

# 자유곡면의 오프셋에서의 공구간섭 제거에 관한 연구

장 봉 준<sup>1)</sup>,鄭 在 鉉<sup>2)</sup>

## A study on removal for tool interference of freeform surface offsetting

Jang Bong Joon , Jeong Jae Hyun

### Abstract

Recently the wide usage of CAD/CAM in design and manufacturing for industries and engineering gives more productivities. The CAD is using for precision design of freeform products and the CAM is using for manufacturing. But the exact compatibility of CAD and CAM is not introduced. And the most important problem for effective applying of CAD/CAM is removal of tool interferences on offset surfaces.

In this paper, we develop three methods for removal of tool interferences on offset surfaces in 3-axis NC machining. The original surfaces are parametric bezier and B-spline surface. The algorithms for these are using the sliced planes of original surfaces. The first method is using the distance of two points and the second is using division of line with two points. And the third method using the sequential check of lines with two points is chosen for best result.

---

1) 한국해양대학교 기계공학과 석사과정 설계가공 전공

2) 한국해양대학교 기계시스템공학부 교수

## I. 서론

CAD 시스템에 의해 생성된 형상의 정확한 가공을 위한 CAM 시스템에서 요구되는 사항 중의 하나가 정확한 읍셋 생성을 위한 읍셋 형상간의 간섭문제 해결이다. 특히 매개변수로 표현된 자유형상의 경우는 일반적인 해석 형상에 비하여 그 읍셋 생성에 많은 문제를 가지고 있다. 가장 일반적인 문제는 자유형상의 정확한 읍셋생성에 대한 것이며, 그리고 생성된 읍셋에 대하여 가공 시에 사용되는 각종 공구에 따른 간섭 영역의 파악과 그 제거를 들 수 있다.

본 연구에서는 CAD 시스템에서의 자유형상의 대표적인 예인 베제곡면과 B-스플라인 곡면의 읍셋생성에서 간섭문제를 해결하는 방안을 제시한다.

## II. 매개변수 형상의 읍셋

평면과 공간에서의 곡선은 그 진행방향이 예측 가능한 경우, 곡선 상의 한 점에서의 읍셋은 특별한 경우-접선이 두 개 이상 발생하는 경우-를 제외하고는 접선과 수직하는 법선 방향에서 존재하게 된다. 각 읍셋의 경우는 평면과 공간에서 동일하다고 할 수 있다. 그리고 읍셋 생성은 사용되는 가공 공구에 따라 그 결과가 달라지므로 본 연구에서는 일반적인 가공용 툴의 경우에 대해서만 적용하였다.

Fig. 1, 3, 5에 각 공구의 형상과 그에 대한 읍셋의 정의를 보였고, Fig. 2, 4, 6에 각 공구의 궤적을 나타내었다.

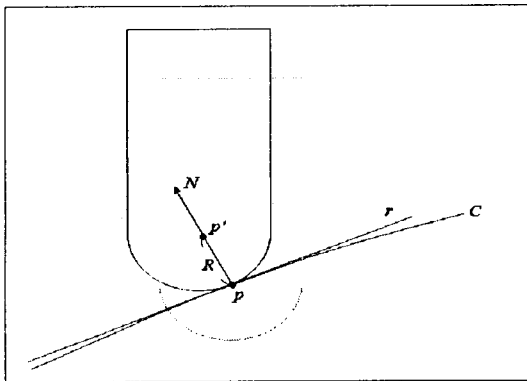


Fig. 1 볼-엔드 밀의 읍셋

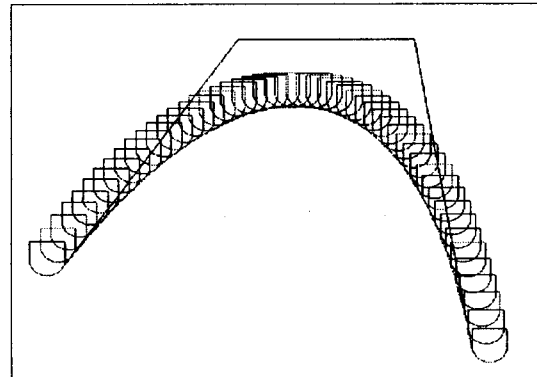


Fig. 2 볼-엔드 밀의 읍셋궤적

곡면  $S(u, v)$ 의 읍셋 곡면도 곡선의 경우와 같이 모든 점  $p$ 에 대한 읍셋점  $p'$ 의

생성으로 정의된다.

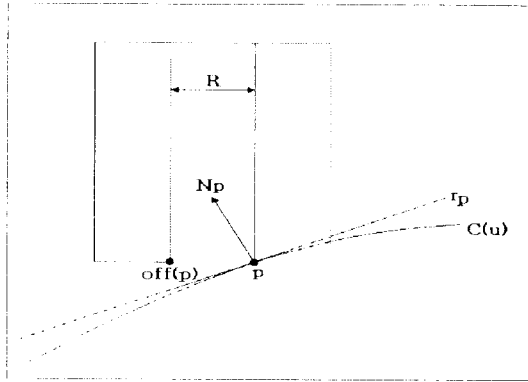


Fig. 3 플랫-엔드 밀에 의한 옹셋정의

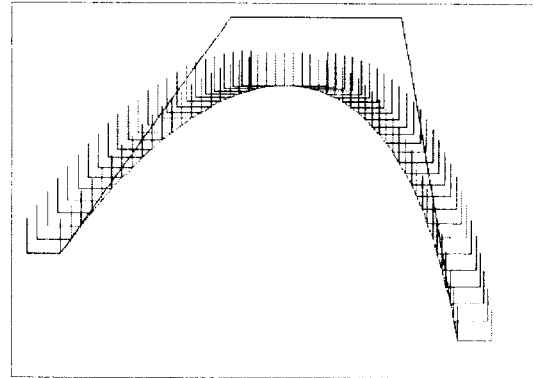


Fig. 4 플랫-엔드 밀의 메쉬

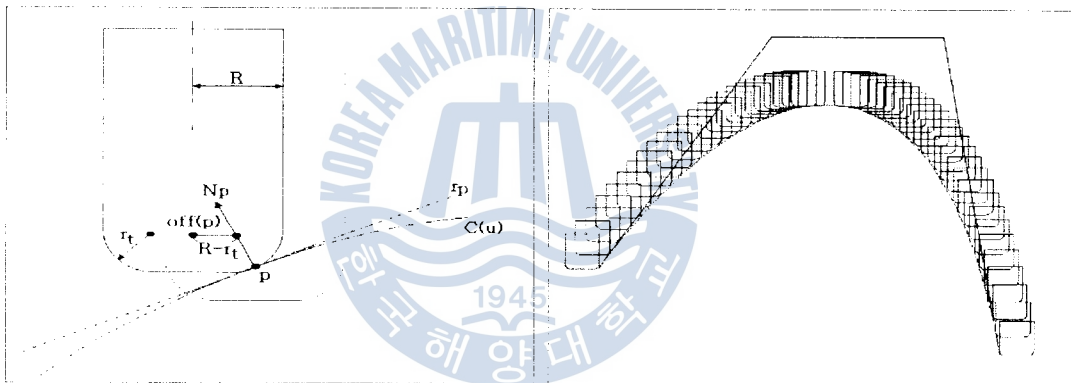


Fig. 5 볼 노즈드-엔드 밀에 의한 옹셋 정의

Fig. 6 볼 노즈드-엔드 밀의 메쉬

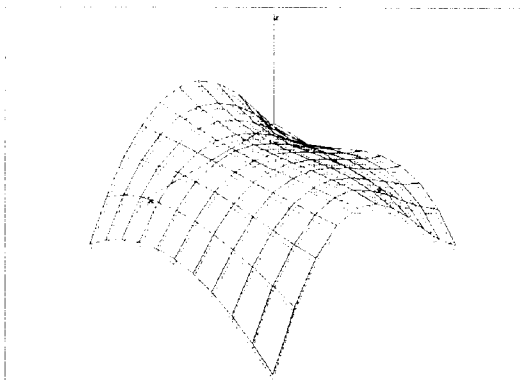


Fig. 7 베제곡면과 법선 옹셋 곡면

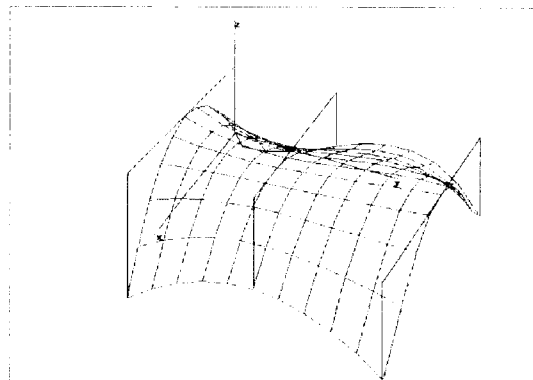


Fig. 8 옹셋곡면의 분할과 가공평면의 생성

본 연구에서는 생성된 곡면의 각 포인트에 대한 법선 옹셋을 수행하므로 모든 매개변수 형태의 곡면에 대한 옹셋 곡면을 생성할 수 있다. Fig. 7은 베제곡면과

그 법선 읍셋 곡면을 생성한 것이다.

### III. 읍셋 곡면의 분할과 읍셋 곡선의 꼬임 검사

자유곡선 가공에 있어서 공구 간섭은 두 자유 곡선이 합성되는 경계 영역에서 접선 불연속성이 발생하는 곳, 곡선사이의 공간이 읍셋거리에 비해 작은 부분, 곡률 반경이 읍셋거리보다 작은 곳에서 발생하게 되고, 이러한 경우에 대한 읍셋은 읍셋 곡선의 꼬임이나 교차를 발생하게 된다.

#### 1. 곡면의 분할

곡면에서 꼬임과 교차의 발생을 미리 검사하는 것은 계산 과정이나 데이터가 방대하므로 본 연구에서는 곡면을 여러 개의 평면으로 분할하여 각 평면에서의 곡선에 대한 검사를 수행하였다.

먼저 Fig. 8과 같이 임의의 가공 평면을 설정하여, 곡면을 여러 개의 평면으로 분할한다. 그리고 읍셋 곡면과 각 가공 평면이 교차하여 생기는 교차곡선을 구한다.

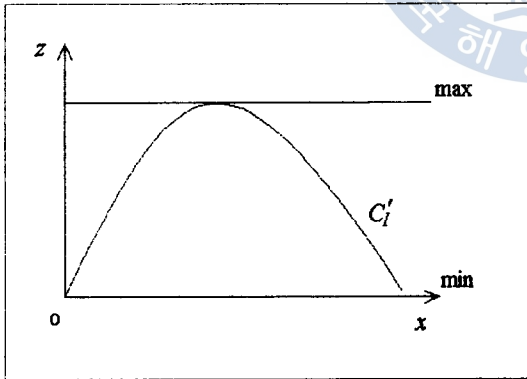


Fig. 9 가공 평면에서의 읍셋 곡선

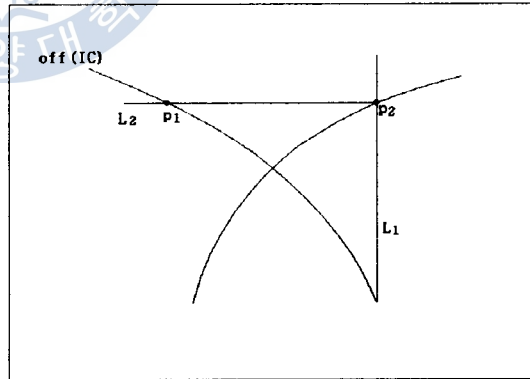


Fig. 두 점의 거리를 이용한 꼬임 검사

Fig. 9는 읍셋 곡면  $S'$ 와 가공 평면이 만나 교차하여 정의된 읍셋 곡선  $C_i$ 를 나타낸다. 이러한  $C_i$ 를 검사하여 꼬임이나 교차가 발생하는 점을 찾아내어 제거하므로써 읍셋 곡면의 공구 간섭을 방지할 수 있게 된다. 꼬임 점을 찾기 위해 먼저  $C_i$ 의  $z$ 값 중 최대값  $z_{max}$ 와 최소값  $z_{min}$ 을 찾아내어 가공 평면의 검사 범위를 정한다. Fig. 9에서 검사 범위는  $(x_{min}, z_{max}) - (x_{max}, z_{max})$ 로 된다.

읍셋 곡면  $S'$ 의 교차 곡선  $C'_I$ 와 꼬임 검사 범위가 구해지면,  $C'_I$ 의 각 점에서의 접선 기울기를 검사하여 꼬임 여부를 결정한다.  $C'_I$ 는 읍셋점들의 집합체이므로 접선의 기울기를 구하기가 어려우므로 각 점들을 연결하고 있는 선분들의 기울기로 대치하여 그 변화를 기억한다.

기울기 변화가 +에서 -로 바뀌는 것은  $C'_I$ 가 볼록한 형태의 곡선을 이루고 있는 것이며, 반대의 경우는 오목한 형태이다.  $C'_I$ 의 접선 기울기가 변하지 않는 것은 꼬임의 발생이 없다는 것으로 정의할 수 있다. 또한 +에서 -로 한 번만 변하는 경우는 꼬임 검사에서 제외된다. 꼬임이 발생하는 경우의 기울기는 -에서 +로, +에서 -, 그리고 -에서 +로 세 번 변하는 경우이다.

## 2. 두 점의 거리를 이용한 꼬임 검사

$C'_I$ 에서 꼬임이 발생할 경우, Fig. 10에서 보인 바와 같이 기울기가 변하는 점에서  $z$ 축과 평행인 수직선  $L_1$ 과  $C'_I$ 와 만나는 점  $P_2$ 를 구하고 그 점을 꼬임 검사 시작점으로 정한다. 검사 시작점의  $z$ 값에 대한  $x$ 축과 평행인 직선  $L_2$ 와  $C'_I$ 와의 교점  $P_1$ 을 계산하고  $P_1$ 과  $P_2$ 의 거리가 정의된 한계 치보다 작을 경우는 검사를 중지하고 두 교점의 중점을 꼬임 점으로 정의한다.

## 3. 구간분할과 점간 선분을 이용한 꼬임 검사

앞서의 교차 읍셋 곡선의  $z$ 값이 같은 두 점의 거리를 이용하여 꼬임을 검사하는 방법은 꼬임점을 확실히 찾을 수 있지만 반복적인 계산과 증분값에 따라 계산의 시간에 많은 차이를 보이게 된다. 이를 보완하기 위해 Fig. 11과 같이  $C'_I$ 를 두 구간으로 분할하여 각 구간이 서로 교차하는 점을 찾는 방법을 이용한다.

$C'_I$ 의 점간 선분기울기가 변하는 두 점에서  $z$ 축과 평행으로 직선  $L_1$ 과  $L_3$ 를 그어 각각의 직선이  $C'_I$ 와 만나는 점을 꼬임 검사 시작점으로 정하고 점간 선분의 기울기가 +인 부분  $B$ 와 -인 부분  $A$ 로 분할한다.

$A$ 는 점  $A_1, A_2, \dots, A_{n-1}, A_n$ 으로 이루어져있고,  $B$ 는 점  $B_1, B_2, \dots, B_{m-1}, B_m$ 으로 이루어져 있다.  $A_{j-2}$ 에서 점간 선분은 점  $A_{j-1}$ 과  $A_{j-2}(1 \leq j \leq n)$ 을 연결한 선분이 되고 이것의 연장 직선은  $B$ 구간에서 점  $B_{k+1}$ 과  $B_{k+2}(1 \leq k \leq m)$ 사이를 교차하게 된다. 이 때 교차점에서의 점간 선분은  $B_{k+1}$ 과  $B_{k+2}$ 를 연결한 직선이 되고 이 점간

선분의 연장직선과  $A$ 구간과 만나는 점은  $A_{j-1}$ 과  $A_j$ 사이에 존재한다.

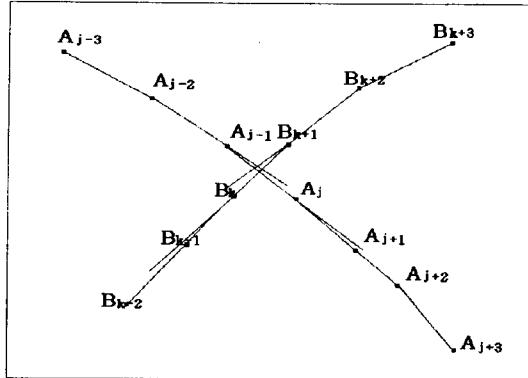


Fig. 11 구간분할과 점간 선분을 이용한 꼬임 검사

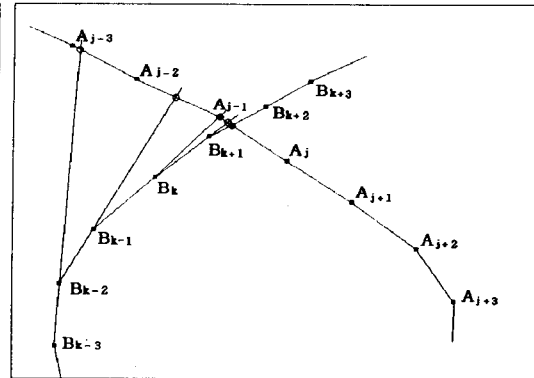


Fig. 12 점간 선분을 이용한 순차적인 꼬임 검사

이러한 과정을 반복하면 두 구간의 교차점은 두 점간 선분( $A_{j-1}$ 과  $A_j$ 의 선분,  $B_k$ 와  $B_{k+1}$ 의 선분)의 교차점으로 수렴하게 된다. 따라서 꼬임점은 두 점간 선분의 교점으로 정의된다. 그러나, 이 방법은  $L_1$ ,  $L_3$ 와  $C'_I$ 의 각 교점이 존재하여야 하고, 그 교점의 점간 선분이 반드시 각각  $A$ 구간과  $B$ 구간을 교차하여야만 꼬임이 존재한다고 판단하므로 꼬임이 분명하지 않을 경우에는 꼬임을 다시 찾아야 한다.

#### 4. 점간 선분을 이용한 순차적인 꼬임 검사

이 방법은 점간 선분의 기울기가 마지막으로 변하는 점, 즉  $C'_I$ 가 꼬임점을 향해 진행하는 점에서 점간 선분의 연장직선과  $A$ 구간과의 교차여부를 반복적으로 검사하는 검사방법이다. 이 방법을 적용하기 위해서는 검사점 선분의 연장직선이  $A$ 구간과 교차하여 생성한 교차점이 검사점의 선분 내에 존재해야 한다. 이 방법은 점간 선분의 기울기 데이터를 이용하여 검사여부를 판단하고 완전한 꼬임 없이 공구간섭이 발생하는 경우에도 공구 간섭 부분을 제거한다. Fig. 12에 나타낸 바와 같이 검사점  $B_{k-2}$ 와  $B_{k-1}$ 을 지나는 직선은  $A$ 구간의 점  $A_{j-2}$ 와  $A_{j-1}$  사이를 교차하지만 교차점이  $B_{k-2}$ 와  $B_{k-1}$ 이 이루는 선분 내부에 있지 않으므로 꼬임점이 아니다.  $B_{k-1}$ 과  $B_k$ 의 경우 역시 같지만  $B_{k+1}$ 과  $B_{k+2}$ 의 선분은  $A$ 구간과의 교차점이 선분내부에 존재하므로 꼬임점이라 판단하고 검사를 중지한다. 또, 검사시작점에서  $C'_I$ 의 끝점까지 선분의 연장직선이  $A$ 구간과 교차하지 않을 경우 꼬임이 발생하지 않는다고 판단하고  $C'_I$ 의 형태에 따라 점간 선분의 기울기가 첫 번째 변하는 점이나

세 번째 변하는 점에서 그 앞부분 또는 뒷부분을 제거한다. Fig. 13은 가공하고자 하는 매개변수 곡면과 옴셋곡면을 나타낸다.

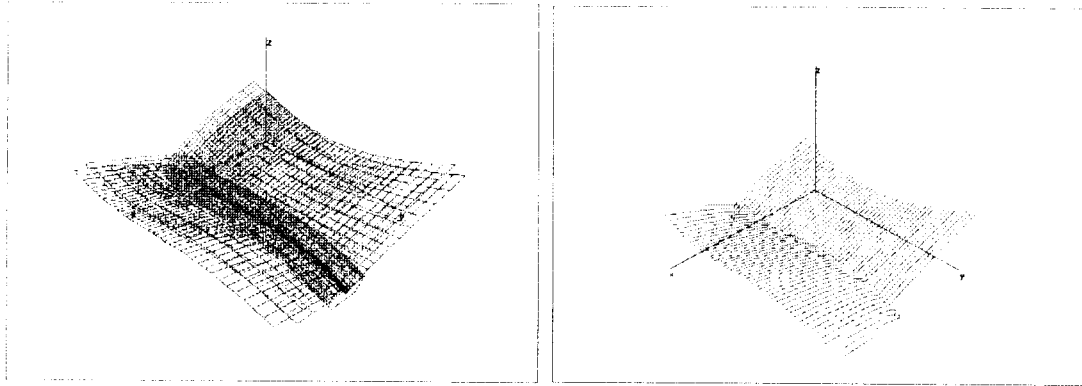


Fig. 13 곡면의 옴셋 곡면

Fig. 14 공구 간섭 제거를 수행한 옴셋 곡면

Fig. 14는 전체 옴셋 곡면에 대하여 간섭 검사를 수행한 꼬임을 제거한 옴셋 곡면을 나타낸 것이며, Table 1은 위의 각 방법으로 공구간섭이 제거된 곡면이 화면에 출력되기까지의 시간을 비교한 것으로 구간분할과 점간 선분을 이용한 꼬임 검사가 가장 효율적인 것을 보여주고 있다.

|           | 두 점의 거리를 이용한 꼬임 검사 |    | 구간분할을 이용한 꼬임 검사 |    | 점간 선분의 순차적인 꼬임 검사 |    |
|-----------|--------------------|----|-----------------|----|-------------------|----|
| 평면분할 수    | 100                | 50 | 100             | 50 | 100               | 50 |
| 계산시간(sec) | 34                 | 18 | 17              | 9  | 15                | 7  |

Table 1 각 방법에 의한 결과 출력 비교

## V. 결론

본 연구에서는 매개변수 곡면의 NC 가공을 위한 옴셋 곡면의 생성에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 자유 곡선과 자유 곡면의 기하학적 정의를 분석하고, 3차 베제 및 B-스플라인 곡선과 곡면을 생성하였다.
2. 모든 매개변수 자유형상을 법선 옴셋하여 3축 NC 가공에 이용할 수 있는 가공정보를 생성하였다. 또한 사용되는 각 공구에 대하여 공구의 특징에 맞는 옴셋

생성이 가능하도록 하였고, 특히 볼-엔드 밀에 대한 음셋 발생에 주목하였다.

3. 근사된 음셋 곡선을 이용하지 않고, 직접적인 음셋데이터를 이용하여 음셋곡면을 표현하였다.

4. 음셋 곡면에 발생하는 문제를 피하기 위해 가공 평면과 음셋 곡면의 교차를 이용하여 교차 음셋 곡선을 생성하고 이를 이용하여 간섭 영역에 대한 꼬임과 교차 발생의 문제를 해결하기 위한 다음 세 가지 방법을 제안하였다.

- 1) 두 점의 거리를 이용한 꼬임 검사
- 2) 직선과 구간분할을 이용한 꼬임 검사
- 3) 점간 선분을 이용한 순차적인 꼬임 검사

본 연구에서 제시한 세 가지 방법에 대한 음셋곡면의 공구 간섭 문제해결에서, 3) 점간 선분을 이용한 순차적인 꼬임 검사의 방법이 가장 양호한 결과를 보였다.

### 참고문헌

1. J. Hoscheck, *Offset curves in the plane*, CAD Vol. 7, No 2, 1985
2. J. Hoscheck, N. Wissel, *Optimal approximate conversion of spline curves and spline approximation of offset curves*, CAD Vol. 20, No 8, 1988
3. S. Coquillart, *Computing offsets of B-spline curves*, CAD Vol. 19, No. 6 1987
4. W. Tiller, E. G. Hanson, *Offset of two-dimensional profiles*, IEEE CG&A. Vol. 4 1984
5. J. Owen, Step: An introduction, information geometers, 1993 (VK)
6. 최 병 규, CAM시스템과 CNC 절삭가공, 靑文閣, 1995
7. 이 건 우, 컴퓨터그래픽과 CAD, 영지문화사, 1994
8. Glen. Mullineux, CAD : Computational concepts and methods, 日刊工業新聞社, 1990
9. 佐藤義雄, 실습 컴퓨터 그래픽스, 正益社, 1992
10. K. CH. Cheng, Y. Dyan, *Offsetting surface boundaries and 3-axis gouge-free surface machining*, CAD Vol. 27, No 12, 1995
11. 김희중, 정재현, *The generation of machining information with shape control properties of B-spline*, 한국해양대학교 논문집, Vol. 16, 1994
12. 정희원, 정재현, *3차원 자유곡면 가공용 CAM시스템의 개발에 관한 연구 (2)*, 한국 박용기관학회지, Vol. 19, No. 1, 1995