL 데이터는 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$t = R_2(u) - R_1(u)$$

$$n_1 = \frac{R_{1u}(u) \times t}{|R_{1u}(u) \times t|} \quad n_2 = \frac{R_{2u}(u) \times t}{|R_{2u}(u) \times t|}$$

$$P = R_1(u) + r \cdot n_1$$

$$A = (R_2(u) + r \cdot n_2) - (R_1(u) + r \cdot n_1)$$

(단, $Ri(u)$ 는 $Ri(u)$ 의 1차 미분, r 은 공구의 반경)

(iii) 곡면의 법선 방향에서 공구가 일정 각도 기울어져 가공하도록 하는 방법 :

이 방법은 공구의 절삭력이 필요한 경우에 사용하는 방법이다. 본 논문에서 사용하는 가공 소재는 절삭성이 좋은 인공 수지이므로 이 방법을 사용하지 않는다(그림 11)-(c)).

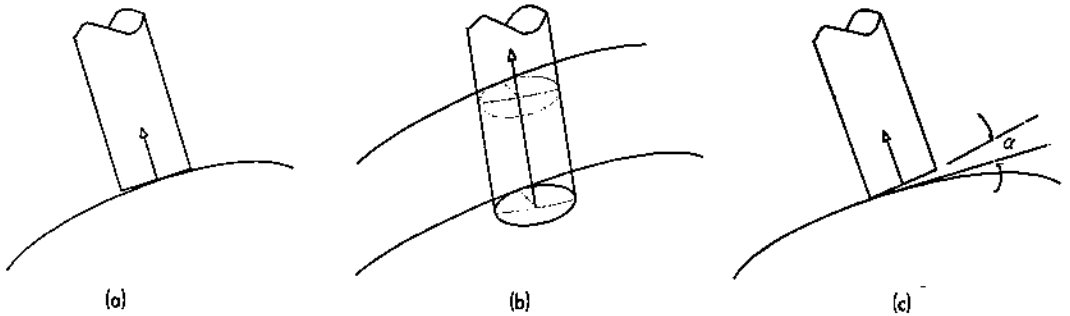
타내는 (A_x, A_y, A_z) 가 필요하다. (P_x, P_y, P_z) 와 (A_x, A_y, A_z) 에 의하여 기계의 움직임을 나타내는 (x, y, z) 와 테이블의 롤링(A축)과 회전(C축)을 나타내는 (a, c) 를 구한다. <그림 12>은 본 연구에 적용한 기계의 기구학적 구조를 나타내고 있다. 이 기계를 이용하였을 때 NC 기계에 지정하여야 할 좌표 값과 회전 값을 구하는 식(역기구학)은 다음과 같다.

$$c = \pi/2 - \text{atan2}(A_y, A_x)$$

$$a = \pi/2 - \text{atan2}(A_z, \sqrt{A_x^2 + A_y^2})$$

$$(x, y, z, 1) = (P_x, P_y, P_z, 1) \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & H & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos c & \sin c & 0 & 0 \\ -\sin c & \cos c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos a & \sin a & 0 \\ 0 & -\sin a & \cos a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -H & 1 \end{vmatrix}$$

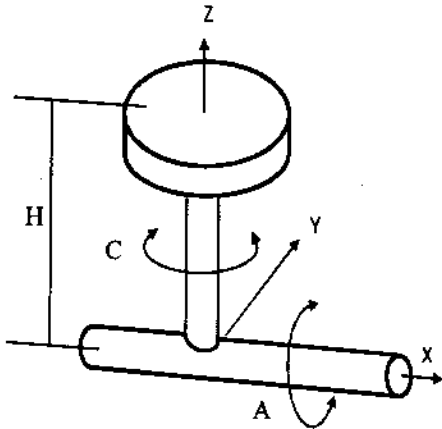


〈그림 11〉 5축 가공에서 CL 데이터의 산출 방법

5.2 NC 코드의 생성

포스트 프로세싱(post processing)은 위에서 계산된 CL 데이터를 가공하는 5축 기계가 알 수 있는 NC 코드로 변경하는 것을 말한다. 5축 NC 코드를 생성하기 위해서는 하나의 점을 나타내는 CL 데이터에는 공구의 위치를 나타내는 (P_x, P_y, P_z) 와 공구 축의 벡터를 나

여기서 H 는 A축의 회전 중심 축과 회전 테이블의 바닥면 간의 높이이다. 위 식에 의하여 기계의 구해진 NC 코드의 원점은 테이블 바닥면의 C축의 회전 중심 축이 된다.

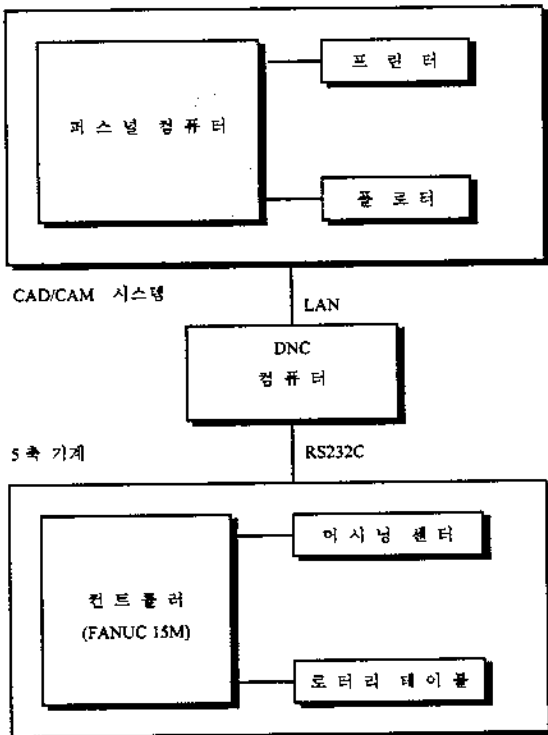


〈그림 12〉 회전과 틸팅 테이블에 의한 5축 기계의 기구학적 구조

6. 적용 사례

6.1 하드웨어의 구성

본 연구에 사용된 하드웨어는 〈그림 13〉와 같다. CAD/CAM 소프트웨어를 운영하기 위한 컴퓨터와 NC



〈그림 13〉 하드웨어의 구성

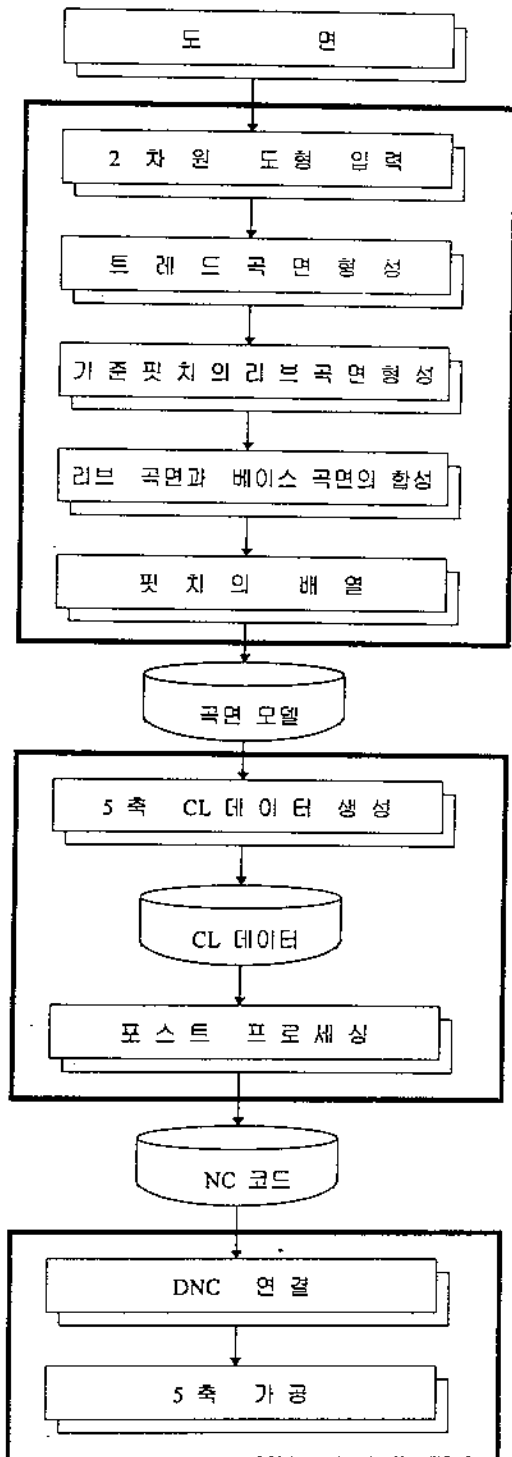
데이터를 기계에 전달하는 DNC용 컴퓨터가 필요하다. 실제 가공 수행을 하는 5축 기계가 필요한데 본 연구에서는 3축 기계에 회전/틸팅되는 2축 로터리 테이블을 장착하여 사용한다. 물론 NC 컨트롤러는 5축용(FANUC 15M)이어야 한다. 도면을 출력하기 위하여 플로터와 프린터를 사용하였다.

6.2 소프트웨어의 구성

개발된 소프트웨어는 아래와 같은 모듈로 구성되어 있다.

- 기본 도형 계산 모듈 : 직선과 원, 원, 곡선, 자유곡선, 자유곡면에 관련된 점점이나 교점, 접선, 교선을 계산하여 주는 모듈이다.
- 2차원 도형 정의 모듈 : 일정한 문법에 의하여 점, 직선, 원, 곡선 등의 2차원 도형을 정의하여 주는 모듈이다.
- 3차원 곡선과 곡면 정의 모듈 : 3차원 자유 곡선과 곡면을 정의하고 수정하여 주는 모듈이다.
- CL 데이터 계산 모듈 : 이미 정의된 곡면과 곡선 등을 가공하였을 때 공구가 지나는 궤적을 계산하여 주는 모듈이다.
- 5축 가공 모듈 : CL 데이터 계산 모듈과 같은데 특별히 5축 기계용 공구 궤적을 계산한다.
- 포스트 프로세서 모듈 : 3축 NC 기계와 5축 기계용 NC 코드를 작성하여 주는 모듈이다.
- 그래픽 유틸리티 : 계산/생성되는 도형 정보를 화면에 표시하여 주고 공구의 애니메이션, 곡면의 음영 처리 등을 수행하는 모듈이다.
- 유저 인터페이스 모듈 : 메뉴와 커맨드 라인 입력기, 마우스 인터페이스 등이 여기에 해당된다.

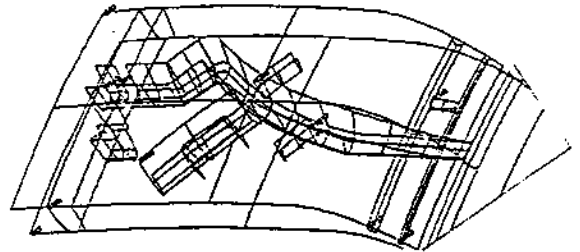
타이어 금형을 가공하기 위한 NC 데이터를 계산하는 순서는 〈그림 14〉과 같다.



〈그림 14〉 가공을 위한 NC 데이터를 생성하는 절차

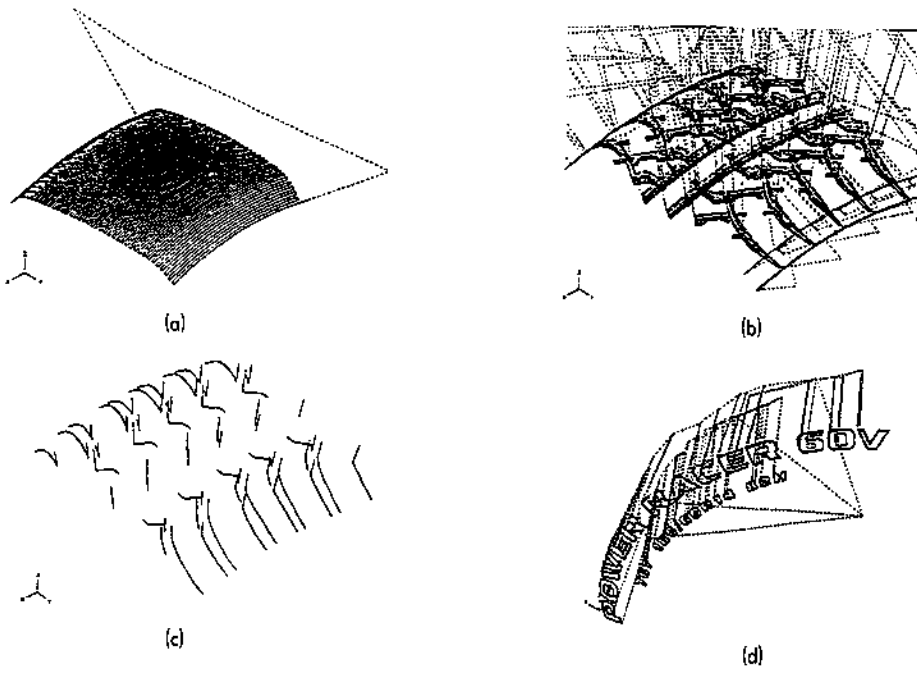
6.3 가공 예

위의 내용을 바탕으로 실제로 가공하는 예를 보도록 하자. 여기서 가공한 모델은 K사의 타이어 모델이다. 〈그림 15〉는 타이어의 곡면 모델로써 반복되는 피치 중에 하나를 표시한 것이다. 〈그림 16〉-(a)는 트레드 곡면을 5축으로 가공하는 공구 경로를 표시한 것이고, 〈그림 16〉-(b)는 그루브를 5축 가공하는 공구 경로, 〈그림 16〉-(c)는 사이프 부분을 가공하는 경로이다. 〈그림 16〉-(d)는 문자를 5축 가공에 의하여 가공하는 공구 경로이다.

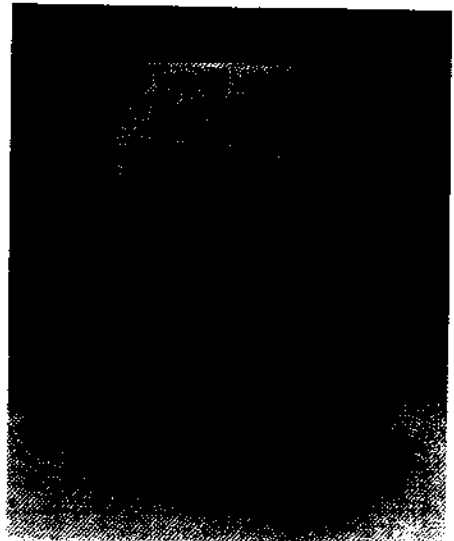
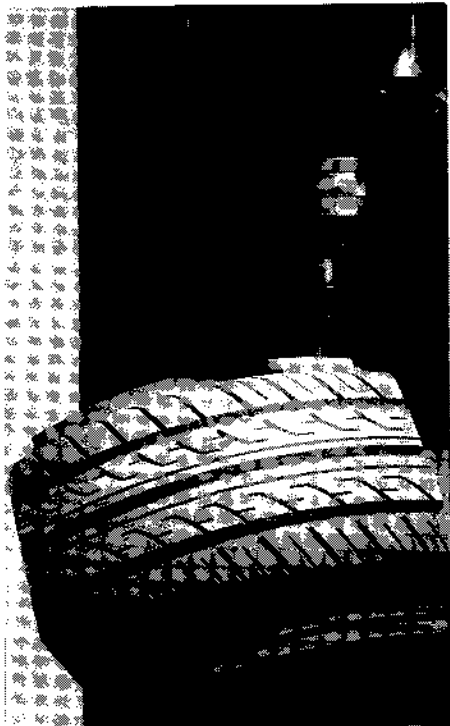


〈그림 15〉 타이어의 곡면 모델(1 피치)

〈그림 17〉은 본 논문에서 소개한 기구학적인 구조의 5축 NC 기계에 의한 타이어 마스터 모델을 가공하는 모습을 보이고 있고, 〈그림 18〉은 가공이 완료된 마스터 모델을 보이고 있다.



〈그림 16〉 타이어 모델을 가공하기 위한 공구 경로 : (a) 트레드 곡면 가공, (b) 그루브 곡면 가공, (c) 사이프 홀 가공, (d) 사이드 판의 문자 가공.



〈그림 17〉 5축 NC 기계에 의한 마스터 모델의 가공

〈그림 18〉 가공 완료된 마스터 모델

7. 결론

본 논문은 CAD/CAM에 의한 타이어 금형의 제작에 초점을 맞추고 있다. 학문적으로 5축 기계의 이용 가능성을 타이어를 통해서 입증하였고 전개도에 표시된 곡면을 3차원 곡면으로 확장하는 방법론을 제시하였다. 또한 5축 기계를 이용하여 곡면을 가공하는 방법론을 유형별로 정리하였다. 타이어의 형상을 곡면 모델링의 입장에서 정리하였으므로 이에 대한 연구를 진행하는 연구자에게 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

산업체의 입장에서는 타이어 금형을 제작하는 모든 공정을 CAD/CAM화 하므로 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

- 마스터 모델 제작 납기의 단축 : 마스터 모델 가공의 납기는 수작업에 의한 것이 15일 정도인데 본 논문에서 개발된 방법에 의한 NC 가공을 하면 10 시간이면 된다.
- 가공 정밀도 향상 : 정확하게 계산된 NC 데이터를 이용하므로 형합이나 핏치의 배열 정밀도가 향상된다.
- 곡면 모델링 시간의 단축 : 본 논문에서 개발한 전개도의 곡선을 3차원 공간 상에 표현하는 방법에 따르면 기존 CAD/CAM 시스템에서 계산하는 것보다 빠른 것으로 확인되었다.
- 다양한 타이어 모델의 개발 가능 : 마스터 모델의 납기를 3-4일 정도로 단축할 수 있으므로 다

양한 모델을 눈으로 확인하면서 개발할 수 있다.

【참고문헌】

- [1] Susan X Li and Robert B Jerard, "5-axis machining of sculptured surfaces with a flat-end cutter", Computer Aided Design, Vol. 26, No. 3, 1994.
- [2] Jean-Pierre Kruth and Paul Klewais, "Optimization and Dynamic Adaptation of Cutter Inclination during Five-Axis Milling of Sculptured Surfaces", Annals of the CIRP, Vol. 43, No. 1, 1994.
- [3] Faux, I D and Pratt, M.J. Computational Geometry for Design and Manufacturing, Ellis Horwood Pub., 1976.
- [4] Diaklid, Eukild, Tire Module User's Manual, Fides Industrial Automation.
- [5] Korean, Robotics for Engineers, Mc GrowHill, 1987.



이철수

현재 전남대학교 산업공학과 조교수로 재직 중이다. 한양대학교 산업공학과에서 학사, 한국과학기술원 산업공학과에서 석사와 박사학위를 취득하였다. 주요 관심분야는 CAD/CAM과 CNC 컨트롤러이다.