

단면곡선의 궤적을 고려한 곡선망 보간곡면 형성*

Construction of curve-net interpolation surface considering
trajectory of cross-section curves

유우식**, 신하용***, 최병규****

Woo Sik Yoo**, Ha Yong Shin***, Byoung K. Choi****

Abstract

Curve-net interpolation surface is one of the most popular method in engineering design. Therefore it is supported with many commercial CAD/CAM system. However, construction algorithm of curve-net interpolation surfaces is rarely opened to the public because of its copy-right. In this paper we establish a construction algorithm of curve-net interpolation surface so called sweeping surface which especially concentrates on trajectory of cross-section curve. We also show the method which can construct sweeping surfaces as NURB or Bezier mathematical models. Surfaces having the form of standard mathematical models are very useful for the application of joining, trimming, blending etc.

The proposed surface interpolation scheme consists of four steps; (1) preparation of guide curves and section curves, (2) remeshing guide curves and section curves, (3) blending section curves after deformation, and (4) determination of control points for sweeping surface using gordon method. The proposed method guarantee G^1 -continuity, and construct the surface satisfying given section curves and trajectory of section curves.

* 본 연구는 한국학술진흥재단의 신진교수 연구 지원에 의해 수행되었음.

** 금오공과대학교 산업공학과

*** (주) 큐빅테크 연구소

**** 한국과학기술원 산업공학과

1. 서론

가전제품이나 자동차, 비행기 등의 부품은 일반적으로 자유곡면 형상을 하고 있는데 곡면을 가진 제품을 일정한 형태로 표시하여 다른 사람에게 의사를 전달하는 것은 쉽지 않다. 공학적으로는 도면에 의해서 곡면을 표현하는 것이 전통적인데 도면은 2차원 평면이기 때문에 3차원 곡면을 정확하게 표현하는 것은 매우 힘든 일이다. 따라서 설계자는 3차원 곡면의 중요한 부분을 나타내는 곡선을 표현하고 그 곡선들 사이의 관계를 규정하는 방법으로 곡면을 표현한다.

이렇게 단면으로 표현된 곡면을 Sweeping 곡면이라 부르는데 실물모형을 만들어 모방가공을 하기도 하지만, 일반적으로 CAD/CAM 시스템의 모델링 기능을 통하여 NC가공 된다. 이때 CAD/CAM 시스템의 모델링 방법에 따라 곡면의 모양이 미세하게 차이가 날 수도 있는데 이는 설계된 단면사이에 형성되는 곡면은 각 시스템의 모델링 방법에 좌우되기 때문이다. 즉 설계자는 주요 단면정보만을 도면을 통하여 표현하고 이를 입력받은 곡면 모델링용 CAD/CAM 모듈에서는 주어진 단면을 만족하면서 설계자가 의도한 곡면을 각각의 알고리즘을 통하여 형성하게 된다.

단면 정보를 이용한 곡면은 공학적인 곡면에서 가장 일반적인 형태이기 때문에 대부분의 CAM 시스템에서 채택하고 있으나 그 상업성으로 인하여 많은 내용은 비공개되고 있다. 국내에서는 선구적으로 단면을 이용한 Sweep 곡면의 형성과 Bezier 곡면의 근사연구가 Choi[1]와 Lee[2]에 의해 이루어지고

상업용 소프트웨어인 Sweep 시스템으로 빛을 보게 되었다. Lee[2]의 연구는 곡면형성 이론이 간단하여 이해하기 쉽고 모델링 할 수 있는 곡면이 다양한 장점에도 불구하고 형성된 곡면이 표준 수리모델(NURB, Bezier 모델 등)로 저장되지 못하는 단점이 있었다. 표준 수리모델(NURB, Bezier 등)로 표현되지 않은 곡면 모델은 응용곡면의 형성과 활용에 비효율적이기 때문이다. 국외의 형상 모델링 연구로는 폐곡선이나 임의의 물체를 평행이동 혹은 회전이동시켜 원하는 곡면을 모델링하는 연구가 Mortenson[3]에 의해 수행되었고 Simon은 곡선을 평행하게 이동하고 혼합하여 곡면을 형성하였지만 복합곡면을 형성할 때 곡면간의 연속성에 문제점이 있었다[4]. 또한 단면곡선을 B-spline으로 근사한 후 스킨닝(skinning) 방법으로 곡면을 형성하는 연구가 국내에서는 Choi에 의해서[5], 그리고 국외에서는 Woodward 등에 의해서 수행되었다[6].

본 연구에서는 먼저 곡면 모델링 방법을 체계적으로 분류하여 설명하고 CAD/CAM 모델링 기능의 핵심이 되는 곡선망 보간 곡면, 그중에서도 단면곡선의 궤적이 있는 Sweeping 곡면의 형성 방법론을 정립하려 한다. 그리고 설계의도를 만족시키는 곡면을 형성하기 위하여 필요한 단면 변형방법을 설명하고 제안한 방법으로 형성한 곡면을 예시하려 한다. 결론에서는 본 논문에서 제시하는 방법이 기여하는 바를 설명하려 한다.

2. 곡면 모델링 방법의 분류

엔지니어링 도면에 표현되는 곡면을 모델

링하는 방법에는 그림 1과 같이 곡면식등으로 표현되는 수식곡면과 보간곡면(Interpolation surface) 그리고 기존 곡면의 변환

(Transformation) 및 이동곡면이 있는데 일반적으로 보간법이 가장 널리 사용되고 있다. 수식곡면(Equation surface)은 간단한 수식

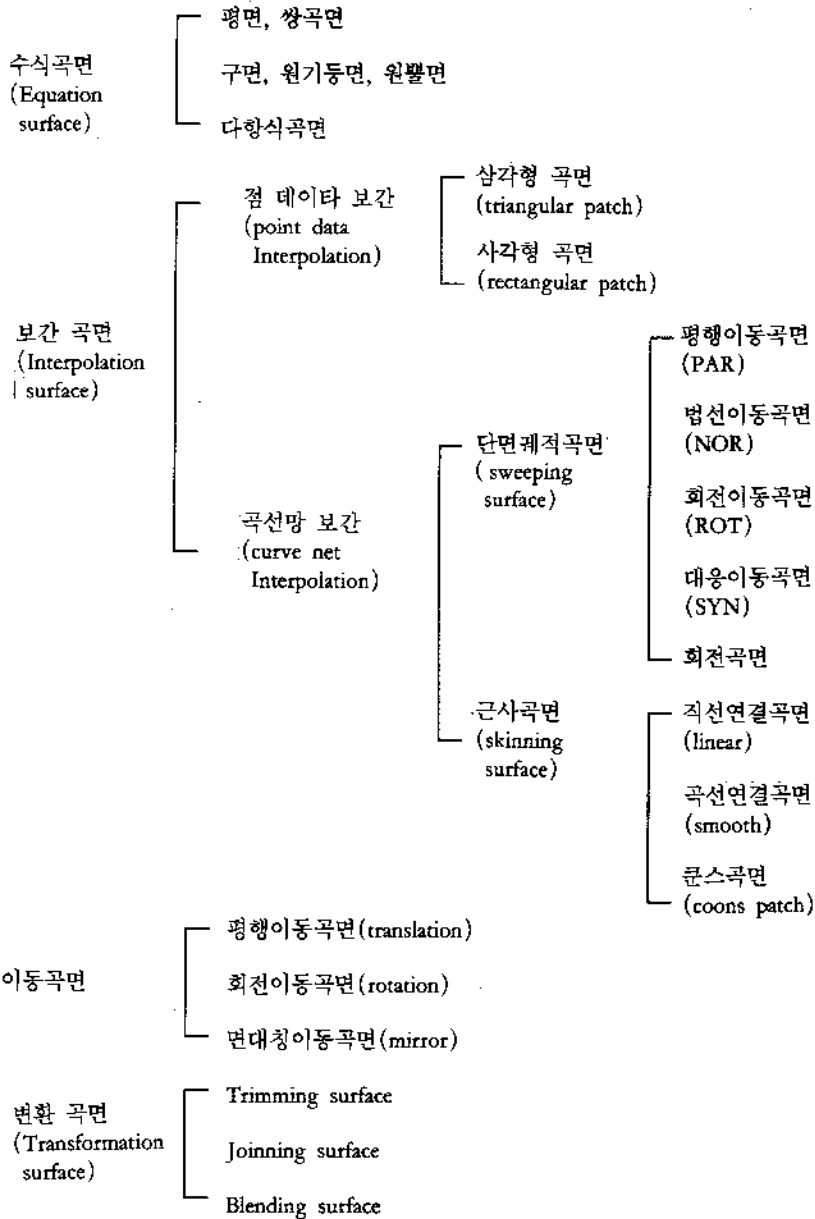


그림 1. 곡면 모델링 방법의 분류

이나 몇개의 parameter로 표현 가능한 곡면들인데 평면들과 구면, 원기둥면 원뿔면등이 있다. 또한 모니터의 shadow mask 곡면에서 쓰이는 다항식곡면도 이에 해당된다.

점 데이터에 의한 보간곡면은 일정한 형식의 점데이터 파일로부터 데이터를 입력받아 이들 점 데이터를 보간하는 수학적 모델을 이용하여 곡면을 형성하는 방법이다. 3차원 측정기나 기타 다른 방법으로 얻은 제품표면에 대한 데이터를 이용하기 때문에 일정한 반지름이나 길이등으로 나타내기 어려운 자유곡면을 처리하는데 매우 유용하다. 점 데이터들이 일정한 규칙없이 산포된(scattered data) 경우에는 그림 2와 같이 삼각형망을 형성하여 Bezier triangular patch식과 같은 표준 수리모델로 곡면을 표현한다.

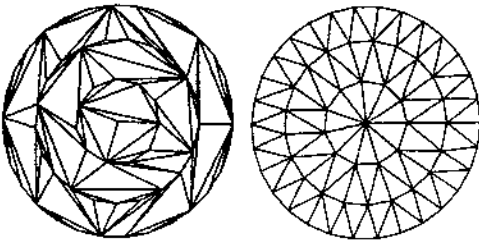


그림 2. 삼각형 보간곡면 형성 과정

삼차원 공간상의 불규칙한 점군을 보간하는 연구는 Shin[7]에 의해 많이 연구되었다. 그러나 일반적으로 도면에 표현되는 점데이터는 정방형, 부채형, 임의형등으로 분류되는 격자형의 사각형 형식을 갖고 있으므로 사각형 보간곡면 모델링 방법이 많이 쓰인다. 그림 3은 사각형 격자 형식의 입력점을 표준 수리모델의 사각곡면으로 모델링한 예이다. 사각곡면의 경우 입력점들 사이의 현길이(Chord length)가 불균일 할 경우에 단위곡

면(patch)들 사이에서 G^1 연속조건이 문제가 되어 왔는데 Choi[8]의 연구에 의하여 해결되었다.

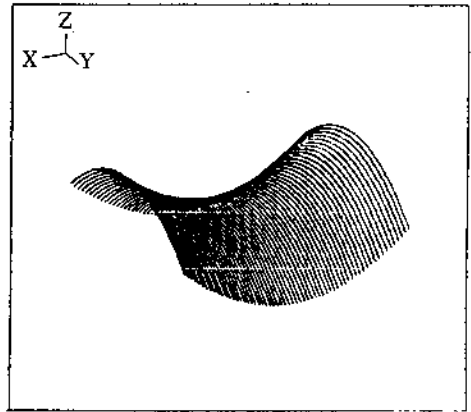
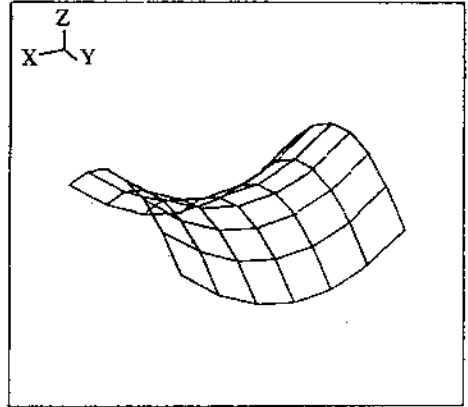


그림 3. 사각형 점 데이터와 보간 곡면

도면에서 가장 많이 표현되는 곡면인 곡선망 보간곡면의 경우 설계자가 단면곡선들이 움직이는 법칙을 규정하는 경우(sweeping surface)와 특별한 규칙없이 뼈대를 이루는 곡면을 적당히 보간하기를 원하는 곡면(skinning surface)이 있다. 단면곡선의 궤적이 있는 sweeping 곡면의 경우 그림 4와 같이 단면이 평행하게 이동하는 평행이동 곡면(PAR)과 단면이 한점을 중심으로 회전하는

회전이동 곡면(ROT), 단면이 안내곡선을 따라 수직하게 위치하는 법선이동 곡면(NOR) 그리고 안내곡선을 일정한 비율로 따라 가는 대응이동 곡면(SYN)과 단면을 회전축을 중심으로 회전하여 생성하는 회전곡면이 있다. 회전곡면의 경우 그림 5와 같이 하나의 단면이 회전축을 중심으로 회전이동을 하여 형성되는 회전이동 sweeping 곡면(ROT)과 동일하므로 다음절에서는 평행이동, 회전이동, 법선이동, 대응이동 sweeping 곡면의 형성절차에 대해서 자세하게 설명한다. 특별한 단면이동 규칙이 없는 skinning 곡면의 경우 직선 연결곡면과 곡선 연결곡면, 쿤스곡면등이 있는데 그림 6은 윤곽곡선을 직선으로 연결한 후 10R로 라운딩한 직선 연결곡면의 예를 보이고 있다.

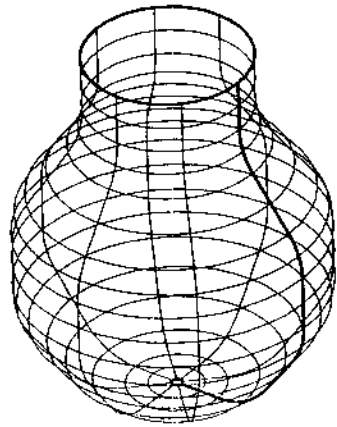


그림 5. 회전 곡면의 예

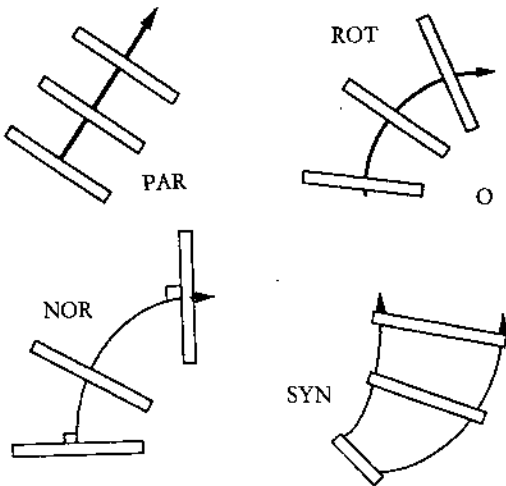


그림 4. Sweeping 곡면의 단면 이동규칙

마지막으로 기존 곡면의 변환과 이동으로 형성하는 곡면들이 있는데 이동곡면으로는 평행이동, 회전이동 그리고 면대칭이동 곡면 등이 있다. 또한 변환 곡면으로는 trimming,

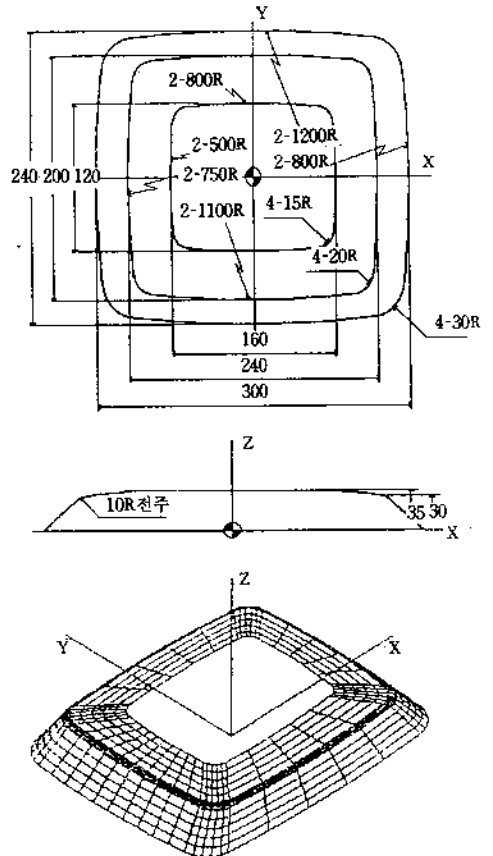


그림 6. 직선 연결 곡면의 형성 예

joining, blending 곡면이 있는데 trimming 곡면은 기존곡면을 특정영역으로 자른 곡면을 말하고 joining 곡면은 두 곡면을 접합하여 하나의 곡면으로 만든 곡면을 말한다. blending 곡면은 다음 예 그림 7과 같이 모난 부분을 부드럽게 라운딩한 곡면을 말한다[9].

Bezier 모델이 행렬형태의 연산에 많이 사용되고 있는데 NURB 모델도 행렬 형태로 표현하여 효율적인 연산을 가능하게한 연구가 최근에 수행되었다[10]. 한가지 형태의 수리 모델로 표현된 곡면모델은 다른 형태의 표준 수리모델로 변환하는 것이 가능하므로 본 논

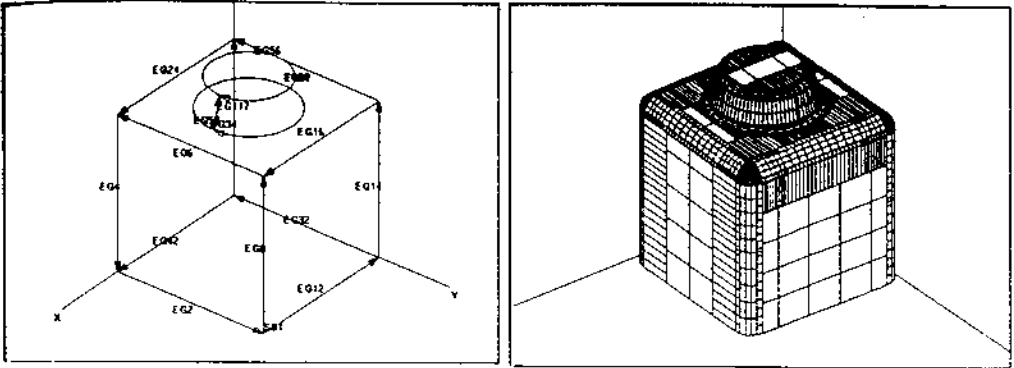


그림 7. 블렌딩 곡면의 예

3. Sweeping 곡면 형성 과정

3.1. 곡면 형성 절차

앞에서 엔지니어링 도면에 표현되는 곡면의 형태를 정리해 보았는데 그중에서 곡선망 보간곡면 특히 단면의 이동규칙이 정해짐으로서 설계자가 의도하는 곡면을 형성해야 하는 sweeping 곡면이 가전제품등에서 일반적으로 가장 빈번하게 모델링 되고 있다. 따라서 본 절에서는 sweeping 곡면을 단면변형 방법에 유의하면서 표준 수리모델로 모델링하는 방법론을 정립하겠다. 최근의 CAD/CAM 시스템에서는 곡면을 주로 NURB, Bezier 등의 수리모델로 저장하고 있는데 이는 응용곡면의 형성 및 활용에 효율적이기 때문이다. 곡면 자료의 연산을 위해서는 행렬 형태로 모델이 저장되는 것이 유리하며 전통적으로

문에서는 Bezier 모델을 중심으로 설명하려 한다.

곡선을 Bezier 모델로 표현하면 아래 식과 같은데 V_i 는 Bezier 곡선의 조정점을 n 은 차수를 의미한다. 일반적으로 $n=3$ 을 사용하는데 이때 단위곡선의 조정점은 4개가 된다.

$$r^n(u) = \sum_{i=0}^n V_i B_i^n(u) \quad \text{where } 0 \leq u \leq 1$$

$$B_i^n = \frac{n!}{(n-i)!i!} u^i (1-u)^{n-i}$$

또한 곡면을 Bezier 모델로 표현하면 다음과 같다. V_{ij} 는 Bezier 곡면의 조정점을 n, m 은 차수를 의미한다. 일반적으로 $n=m=3$ 을 사용하는데 이때 단위곡면의 조정점은 16개가 된다.

$$r^{m,n}(u,v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n B_i^m(u) B_j^n(v) V_{ij}$$

where $0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1$

주어진 도면에는 단면곡선(Section Curve) 정보와 단면을 안내하고 단면의 위치를 결정하는 안내곡선(Guide Curve) 정보가 표시되는데 그림 8a의 A, B 곡선이 단면곡선을 C, D 곡선이 안내곡선을 나타낸다. 안내곡선중에서 단면의 이동규칙에서 기준이 되는 곡선을 주 안내곡선(Main Guide Curve)이라고 한다. 그림 8a와 같은 단순한 예를 활용하여 sweeping 곡면이 그림 8b와 같이 형성되는 과정을 설명하면 다음과 같다. 본 예는 대응이동곡면을 형성하는 예이다.

을 표준 수리모델로 저장한다. 그림8의 예에서는 A곡선이 3개의 단위곡선으로 B 곡선이 2개의 단위곡선으로 저장된다.

[단계 4] 가정 검사 : 주어진 단면 곡선, 안내곡선들이 sweeping 법칙의 가정에 맞는 지 검사한다. 즉 평행이동 곡면의 경우 주어진 모든 단면이 평행한지를 검사하고 회전이동 곡면의 경우 회전 중심축이 모든 단면의 확장평면상에 놓이는지를 검사한다. 또한 법선 이동 곡면의 경우 주어진 단면이 주 안내곡선에 수직한가를 검사한다.

[단계 5] 안내곡선의 Remeshing : 대부분의 CAD/CAM 시스템에서는 사각형 복합곡면 형

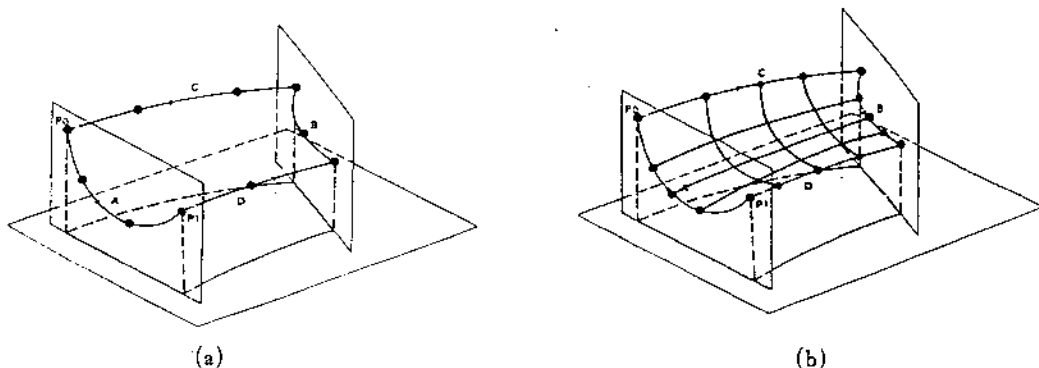


그림 8. Sweeping 곡면의 형성과정

[단계 1] 주 안내곡선의 준비 : 주 안내곡선을 표준 수리모델 형태로 저장한다. 본 논문에서는 주어진 곡선정보를 Bezier 복합곡선으로 표현하여 모든 조정점(control point)을 저장한다.

[단계 2] 안내곡선의 준비 : 모든 안내곡선을 표준 수리모델로 저장한다. 그림 8의 예에서는 C곡선이 3개의 단위곡선으로 D곡선이 2개의 단위곡선으로 저장된다.

[단계 3] 단면곡선의 준비 : 모든 단면곡선

태의 표준 수리모델로 자유곡면을 저장한다. 따라서 안내곡선의 단위곡선(Segment) 수가 다를 경우에는 모든 안내곡선의 단위곡선 숫자를 그림 8b와 같이 동일하게 조정해 주어야 한다. 이를 Remeshing이라 하는데 안내곡선의 단위곡선 길이비를 이용하여 수행한다. 이때 sweeping 이동 규칙이 적용되는데 기준이 되는 주 안내곡선상의 모든 단위곡선 경계점위에 이동규칙에 맞는 단면을 세워가며 이 단면에 절단되는 다른 안내곡선의 점들

찾아 이점에서 곡선을 분할(subdivision)한다. 주 안내곡선의 양 끝에서 세운 단면이 안내곡선과 만나지 않을 경우에는 해당 안내곡선을 확장시켜 준다. 곡선의 분할은 다음과 같이 de Casteljau 알고리즘을 이용한다[5].

$$b_{i(r)} = (1-u)b_{i(r-1)} + ub_{i+1(r-1)}$$

$$r=1, \dots, n; i=1, \dots, n-r$$

with $b_i^0(u) = V_i$

[단계 6] 단면곡선의 Remeshing : 단면곡선의 단위곡선 길이비를 이용하여 그림 8b와 같이 단위곡선 수를 동일하게 조정해 준다. 예시된 곡면의 경우 각각 3개 2개의 단위곡선으로 구성된 단면 곡선이 4개의 단위곡선으로 분할되어 각각 13개의 조정점이 저장된다.

[단계 7] 점 안내곡선의 정의 : sweeping 법칙이 회전이동이고 안내곡선이 1개이고 단면곡선이 한점으로 모일경우 점 안내곡선(반경이 0인 원호)를 만들어 준다.

[단계 8] 중간 단면의 형성 : 주어진 단면을 만족하면서 모든 안내 곡선상의 노트점(knot point) 즉 단위곡선의 경계점위에 중간 단면을 세우고 그곳에서 중간단면을 만든다. 그림 8b의 경우를 예로 들면 주어진 위치에서 2개의 단면은 원래의 단면곡선이 되고 중간에 3개의 단면은 각각 영향을 받는다. A, B 단면곡선을 각각 변형(Deformation)하여 가져온후 영향을 받는 정도에 따라 혼합(cubic blending)한다. 이때 영향을 받는 정도는 중간단면이 주어진 단면으로 부터 얼마나 가까이 있나 하는 정도이고 형성된 곡면의 품질은 단면의 변형(Deformation)에 크게 영

향받는데 이에 대해서는 다음절에서 자세히 설명한다.

[단계 9] 곡선망 곡면의 조정점 결정 : 앞의 예가 단계 8까지 수행되면 그림 9와 같이 단면곡선 방향으로의 조정점은 모두 결정된다. 그림 9에서 세로방향의 경계가 주어진 2개의 단면곡선이고 [단계 8]에 의해서 중간 단면이 3곳에 추가되었다. 그림중 ■점은 단위곡선 경계점을 ⊙점은 [단계 8]까지 결정된 조정점을 뜻한다. 추가적으로 결정해야 될 곡면의 조정점은 ·점으로 표시된 안내곡선 방향의 조정점 들과 각 단위 곡면의 내부 조정점들이다. 그림 9는 3차 Bezier 곡면의 조정점을 표현하고 있다. 곡선망 곡면의 조정점을 결정하는 데는 2가지 접근 방법이 있다. 먼저 첫번째 방법은 국소적인 방법으로 중간 단면을 앞뒤로 조금씩 움직여 안내곡선 방향의 접선을 구하고 이를 이용하여 안내곡선 방향의 곡선망 조정점을 결정후 각 단위곡면에서 내부 4개의 조정점을 결정하는 방식이다. 그러나 이 방식은 단위곡면들 사이의 G^1 연속조건을 만족시켜주지 못하는 문제점이 있었다.

따라서 두번째 방법으로 전체의 조정점을 고려하여 결정하는 방법을 적용하였다. 본 단계에서 수행하는 방식은 단위곡면 혹은 4개의 경계곡선 내부를 결정하는 Coons 곡면 방식의 확장이다. 이 방법은 W.Gordon[11][12]이 연구한 곡면으로 Coons-Gordon 방법이라고도 부른다[13]. 최근에 양 방향으로 곡선망이 주어졌을때 이를 보간하여 NURB 곡면 모델을 얻는 연구가 Fenqiang Lin 등에 의해 수행되었는데[14] 본 연구의 단계 9와 유사하다. 다만 F.Lin 등은 B-Spline 곡면을 얻었

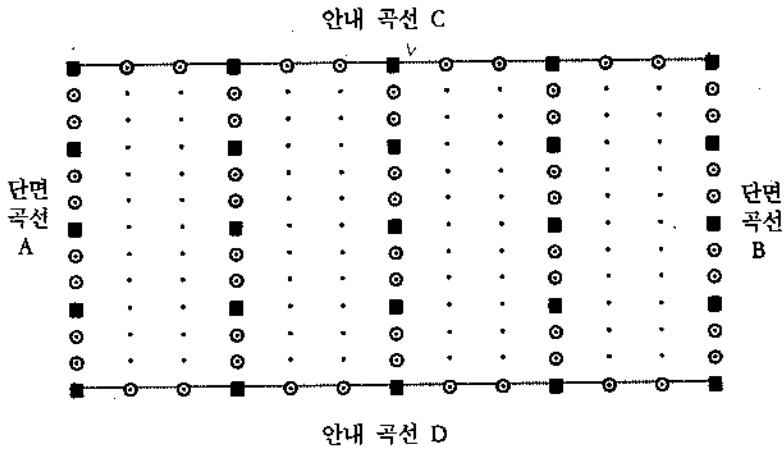


그림 9. 중간단면이 결정된 곡선망 조정점

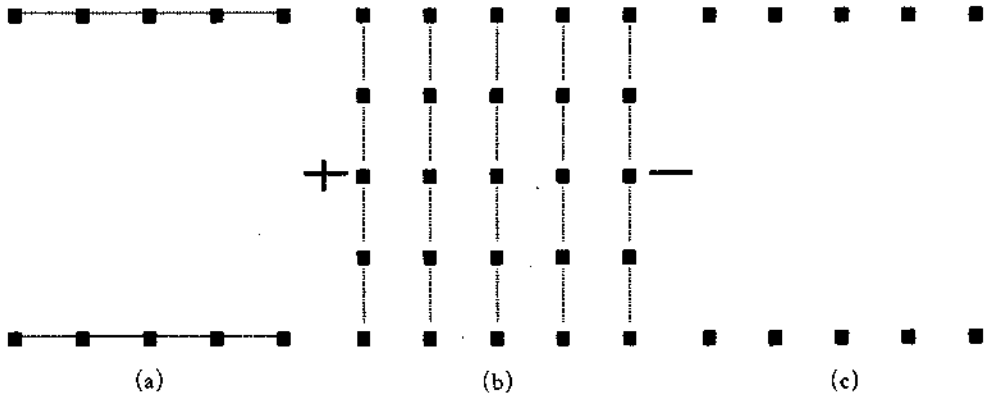


그림 10. 최종 곡선망 조정점 결정과정

고 본 연구에서는 Bezier 곡면을 얻는 방법을 제시하였으나 방법론은 동일하다. 절차는 다음과 같다.

① 그림 10a와 같이 안내곡선만으로 곡면을 형성한다. 그림 9에서 가로방향의 안내곡선 조정점들을 각각 세로방향으로 곡선보간하면 원하는 곡면 g_1 의 조정점을 얻게 된다. 곡선보간시 경계접선은 단면곡선의 양끝 접선을 활용한다. 본예에서는 안내곡선이 2개이므로 결국 2점을 보간하는 조정점을 13번에 걸쳐 결정한다. 노트점(■)의 경우 단면

곡선의 양끝 접선벡터를 경계접선 벡터로 사용하고 다른 경우는 인접한 노트점의 접선벡터를 혼합하여 사용한다. 본 논문 예제곡면의 경우 4개의 단위곡면이 형성된다.

② 그림 10b와 같이 단면곡선만으로 곡면을 형성한다. [단계 8]까지 결정된 단면은 초기단면 2개와 중간단면 3개등 5개이므로 이들 단면의 조정점들을 각각 가로방향으로 곡선보간하면 원하는 곡면 g_2 의 조정점을 얻게 된다. 앞에서와 마찬가지로 곡선보간의 경계접선 벡터는 가로방향 안내곡선의 양끝 벡터

와 이들의 혼합 벡터를 사용한다. 본 예에서 형성된 곡면은 16개의 단위곡면을 갖고 있다. 단면 방향으로 곡선망이 완성된 상태이므로 최종 복합곡면의 단위곡면 형태는 본 단계에서 구성된 형태와 같다.

③ 그림 10c와 같이 모든 단면과 안내곡선이 만나는 점들이 이루는 곡면을 형성한다. 방법은 그림 3과 같이 사각형 점군을 보간하는 알고리즘을 적용한다. 사각점군의 보간곡면(Tensor product surface) g_3 는 첫번째에서

형성한 곡면과 같은 수의 단위곡면을 갖게 된다.

④ 최종적으로 원하는 곡면 G 는 그림 9의 곡선망을 만족하며 단위곡면 사이의 G^1 연속 조건을 보장하는 곡면인데 이는 다음과 같은 식으로 얻을 수 있다.

$$G = g_1 + g_2 - g_3$$

따라서 첫번째 단계에서 형성한 복합곡면

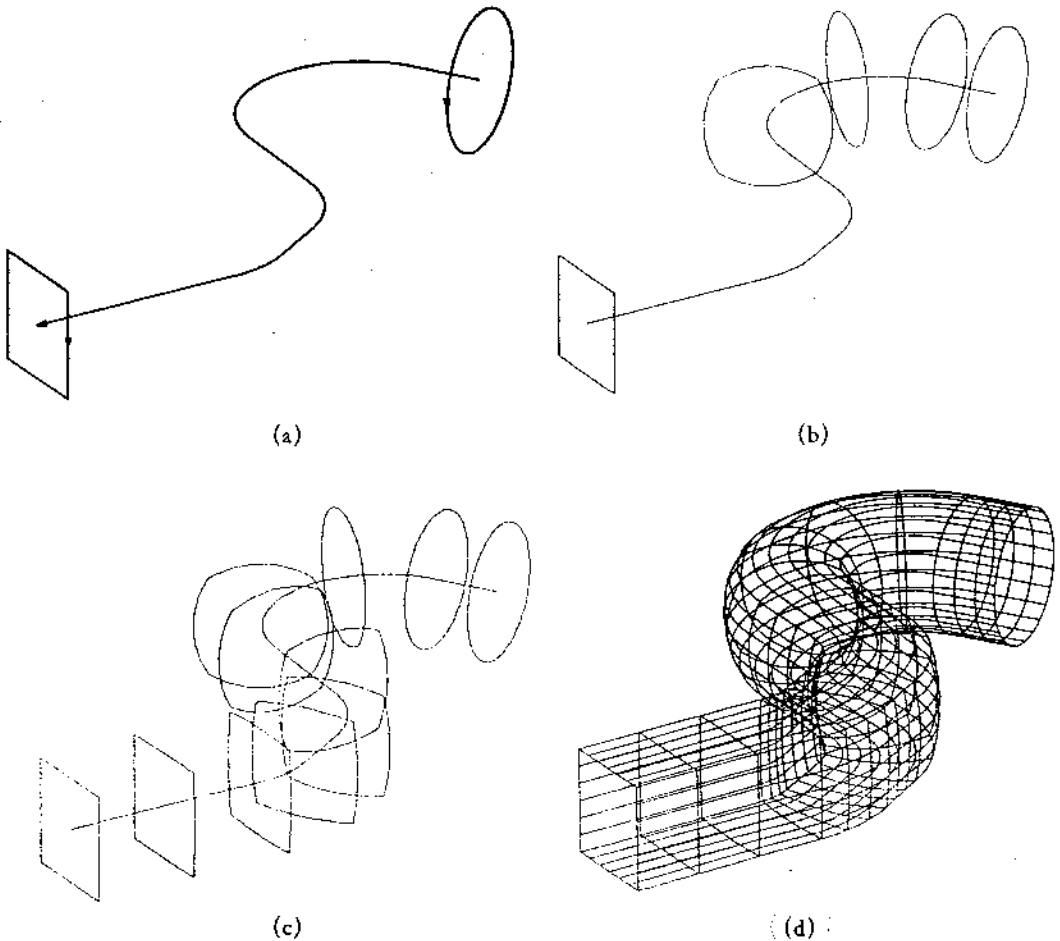


그림 11. 단면 방향곡선과 생성 곡면

g1과 세번째 곡면 g3를 분할하여 두번째 복합곡면 g2와 같은 수의 단위곡면으로 구성한 후 각 곡면의 조정점끼리 더한후 빼주면 전체적으로 평활하고 주어진 단면을 만족시키는 곡면을 형성할 수 있다.

3.2. 단면 변형(Deformation) 방법

그림 11a에서와 같이 서로 다른 단면이 양 끝에 주어졌을때 각 단면은 변형 알고리즘에 의해 변형된후 주 안내곡선의 거리비에 의해 혼합되어 그림 11b,c와 같은 중간 단면들을 형성한다. 최종 곡선망 보간곡면은 그림 11d와 같다. 단면곡선의 변형방법은 최종 곡면의 품질에 절대적인 영향을 미치는데 원래 단면 모양을 유지하며 다음과 같은 상식적인 기준을 반영하여 수행된다.

[단계 1] 각 안내곡선이 중간단면을 통과하는 점들을 계산한다. 주어진 단면곡선을 단순히 중간단면으로 변환(transformation)시키면 일반적으로 이들 통과점을 지나지 않는데 변형이란 곡선의 평활도를 유지하면서 통과점을 지나도록 곡선을 수정하는 작업이다.

[단계 2] 단계 1에서 구한 통과점의 중심과 원래 단면곡선의 단순변환 중심을 기준으로 변형시킬 배율(Scale factor)과 평행이동량을 구한다. 즉 원래 단면곡선의 경계점중에서 중간 단면 통과점에 해당하는 각점을 통과점으로 옮기는데 필요한 벡터값을 각 경계점의 평행이동량으로 저장하고 원 단면곡선이 통과점이 변함에 따라 확대 또는 축소될 경우 그 배율을 계산한다.

[단계 3] 중간단면의 모든 노트점(단위곡선 경계점)을 앞에서 구한 배율과 이동량을 이용하여 결정한다. 중간 단면 통과점에 해

당하는 노트점은 단계 2에서 구한 배율과 이동량을 이용하고 그 사이의 노트점은 배율과 이동량을 블렌딩하여 계산한다.

[단계 4] 중간단면의 내부 조정점 즉 접선 벡터를 결정한다.

① 원래곡선이 직선구간이면 중간단면의 노트점 사이를 직선으로 연결한다.

② 원래 단면곡선의 시작 접선 조정점을 시작점을 옮긴 배율, 평행이동량으로 옮긴다.

③ 중간 노트점의 접선벡터는 곡선의 연속성을 보장하도록 옮긴다.

④ 원래 단면곡선의 끝 접선 조정점을 끝점을 옮긴 배율, 평행이동량으로 옮긴다.

3.3 Bezier 곡선망 보간곡면 형성 예

본 논문에서 제시한 곡선망 보간방법은 현재 상업용 CAD/CAM 시스템에 적용되어 있는데 몇가지 활용 예를 보면 다음과 같다. 그림 12는 간단한 곡선망 정보인데 이를 입력하여 평행이동 곡면을 형성한 두가지 방법은

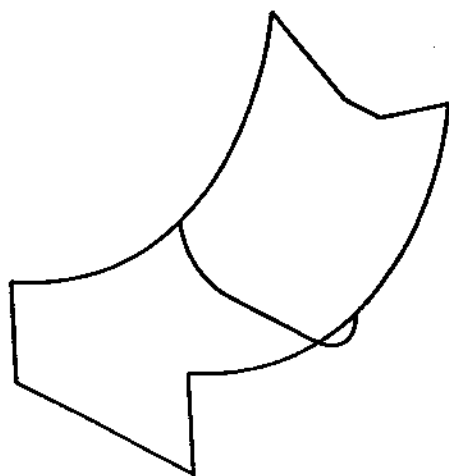


그림 12. 곡선망 정보

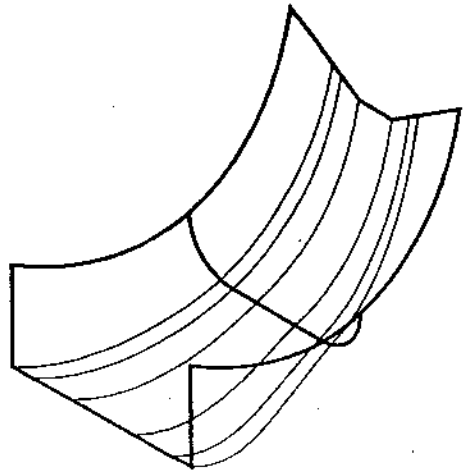
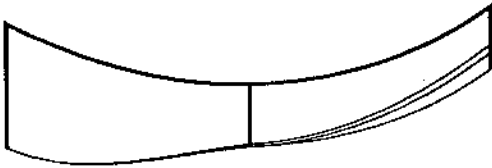


그림 13. 곡소 조정법으로 보간한 곡면

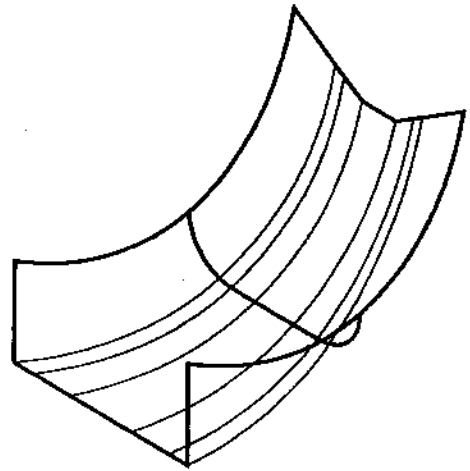
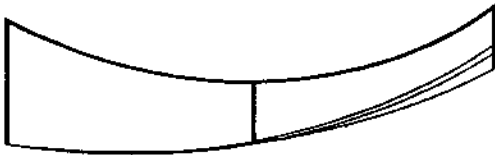


그림 14. Gordon 곡면 방식의 보간 곡면

그림 13, 14와 같다.

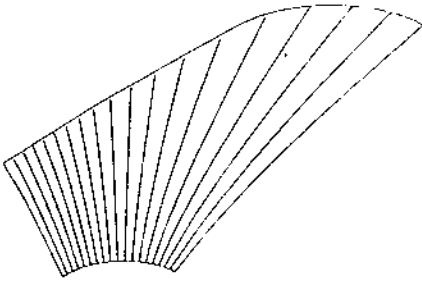
초기에는 그림 13과 같이 곡소조정법으로 곡면의 조정점을 조정하여 전체적인 곡면의 모양이 만족스럽지 못했으나 전체 조정점을 한번에 정하는 Gordon 방식을 적용한 결과 그림 14와 같이 모양이 개선되었다.

그림 15는 단위곡면 사이에 G^1 연속성을 비교한 예제인데 d와 같이 Gordon 보간곡면을 형성하면 확대된 그림이 개선된 것을 알

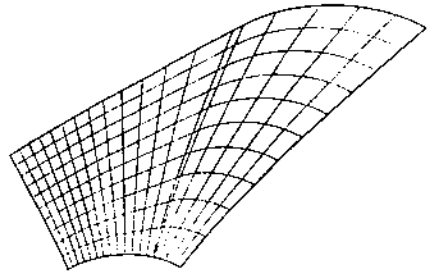
수 있게 해 준다. 그림 16은 실용 예로 TV 브라운관의 반쪽 곡면을 평행이동 곡면으로 형성한 예이다.

4. 결론

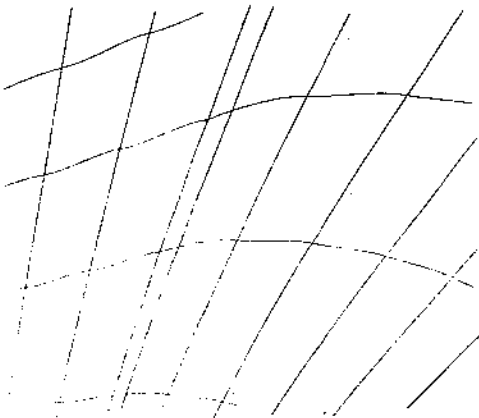
본 논문에서는 설계 의도로 단면곡선의 제작이 주어진 곡선망을 Bezier나 NURB 모델과 같은 표준 수리모델로 구성하는 방법론을



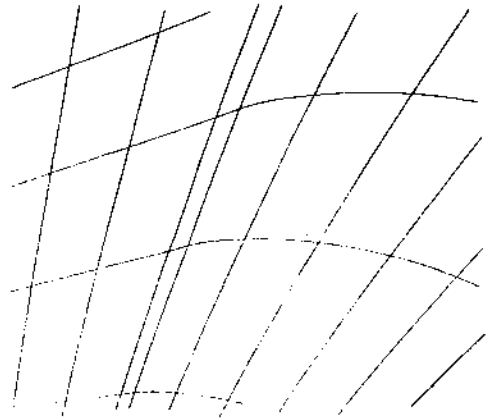
(a) 입력 곡선망



(b) 형성된 단위곡면



(c) 국소조정법 보간곡면의 확대



(d) Gordon 보간곡면의 확대

그림 15. 단위곡면간의 G^1 연속성 비교

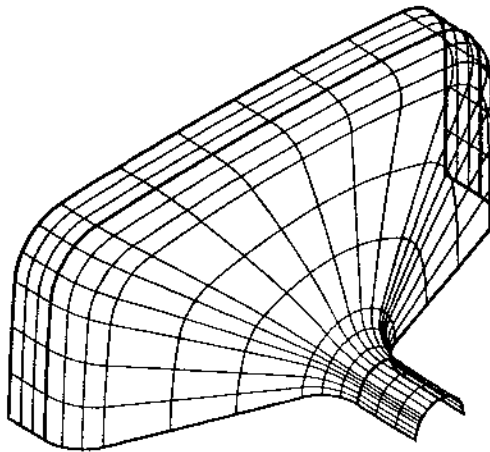


그림 16. TV 브라운관 표면

정립하였다. 특히 형성곡면의 조정점 결정 방식을 국소적인 방법에서 Gordon 방식으로 개선하여 단위곡면들 사이의 G^1 연속을 만족시키면서 주어진 곡선망의 경향과 이동규칙을 만족시키는 곡면을 형성할 수 있었다. 이는 현실적으로 가장 빈번히 요구되는 기능이다.

참 고 문 헌

- [1] B.K.Choi and C.S.Lee, "Sweep surface Modeling Via Coordinate Transformation and Blending" CAD, Vol. 22, No. 2, March 1990.
- [2] C.S.Lee, Sweep 곡면 모델링에 관한 연구, KAIST 박사학위논문, 1990.
- [3] Mortenson, M.E., Geometric Modeling, John Wiley, 1986.
- [4] Simon R.L. "Sculptured Surface Program", machine Design, Vol. 46, No. 19, 1974.
- [5] B.K.Choi, Surface Modeling for CAD /CAM, Elsevier, 1990.
- [6] Woodward, C.D., "Skinning Techniques for Interactive B-spline Surface Interpolation", CAD, Vol. 20, No. 8, 1988.
- [7] 신하용, "삼차원 공간상의 불규칙한 점 군을 보간하는 곡면모델링에 관한 연구", KAIST, 박사학위 논문, 1991.
- [8] B.K.Choi, Ha-yong Shin and Woo S.Yoo, "Visually smooth composite surfaces for an unevenly spaced 3D data array", CAGD, Vol. 10, No. 2, 1993.
- [9] Cubic Tek. Co. Ltd., Omega Reference Manual, 1993.
- [10] B.K.Choi, W.S.Yoo and C.S.Lee "Matrix representation of NURB curves and surfaces", CAD, Vol. 22, No. 4, May 1990.
- [11] W.Gordon, "Blending function method of bivariate and multivariate interpolation and approximation", SIAM J Num Analysis, Vol. 8, No. 1, 1969.
- [12] W.Gordon, "Spline-blended surface interpolation through Curve net works", J of Math and Mechanics, Vol. 18, No. 10, 1969.
- [13] G.Farin, Curves and Surfaces for CAGD, Academic press inc., 1988.
- [14] F.Lin and W.T.Hewitt, "Expressing Coons-Gordon surfaces as NURBS", CAD, Vol.26, No.2, February 1994.