

이 논문은 1997학년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임

토폴로지 정보가 없는 CAD 곡면의 꺾인 모서리 탐색

박정환*, 이정근**

Convex Sharp Edge Detection of CAD Surfaces without Topology

Jung W. Park*, Jung-Geun Lee**

ABSTRACT

The part-surface of mold or stamping-dies consists of a compound surface which consists of lots of composite surfaces, and may have various types of feature shapes including convex sharp edge (CSE). Those CSE features should be considered with care in machining the surface, which necessitates extraction of CSE curves on a compound surface. This work can be done rather easily for a solid model which has a complete topology information. In case of the compound surface without topology information, however, such CSE curves must be gathered through some geometrical calculations paying much computation time. In the paper, extracting CSE curves by the construction of a CSE region-map which can reduce time, and detecting various common edge types are presented.

Key Words : CAD surface (컴퓨터 지원 설계 곡면), Topology (위상정보), Convex sharp edge (볼록하게 꺾인 모서리), Z-map (지-맵)

1. 서론

금형 형상부 또는 제품의 설계곡면은 일반적으로 수십~수천개의 자유곡면 (sculptured surface)으로 이루어지는 합성곡면 (compound surface)^{[1,2]}}으로 모델링한다. 또한 형상 자체는 그루브 (groove), 모서리 (edge) 등의 다양한 특징 (feature)들을 가진다^{[3]}}. NC 절삭가공을 이용하여 이러한 특징형상들을 잘 나타내기 위해서는 CL (cutter-location) 데이터를 계산할 때 별도의 조치가 필요하다. 특히 '볼록하게 꺾인 모서리 (CSE; convex sharp edge)'에 대해서는 라절삭 (gouge) 등을 방지하기 위한 별도의 조치가 필요하며^{[4]}}, 이에 따라 CSE 특징곡선의 추출이 필

요한 경우가 발생한다 (Fig. 1). 오목하게 꺾인 모서리 형상에서 발생할 수 있는 미절삭 (uncut)에 대해서는 펜슬가공^{[5]}} 또는 잔삭가공 (clean-up cut)^{[3]}} 등의 대책이 필요하다.

합성곡면은 여러개의 경계곡선을 가지는 단위곡면 (face)으로 구성되며, 각 단위곡면은 복합곡면 (composite surface)^{[1]}}으로 모델링한다. 단위곡면은 기반곡면 (base surface)을 트리밍 (trimming)^{[1]}}하거나 또는 기반곡면 자체로 만들어지며, 이때 트리밍 곡선 또는 기반곡면의 외곽 경계곡선은 하나 이상의 에지 (edge)로 이루어진다. 일반적인 솔리드 모델의 경우 half-edge^{[6]}} 또는 winged-edge^{[6]}}

* 영남대학교 기계공학부, 정회원

** 영남대학교 기계공학부, 대학원

데이터구조를 이용하여 단위곡면간의 위상관계 (topology)를 표현하므로, 곡면간의 공유에지 (common edge)를 탐색하고 CSE 곡선을 추출하는 작업은 비교적 용이하다 하겠다. 반면 위상정보가 없는 합성곡면의 공유에지를 탐색하고 CSE 곡선을 추출하는 문제는 많은 기하학적 계산을 요구한다.

본 연구는 상용 CAM 시스템인 Z-Master^[7]에서 위상정보가 없는 합성곡면의 CSE 곡선을 추출하는 문제를 다루고 있다. 본 CAM 시스템은 z-map^[1-3]을 기반곡면으로 금형 가공용 NC 가공 데이터를 생성하며, 형상 모델은 CATIA^[8] 모델 인터페이스 및 IGES (Initial Graphics Exchange Specification) 데이터로부터 입력되어 위상정보는 별도로 가지지 아니한다. 입력된 매개변수형 곡면 정보는 우선 z-map 또는 EZ-map^[5]으로 변환하게 된다. 이후 이러한 'master-model' z-map을 기준곡면으로 삼아 다양한 처리를 하고 있다. 이러한 이유로 'master-model' z-map을 활용하면서 합성곡면의 공유에지 및 CSE 곡선을 추출하는 방법에 관한 연구를 수행하고자 하였다.

2절에서는 문제 정의 및 전반적인 절차를 살펴 보고, 3절에서는 CSE 영역지도 제작, 공유에지 및 CSE 곡선의 추출에 관해 다룬다.

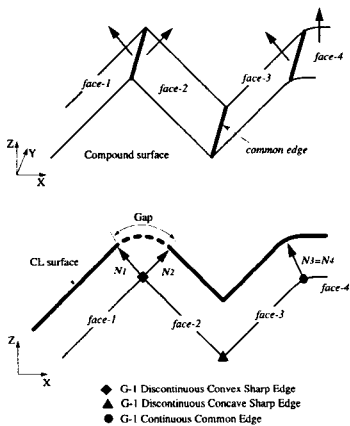


Fig. 1 Compound surfaces and edge types

2. 문제정의 및 전반적인 절차

위상정보가 없는 합성곡면으로부터 CSE 곡선을 추출하기 위해서는 일단 인접한 단위곡면간의

공유에지 조합 (common edge pair)을 찾고, 두 에지의 기하정보를 이용하여 '볼록 (convex)', '오목 (concave)' 및 '꺾임 (C0 연속)', '연속 (G1 연속)' 특성을 판별한다. 여기서 기하정보는 에지위의 각 점에서 계산되는 법선벡터 (접평면) 정보가 사용된다. 본 연구에서는 최종적으로 '꺾임' 및 '볼록' 특성을 지니는 공유에지를 추출하고자 한다. 그리고 모든 에지 정보는 점열 (point-sequence)로 주어지며 각 점에서의 곡면 법선벡터가 주어져 있다.

모든 단위곡면의 총 에지 개수가 n 일 때 두 에지간의 비교를 통하여 공유에지 조합을 찾는 계산은 근사적으로 $O(n^2)$ 이다. 이는 많은 계산시간을 소요하는 작업이므로 CSE 곡선이 존재할 것으로 예상되는 영역을 미리 구하여 불필요한 비교시간을 줄이고자 하였다.

본 연구에서 CSE 곡선을 추출하는 과정은 크게 두 단계로 구분한다. 첫 번째로, 볼록하게 꺾인 모서리가 존재하는 영역을 미리 파악하기 위하여 CSE 영역지도 (CSE mark-map)를 제작한다. 이 정보는 형상 z-map ('master-model')으로부터 초기 CSE 곡선을 구한 후, 2차원 모의가공 (cutting-simulation)을 이용하여 공구궤적내의 격자점 (grid-point)을 표시해둠으로써 제작한다. 다음으로, 각 단위곡면의 에지끼리 공유여부를 판단함으로써 CSE 곡선을 추출한다. 이때 일단계에서 얻어낸 CSE 영역 내에 포함되는 에지만을 대상으로 함으로써 불필요한 계산을 줄이도록 한다. 이러한 절차를 Fig. 2에 보이고 있다.

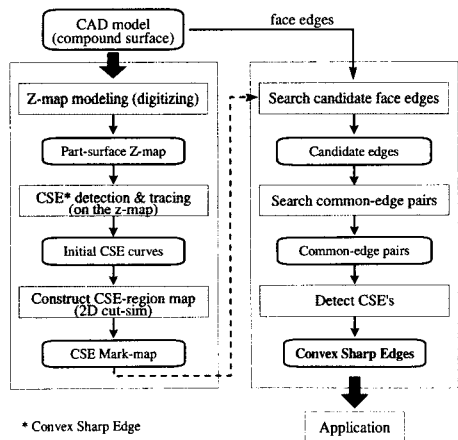


Fig. 2 Overall procedures

3. CSE 곡선 추출

3.1 CSE 영역지도 제작

CSE 영역지도를 만드는 과정은 (1) 형상 z-map 으로부터 초기 CSE 곡선 추출, (2) 2차원 모의가공, (3) Z-map상의 CSE 영역지도 구축의 3 단계이다.

형상 z-map으로부터 초기 CSE 곡선을 찾는 과정은 기존의 z-map 모델에서 펜슬곡선을 찾는 문제^[3,5]의 쌍대문제 (dual problem)이라고 할 수 있겠다. 즉 펜슬곡선 추출은 공구 읍셋 z-map^[3]상에 존재하는 ‘오목하게 꺾인 격자점’을 추적하는 문제로 정의되지만, CSE 곡선의 경우는 형상 z-map상에 존재하는 ‘볼록하게 꺾인 격자점’을 추적하는 문제로 정의할 수 있다.

참고로, z-map상에 존재하는 ‘볼록하게 꺾인 격자점’은 Fig. 3에서 보듯이 z-map의 ‘라운드(rounding)’^[11] 및 ‘빼기 (difference)’ 조작을 통해 존재 여부를 판단할 수 있다.

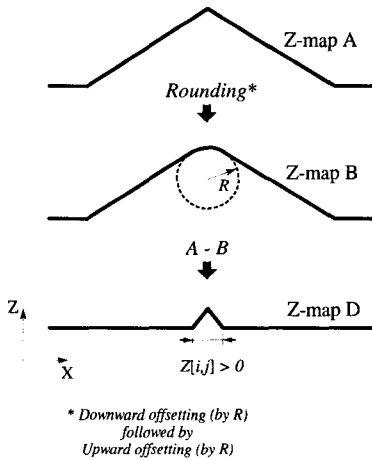


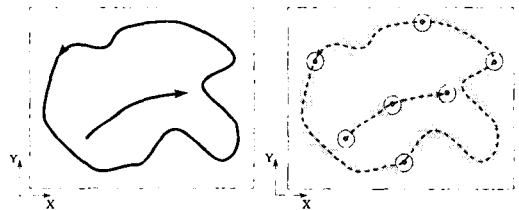
Fig. 3 Detection of convex sharp grid-points on the z-map

Fig. 3에서 Z-map A가 ‘master-model’ z-map일 때, 하향읍셋 (downward offset) 후 상향읍셋 (upward offset)을 수행하면 라운드 처리가 된 z-map을 얻게 된다 (Z-map B). 이제 Z-map A에서 Z-map B를 빼면 차 Z-map D (Fig. 3)가 구해진다. 여기서 높이값 $Z[i,j] > 0$ 인 격자점이 ‘볼록하게 꺾인 격자점’에 해당한다. 일단 z-map 격자점을 대상으로 ‘볼록하게 꺾인’ 점들을 찾은 후 점열곡선으로의 추

출은 펜슬곡선 추출^[5]에서 격자점 추적 (tracing) 문제와 동일한 과정을 거친다.

초기 CSE 곡선을 추출한 후 CSE 영역지도를 제작하는 과정은 모의가공 기능을 활용한다. 우선 z-map 격자점 높이값을 모두 0으로 세팅한다. 그리고 CSE 곡선을 2차원 원반 (disk) 중심점으로 지정하여 2차원 공구 궤적 내에 들어오는 z-map 격자점 높이값을 1로 세팅하면, z-map상에 CSE 영역을 표시할 수 있다. 이때 원반의 반경은 격자간격 (γ)의 1.5배로 주었는데 이는 z-map 자체의 표현오차를 고려한 때문이다.

추후 공유에지를 탐색하는 과정에서는 곡면 에지중 CSE 영역내부에 들어오는 에지만을 대상으로 제반 검사를 수행하게 된다.



(a) Initial CSE curves (b) 2D cutting-simulation
Fig. 4 Initial CSE curves and construction of the CSE-region map

3.2 공유에지 및 CSE 곡선 추출

3.2.1 공유에지 판별 및 추출

본 연구에서 공유에지는 ‘인접한 두 에지곡선에서 허용오차 (ϵ) 이내로 근접한 부분’으로 정의한다 (Fig. 5).

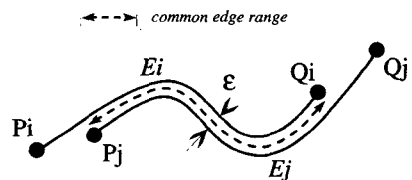


Fig. 5 Common-edge range of two comparing edges

두 비교대상 에지의 공유에지 보유를 파악하기 위하여 두 에지곡선의 위치 관계를 살펴볼 필요가 있다. 본 연구에서는 에지의 끝점 (예: Pi)과 상대

에지 (예: E_j)간의 거리를 기준으로 삼았다 (식 1).

$$\text{Distance}(P, E) \leq \varepsilon \quad (1)$$

여기서 $P = \text{End point of an edge}$,
 $E = \text{Comparing Edge}$.

이제 에지의 한 끝점이 식 (1)의 조건을 만족할 경우를 '1'로, 반대의 경우를 '0'으로 생각하면 (Fig. 5), 한 에지의 양 끝점에 대해 '11', '10', '01', '00'의 비트 패턴이 나옴을 알 수 있다. Fig. 5의 경우는 '01'이 된다.

마찬가지로 상대편 에지의 끝점에 대해서도 이러한 패턴을 알아낼 수 있으며, 두 비교 에지에 대해 이 패턴을 조합하면 '0000'에서 '1111'에 이르는 비트 패턴을 구할 수 있다. 여기서 '0000'은 두 에지의 양 끝점이 상대편 에지의 어느 부위와도 식 (1)의 조건을 만족하지 않는 경우이고, '1111'은 두 에지 모두 양 끝점이 식 (1)을 만족하는 경우이다.

먼저 두 에지곡선이 모두 'open'인 경우 상기 비트 패턴에 따른 기본적인 관계는 Fig. 6과 같이 네 가지로 구분할 수 있다 (case I ~ IV).

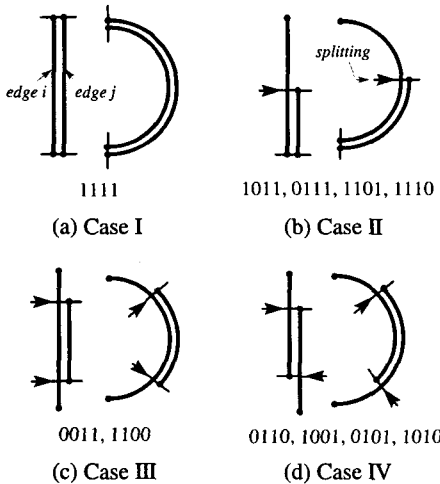


Fig. 6 Basic classification of common-edge types for 'open' edges

두 에지가 Fig. 6의 네 가지 패턴중 하나에 해당 되면 일단은 공유에지가 존재할 가능성이 매우 높은 것으로 판단하는데, 실제로는 공유에지 부분이 없는 경우도 있으므로 (Fig. 7) 공유에지에 해당하

리라 생각되는 에지상에서 추출한 점데이터에 대해 추가적으로 식 (1)의 조건을 검사하도록 한다.

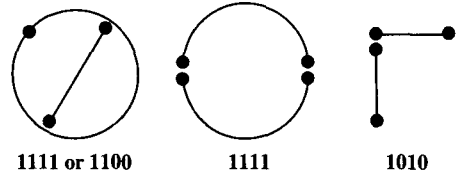


Fig. 7 Fake common-edge examples

다음으로 두 에지곡선 중 하나 또는 모두가 'closed'인 경우에는 'closed' 에지를 절단하여 Fig. 6a (case I)와 같은 관계로 만들어 줄 수 있다 (Fig. 8a,b,c). 마지막으로 비트 패턴은 case I이면서 실제로는 case IV와 같은 관계인 경우 (Fig. 8d)에도 절단을 통하여 case I이 되도록 만들 수 있다.

본 연구에서는 비트 패턴이 '0000'이면서 일부 공유에지가 존재하는 경우는 제외하였다 (Fig. 9).

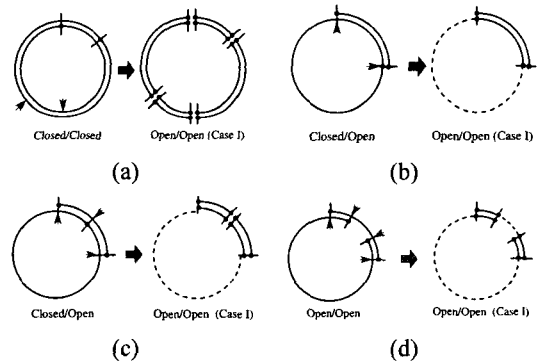


Fig. 8 Re-classification of common-edge types for 'closed' edges

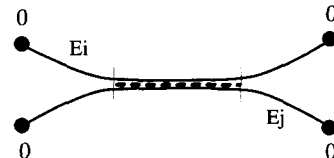


Fig. 9 Common-edge type with bit-pattern of '0000'

3.2.2 CSE 곡선 추출

3.2.1에서 설명한 방법으로 두 에지 E_i 와 E_j 의 공유에지 부분 (CE_i 및 CE_j)을 파악할 수 있으며 (Fig. 10a), CE_i 및 CE_j 상의 점데이터 (P_k) 및 법선벡

터 정보 (N_{k1} , N_{k2})를 저장하는 별도의 곡선을 만든다 (Fig. 10b).

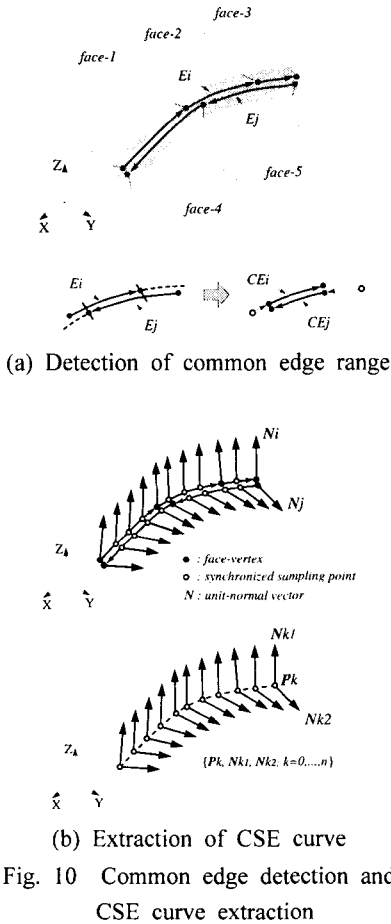


Fig. 10 Common edge detection and CSE curve extraction

이후 법선벡터 N_{k1} , N_{k2} 의 관계 (각도 θ 또는 두 벡터의 내적)로부터 이 공유에지 곡선이 ‘불록’ 또는 ‘오목’인지와 ‘연속’ 혹은 ‘꺾인’ 부분인지를 판단한다. 또한 위상정보가 없는 합성곡면의 경우 각 단위곡면의 법선벡터 방향이 반대로 계산되는 경우도 있으며, 이 경우에는 앞서 만든 z-map 모델의 형상정보로부터 ‘오목’ 또는 ‘불록’ 여부를 확인할 수 있다.

최종적으로 ‘오목’ 및 ‘연속’에 해당하는 곡선은 버리고 ‘불록’ 및 ‘꺾인’ 곡선만을 취하면 CSE 곡선을 얻어낼 수 있다. 참고로 공유에지가 존재하지 않는 곡면 경계곡선 또한 CSE 곡선으로 취급하도록 하였으며 에지가 없는 부분의 법선벡터 (Fig. 11

의 N_{k2})는 식 (2)로 계산하였다.

$$\begin{aligned} N_{k2} &= T_k \times N_{k1} \text{ or} \\ N_{k2} &= N_{k1} \times T_k \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{여기서 } T_k = \frac{P_{k+1} - P_{k-1}}{|P_{k+1} - P_{k-1}|}$$

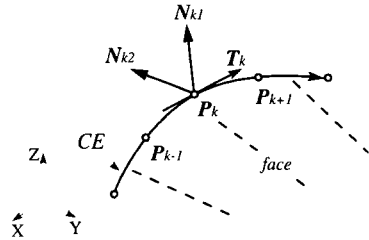


Fig. 11 Normal vector for the null mating edge

4. 예제

본 논문의 내용을 구현하여 적용한 사례를 Fig. 12~Fig.15에 보이고 있다. 프로그램 구현은 현재 상용 CAM 시스템으로 사용되고 있는 Z-Master에서 IBM RS6000/43P EWS에서 C 언어로 구현하였다.

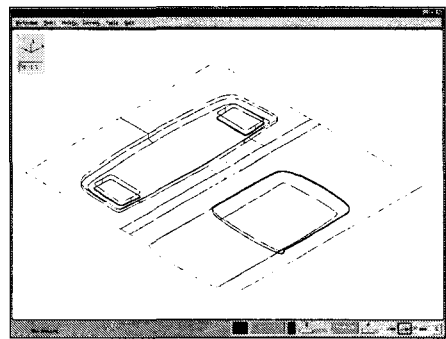


Fig. 12 CAD surface

입력 CAD 곡면은 25개의 단위곡면으로 구성된 합성곡면이며, 에지의 총 개수는 107개이다 (Fig. 12). 본 CAD 곡면으로부터 격자간격 (grid-interval) 0.8로 z-map을 생성한 결과를 Fig. 13에 보이고 있다 (계산시간 = 14초). 여기서 z-map의 xy 영역 크기는 232× 252mm이다.

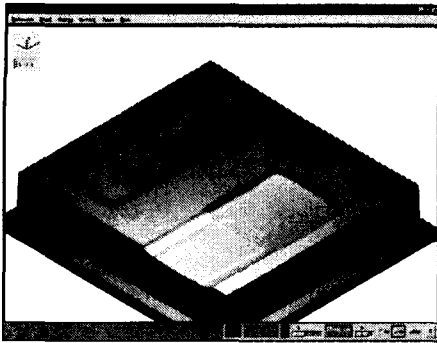


Fig. 13 Z-map model (grid-interval=0.8)

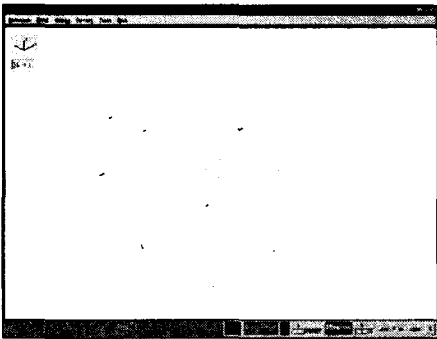


Fig. 14 Initial CSE curves from the z-map

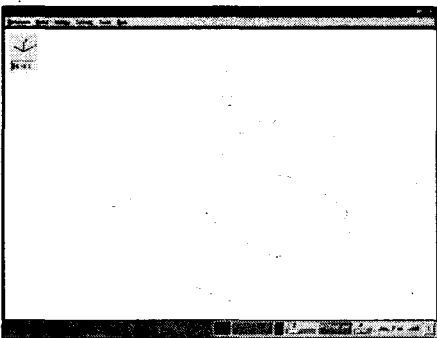
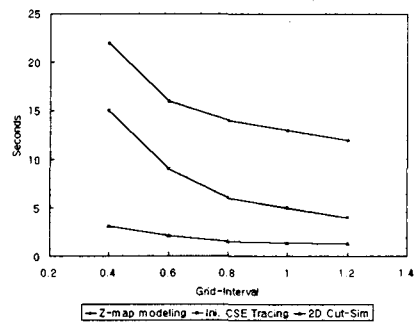


Fig. 15 Extracted CSE curves

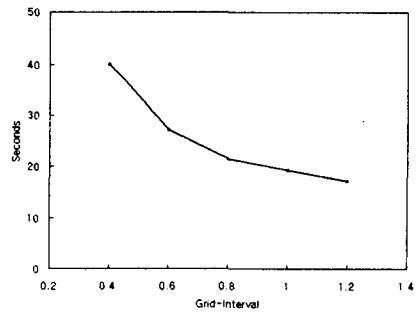
Z-map 모델로부터 추출한 초기 CSE 곡선은 모두 6개의 점열곡선으로 구성되며 (Fig. 14), 계산시간은 6초가 소요되었다. 이후 2차원 모의가공을 통해 CSE 영역을 계산하고 (계산시간=1.5초), 이 영

역 내에 포함된 에지 곡선에 대해 CSE 곡선을 추출한 예를 Fig. 15에 보이고 있다 (계산시간=25초).

Fig. 16은 z-map 격자간격을 달리 주고, 전체 과정 중 z-map 모델링, 초기 CSE 곡선 추출 및 2차원 모의가공을 수행하여 CSE 영역지도를 구축할때까지의 계산시간을 보이고 있다 (일단 CSE 영역지도가 구축되면, 이후의 계산시간은 거의 일정하므로 나타내지 않았다).



(a) Time for individual process



(b) Total time

Fig. 16 Computation time from z-map modeling to CSE-region map construction

5. 결론 및 토의

본 논문은 위상정보가 없는 합성곡면의 '불룩하게 꺾인 모서리' 곡선을 추출하는 문제를 다루었으며, 별도로 CSE 영역을 구축함으로써 비교 대상 에지를 줄임으로써 계산시간을 줄이는 노력을 하였다. CSE 곡선은 CSE 특징형상의 NC 가공시 과절삭 등의 문제가 발생하지 않도록 별도 조치를 취할 수 있는 기반이 된다고 사료된다.

초기 CSE 곡선을 추출하는 과정에서 사용하는

z-map의 격자간격은 초기 CSE 곡선의 정밀도에 영향을 미칠수 있는데, 격자 간격이 클 경우 CSE 형상을 제대로 표현하지 못함으로써 초기 CSE 곡선 전체 또는 일부분을 유실할 가능성이 있다. 특히 작은 단차 (step) 등의 영역은 일반적인 z-map으로 표현하기에 어려움이 있다 (일반적으로 z-map의 표현오차는 격자간격과 비례한다고 본다). 따라서 EZ-map^[5] 등의 정밀 z-map을 사용하는 것이 보다 정확한 초기 CSE 곡선 추출에 도움이 될것으로 사료된다.

본 연구에서 에지는 점열 곡선으로 변환하여 처리하였으며, 일반 매개변수형 곡선형태의 에지에 대해서도 처리가 가능토록 확장하는 것이 어렵지 않을 것으로 사료된다. 또한 모든 공유에지를 추출할 경우 합성곡면의 위상정보 구축에의 응용이 가능할 것이다. 그리고 본 연구에서는 2차원 CSE 영역지도를 만들었는데, xy 영역에서 겹치는 에지 곡선이 많이 존재할 경우 계산시간 단축 효과가 떨어질 수 있으므로 3차원 모의가공을 이용하여 보다 엄밀하게 후보 에지를 선택할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Choi, B. K., "Surface modeling for CAD/CAM," Elsevier, 1991.
2. 최병규 외, CAD/CAM 시스템과 CNC 절삭가공, 회중당, 1996.
3. Choi, B. K. and Jerard, R. B., "Sculptured surface machining: theory and applications," Kluwer academic press, 1999.
4. Tang, K. Cheng, C. and Dayan, Y., "Offsetting surface boundaries and 3-axis gouge-free surface machining," Computer-aided design, Vol. 27, No. 12, pp. 915-927, 1995.
5. 박정환, 김보현, 최병규, "가상측정을 통한 펜슬곡선 추출," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 2, No. 4, pp. 253-266, 1997.
5. Lee, K. W., "Principles of CAD/CAM/CAE systems," Addison Wesley, 1999.
7. (주)큐빅테크, "Z-Master 사용자 매뉴얼," Cubic Tech, Korea, 1992.