

공구경 보정을 이용한 2차원 자유곡선의 가공

신하용* · 정희민* · 광영수*

Machining of 2D Parametric Spline Using Cutter Radius Compensation

HaYong Shin · HoiMin Jeong · YoungSu Kwak

〈Abstract〉

Free from curves and surfaces are frequently used in designing engineering products such as car, ship, airplane, and housing of electronic households. In many aspect, it is very nice to use the cutter radius compensation function of CNC controller when contour machining a 2-dimensional curve. However, if the 2D curve is a parametric spline, it is not easy to apply the cutter radius compensation function of CNC controller to the NC data obtained from many commercial CAM system. This is mainly due to the error magnification effect when offsetting line segments with inevitable round-off error at their vertices. Proposed in this paper is an approach to contour machining a 2D parametric spline while using cutter radius compensation. Some implementation results are included.

주요어 : 공구경 보정, 자유곡선, biarc

1. 서론

제품의 심미적 또는 기능적인 이유로 인해 자동차, 항공기, 가전제품등의 설계에 자유곡선과 자유곡면이 많이 이용되고 있으며 이러한 제품은 CNC를 이용하여 가공되는 것이 일반적이다. CNC 밀링가공은 특히 3차원 형상의 가공에 큰 위력을 발휘하지만, 2차원 윤곽가공에도 많이 활용되고 있다.

〈그림 1〉에서 보듯 윤곽가공의 공구궤적(tool path)은 가공하고자하는 형상(part geometry)을 공구 반경만큼 오프셋함으로써 얻어질 수 있다. 간단한 형상의 오프셋은 손으로 계산하여 공구궤적을 얻어낼 수 있으나 다소 복잡한 형상의 오프셋을 계산하는 것은 쉽지않다. 이를 위하여 대부분의 CNC controller에는 공구경 보

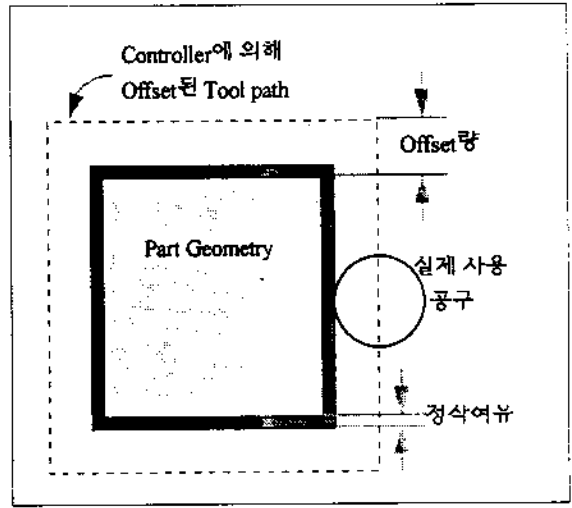
정(cutter radius compensation) 기능[1]이 있다. 공구경 보정 기능이란 오프셋된 형상 대신 가공하고자하는 원래의 형상(part geometry)의 좌표값을 NC data로 주면 CNC controller가 오프셋을 계산하여 오프셋된 궤적을 따라 공구를 움직여 주는 기능으로 현장작업자들이 손으로 NC data를 계산할때 많이 사용하는 방법으로 다음과 같은 장점이 있다.

- 1) 도면을 보고 수작업으로 NC data를 작성할 때에 편리하다.
- 2) 가공에 사용될 공구의 정확한 반경을 NC data 작성할 시점에서는 몰라도 된다. 수차례 사용후 re-grinding된 공구는 그 공구의 공칭 반경과 실제 반경에 약간의 차이가 있게 마련이다. 또한 가공할 시점에서 어떤 공구가 가용할지를 미리

* (주) 큐빅테크 캐드캠연구소

알 수 없는 경우가 있다. 예를 들어 24φ 엔드밀을 사용할 것을 가정하고 NC data를 작성했으나, 막상 가공하려고 보니 24φ 엔드밀이 없고 20φ짜리밖에 없는 경우, NC data를 다시 만들어야 하는 상황이 발생할 수 있다. 따라서 공구경 보정기능을 이용하여 사용할 공구 크기와 무관한 NC data를 작성하고, 공구에 관한 정보는 가공할 시점에서 가용한 공구의 정확한 치수를 측정하여 CNC controller에 별도로 입력하여 가공할 수 있다.

- 3) 하나의 NC data로 공구 반경값을 바꾸어 가며 황삭/중삭/정삭에 모두 사용할 수 있다. <그림 3>과 같이 지정한 공구 반경값보다 작은 공구를 장착하여 가공하면 그 차이만큼 정삭여유로 남게 되기 때문이다.

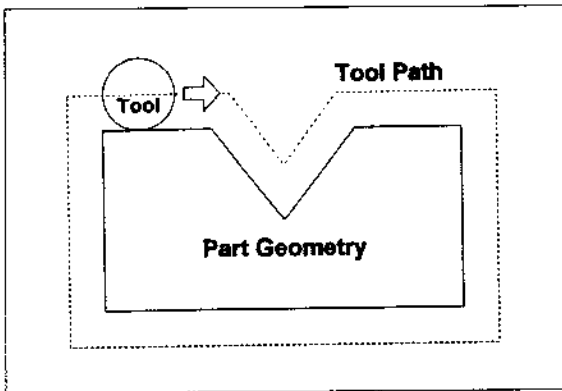


<그림 3> 공구경 보정을 이용한 중삭 가공

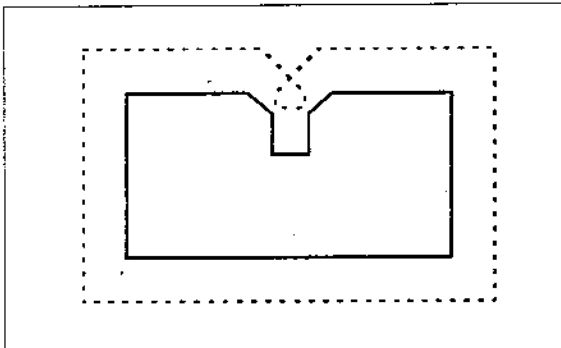
이러한 장점들로 인해 CNC 작업자들은 공구경 보정기능을 사용하기를 선호하는 반면에, CNC controller는 가공형상(part geometry)의 일부 정보만을 이용하여 간이적으로 읍셋을 계산하기때문에 <그림 2>와 같이 읍셋이 꼬이는 경우에는 처리하지 못하는 한계가 있다.

CAM 시스템에서는 part geometry를 읍셋하는 것이 쉽기 때문에, CAM 시스템을 이용하여 NC data를 작성하는 환경에서는 CNC controller의 공구경 보정기능을 많이 사용하지 않는다. 그러나 공구경 보정기능을 이용하는 경우 앞서 열거한 장점들이 있기 때문에 CNC controller의 공구경 보정기능의 한계를 CAM 시스템에서 보완하여 그 기능을 적극 활용하는 것이 이상적이라 하겠다.

본 논문에서는 자유곡선을 공구경보정기능을 이용하여 윤곽가공하고자 할때, CAM 시스템에서 보완해 주어야 할 사항들과 그 방법을 제안한다. 제 2 절에서는 전반적 과정을 설명하였고, 제 3 절에서는 자유곡선을 직선으로 근사할때 발생하는 문제점을 분석하였고 제 4 절에서는 그에대한 대안으로 원호를 사용하여 근사하는 방법을 소개하였으며, 이 방법을 이용한 예제를 제 5 절 에 첨부하였으며, 마지막으로 제 6 절에 결론을 기술하였다.



<그림 1> 윤곽 가공



<그림 2> 공구경 보정의 한계

2. 전반적 과정

자유곡선을 포함하는 윤곽곡선을 공구경 보정기능을 이용하여 가공하기 위한 NC data를 산출하는 전반적인 과정은 다음과 같다.

- 1) 윤곽 곡선과 그의 가공에 사용될 공구의 최대반경을 입력으로 받는다. 공구의 최대 반경은 그 곡선을 CNC controller에서 읍셋할 때에 꼬일 수 있는 부분을 제거하는 데 사용된다. 실제 가공시에는 이 반경보다 작은 공구중에 가용한 공구를 선택하여 사용하면 된다.
- 2) 윤곽곡선중 자유곡선 구간을 선분 또는 원호로 근사한다.

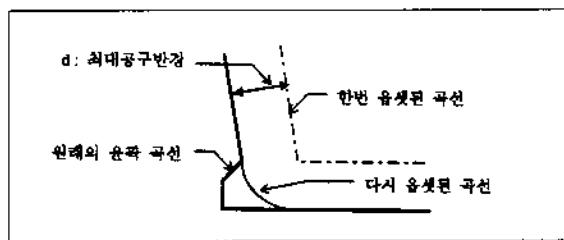
이것은 대부분의 CNC controller가 직선 또는 원호 보간만을 지원하기 때문이다.

이과정에서 사용하는 오차 한계는 가공 오차 한계를 사용한다.

- 3) 윤곽곡선을 2번 읍셋하여 꼬일 수 있는 부분을 미리 제거한다. (<그림 4> 참조)

한번은 곡선의 오른쪽 또는 왼쪽으로 공구의 최대 반경 만큼 읍셋하고 그 곡선을 다시 반대쪽으로 읍셋하면 공구간섭이 생길 수 있는 부분이 제거된다.

- 4) 윤곽곡선을 따라 NC data를 산출한다.



(그림 4) 공구 간섭 부위의 제거

3. 자유곡선의 직선근사와 문제점

앞절에서 설명했듯이 대부분의 CNC controller가 직선 및 원호보간만을 지원하기 때문에 자유곡선을 가공하기 위한 NC data를 작성하기 위해서는 자유곡선을 직선 또는 원호로 근사시켜야한다. 이 중에서 편리성 때문에 직선으로 근사하는 방법이 많이 사용되어왔다.

본 절에서는 자유곡선을 여러개의 선분으로 근사시켜서 NC data를 얻을 경우 생길 수 있는 문제점들을 분석코자한다.

자유곡선을 선분으로 근사시키는 일은 곡선 상에서 점들을 샘플링함으로써 얻어진다. 곡선상에서 점들을 얼마나 촘촘히 샘플링할 것 인가는 그 곡선의 곡률과 주어진 오차 한계에 의해 결정된다[2]. 곡률이 크고 오차한계가 작을 경우 매우 많은 점들을 샘플링해야 되는데 이 경우, 한 선분의 길이가 매우 짧아지게 되고, 따라서 NC data의 양도 많아지게 된다. 뿐만 아니라 더욱 중요한 문제는 한 선분의 길이가 짧아지면 반올림 오차로 인하여 읍셋시에 많이 어긋난 방향으로 읍셋을 하게되고 이로 인해 CNC controller가 공구경 보정을 못해주게되는 문제를 야기시키는 경우가 허다하다. 게다가 일반적으로 NC data에서는 0.001 mm단위에서 반올림을 하기 때문에 CAM 시스템에서 계산하는 것보다 반올림 오차가 더욱 커진다. 물론 0.0005 mm 라는 오차자체는 기계가공 오차에 비해 매우 작은 값이기 때문에 보통의 경우 별 문제가 없다. 그러나 길이가 짧은 선분을 읍셋할때는 반올림 오차가 크게 확대되기 때문에 문제가 된다.

선분의 읍셋 방향은 양끝점에서의해서 결정된다. <그림 5>에서 나타낸 바와 같이 길이가 s인 선분의 양끝점에 e만큼의 반올림 오차가 내포되어있다고 하자. 이러한 선분을 r만큼 읍셋할 경우, 오차가 없는 경우에 비해 벗어날 수 있는 거리 d는 다음과 같이 계산된다.

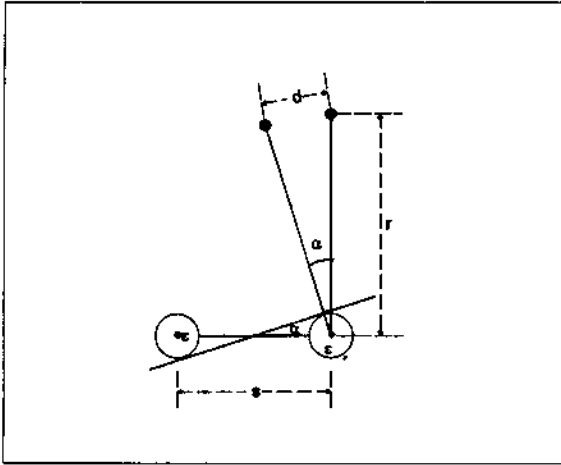
$$\tan(\alpha) = 2^* \epsilon / s \tag{1}$$

$$d = r^* \tan(\alpha) = 2^* r^* \epsilon / s \tag{2}$$

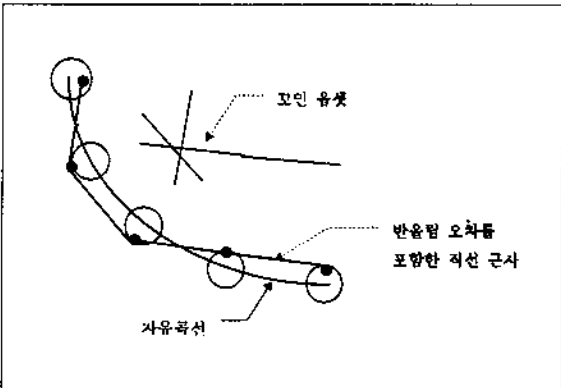
$$r = 20, \epsilon = 0.001, s = 0.05 \rightarrow d = 0.8$$

$$(\text{단위 : mm}) \tag{3}$$

식 (2)에서 보듯 읍셋후의 오차 d는 선분의 길이 s에 반비례하기 때문에 선분의 길이가 짧아질 경우 <그림 6>과 같이 읍셋시 꼬이는 문제가 발생하여 CNC controller가 공구경 보정 계산을 못하는 상황이 빈발한다.



〈그림 5〉 오차가 있는 선분의 읍셋



〈그림 6〉 반올림 오차에 의해 읍셋곡선이 꼬이는 상황

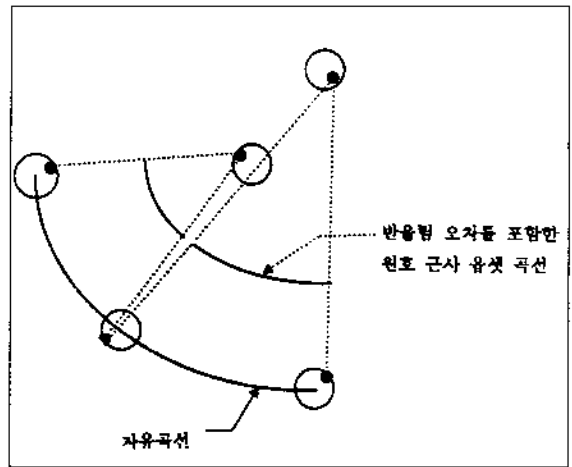
4. 자유곡선의 원호근사

앞절에서 살펴 보았듯이 자유곡선을 선분으로 근사하는 방법은 여러가지 문제점을 안고 있으며, 특히 반올림오차의 확대효과로 인해 공구경보정기능을 사용하지 못하게 되는 경우가 빈발한다. 따라서 본절에서는 자유곡선을 원호로 근사하는 방법을 소개하고자한다. 원호근사를 사용할 경우 다음과 같은 장점을 가질 수 있다.

- 1) 선분근사에 비해 주어진 오차한계를 만족하면서 훨씬 적은 수의 원호로 근사할 수 있다. 따라서 NC data의 양이 적게되고, 한 원호의 길이가 선분의 길이 보다 커지게 된다. 이는 반올림 오차

의 효과가 상대적으로 작아짐을 뜻한다.

- 2) 인접원호들간에 접선 연속을 만족시킴으로써, 선분근사에 비해 최종 가공면이 훨씬 부드러워진다. (선분 근사를 사용하는 경우, 아무리 선분의 길이가 짧아도 기계의 최소이송단위보다는 크기 때문에 가공면에 각이 지는 현상이 발생한다.)
- 3) 원호의 경우 읍셋방향이 양끝점이 아니라 중심점의 좌표값에 의해 결정되기때문에 읍셋에 의한 반올림오차의 확대효과가 거의 없다. (〈그림 7〉 참조)

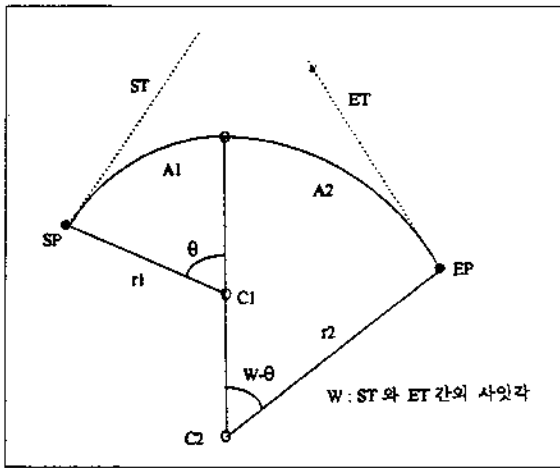


〈그림 7〉 원호근사된 곡선의 읍셋

따라서 공구경보정기능을 이용하기 위해서는 원호근사의 사용이 필수적이라 하겠다. 자유곡선을 원호로 근사하는 방법은 biarc 또는 arc spline이라는 방법으로 기존에 연구된 결과를 활용할 수 있다[3][4][5][6]. Biarc란 두개의 원호에서 유래된 말로, 〈그림 8〉과같이 두 점과 양끝 접선이 주어졌을 때, 두 점 사이에서 서로 접하는 두개의 원호를 말한다.

하나의 원호는 자유도가 3이다. 두원호의 자유도는 6이되며, 조건들 (시작점, 시작접선, 끝점, 끝접선, 두 원호가 서로 접한다는 조건)의 갯수 5를 빼면 biarc에는 1개의 자유도가 남게된다. 그 남은 자유도는 〈그림 8〉의 q 로 표현되며, q 를 결정하는 방법에는 다음과 같은 여러가지가 있을 수 있다.

- 1) 반경 차이의 최소화 : $\min |r_1 - r_2|$



(그림 8) 두점사이를 지나는 biarc

2) 곡률 차이의 최소화 : $\min |1/r_1 - 1/r_2|$
 3) 원곡선 $r(u)$ 와 biarc (A1, A2)의 차이의 최소화
 1)과 2)의 경우 손쉬운 해를 찾을 수 있으며, 3)의 경우는 numerical search를 필요로 한다. 본 연구에서는 세번째 방법을 사용하였다. 자유곡선 $\{r(u) : u_1 < u < u_2\}$ 를 오차한계 tol 을 만족하는 여러개의 biarc로 근사하는 알고리즘은 다음과 같다.

Algorithm biarc ($r(u), u_1, u_2, tol$)

- 1) u_1 에서 SP, ST 계산
- 2) u_2 에서 EP, ET 계산
- 3) SP, EP, ST, ET를 만족하는 biarc (A1, A2) 계산
- 4) $r(u)$ 와 (A1, A2)와의 차이 d 계산
- 5) if ($d < tol$), stop and save (A1, A2)
- 6) $u_m = (u_1 + u_2) / 2$
- 7) biarc ($r(u), u_1, u_m$)
- 8) biarc ($r(u), u_m, u_2$)

5. 실험 예

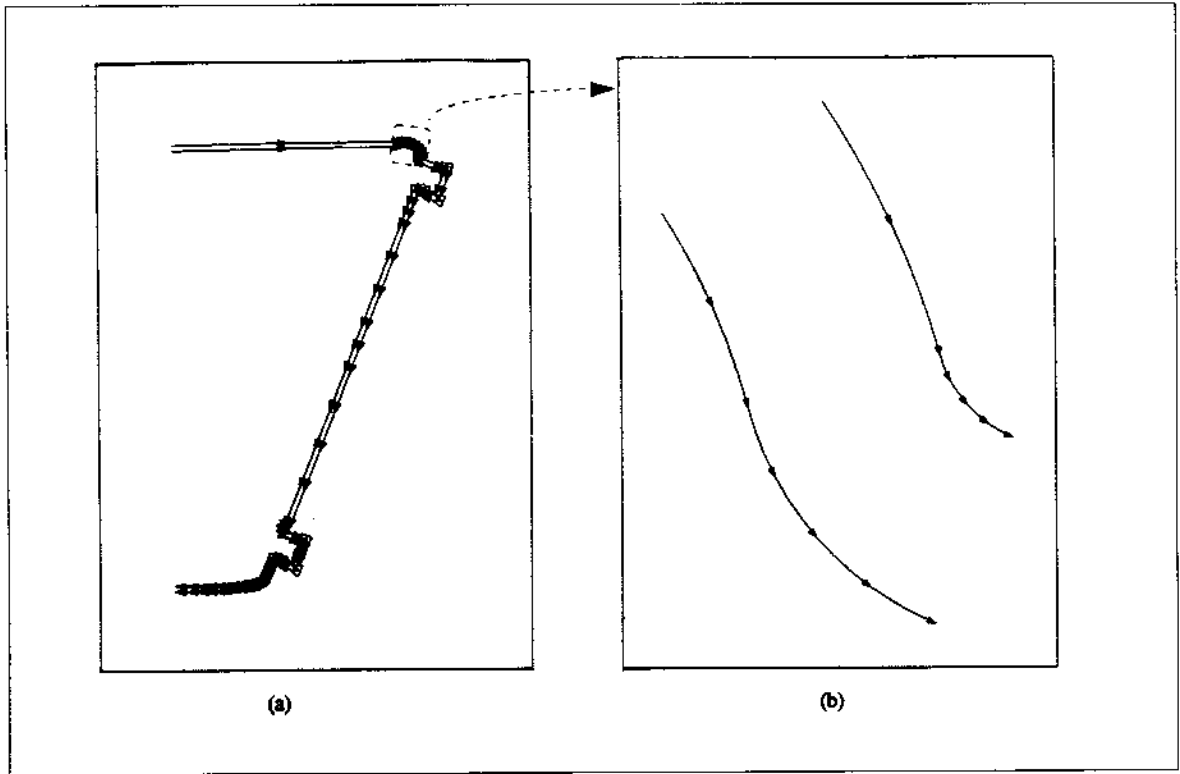
(그림 9)는 자동차 내판용 금형의 외곽 곡선을 원호근사하여 읍셋한 것이다. (그림 9-b)에서 보듯 읍셋된 곡선에 아무런 문제가 없으나, 같은 곡선을 직선근사하였을 경우에는 (그림 6)과 같은 결과가 발생

하여 CNC controller가 공구경보정을 못해주고 멈추는 상황이 발생하였다.

6. 맺음말

CNC controller의 공구경보정 기능과 CAM 시스템은 상호 보완적인 기능이라 하겠다. CNC controller에서는 가공시점에서의 현장의 상황에 맞는 대응을 바로 할 수 있다는 것이 강점인 반면 CAM 시스템은 복잡한 계산을 잘 할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 따라서 CAM 시스템에서 모든 결과를 미리 다 계산하고 CNC controller는 계산된 그대로만 따라서 가공할 것을 강제하는 것은 바람직하지 않다. 가능한한 각자의 장점을 살려, 수시로 변할 수 있는 현장의 상황은 CNC controller에서 처리토록하고 많은 계산을 요하는 부분은 CAM 시스템에서 처리토록하여 각자의 기능을 최대한 발휘할 수 있는 길을 열어주는 것이 발전된 CNC controller와 CAM 시스템간의 자연스러운 조화라 볼 수 있다. 이러한 조화는 FMS 또는 CIM환경과 같이 공구에 관한 정보가 엄격하고 신속하게 관리되는 환경에서도 유리하게 작용한다. 사용할 공구에 관한 최종적인 정확한 정보는 가공직전 공구가 머시닝센터에 탑재되는 순간에 결정되거나, 또한 그 정보는 작업자에 의해서가 아니라 공구관리 computer에 의해 CNC controller로 on-line으로 전송될 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 그러한 조화중의 한가지인 공구경보정기능의 사용을 위해서 CAM 시스템이 해주어야 할 일을 정리하였고, 특히 자유곡선의 윤곽가공을 위해 기존의 CAM 시스템에서 사용해오던 직선근사 방법이 갖는 문제점을 분석하고, 그 대안으로 원호근사 방법을 제시하였다. 여러차례에 걸친 현장 test결과, 여기에서 제시한 방법은 특히 NC 작업자들의 선호와 맞아 떨어지므로, 손 쉽게 적용이 되는 것을 확인하였다. 본 논문에서 사용하고 있는 요소기술들(공구경보정기능, 자유곡선의 biarc를 이용한 근사)은 참고문헌 [1]-[6]에 개별적으로 언급되고 있으며, 본 논문에서 그러한 요소기술들에 관한 이론적 진보에 기여한 바는 없고, 그러한 잘 알려진 기술들을 조합하여 현장



〈그림 9〉 실행 예

에 필요한 문제를 해결하였다는 점에서 본 논문의 의미가 있다고 생각한다.

【참고문헌】

- [1] FANUC Korea, FANUC Series 0-MC 취급설명서, FANUC Korea, 1989
- [2] 최 병규, CAM 시스템과 CNC 절삭가공, 청문각, 1990
- [3] Yeung, M.K. and D.J.Walton, "Curve fitting with arc spline for NC tool path generation", CAD, vol. 26, no.11 (1994), pp.845-849
- [4] Meek, D.S. and D.J.Walton, "Approximation of discrete data by G1 arc spline", CAD, vol.24 no.6 (1992), pp.301-306
- [5] J. Schonherr, "Smooth biarc curves", CAD, vol.25, no.6 (1993), pp.365-370
- [6] Meek, D.S. and D.J.Walton, "Approximating quadratic NURBS curves by G1 arc splines", CAD, vol.25 no.6 (1993), pp.371-376



신하용(申河容)

1985년 서울대 산업공학과 졸업(학사)
1987년 KAIST 산업공학과(석사)
1991년 KAIST 산업공학과(박사)
현재 (주) 큐빅테크연구소 이사
관심분야 CAD/CAM



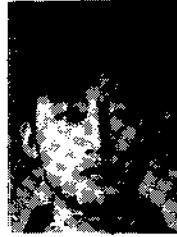
정회민(鄭會旼)

1990년 서울대 산업공학과 졸업(학사)

1995년 한국과학기술원 자동화및설계
공학과 (석사)

현 재 (주) 큐빅테크연구소
선임연구원

관심분야 NC machining



광영수(郭泳洙)

1994년 포항공과대학교 산업공학과 졸
업 (학사)

현 재 (주) 큐빅테크연구소 연구원
관심분야 DNC, NC machining