

# 자동차 산업의 금형제작을 위한 3차원 윤곽가공

주상윤\* · 남장현\*\*

## 3D-Contour Machining for Die Manufacturing in a Motor Industry

Sang-Yoon Ju, Jang-Hyun Nam

### 〈Abstract〉

A procedure is presented for a 3D-contour machining without cutter interferences. The 3D-contouring machining along a spatial curve is often required for manufacturing trimming and flange dies in motor industries. Input data for the machining contour is a spline curve with polynomial vector equation provided by CATIA system. Points are sampled on the contour curve and line segments and helical curves are approximated from the point data. Cutter interference is checked on the approximated spline and all of interference curves are substituted with interference-free helical curves for a tool path generation. The non-machined curve areas are locally machined by tools with smaller diameters. A tool radius offset is considered for generating NC data to be free with tool size.

### 1. 서론

자동차의 외판을 생산하기 위한 금형들 가운데 Trimming 금형이나 Flange 금형은 자동차 외판의 가장자리를 자르거나 혹은 구부리기 위한 목적으로 사용된다. 이들 금형들은 상형과 하형으로 한쌍을 이루어 작업을 수행하게 되는데 이러한 금형들은 일단 주물공정을 거쳐 들어온 소재에 대하여 상형의 바깥 윤곽면과 하형의 안쪽 윤곽면을 NC밀링에 의하여 윤곽가공을 수행함으로써 제작된다. NC가공은 드릴가공과 같은 PTP가공, 2차원 평면상에 존재하는 곡선을 따라 작업이 이루어지는 윤곽가공, 그리고 3차원 공간 상에서 작업이 수행되는 곡면가공으로 대별되는 것이 일반적이다[1]. 하지만 자동차 산업에

서 필요로 하는 Trimming 금형이나 Flange 금형들의 윤곽 형상들은 평면상에 존재하는 2차원곡선이 아니라 공간 상에 존재하는 3차원곡선인 경우가 대부분이다. 여기서 3차원곡선이란 곡선이 X축, Y축에서 뿐만 아니라 Z축으로도 변화하는 곡선을 가리킨다. 이제까지 윤곽가공에 관한 연구는 2차원 윤곽곡선에 관한 내용으로만 이루어졌으며 3차원 윤곽가공에 관한 연구를 발견하지 못하였다[1,3,4,5]. 본 연구에서는 3차원윤곽곡선으로부터 가공을 위한 NC데이터를 얻는 전반적인 과정을 다루고자 한다. 3차원 윤곽가공의 연구를 위하여는 다음의 세가지 내용이 고려되어야 한다.

\* 울산대학교 공과대학 산업공학과

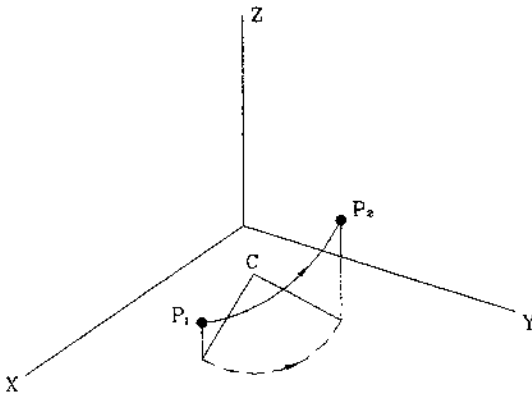
\*\* 현대자동차 금형부

1) 윤곽곡선의 근사

다항식 형태의 함수식을 가진 윤곽곡선을 따라 NC 가공하는 것은 불가능하다. NC 기계는 직선이나 원호와 같은 단순한 도형요소에 대하여만 가공이 가능하기 때문이다. 따라서 일반적인 함수식을 가진 윤곽곡선은 NC가공이 가능한 단순한 도형요소들에 의하여 근사되어야 한다. 2차원 윤곽가공에서 사용되는 원호 보간은 XY평면, YZ평면, ZX평면과 같은 주평면 상에서만 정의가능하므로 3차원 윤곽가공에서는 사용될 수 없다. 그대신 3차원 윤곽가공에서는 직선보간과 헬리컬보간이 사용가능한데 헬리컬곡선이란 X축 및 Y축에서는 원호이면서 원호의 각도에 따라 Z축의 값이 변화하는 곡선이다. 헬리컬보간을 정의하기 위한 NC 블럭은 <그림 1>에서와 같이 공구의 현재점을  $P_1 = (x_1, y_1, z_1)$ , 이동할 다음 점을  $P_2 = (x_2, y_2, z_2)$ , 그리고 헬리컬곡선을 XY평면 상에 투영시켜 얻은 원호의 중심점을  $C = (x_c, y_c, 0)$ 이라 할 때 다음과 같이 표현된다[2].

$$G17 G02 Xx2 Yy2 Ii Jj Zz2$$

단  $i = x_c - x_1; j = y_c - y_1$

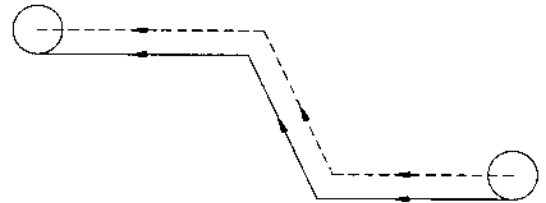


<그림 1> 헬리컬 가공

2) 공구의 보정

공구는 수시로 파손되거나 재연마하게 되므로 파트 프로그램에서 고려했던 공구가 존재하지 않는 경우는

자주 발생한다. 이런 경우 파트프로그램을 새로 작성하는 것은 매우 불편하므로 NC컨트롤러는 작업자들이 공구의 규격에 제약을 받지않도록 공구보정기능을 제공하고 있다. 즉 프로그래머는 G40, G41, G42와 같은 공구보정 NC code를 사용하여 NC프로그램을 작성하고 작업자들은 그 프로그램을 사용할 때마다 실제 사용할 공구의 규격을 수동으로 입력하여 공구의 규격을 보정하게 된다. <그림 2>에서 공구반경의 보정기능을 사용할 경우 NC프로그램은 실선으로 표시된 윤곽을 따라 작성되지만 공구의 이동은 수동으로 입력된 공구의 반경만큼 오프셋된 점선을 따라 이루어진다. 따라서 본 연구에서는 공구의 직경을 무시하고 가공할 윤곽곡선을 따라 공구의 경로를 결정하고 있다.



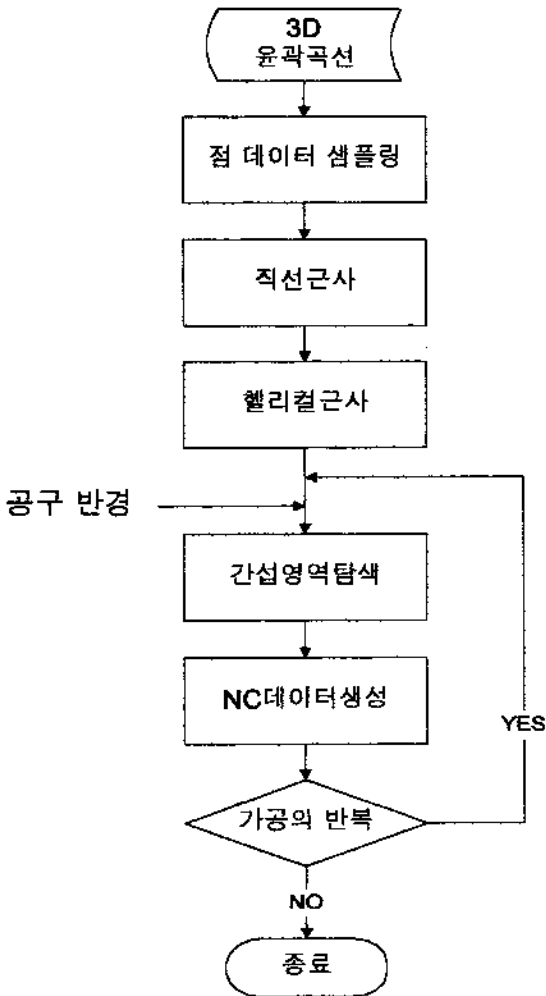
<그림 2> 공구반경 보정에 따른 공구의 경로

3) 공구간섭 방지

윤곽을 따라 파트프로그램을 작성할 때 특히 주의해야 할 점은 공구간섭이 일어나지 않도록 하는 일이다. 공구간섭은 윤곽곡선을 XY-평면 상에 투영시킨 곡선의 곡률반지름이 공구반지름보다 작은 경우에 발생하게 된다. 따라서 3차원 윤곽곡선을 XY평면 상에 투영시킨 후 이들 투영윤곽곡선을 XY평면 상에서 공구의 반지름만큼 오프셋한 곡선들의 교차여부를 조사하면 공구간섭이 발생하는 영역을 식별할 수 있다. 공구간섭이 발생하지 않는 윤곽곡선에 대하여 먼저 가공을 수행한 후 미가공된 부위들은 보다 작은 직경을 가진 공구를 사용하여 부분적으로 가공을 실시한다.

<그림 3>은 3차원 윤곽곡선으로부터 윤곽가공을 위한 NC데이터를 얻기까지의 과정을 흐름도로 나타내

고 있다. 흐름도에서 보는 바와 같이 윤곽가공은 공구간섭으로 인하여 직경이 큰 공구로부터 시작하여 최소직경의 공구에 이르기까지 여러 차례 반복되어 이루어진다. 윤곽가공의 반복은 최소직경의 공구가 사용되었거나 혹은 공구간섭 영역이 더이상 존재하지 않을 때까지 실시된다.



〈그림 3〉 3차원 윤곽가공의 흐름도

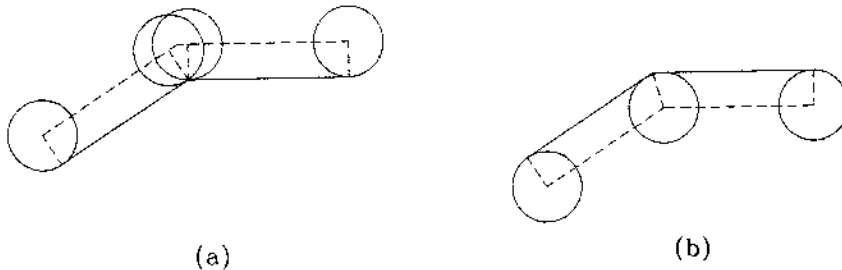
## 2. 윤곽곡선의 근사

현대 자동차에서 사용하는 CAD시스템은 CATIA시스템이며 그로부터 얻어지는 3차원 윤곽곡선은 높은

차수의 다항식 형태의 단위곡선들로 이루어진 스플라인이다. 또한 CATIA시스템에서는 윤곽단위곡선들로부터 허용오차를 만족하는 다수의 점들을 샘플링할 수 있도록 하고 있으므로 3차원 윤곽곡선을 대신하는 다수의 점들을 얻는 것은 항상 가능하다. 따라서 본 연구에서는 윤곽곡선의 단위곡선에서 샘플링된 일련의 점들을 입력점으로 하여 NC가공을 위한 가공경로곡선을 구하고자 한다.

가공경로곡선은 샘플링된 점들을 직선으로 연결한 직선보간에 의하여 결정할 수 있다. 하지만 이러한 방법을 사용할 경우 최소한 두가지 문제점이 따르게 된다. 그 한가지는 보간한 직선선분들의 길이가 매우 짧아진다는 점이다. 보간직선의 길이가 짧아지면 보간직선의 수는 늘어나므로 얻어진 NC데이터의 크기는 매우 커지게 된다. 그뿐만 아니라 길이가 짧은 보간직선으로 이루어진 가공경로에 대하여 직경이 큰 공구를 이용하여 공구반경보정을 할 경우 NC컨트롤러는 공구간섭이 있는 것으로 잘못 판단하여 작업을 중단시키기도 한다. 이러한 작업중단의 현상은 NC기계의 BLU오차에 기인한 것으로 공구보정을 이용한 NC가공에서 짧은 길이의 직선보간을 기피하는 원인이 된다. 본연구에서는 직선보간방법 대신 허용오차 내에서 입력점들을 가까이 지나는 직선과 헬리컬곡선에 의하여 가공경로곡선을 근사시켰다. 이렇게 얻어진 단위도형(직선 혹은 헬리컬곡선)들은 샘플링된 입력점들을 다수 근사시킬 수 있으므로 이웃한 점들을 직선으로 연결하는 직선보간에 비하여 단위도형의 길이가 상대적으로 길어진다. 따라서 직선보간과 비교해 볼 때 BLU 오차로 인한 작업중단의 현상을 줄일 수 있다.

직선보간에 따른 또 한가지의 문제점은 얻어진 보간직선들의 연결점에서 모서리가 생기는 일이다. 이런 경우 보간곡선을 따라 공구가 지나게 될 때 〈그림 4〉에서와 같이 모서리의 외부에서는 완전한 가공이 이루어지지만 모서리의 내부에서는 가공이 이루어지지 않는 미절삭영역이 남게 된다. 여기서 미절삭영역은 보간곡선이 부드럽지 않기 때문에 발생하는 것으로 윤곽가공에 의하여 제작된 금형의 상형과 하형이 일치하지 않게 되는 불량률의 원인이 되기도 한다. 이



(그림 4) 모서리의 내부와 외부 가공

러한 문제점을 해결하려면 가공경로곡선을 이루는 단위도형들이 부드럽게 연결되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 2차원 XY평면 상에 투영된 단위곡선들이 부드럽게 연결되도록 가공경로곡선을 정함으로 얻어진 가공경로곡선이 XY평면 상에서는 VCI연속을 만족하도록 하였다.

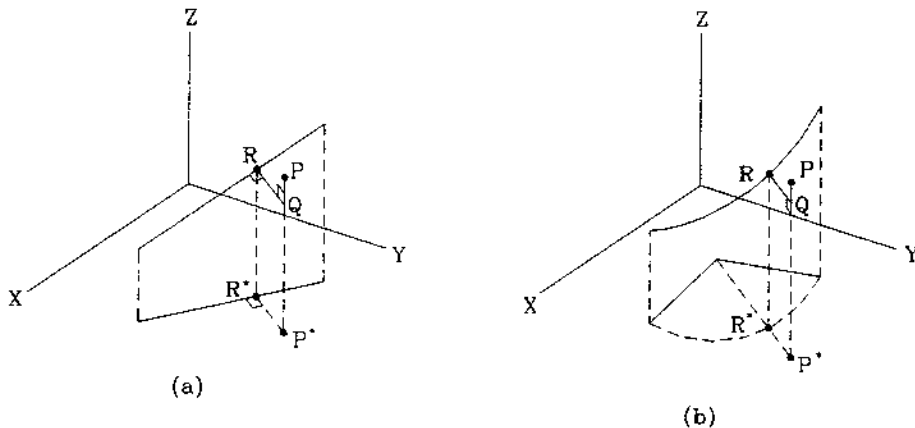
이상의 내용을 정리해 보면 직선보간의 문제점을 해결하기 위하여 가공경로곡선은 다음의 두조건을 만족해야 한다.

조건 1. 가공경로곡선은 허용오차 이내에서 샘플링된 점들을 지나도록 한다.

조건 2. XY-평면 상에 투영된 가공경로곡선은 VCI 연속을 만족하는 부드러운 곡선이어야 한다.

이러한 두가지 조건을 만족시키기 위하여 본 연구에서는 샘플링된 입력점들을 XY평면에 투영한 후 이들을 직선과 Biarc로 근사시키되 이들 도형들이 부드럽게 연결되도록 하였다. 그 결과 3차원 윤곽곡선으로부터 샘플링된 점들은 다수의 공간직선과 헬리컬곡선에 의하여 근사된다.

샘플링된 점들을 직선 혹은 헬리컬 곡선으로 근사



(그림 5) XY-허용오차 및 Z-허용오차

시키는 과정에서 두종류의 허용오차를 고려하였다. <그림 5>에 도시된 바와 같이 입력점 P를 XY평면에 투영하여 얻은 점 P\*와 XY평면에 투영된 도형(직선 혹은 원호)간의 거리 P\*R\*(혹은 QR)는 허용오차 이내에 존재해야 한다. 또한 R\*에 대응하는 도형(직선 혹은 헬리컬곡선)상의 점 R과 입력점 P의 Z축 방향 거리 QP는 정해진 범위내에 존재해야 한다. 편의상 전자를 XY-허용오차, 후자를 Z-허용오차라 부르기로 하자.

### 3. 직선근사의 절차

단위윤곽곡선으로부터 n개의 점 P1...Pn을 샘플링하여 XY-평면 상에 투영시켜 얻은 점을 Q1...Qn이라고 하자. 이때 샘플링된 점들을 근사시킨 직선을 XY-평면 상에 투영시켜 얻은 투영직선과 투영점 Qi들의 최대오차를 E1, 입력점들과 근사직선과의 Z방향 최대오차를 E2라 할때 이들 오차는 다음과 같이 결정된다.

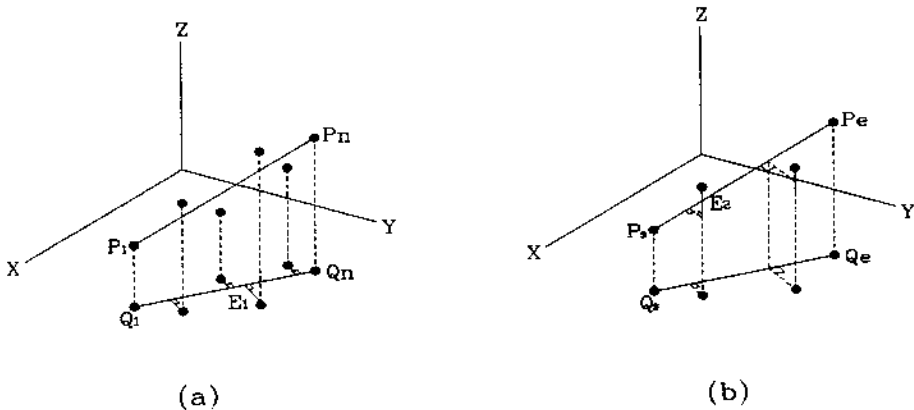
$$E1 = \text{Max}(\text{투영점 } Qi \text{와 투영직선과의 오차})$$

$$E2 = \text{Max}(\text{입력점 } Pi \text{와 근사직선과의 Z방향 오차})$$

n개의 입력점에 대하여 근사직선의 두오차 E1, E2는 각기 XY-허용오차와 Z-허용오차보다 작아야 한다.

단위윤곽곡선으로부터 얻어진 입력점 P1...Pn을 직선으로 근사시키는 절차는 다음의 단계들로 이루어진다.

- 단계 1. 입력점 P1...Pn을 XY평면상에 투영시켜 투영점 Q1, Q2...Qn을 얻는다.
- 단계 2. <그림 6>(a)와 같이 처음 투영점 Q1과 마지막 투영점 Qn을 직선으로 연결한 투영직선과 나머지 투영점들간의 최대오차 E1을 구한다.
- 단계 3. 최대오차 E1이 XY-허용오차보다 큰 경우, 단위윤곽곡선의 입력점들은 헬리컬곡선으로 근사시킨다. E1이 XY-허용오차보다 작은 경우, 입력점들은 한개 이상의 직선선분으로 보간된다. 이를 위하여 처음 두 입력점 P1, P2를 근사대상점으로 취한다. 즉 근사직선을 결정하기 위한 시작점의 인덱스 s = 1, 마지막점의 인덱스 e = 2로 정한다.
- 단계 4. <그림 6>(b)와 같이 s번째 입력점 Ps와 e번째 입력점 Pe를 연결한 선분과 입력점Ps...Pe들간의 Z방향의 최대오차 E2를 구한다.
- 단계 5. 최대오차 E2가 Z-허용오차보다 큰 경우, 직전에 구한 근사직선을 저장하고 새로운 시작점과 마지막점의 인덱스를 s = e - 1, e = e + 1로 정한 다음 단계 4로 간다. 최대



<그림 6> 직선 근사

오차 E2가 Z-허용오차보다 작은 경우, 근사 대상점을 한개 추가하되 추가할 점이 존재하는 경우  $e = e + 1$  로 하고 단계 4로 간다. 만약 추가할 점이 더이상 존재하지 않는 경우 현재의 근사직선을 저장한다.

윤곽곡선에 속한 각각의 단위곡선에 대하여 위의 과정을 적용시키면 근사된 직선들을 얻을 수 있다. 그러나 만약 직선에 의한 근사가 불가능한 경우에는 이후에 언급될 헬리컬근사과정을 적용한다.

#### 4. 헬리컬 근사의 절차

단위곡선으로부터 얻어진 n개의 점  $P_1, \dots, P_n$ 에 대하여 근사된 직선을 구할 수 없는 경우 헬리컬근사과정은 실시된다. XY-평면 상에 투영시켜 얻은 점을  $Q_1, \dots, Q_n$ 이라고 할 때 입력점들을 근사시킨 헬리컬곡선들에 대하여 평면 상의 최대오차 E1와 Z방향의 최대오차 E2는 다음과 같이 정의된다.

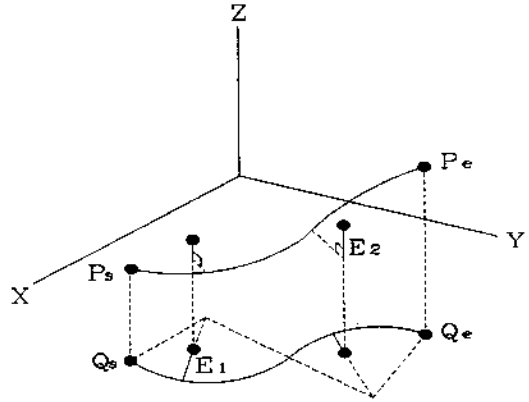
$$E1 = \text{Max}(\text{투영점 } Q_i \text{와 투영원호와의 오차})$$

$$E2 = \text{Max}(\text{입력점 } P_i \text{와 헬리컬곡선의 } z \text{축 방향의 오차})$$

여기서 투영원호는 헬리컬곡선을 XY평면 상에 투영시켰을 때 얻어지는 원호를 가리킨다. 근사된 헬리컬곡선에 대하여 최대오차 E1, E2는 각기 XY-허용오차와 Z-허용오차보다 작아야 한다.

단위윤곽곡선으로부터 n개의 점  $P_1, \dots, P_n$ 이 샘플링되었다고 할 때 이들을 다수의 헬리컬곡선으로 근사시키는 절차는 다음의 단계를 따라 이루어진다.

- 단계 1. 단위윤곽곡선에서 얻은 입력점  $P_1, \dots, P_n$ 을 XY평면상에 투영시켜 투영점  $Q_1, \dots, Q_n$ 을 얻는다.
- 단계 2. 처음 두 투영점  $Q_1, Q_2$ 를 취한다. 즉 처음과 마지막 점의 인덱스는  $s = 1, e = 2$ 이다.
- 단계 3. s번째부터 e번째까지의 투영점들을 XY평면 상에서 Biarc로 근사시킨다.(그림 7) 참조).
- 단계 4. 투영점과 Biarc간의 최대오차가 XY-허용오



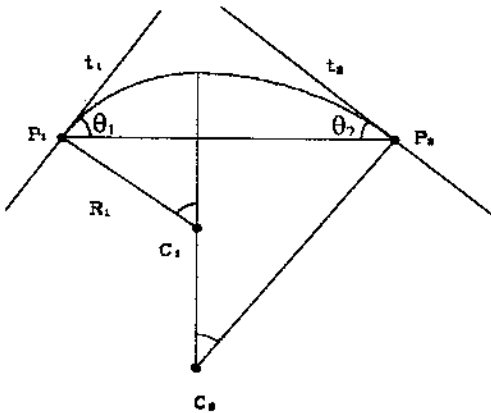
〈그림 7〉 헬리컬 근사

차보다 크면, 직전에 근사한 헬리컬곡선을 저장하고  $s = e - 1, e = e + 1$ 로 정한 다음 단계 3으로 간다. 투영점과 Biarc간의 최대오차가 XY-허용오차보다 작으면, 처음 입력점  $P_s$ 의 Z성분값과 마지막 입력점  $P_e$ 의 Z성분값을 이용하여 Biarc를 두개의 헬리컬곡선으로 변환시킨다.

- 단계 5. 두 헬리컬곡선과 입력점간의 Z축 방향 값의 최대오차가 Z-허용오차보다 크면, 직전에 구한 헬리컬곡선을 저장하고  $s = e - 1, e = e + 1$ 로 정한 다음 단계 3으로 간다.
- 단계 6. 두 헬리컬곡선과 입력점간의 Z축 방향 값의 최대오차가 Z-허용오차보다 작으면, 두 헬리컬곡선이 Z-허용오차를 만족하면 근사 대상점을 하나 더 추가시킨다. 이때 추가할 점이 존재한다면  $e = e + 1$ 로 하고 단계 3으로 간다. 그러나 추가할 점이 더 이상 존재하지 않는 경우에는 현재의 헬리컬곡선을 저장한다.

단계 3에서 투영점들을 Biarc에 의하여 근사시키려면 양끝점과 양끝점선은 필요로 한다. Biarc의 양끝점은  $P_s$ 와  $P_e$ 를 XY평면에 투영한 점  $Q_s$ 와  $Q_e$ 가 된다. 한편 Biarc의 양끝점선은 두 경우로 나누어 결정한다.

단약 XY평면상에서 현재의 Biarc와 이웃한 투영된 단위곡선이 직선으로 근사된 경우, Biarc를 결정하기 위한 접선은 투영직선과 일치시킨다. 반면에 이웃한 단위곡선이 직선으로 근사되지 않은 경우, Biarc를 위한 접선은 현재점과 이웃한 좌우 두점을 지나는 원호로부터 추정한다.



〈그림 8〉 변곡점이 없는 경우의 Biarc

Biarc를 정하기 위하여 양끝점을 P1, P2과 양끝접선을 t1, t2라고 하자. 변곡점이 존재하지 않을 때, Biarc는 〈그림 8〉과 같이 얻어지며 두 원호의 반지름 R1과 R2는 다음과 같이 결정된다[1].

$$R1 = d(1 - \cos\theta_2)/A; \quad R2 = d(1 - \cos\theta_1)/A$$

여기서  $d = |P1 - P2|$

$$A = \sin\theta_1 + \sin\theta_2 - \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

$\theta_1, \theta_2$  : 양끝점 P1, P2를 이은 직선과 두 접선 t1, t2과의 사이각

한편 Biarc 내에 변곡점이 존재하는 경우 두 원호는 동일한 반지름  $R = R1 = R2$ 을 가지며 다음과 같이 결정된다[1].

$$R = d/(\sin\theta_1 + \sin\theta_2 + \sqrt{B})$$

여기서  $d = |P1 - P2|$

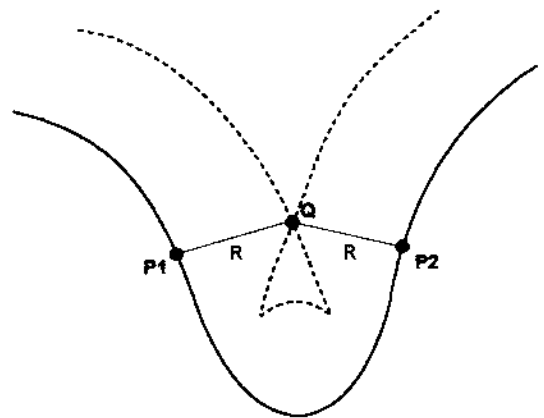
$$B = 4 - (\cos\theta_1 + \cos\theta_2)^2$$

### 5. 간섭영역의 체크와 부분가공

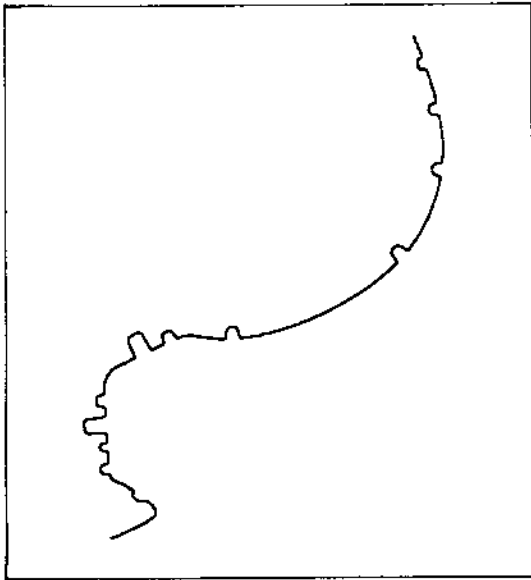
NC컨트롤러는 공구보정을 수행해 나갈 때 이웃한 두 도형에 대해서는 간섭여부를 체크하면서 공구를 이동시킨다. 하지만 멀리 떨어져 있는 두 도형에 대해서는 간섭여부를 체크하지 못하므로 근사된 가공경로를 따라 가공을 실시하기에 앞서서 공구의 간섭여부를 조사해야 한다. 직선이나 헬리컬곡선으로 근사된 도형들에 대한 간섭영역의 조사는 다음의 순서에 따라 이루어진다.

- 근사도형들을 XY평면에 투영시킨다
- XY평면 상에서 투영된 곡선들을 공구의 반경만큼 오프셋시킨다.
- 오프셋곡선들의 교점을 구한다.
- 투영된 곡선과 근사도형에서 간섭영역을 찾는다.

〈그림 9〉에서는 오프셋곡선의 교점 Q로부터 간섭영역을 찾는 방법을 보여주고 있다. 반경이 R인 공구가 직선으로 도사된 투영곡선 상의 두점 P1, P2에서 동시에 접하는 경우 접선으로 표시된 오프셋곡선 상의 교점 Q는 공구의 중심에 해당한다. 단위도형의 투영곡선은 원호 혹은 직선이므로 오프셋곡선의 교점 Q로부터 투영곡선 상의 두점 P1, P2은 쉽게 구할 수 있다. 투영곡선에서 P1과 P2를 양끝점으로 하는 곡선이



〈그림 9〉 오프셋곡선의 교점과 투영곡선의 간섭영역



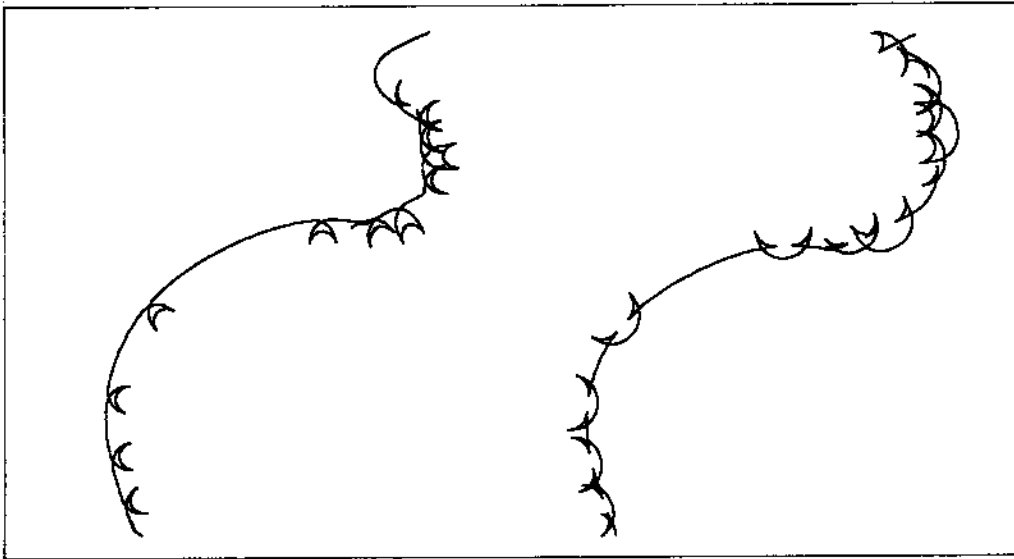
〈그림 10〉 윤곽의 근사곡선

간섭없는 가공경로곡선을 얻을 수 있다.

〈그림 10〉은 자동차의 fender를 trim하기 위한 금형의 일부 윤곽곡선으로 입력점들을 근사시킨 곡선들을 보여주고 있다. 윤곽곡선은 171개의 단위 Bezier곡선으로 주어졌으며 이들로부터 2218개의 점들이 샘플링되었다. 또한 샘플링된 점들로부터 얻어진 근사곡선은 27개의 직선과 302개의 헬리컬곡선으로 이루어졌으며 근사곡선을 구하는 데 있어서 XY-허용오차는 10<sup>-2</sup>mm, Z-허용오차는 2mm를 사용하였다.

〈그림 11〉에서는 근사곡선의 좌우에서 직경 50mm의 공구의 반경만큼 오프셋시킨 곡선을 보여주고 있다. 오프셋곡선이 자체적으로 교차하는 영역에서 근사곡선은 공구의 간섭이 발생하게 된다.

〈그림 12〉에서는 공구의 간섭이 일어나는 곡선구간을 제외하는 대신 공구의 간섭이 일어나지 않는 헬리컬곡선을 추가함으로 부드럽게 연결된 가공경로곡선을 도시하고 있다.



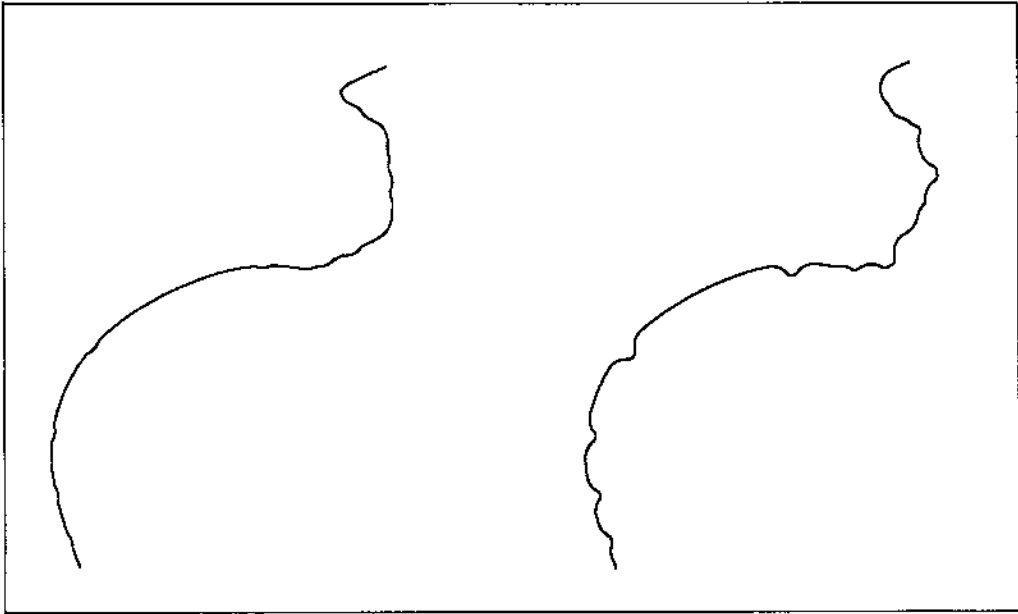
〈그림 11〉 근사곡선의 오프셋 곡선

간섭영역에 해당된다.

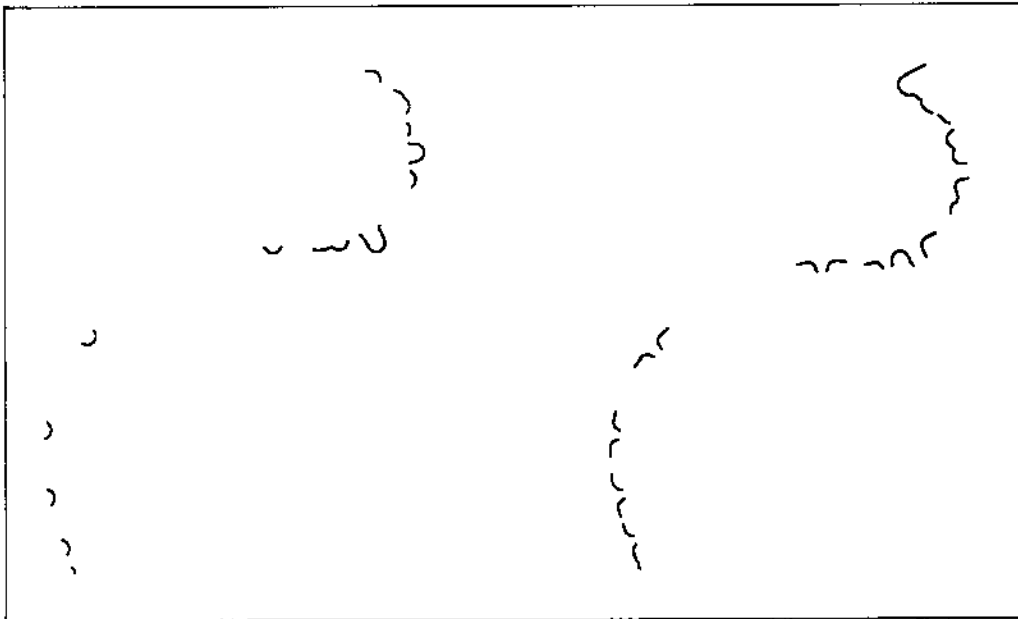
공구간섭이 발생하는 영역은 가공경로에서 제외되어야 한다. 그 대신 가공경로에서 분리된 두 끝점을 오프셋량 크기의 원호로 연결하면 부드럽게 연결된

간섭영역을 제외한 윤곽곡선을 가공하고 나면 미가공된 영역들이 남게 된다. 이들 영역들은 보다 작은 공구를 사용하여 가공해야 한다. 이러한 가공은 공구간섭이 발생하는 영역에서 부분적으로 이루어지므로





〈그림 12〉 공구간섭이 없는 가공경로곡선



〈그림 13〉 부분가공의 가공경로곡선

부분가공이라고 부르기도 한다. 부분가공을 수행하는 과정에서 여전히 공구간섭은 발생할 수 있으므로 앞에서 언급한 내용과 유사한 방법으로 간섭영역을

탐색할 수 있다. 〈그림 13〉에서는 앞에서 보다 작은 직경 30mm의 공구를 사용한 부분가공들의 윤곽곡선을 보여주고 있다. 부분가공은 공구간섭이 더이상 발

생하지 않거나 혹은 지정된 최소공구까지 반복하여 실시한다.

### 6. 결론

본 연구는 공구간섭이 존재하는 3차원 윤곽가공을 수행하는 과정을 소개하고 있다. 주어진 다항식 윤곽곡선으로부터 샘플링된 입력점들을 직선과 헬리컬곡선들을 이용하여 근사시켰으며 얻어진 가공윤곽은 VCI연속조건을 만족하고 있다. 근사적 방법을 이용한 본 연구 방법은 기존의 직선보간이 지니고 있는 여러 문제점들을 근원적으로 해결하였으며 또한 공구간섭이 없는 가공데이터를 얻을 수 있는 방법을 제시하였다. 본 연구를 통하여 기대할 수 있는 효과들을 열거하면 다음과 같다.

- 1) 직선과 헬리컬곡선을 이용한 3차원 윤곽가공을 수행하는 방법을 제시하였다
- 2) 보간방법 대신 근사방법을 택함으로 NC데이터의 크기를 줄였다.
- 3) 근사된 단위도형들의 크기가 상대적으로 길어져 BLU오차로 인한 기계의 작동 중지의 가능성을 줄였다.
- 4) 가공윤곽곡선은 VCI연속을 만족함으로 금형의 불량률 줄일 수 있게 하였다.
- 5) 간섭영역을 색출하여 제거함으로 공구간섭이 없는 NC데이터를 생성하도록 하였다.

### 【참고문헌】

[1] 최병규 외, CAD/CAM시스템과 CNC절삭가공, 회

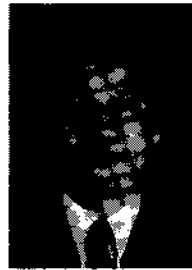
중당, 1996.

[2] FANUC SYSTEM 9-MODEL operator's Manual, 1981.

[3] Meek, D.S. and Walton D.J., "Approximation of discrete data by G1 arc spline", CAD, Vol.24, No. 6, pp.301-306, 1992.

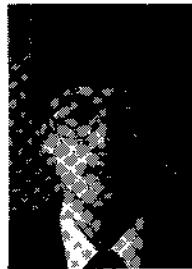
[4] Schonherr, J., "Smooth biarc curves", CAD, Vol.25, No.6, pp.365-370, 1993.

[5] Yeung, M.K. and Walton D.J., "Curve fitting with arc spline for NC tool path generation", CAD, Vol. 26, No.11, pp.845-849, 1994.



주상운(朱相潤)

1977년 서울대학교 산업공학과 학사  
 1979년 한국과학기술원 산업공학 석사  
 1989년 한국과학기술원 산업공학 박사  
 현재 울산대학교 교수로 재직하고 있으며 관심분야는 곡면모델링과 NC가공, 그리고 제조 시스템자동화 등이다.



남장현(南將鉉)

1988년 아주대학교 산업공학과 졸업  
 1990년 아주대학교 산업공학과 석사  
 현재 현대자동차 금형부에 재직 중이며 CAD/CAM, 공장자동화 등의 업무에 주로 종사하고 있다.