

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. (45) 공고일자 2006년04월07일
G05B 19/41 (2006.01) (11) 등록번호 10-0569049
(24) 등록일자 2006년04월03일

| | | | |
|-------------|-------------------|-------------|-----------------|
| (21) 출원번호 | 10-2000-7006937 | (65) 공개번호 | 10-2001-0033451 |
| (22) 출원일자 | 2000년06월21일 | (43) 공개일자 | 2001년04월25일 |
| 번역문 제출일자 | 2000년06월21일 | | |
| (86) 국제출원번호 | PCT/IB1998/001949 | (87) 국제공개번호 | WO 1999/32949 |
| 국제출원일자 | 1998년12월08일 | 국제공개일자 | 1999년07월01일 |

(81) 지정국 국내특허 : 알바니아, 아르메니아, 오스트리아, 오스트레일리아, 아제르바이잔, 보스니아 헤르체고비나, 바르바도스, 불가리아, 브라질, 벨라루스, 캐나다, 스위스, 중국, 쿠바, 체코, 독일, 덴마크, 에스토니아, 스페인, 핀란드, 영국, 그라나다, 그루지야, 가나, 감비아, 크로아티아, 헝가리, 인도네시아, 이스라엘, 인도, 아이슬란드, 일본, 케냐, 키르키즈스탄, 북한, 대한민국, 카자흐스탄, 세인트루시아, 스리랑카, 리베이라, 레소토, 리투아니아, 룩셈부르크, 라트비아, 몰도바, 마다가스카르, 마케도니아공화국, 몽고, 말라위, 멕시코, 노르웨이, 뉴질랜드, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 러시아, 수단, 스웨덴, 싱가포르, 슬로베니아, 슬로바키아, 시에라리온, 타지키스탄, 투르크멘, 터키, 트리니다드토바고, 우크라이나, 우간다, 미국, 우즈베키스탄, 베트남, 세르비아 앤 몬테네그로, 짐바브웨,

AP ARIPO특허 : 가나, 감비아, 케냐, 레소토, 말라위, 수단, 스와질랜드, 우간다, 짐바브웨,

EA 유라시아특허 : 아르메니아, 아제르바이잔, 벨라루스, 키르키즈스탄, 카자흐스탄, 몰도바, 러시아, 타지키스탄, 투르크멘,

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 사이프러스, 독일, 덴마크, 스페인, 핀란드, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투갈, 스웨덴,

OA OAPI특허 : 부르키나파소, 베닌, 중앙아프리카, 콩고, 코트디부아르, 카메룬, 가봉, 기니, 기니 비사우, 말리, 모리타니, 니제르, 세네갈, 차드, 토고,

(30) 우선권주장 2944/97 1997년12월22일 스위스(CH)

(73) 특허권자 스타라그
스위스 로샤세르베르그 씨에이치-9404 시블리체스트라세 61

(72) 발명자 엔겔리막스
스위스랑그나우암알비스CH-8135손네그웨그9

발드보겔조르그
스위스클로텐CH-8302비엔넨베그26

슈나이더토마스
스위스취리히CH-8047뵘탁케링66

(74) 대리인 서종완

심사관 : 송병준

(54) 재료 제거에 의한 작업 대상물 가공 방법

요약

본 발명은 도구를 사용하여 재료를 제거함으로써 작업 대상물을 가공하는 방법에 관한 것으로서, 도구는 경로를 따라 작업 대상물 위에서 움직인다. 허용오차 면적의 폭이 최적화 되도록 각 지점에서 도구의 경사각과 틸트각들이 선택된다. 상기 영역 내에서, 도구의 절삭 범위(K)가 작업 대상물의 대상 표면(Ψ)의 허용오차 내에 위치한다. 허용 범위 면적의 제일 외부 지점을 표시하는 두 지점(Pl, Pr) 사이의 거리가 최대화된다. 그 결과, 적은 수의 경로로서 높은 정확도의 표면을 생성하는 것이 가능하다.

대표도

도 4a

색인어

경사각, 틸트각, 작업 대상물,

명세서

기술분야

본 출원은 1997년 12월 22일자로 출원된 스위스 특허 출원 제2944/97호에 대한 우선권을 가지며, 이를 본 명세서의 일부로 한다.

본 발명은 독립항들의 전제부에 따라 재료제거에 의한 작업 대상물의 가공 방법에 관한 것이다.

이러한 방법들은 예를 들면 임의의 표면을 갖는 작업 대상물들의 가공을 위한 CAD(Computer Aided Design)/CAM (Computer Aided Manufacturing) 시스템에서 다섯 개의 축을 갖는 도구(tool)들의 경로를 생성하는 역할을 한다.

배경기술

공지된 도구 피팅(fitting) 방법들은 모두 도구의 작업 대상물상의 예정된 접촉 경로에서 출발한다. 위치와 방위, 즉 경사각(inclination angle: 도구의 진행방향에서 도구의 축과 대상 표면에 수직인 벡터 사이의 각)과 틸트각(tilting angle: 진행방향의 수직 방향에서의 도구의 축의 각)은 접촉경로 상의 선택된 지점에서 여러가지 상이한 방법으로 결정된다. 현재 경사각과 틸트각을 결정하는 가장 좋은 방법은 작업 대상물과 도구의 2차 근사투영에 기초를 두고 있다(Jean-Pierr Kruth and Paul Klewais, Optimization and Dynamic Adaptation of the Cutter Inclination during Five-Axis Milling of Sculptured Surfaces, Annals of the CIRP, 1994). 임계 경사각(근사치에서 더 이상의 하부절삭(undercut)이 없는 경사각)의 계산을 위한 2차 방정식은 일정한 틸트각들에 대하여 유도되었다. 이러한 방법들에서는, 제한된 정확도에도 불구하고 가공이 여전히 복잡하다(충돌의 위험성).

발명의 상세한 설명

따라서, 해결되어야 할 문제는 기존 방법들의 단점을 부분적으로나마 피하는 처음에 언급되었던 유형의 방법을 제공하는 것이다. 특히 신속하고, 따라서 비용이 저렴한 가공이 가능해야 한다.

이 문제는 독립항들의 목적에 의해 해결된다.

공지된 방법들과는 대조적으로, 접촉점 영역에서의 국소적인 피팅이 아니라 양, 즉, 오차허용 면적의 폭의 비국소적인 최적화가 실시되며, 이것에 의해 기계가공 경로의 수가 감소되고 가공이 합리적으로 될 수 있다.

바람직하기로는, 도구가 언제나 대상 표면 위에 위치하도록 경사각과 틸트각을 선택한다. 이로써 표면을 원하는 모양에 합치시키는 좀더 나은 수공 마무리가 가능하다. 크루스(Kruth)와 클레바이스(Klewais)에 의한 공지의 방법에 의하면, 도구와 작업 대상물 표면에 대한 정확한 설명을 이용하여 도구가 작업 대상물에 손실을 입힐 수 있다는 것을 보여준다(특히 큰 도구들의 사용시).

다른 바람직한 구현예에서는, 대상 표면의 각각의 지점에 대해 허용오차 면적과 허용오차 면적의 최대 지름 방향이 결정되도록 도구의 경로를 선택한다. 도구의 경로들을 이 지름에 실질적으로 수직하게 선택함으로써, 도구 경로들의 수는 감소될 수 있다.

본 발명의 다른 구현예에서는, 피팅 곡선이 대상 표면상의 일 지점에서 결정되어지는데, 이의 도함수들, 특히 소정 지점에서의 곡률, 곡률의 도함수 및 비틀림은 도구의 절삭범위를 나타내는 절삭 곡선(대상 표면에 대하여 최소의 거리를 갖는 모든 지점에서 형성된)의 그것들과 대응된다. 이하에서 보여지는 것처럼, 이러한 방법에 의하면 도구의 잘 합치된 위치는 계산에 의해 간단하게 결정될 수 있다.

본 발명의 방법이 사용될 수 있는 가공 방법들의 예로는 5축 밀링(milling), 그라인딩(grinding), 부식(erosion), 선반(lathing)이 있다. 작업 대상물에 관한 예로는 항공기, 자동차, 또는 선박의 외피 부분, 터빈 블레이드(turbine blades)와 같은 유체내 부품들(flow guiding pieces), 디자이너 상품(designer items) 등이 있다.

도면의 간단한 설명

이하의 도면을 참조하는 설명 및 종속항들으로써 본 발명의 장점 및 응용에 대하여 설명하기로 한다.

도 1은 작업 대상물에 작용하는 토러스(torus) 단편을 가진 회전 대칭인 도구이다(토러스의 중심 원 K 는 반지름 a 를 가지고, 작은 토러스의 지름은 b 이다.).

도 2는 서로 다른 도구들의 예들로서, 원통형 도구(A), 토러스 도구(B), 구형도구(C)를 나타낸다.

도 3은 에르미트(Hermite) 방법으로서, 원 \tilde{K} 는 접선벡터 $\tilde{\xi}_0$ 가 수직벡터 n_0 에 직각이 되도록 e_2 둘레를 각 θ 만큼 회전한다. 그 해는 원 K 이다.

도 4a는 에르미트 방법으로서, 두 개의 피팅 지점 P_0 와 P_2 를 가지는 소정의 표면 Ψ 과, 소정의 큰 지름 a 를 가지는 피팅된 중심 토러스 원 K 를 나타낸다.

도 4b는 도 4a의 피팅 지점들 사이의 거리 함수이다.

도 5a는 에르미트-체비셰프(Hermite-Chebyshev) 방법으로서, 두 개의 피팅 지점 P_0 와 P_2 를 가지는 소정의 표면 Ψ , 피팅된 중심 토러스 원 K 와 $stoI$ 이 초과된 지점 P_1, P_r 를 나타낸다.

도 5b는 도 5a 배열의 거리함수들을 나타낸다.

도 6a는 테일러(taylor) 방법으로서, Ψ 에 대한 τ 의 국소적 최적 피팅은 $b\Psi$ 에 대한 K 의 국소적 피팅과 등가이다.

도 6b는 $stoI$ 이 초과된 지점 P_1 과 P_r 까지의 도 6a에 대한 거리함수이다.

도 7은 테일러 방법으로서; 첫 번째 세개 항들이 피팅 지점 $P_0 = C_0$ 인 원의 테일러 급수에 대응되는 테일러 급수에 대한 표면곡선 c 를 가진 대상 표면 Ψ 이다.

도 8은 토러스 표면의 쌍곡선(왼쪽)과 타원(오른쪽)의 점에 대한 4개의 해이다(오른쪽 해 4가지 중 4번째 해는 토러스 표면에 의해 커버된다).

도 9는 토러스 도구에 대한 피팅 벡터 영역 A를 갖는 대상 표면 Ψ 이며, 짧은 선 단편들은 Ψ 상의 접점에서 출발하여 직각방향으로 확장되고 $b\Psi$ 접점에서 끝난다. 긴 선 단편들은 $b\Psi$ 의 접점에서 시작되고 토러스의 중심에서 끝난다.

도 10은 도 9에서 피팅 벡터 영역 A에 대한 Ψ 상의 거리 영역 D이다.

도 11은 접촉 경로 $B(s) := \Psi(u(s), v(s))$ 를 가지는 대상 표면 Ψ 으로서, B를 따라 있는 피팅 벡터 영역 A 및 B를 따라 있는 거리 벡터 영역 D를 나타낸다.

도 12는 국소적 최적 피팅을 수반하는 도구 작동 지시들의 계산에 의한 처리에 대한 두 가지 다른 가능성들을 나타낸다(약자 WCS는 작업 대상물 좌표계(workpiece coordinate system)이고, 약자 MCS는 기계 좌표계(machine coordination system)를 나타낸다. 최적의 피팅을 위한 알고리즘들은 도구 제어기에서뿐만 아니라 CAM 시스템에서도 사용될 수 있다).

도 13은 평행 표면들이 동시에 형성되는, 토러스의 중심 원들로의 감소를 나타낸다.

실시예

이하에서는, 본 문제를 먼저 수학적 관점에서 논의하기로 한다. 이어서, 본 발명에 따르는 방법에 대한 다른 구체적인 구현예들을 제시한다.

도구

도 1에서 보여지는 바와 같이, 토러스 단편 τ 가 작업 대상물에 작용하는 회전 대칭인 도구를 논의하고자 한다. 여기에서 토러스 단편 τ 는 도구의 절삭 범위(cutting range), 즉, 작업 대상물의 재료가 제거되는 범위를 나타낸다.

도구는 재료의 제거에 의한 기계가공을 위한 어떠한 도구라도 될 수 있으며, 그 예로는 전기부식(electro-erosive) 기계가공을 위한 장치의 작용전극 또는 회전 밀링(milling) 절삭기가 있다.

토러스 τ 의 큰 반지름은 a 라 표시되고 작은 반지름은 b 로, 그리고 토러스 중심 원은 K 라 표시된다. 가능한 토러스의 계수화는 다음과 같다.

$$\tau(t, s) := \begin{pmatrix} (a + b * \cos(t)) * \cos(s) \\ (a + b * \cos(t)) * \sin(s) \\ b * \sin(t) \end{pmatrix}.$$

도 2는 전형적인 예들로서, 원통형 도구($a > 0, b = 0$), 토러스 도구($a > b > 0$) 및 구형 도구($a = 0, b > 0$)이다.

구형 도구는 자유도가 부족하기 때문에 국소적인 피팅 품질을 향상시킬 수가 없다. 이들은 여기에서 더 이상 논의하지 않기로 한다.

작업 대상물

유클리드의 스칼라적에 대한 기호 $\langle \cdot, \cdot \rangle$, 유클리드 놈(norm)에 대한 기호 $\| \cdot \|$, 벡터적에 대한 기호 \cdot , 그리고 두 점 P, Q 사이의 유클리드 거리에 대한 기호로서 $d(P, Q) := \|P - Q\|$ 를 사용한다. $\Psi(u, v) \in C^4([0, 1]^2, R^3)$ 을 작업 대상물의 대상 표면, 즉, 기계 작업후의 대상 표면으로 한다. 대상 표면에 대한 수학적 표현 유형의 예로서 베지예르(Bezier) 표면, 합리적 베지예르 표면, B-스플라인(splines) 및 NURBS(일정치 않은 B-스플라인)들이 있다. 부분 적분에 대해서는, $\sigma \in \{u, v, uu, uv, vv, uuu, uuv, uvv, vvv\}$ 인 기호 Ψ_σ 가 사용된다. 수직벡터 $n := \Psi_u \times \Psi_v$ 를 사용해 d-오프셋 표면과 d-평행 표면들을 다음과 같이 표현한다.

$$d\Psi := \Psi + d \frac{n}{\|n\|}.$$

최적 피팅

이하에서, 우리는 대상 표면에 대한 가능한 가장 최선의 피트(fit)를 얻어낼 수 있도록, 도구들을 각 지점에서 작업대상물에 대해 어떻게 위치시키는가에 대해 논의하기로 한다.

대상 표면 위에 기술되는 유형의 도구의 국소적인 최적 피트는 비선형 방정식 세트에 의해서 공식화 될 수 있으며, 이것에 의해 우리는 테일러, 에르미트 및 에르미트-체비세프 방법에 의해 나타난 세 가지 피팅 유형을 구별할 수 있다. 이론적으로 가능한 최선의 피트는 에르미트-체비세프 방법에 의해 얻어진다. "가능한 최선의 피트"는 대상 표면의 수직 방향의 소정의 허용가능한 불일치 밴드(허용 불일치 범위)에 대하여(보통, 허용가능한 불일치 밴드는 완전히 대상 표면 위에 있음), 에르미트-체비세프 방법이 허용가능한 불일치를 초과하지 않는 범위 내에서 표면상의 최대면적을 산출함을 의미한다. 계산방법은 에르미트 방법에 의해 제공된다. 에르미트 방법은 약 30% 더 좁은 트랙들을 발생시킨다. 좀 더 적은 계산 비용이 드는 테일러 방법은 에르미트 방법과 거의 같은 너비의 트랙들을 산출하며, 이는 에르미트 방법의 초기 값을 제공하는데 사용되어 질 수 있다.

세 개의 피팅 방법 모두에 대해서, 방정식 시스템들은 원통형 도구들에 대해 형성된다. 만약 토러스가 토러스의 중심 원으로 수축되고 대상 표면에 평행한 표면들이 계산되어진다면, 토러스(토러스의 중심 원으로 수축된)와 평행면 사이의 거리는 변하지 않는다(도 13 참조).

수학적으로 표현하면, 원은 상이한 기준(criteria)들을 사용하여 대상 표면 위에 국소적으로 최선의 방식으로 위치하게 된다. $b > 0$ 인 도구들에 대해서, b -평행 표면들 $b\Psi$ 와 $-b\Psi$ 가 사용되어지고, 토러스 중심 원 K 는 원통형 도구들에 대한 방법들을 사용하여 적합화한다.

도 6a는 테일러 방법의 예로서, 국소적으로 τ 를 Ψ 에 가장 잘 피팅시키는 것은 K 를 평행면들 $b\Psi$ 와 $-b\Psi$ 에 국소적으로 가장 잘 피팅시키는 것과 같다는 사실을 도식적으로 나타낸다. 이는 세 개의 피팅 방법들 모두에 대해서도 적용된다. 이는 특히 세 개의 피팅 방법들 모두에 대해 τ 와 Ψ 사이의 피트 품질이 정확하게 K 와 $b\Psi$ (또는 $-b\Psi$)사이의 피트 품질과 같다는 것을 의미한다. 이 결과는 허용가능한 불일치의 범위(도구가 작업대상물 표면으로부터 예정된 양 sto 보다 적게 이탈되는 범위)에 대한 추정치를 매우 신속하게 얻고자 할 경우에 사용된다.

에르미트 방법

에르미트 방법에서는 서로 근접하게 위치한 두 개의 피팅 지점 P_0 와 P_2 가 사용되며, 이 지점들에서 도구는 대상 표면 Ψ 와 접촉하게 된다(도 4a 및 도 4b). 이런 경우에 원통형 도구에 대해 즉, 원에 대해 에르미트의 피팅 문제는 해결된다(원 대신에 임의의 곡선, 즉 타원을 사용할 수 있다. (1)-(4)의 표현들은 대응적으로 적합화되었음이 틀림없다). 원은 두 개의 피팅 지점 P_0 와 P_2 에서 대상 표면과 접하게 된다.

식 시스템을 유도하기 위해서, 두 개의 근접 지점 $P_0 := \Psi(u_0, v_0)$, $P_2 := \Psi(u_2, v_2)$ 를 사용한다. 대응되는 수직 벡터들은 n_0 , n_2 로, 연결 벡터는 $P_2 - P_0$ 는 v 로, 그리고 그것의 길이는 $2c$ 로 표시한다(도 3). 벡터 n_0 , n_2 및 v 는 동일 평면에 위치하지 않으며, n_0 와 n_2 는 v 에 수직하지 않다.

$$e_1 := \frac{e_2 \times n_0}{\|e_2 \times n_0\|}$$

에르미트 피팅 문제를 풀기 위해서, 기저 벡터들 $e_2 := v / \|v\|$, 그리고 $e_3 := e_1 \times e_2$ 를 가진 좌표계를 도입한다.

기본 개념은 2a의 소정지름을 갖고 P_0 와 P_2 에 교차하며 평면 e_2, e_3 에 놓여있는 원 \tilde{K} 를 P_0 에서의 접선벡터 \tilde{t}_0 가 n_0 에 직각이 될 때까지 e_2 주위로 회전시키는 것이다. 접선벡터 \tilde{t}_0 는 e_1, e_2, e_3 좌표 시스템에서 $(0, -h, c)^T$ (단, 여기서 $h := \sqrt{a^2 - c^2}$ 이고, n_0 는 $(0, \langle n_0, e_2 \rangle, \langle n_0, e_3 \rangle)^T$ 라는 좌표를 가진다)라는 성분을 가진다.

하기 식

$$\left\langle \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ -h \\ c \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ \langle n_0, e_2 \rangle \\ \langle n_0, e_3 \rangle \end{pmatrix} \right\rangle = 0 \quad (1)$$

은 회전각 θ 의 코사인을 다음과 같이 결정한다.

$$\cos(\theta) = \frac{h \langle n_0, e_2 \rangle}{c \langle n_0, e_3 \rangle}, \quad (2)$$

그리고 P_0 와 P_2 에서 K 의 접선벡터들은 다음과 같다.

$$t_0 = -c * \sin(\theta)e_1 - he_2 + c \cos(\theta)e_3 \quad (3)$$

$$t_2 = -c * \sin(\theta)e_1 + he_2 + c \cos(\theta)e_3 \quad (4)$$

따라서 원 K 의 위치는 P_0, P_2 및 n_0 로부터 결정되었다. 일반적으로 원 K 는 n_2 에 수직이 아니다: $\langle n_2, t_2 \rangle \neq 0$.

따라서 에르미트 방법에 의한 피트가 임의적으로 선택된 두 개의 지점에 대해서 실행될 수 없다는 문제에 놓이게 된다. 이들 지점들에서 P_0, P_2 와 수직벡터 n_0, n_2 들의 상대적인 위치는 해가 존재하느냐 없느냐를 결정한다. 이하에서, 이러한 점들의 쌍을 결정하게 해주는 방법이 제시된다.

$P_0 := \Psi(u_0, v_0)$ 를 Ψ 상의 일 지점이라 하자. 우리는 에르미트 방법의 피트가 존재하기 위한 P_0 영역 내의 $P_2 := \Psi(u_0 + \Delta u, v_0 + \Delta v)$ 지점들을 찾는다. 이러한 영역은 먼저, 예를 들어 계수평면상의 (u_0, v_0) 주위의 어느 원

$$\Delta u^2 + \Delta v^2 = r^2. \quad (5)$$

으로서 임의로 선택되어진다.

상기의 구성을 가지고, 피팅 원의 위치 및 접선 t_2 는 P_0, P_2 및 n_0 에 대해서 계산된다. 여기서 접선 t_2 는 n_2 에 수직이어야 한다:

$$\langle n_2(\Delta u, \Delta v), t_2(\Delta u, \Delta v) \rangle = 0. \quad (6)$$

이러한 방식으로, 점 P_2 를 구하기 위한 방정식 시스템은 (5)과 (6)에 의해서 정의된다. 이는 원(5)의 계수를 결정하고, 이를 (6)에 삽입함으로써 가장 잘 풀린다. 이어서 결과 식은 시컨트(Secant) 알고리즘에 의해서 해결한다. 이러한 방식으로 τ 는 다음과 같이 Ψ 에 상대적으로 위치하게 된다:

$$\Omega\tau(t, s) + v,$$

여기서 Ω 는 방위이고, v 는 위치다. 해는 4개가 나온다(외표면의 기계작업에 대한 두 개의 해와 내표면 기계작업에 대한 두 개의 다른 해). 이는 특히 특정 경우의 토러스 표면들에 대해서 잘 구해진다(비교: 테일러 방법에 관한 예, 도 8).

에르미트 방법에 대해 피팅된 도구를 위해, 피팅 지점 $P_0 = \tau(t_0, s_0)$ 와 $P_2 = \tau(t_2, s_0)$ 사이의 τ 와 Ψ 사이의 거리함수는 다음과 같다(비교: 도 4b).

$$d(t) = k \left(\left(t - t_0 - \frac{t_2 - t_0}{2} \right)^2 - \left(\frac{t_2 - t_0}{2} \right)^2 \right)^2 + o(t^5) \quad (7)$$

이 함수는 $d(t_0) = d'(t_0) = d(t_2)$ 를 만족하고 $(t_2 + t_0)/2$ 에서 최대치:

$$k \left(\frac{t_2 - t_0}{2} \right)^4. \quad (8)$$

를 갖는다.

P_0 로부터 시작하여, P_0 및 P_2 내의 거리의 최대치가 $stol$ 과 같아지는 Ψ 상의 점 P_2 값을 구하기 위해서는, 다음의 과정들을 원하는 정확도에 도달할 때까지 계속적으로 반복한다:

상기에서 설명한 바와 같이, P_2 를 결정한다. 거리를 결정하기 위해서, τ 에서 Ψ 에 접하는 원 $C(t) := \Omega_\tau(t, s_0) + v$ 를 사용한다. C 와 Ψ 사이의 최대 거리는 다음을 계산함으로써 계산되어질 수 있다.

$$d^* = \max_{t, u, v} d(C(t), \psi(u, v)). \quad (9)$$

피팅 품질에 관한 서술에 따라, 상수 K 는 다음과 같이 계산될 수 있다:

$$k = \frac{d^*}{(t^* - t_0)^4}. \quad (10)$$

이로부터 거리가 근사적으로 $stol$ 과 같게 되는 계수 \hat{t}_2 가 다음과 같이 결정된다:

$$\hat{t}_2 = t_0 + 2 \left(\frac{stol}{k} \right)^{1/4}. \quad (11)$$

인자 $f := \left(\hat{t}_2 - t_0 \right) / (t_2 - t_0)$ 는 (5)의 반지름 r 에 적용한다.

$$\Delta u^2 + \Delta v^2 = (fr)^2 \quad (12)$$

그리고 이 문제는 (12), (6)을 사용함으로써 해결된다. 이 모든 과정을 원하는 정확도를 얻을 때까지 반복한다.

에르미트-체비셰프 방법

에르미트-체비셰프 방법에서, 에르미트 방법의 최적 피팅 계산과정이 사용된다. 이것은 거리함수 d 가 같다는 의미이다. 그러나 도구 적용의 범위는 $stol$ 이 초과하지 않은 범위를 추가함으로써 향상될 수 있다(P_0 에서 P_1 밑에 그리고 P_2 에서 P_r 위에. 도 5a, 5b 참조). 이 점들에서 근사적으로 $d(t)$ 는 P_0 와 P_2 사이에 최대치인 $K((t_2 - t_0)/2)^4$ 과 같은 값을 가진다는 것을 보여준다. 간단한 계산으로 대략

$$t_1 = t_0 - (\sqrt{2} - 1) \frac{t_2 - t_0}{2} \quad (13)$$

$$t_r = t_2 + (\sqrt{2} - 1) \frac{t_2 - t_0}{2} \quad (14)$$

의 위치에서 $d(t)$ 가 P_0 및 P_2 사이에서 최대치 $k((t_2 - t_0)/2)^4$ 와 동일한 값을 가진다. 이는 에르미트 방법에 비해 에르미트-

체비셰프의 방법의 적용의 폭을 대략 $\sqrt{2}$ 정도 확장시킨다. 즉, 도구 경로들의 수는 약 30% 감소된다. 에르미트와 에르미트-체비셰프 방법에서, 점점에 근접한 충돌의 위험성은 테일러 방법보다 적다.

좀 더 정확한 계산을 위해서, 수자적으로 직접적인 방법, 즉, (13), (14)의 근사법을 사용하지 않고 점점 P_0, P_2 의 각각의 쌍에 대해 P_1 과 P_r 점들을 결정하는 것이 고려될 수 있다. 이것으로부터 P_1 과 P_r 사이의 거리는 계산되어 질 수 있고 최적화될 수 있다.

테일러 방법

상기 두 가지의 피팅 방법과 대조적으로, 테일러 방법에서는 오직 하나의 점점 $P_0 = c_0 := \Psi(u_0, v_0)$ 가 사용된다. 점 P_0 에서 원은 테일러 방법에 따라 표면상의 최적의 자리에 위치한다. 이 문제를 해결하는 기본 개념은 P_0 를 통과하고 c_0 에서 원과 가장 닮은 Ψ 내에 포함되는 피팅 곡선의 테일러 급수 $c(t) := \Psi(u(t), v(t))$ 를 찾는 것이다(비교: 도7). 상기 원은 적어도 국소적으로, 도구의 절삭 범위를 기술하고, 도구의 절삭 곡선으로서 기술된다.

따라서, 곡선의 길이를 따라 점 c_0 에서 계수화되는 테일러 급수(15) - (17)는 동일한 곡률(18), 곡률의 도함수(19) 및 비틀림(20)을 가지게 될 것이다(방정식시스템 (15)-(20)에서, 소정의 국소적 비틀림과 곡률의 미분계수로서 임의의 절삭곡선을 피팅시키는 것이 가능하다: 예를 들어 타원상의 소정의 피팅 지점에 대한 타원):

$$\left\langle \dot{c}_0, \dot{c}_0 \right\rangle = 1 \quad (15)$$

$$\left\langle \dot{c}_0, \ddot{c}_0 \right\rangle = 0 \quad (16)$$

$$\left\langle \dot{c}_0, \ddot{\ddot{c}}_0 \right\rangle + \left\langle \ddot{c}_0, \ddot{c}_0 \right\rangle = 0 \quad (17)$$

$$\left\langle \ddot{c}_0, \ddot{c}_0 \right\rangle = 1/a^2 \quad (18)$$

$$\left\langle \ddot{\ddot{c}}_0, \ddot{\ddot{c}}_0 \right\rangle = 0 \quad (19)$$

$$\left\langle \dot{c}_0 \times \ddot{c}_0, \ddot{\ddot{c}}_0 \right\rangle = 0 \quad (20)$$

어느 원에 대해, 여섯 개의 방정식들과 6개의 미지수를 가진 식 (15)-(20)은 4개의 식들과 미지수들을 가진 식들의 비선형 시스템으로 감소될 수 있다. 약자로서, 지금부터 Ψ_0 은 $\Psi_0(u_0, v_0)$ 로 사용되어진다. (17), (19), (20)으로부터 $\ddot{\dot{c}}_0$ 은 $\dot{\dot{c}}_0$ 에 평행해서는 안된다. $\dot{\dot{c}}_0$ 가 Ψ_u 와 Ψ_v 의 선형조합이고, $n(u_0, v_0)$ 는 이들 두 벡터에 수직이기 때문에, $\ddot{\dot{c}}_0$ 는 반드시 n_0 에 수직이어야 한다. 곡선의 길이를 따라 계수화된 c_0 에서 전개된 이하의 테일러 급수

$$\begin{aligned}\dot{c}_0 &= \Psi_u \dot{u} + \Psi_v \dot{v} \\ \ddot{c}_0 &= \Psi_u \ddot{u} + \Psi_v \ddot{v} + \Psi_{uu} \dot{u}^2 + 2\Psi_{uv} \dot{u} \dot{v} + \Psi_{vv} \dot{v}^2 \\ \ddot{\dot{c}}_0 &= \Psi_u \ddot{\dot{u}} + \Psi_v \ddot{\dot{v}} + 3\Psi_{uu} \dot{u} \ddot{\dot{u}} + 3\Psi_{uv} (\ddot{\dot{u}} \dot{v} + \dot{u} \ddot{\dot{v}}) + 3\Psi_{vv} \dot{v} \ddot{\dot{v}} + \\ &\quad \Psi_{uuu} \dot{u}^3 + 3\Psi_{uuv} \dot{u}^2 \dot{v} + 3\Psi_{uvv} \dot{u} \dot{v}^2 + \Psi_{vvv} \dot{v}^3,\end{aligned}$$

를 고려하면, 하기 식 (21) 내지 (24)들의 감소된 시스템에서 $\ddot{\dot{u}}$ 와 $\ddot{\dot{v}}$ 를 가진 항들이 삭제된 것을 알 수 있다.

$$\left\langle \dot{c}_0, \dot{c}_0 \right\rangle = 1 \quad (21)$$

$$\left\langle \dot{c}_0, \ddot{\dot{c}}_0 \right\rangle = 0 \quad (22)$$

$$\left\langle \ddot{\dot{c}}_0, \dot{c}_0 \right\rangle = 1/a^2 \quad (23)$$

$$\left\langle \ddot{\dot{c}}_0, \ddot{\dot{n}}_0 \right\rangle = 0 \quad (24)$$

이는 최적으로 피팅된 원의 길이와 방위가 계수들 (u, v) 의 평면 내에서 대상 곡선 계수 $\dot{u}, \dot{v}, \ddot{\dot{u}}, \ddot{\dot{v}}$ 를 계산함으로서 결정되는 것을 의미한다. 약자 $g_{\sigma, \mu} := \langle \Psi_\sigma, \Psi_\mu \rangle$ 을 사용하여 모두 나타내면, 시스템 식들은 다음과 같다.

$$\left\langle \dot{c}_0, \dot{c}_0 \right\rangle = g_{u,u} \dot{u}^2 + 2g_{u,v} \dot{u} \dot{v} + g_{v,v} \dot{v}^2 \quad (25)$$

$$\begin{aligned}\left\langle \dot{c}_0, \ddot{\dot{c}}_0 \right\rangle &= g_{u,uu} \dot{u}^3 + (2g_{u,uv} + g_{v,uu}) \dot{u}^2 \dot{v} + (2g_{v,uv} + g_{u,vv}) \dot{u} \dot{v}^2 + g_{v,vv} \dot{v}^3 \\ &\quad g_{u,u} \ddot{\dot{u}} + g_{u,v} \ddot{\dot{v}} + g_{u,v} \ddot{\dot{u}} + g_{v,v} \ddot{\dot{v}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\left\langle \ddot{\dot{c}}_0, \dot{c}_0 \right\rangle &= g_{uu,uu} \dot{u}^4 + 4g_{uu,uv} \dot{u}^3 \dot{v} + 2(g_{uu,vv} + 2g_{uv,uv}) \dot{u}^2 \dot{v}^2 + 4g_{uv,vv} \dot{u} \dot{v}^3 \\ &\quad + g_{vv,vv} \dot{v}^4 + 2g_{u,uu} \dot{u}^2 \ddot{\dot{u}} + 4g_{u,uv} \dot{u} \dot{v} \ddot{\dot{u}} + 2g_{u,vv} \dot{v}^2 \ddot{\dot{u}} + 2g_{v,uu} \dot{u}^2 \ddot{\dot{v}} \\ &\quad + 4g_{v,uv} \dot{u} \dot{v} \ddot{\dot{v}} + 2g_{v,vv} \dot{v}^2 \ddot{\dot{v}} + g_{u,u} \ddot{\dot{u}}^2 + 2g_{u,v} \ddot{\dot{u}} \ddot{\dot{v}} + g_{v,v} \ddot{\dot{v}}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\left\langle \ddot{\dot{c}}_0, \ddot{\dot{n}}_0 \right\rangle &= g_{uuu,n} \dot{u}^3 + 3g_{uuv,n} \dot{u}^2 \dot{v} + 3g_{uvv,n} \dot{u} \dot{v}^2 + g_{vvv,n} \dot{v}^3 \\ &\quad 3g_{uu,n} \ddot{\dot{u}} + 3g_{uv,n} \ddot{\dot{v}} + 3g_{uv,n} \ddot{\dot{u}} + 3g_{vv,n} \ddot{\dot{v}}\end{aligned}$$

미지수 $\dot{u}, \dot{v}, \ddot{\dot{u}}, \ddot{\dot{v}}$ 에 관한 이들 식들의 비선형 대수학 시스템은 뉴턴의 방법을 이용함으로서 해결될 수 있다. 다시 말하면 4개의 해가 나온다. 대상 표면 Ψ 에 국소적으로 근사하는 토러스 표면들은 식 시스템(25)의 해를 위한 초기 값들을 찾는데 사용되어 질 수 있다.

테일러 방법에 따라 피팅된 도구에 대해 피팅 지점 $P_0 = \tau(t_0, s_0)$ 에 근접한 τ 와 Ψ 사이의 거리함수 d 는 다음의 형태이다(비교: 도 6b).

$$d(t) = k(t - t_0)^4 + o(t^5) \quad (26)$$

도구 적용의 단면 폭을 계산하기 위해서, P_0 의 근처의 작은 원 $C(s) := \Omega\tau(t_0, s_0)$ 에 대한 Ψ 상에서의 거리 d^* 는 다음의 해를 구함으로써 결정된다:

$$d^* = \max_{t, u, v} d(C(t), \Psi(u, v))$$

피팅 품질에 대한 관련성 때문에, 상수 K 는 다음과 같이 계산되어 질 수 있다:

$$K = \frac{d^*}{(t^* - t_0)^4}$$

이로부터, 거리가 $stol$ 과 거의 동일한 데에서 위치가 다음과 같이 결정된다:

$$t_r = t_0 + \left(\frac{stol}{K} \right)^{1/4}$$

이 방법 역시 원하는 정확도에 도달할 때까지 반복되어진다. t_1 의 결정은 같은 방식으로 행해진다. 특히, 적용의 왼쪽과 오른쪽 폭이 일반적으로 같지 않다는 것을 알 수 있다.

위에서 설명된 세 개의 피팅 방법에서, Ψ 상의 도구의 위치와 방위에 대한 벡터영역(V_f)의 상이한 해들이 구해진다(피팅 벡터 영역 A , 비교: 도 9). 경로들의 거리들을 기술하기 위해 영역 D 거리가 사용된다(비교: 도 10). 이것은 Ψ 상의 방향, 왼쪽으로의 거리, 그리고 오른쪽으로의 거리로 구성된다. 방향은 가장 큰 경로 폭의 방향이고, 거리들은 소정의 $stol$ 에 대해 이 방향에서 얼마나 경로의 폭이 넓은지를 나타낸다

다른 방법들

이미 언급한 대로, 앞에서 설명된 에르미트-체비셰프 방법이 대상 표면상의 메쉬(mesh)의 각 지점에서의 최적의 도구 방위를 평가하는데 있어서 현재 가장 선호되고 있다. 이 방법에서는, 각 지점에 대하여 지점 P_1 과 P_r 사이의 거리가 적어도 실질적으로 최대가 되도록 도구의 경사각과 틸트각이 결정된다. 이를 목적으로 식(5), (6), (9)를 풀게 되면 매우 효율적인 방식으로 결과를 얻게 된다.

그러나, 충분한 계산력이 가능한 경우라면, 계산비용이 더 드는 다른 방법들이 이용될 수 있다. 예를 들어, 각 지점에 대한 최적의 경사각과 틸트각은 이 두 각들을 수치적으로(numerically) 변화시켜서 각 각도의 쌍들에 대한 도구의 정확한 위치 허용오차 면적의 폭, 즉 도구와 대상 표면 사이의 거리가 $stol$ 이내에 드는 거리 내부 영역의 폭을 계산함으로써 계산이 가능하다.

경로 선택

A 를 선택한 후에 (네개의 해 중에서 어느 것이 이용될 것인가?), 작업 대상물에 대한 도구의 접촉 경로는 변수 평면(parameter plane)에서의 B -스플라인 $(u(s), v(s))$ 으로서의 D 로 결정될 수 있다: $B(s) : \Psi(u(s), v(s))$ (도 11 참조). 최대 경로 폭들을 가능한 크게 하기 위해서는, B 는 되도록 평면에서의 경로 거리 방향에 수직이어야 한다. 이를 제어기에서 처리하기 위해서는, 실제적으로 두 가지 접근 방식이 있다(도 12 참조):

1. CAM 시스템에서 도구의 위치와 방위 그리고 그 도함수들은 도구의 경로를 따라 지점들 상에서 계산되어진다. 삼차 또는 더 고차의 스플라인들은 지점들을 통하여 피팅된다. 거기에서 작업 대상물의 좌표계(WCS)에서 도구의 위치와 방위에 대한 최소 C_2 -연속 경로들이 결과로 나온다. 후처리장치(post processor)에서 이러한 스플라인들은 도구 축 스플라인들로 변환된다. 이 도구 축 스플라인들은 제어기에 전달된다.

2. 어떠한 해가 선정되었는지에 대한 정보뿐만이 아니라 접촉 경로들이 표면과 함께 제어기에 전달된다. 제어기에서는 최적의 도구 위치와 방위가 지점별로 계산되어진다. 이들은 지점별로 축의 값과 축의 값의 도함수들로 변환된다. 삼차 또는 더 고차의 다항식들이 지점들에 대하여 피팅된다. 거기에서 축의 값들에 대한 최소 C_2 -연속 다항함수들이 결과로 나오며 이는 제어기에 의해 처리될 수 있다.

본 출원은 본 발명의 현재 바람직한 구현예를 기술하였으나, 본 발명은 거기에 한정된 것이 아니라 다음의 청구범위의 범위 내에서 다른 방식으로 실시될 수도 있다는 것을 명확하게 이해하여야 한다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

도구를 이용하여 재료를 제거함으로써 작업 대상물의 표면을 처리하는 방법으로서, 상기 도구는 작업 대상물 위의 경로(B)를 따라 움직이고, 이런 과정 중에도구의 절삭 범위(τ) 내로 들어오는 작업 대상물의 재료가 제거되어 대상 표면(Ψ)이 생성되는 방법에 있어서,

경사각과 틸트각을 결정하고, 작업 대상물의 대상 표면(Ψ)과 절삭 범위(τ)를 두 지점 (P_0, P_2)에서 계산적으로 접촉시키고, 이어서 상기 지점들 중 하나 이상의 위치를 변화시키는 것에 의해,

대상 표면과 도구의 절삭 범위간의 거리가 소정의 허용오차 구간 내에 있는, 연속적인 영역으로 정의되는 허용오차의 면적이 최대화되도록 도구의 경사각과 틸트각이 그 경로를 따라 반복적으로 조절되고,

여기서 두 지점 사이의 거리가 최대가 될 때까지 두 지점 (P_0, P_2)의 하나 이상을 변화시키거나, 허용오차의 면적의 폭이 최대가 될 때까지 두 지점 (P_0, P_2)의 하나 이상을 변화시키는 것에 의해 허용오차의 면적이 최대화되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2.

제1항에 있어서, 도구가 항상 대상 표면 위에 있도록 경사각과 틸트각이 조절되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3.

제1항 또는 2항에 있어서, 두 지점 (P_0, P_2) 간의 거리가 최대가 될 때까지 두 지점 중 하나 이상이 변화하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4.

제1항 또는 2항에 있어서, 허용오차의 면적의 폭이 최대가 될 때까지 두 지점 (P_0, P_2) 중 하나 이상이 변화하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5.

제1항 또는 2항에 있어서, 두 지점 중의 하나가 고정되고 나머지 하나는 변화하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6.

제1항 또는 2항에 있어서, 대상 표면상의 다수의 지점들에 대하여 최대의 폭을 갖는 허용오차 면적이 결정되고, 각각의 지점에 대하여 허용오차 면적의 최대 직경에 대응하는 일 방향이 결정되고, 이들 방향에 대하여 실질적으로 수직이 되도록 경로 (B)가 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7.

제1항 또는 2항에 있어서, 허용오차 면적의 폭에 따라서 경로들간의 거리가 선택되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8.

도구를 이용하여 재료를 제거함으로써 작업 대상물의 표면을 처리하는 방법으로서, 상기 도구는 작업 대상물 위의 경로(B)를 따라 움직이고, 이런 과정 중에 도구의 절삭 범위(τ) 내로 들어오는 작업대상물의 재료가 제거되어 대상 표면(Ψ)이 생성되는 방법에 있어서,

대상 표면과 도구의 절삭 범위간의 거리가 소정의 허용오차 구간 내에 있는 연속적인 영역으로 정의되는 허용오차의 면적의 폭이 경사각과 틸트각의 수치적인 변화에 의해 최대화되도록 도구의 경사각 및 틸트각이 그 경로 상에서 반복적으로 조절되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9.

도구를 이용하여 재료를 제거함으로써 작업 대상물의 표면을 처리하는 방법으로서, 상기 도구는 작업 대상물 위의 경로(B)를 따라 움직이고, 이런 과정 중에 도구의 절삭 범위(τ) 내로 들어오는 재료가 제거되어 대상 표면 (Ψ)이 생성되는 방법에 있어서,

각 지점에 대한 경로상의 다수의 지점들에 대하여, 곡률, 곡률의 도함수 및 비틀림이 각각의 지점에서 절삭 곡선의 곡률, 곡률의 도함수 및 비틀림과 대응하는 것으로 정의되는 대상 표면 내의 피팅 곡선($c(t)$)을 결정함으로써 도구의 경사각 및 틸트각이 경로를 따라 반복적으로 조절되고,

절삭 곡선은 대상 표면(Ψ)까지 최소의 거리를 갖는 도구의 절삭 범위(τ) 상의 지점들의 세트인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10.

제9항에 있어서, 절삭 곡선이 원인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 11.

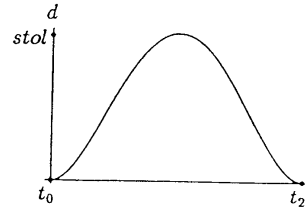
삭제

청구항 12.

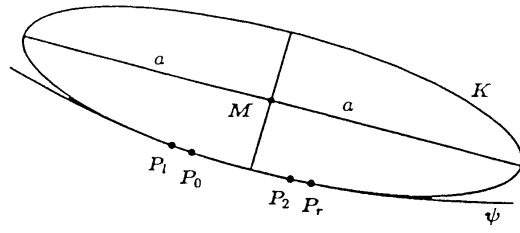
삭제

도면

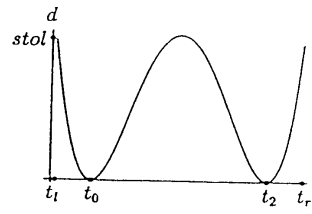
도면4b



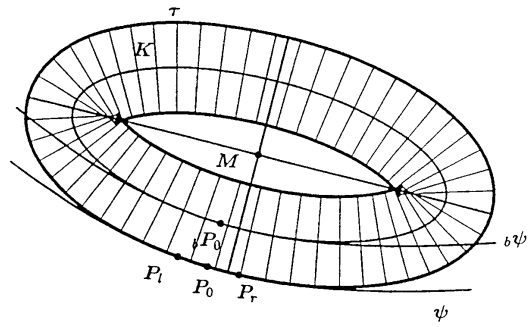
도면5a



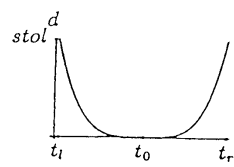
도면5b



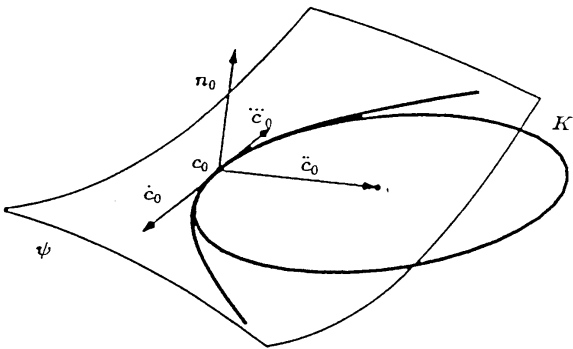
도면6a



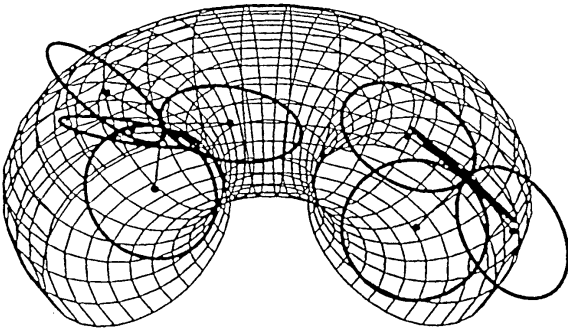
도면6b



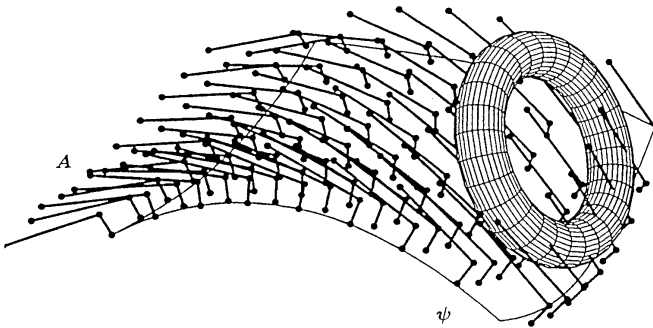
도면7



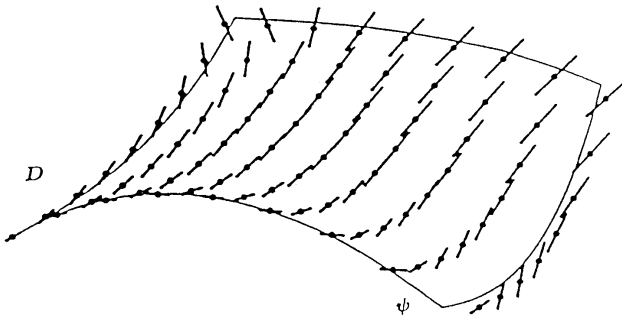
도면8



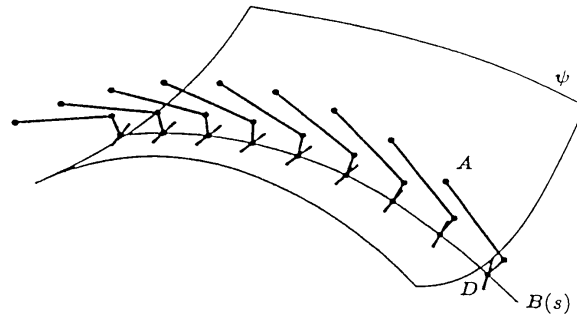
도면9



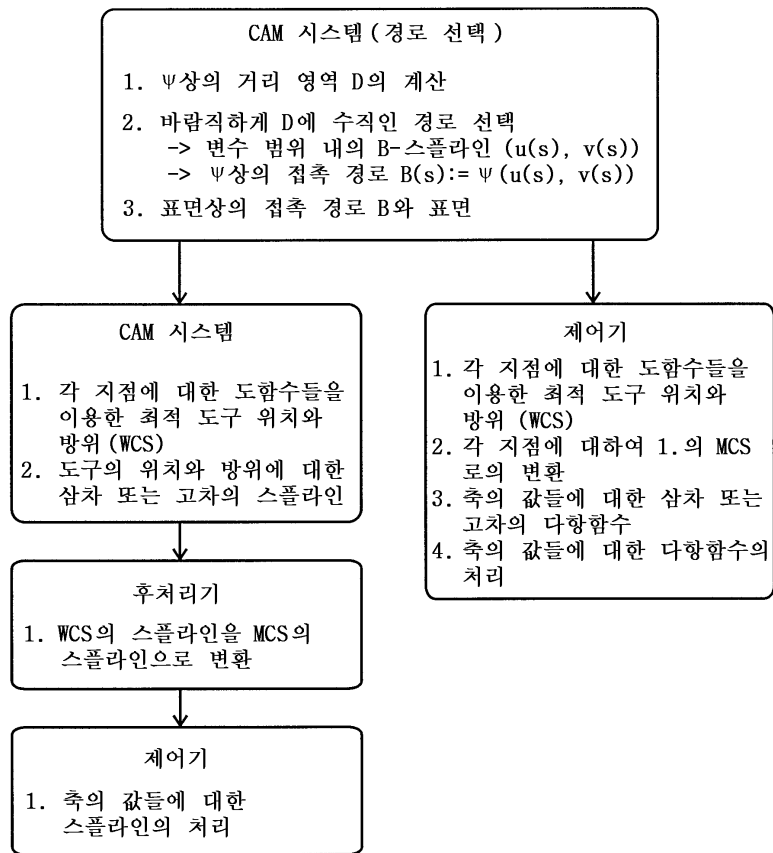
도면10



도면11



도면12



도면13

