

다축복합가공을 위한 CAM 기술



정윤교

창원대학교 기계공학과

1. 서론

현재 눈부신 발전을 거듭하고 있는 제조업의 핵심적인 과제는 다품종 소량생산, 제품형상의 복잡화, 제품수명의 단명화, 단납기 및 가격 경쟁 심화 등으로 요약할 수 있다. 따라서 이와 같은 과제를 해결하기 위한 방안으로 복잡한 형상의 다품종 제품을 신속, 정밀하게 생산할 수 있는 고부가가치화와, 단납기의 저단가 제품을 경제적으로 생산할 수 있는 고 효율의 생산 시스템을 들 수 있다.

이와 같은 요구에 부응하기 위하여 특히 절삭가공 분야에서는 고속가공, 다축가공, 복합가공의 세가지 주요한 이슈가 제기되고 있으며 차세대 공작기계의 흐름은 이러한 고속, 다축, 복합적인 성격을 동시에 지닌 공작기계를 필요로 하고 있다. 본 연구에서는 이 중에서 다축과 복합가공의 성격을 동시에 지닌 다축복합가공기의 관련 연구 동향 및 CAM 구현을 위한 프로그래밍 기술의 적용 사례를 예시함으로써 차세대 공작기계의 나아갈 방향을 설정하는데 지침

을 마련하고자 한다.

최근 밀링과 선삭의 기능을 동시에 수행하는 복합가공의 흐름은 공정 집약에 의한 공정대기 시간 배제와 복잡한 부품 가공을 가능하게 하는 고부가가치 생산의 요구를 동시에 만족하기 위한 방향으로 발전하고 있으며 이를 위하여 기존의 2축 선삭 - 3축 밀링 구조에서 탈피하여 Y축이 부가된 터닝센터 - 다축 밀링 구조에 보조스핀들을 추가함으로써 완전한 의미에서의 1회 세팅에 의한 완가공을 구현하고 있다. 즉 칩에 피삭재를 세팅한 후 공정의 분리에 의한 제품의 탈, 부착이 없이 모든 가공 공정이 완료됨을 의미한다. 이러한 다축복합가공의 특징은 특히 선삭 공정과 다축 밀링가공이 필요한 원통형 제품에 대하여 탁월한 성능을 발휘할 수 있다. 즉 원통형상을 지닌 인서트형 공구의 홀더 가공과 같이 정밀한 외주경과 인서트팁 좌면의 5축 밀링면을 필요로 하는 경우 소재의 탈 부착이 없이 1회 세팅 후 완가공을 가능케 하는 것이다. 또한 임펠러, 프로펠러, 터빈 블레이드, 로우터와 같은 터보기계류 부품과 같이 외주형

상에 대한 선삭과 블레이드 형상에 대한 다축밀링이 필요한 경우에도 매우 큰 효과를 얻을 수 있으며 다양한 형상의 캠가공에 있어서도 우수한 작업효율과 고부가가치화를 획득할 수 있다.

1회 세팅에 의한 완가공의 특징으로부터 얻을 수 있는 장점은 위에서 열거한 고효율의 생산성과 고부가가치화 이외에도 동심가공을 통한 정밀도 향상이라는 매우 중요한 효과를 들 수 있으며 이러한 특징은 고정밀도를 요구하는 정밀 임펠러와 같은 부품에서의 평형상태를 쉽게 획득할 수 있도록 해준다. 고효율의 생산성, 고부가가치 실현 및 가공 정밀도 향상과 같은 특징점들은 다축 복합가공기를 차세대 공작기계의 선두주자로 지목함에 있어 거리낌이 없도록 하는 주요한 요소이다.

2. 다양한 복합가공 기능

이러한 복합가공기의 특징점을 제대로 살리고 효율적으로 활용하기 위하여, 복합가공기를 사용하여 수행할 수 있는 다양한 복합가공 기능 및 용도를 파악하는 것이 무엇보다 중요할 것이다. 따라서 본 절에서는 복합가공기의 여러 가지 가공기능을 살펴보고 다음절에서는 이러한 가공을 구현하기 위한 CAM 작업 과정을 표준시편을 예로 들어 제시하고자 한다.

본 절에서 제시하는 다축복합가공기는 5개의 축으로 구성된 Mazak사의 Integrex-200 모델이다. 이 모델은 기존의 Turning Center 기능을 기본적으로 유지하면서 5축 Machining Center의 기능을 추가한 대표적인 다축복합가공기의 표본 모델이다. 선삭을 위한 주축이 밀링가공 모드에서는 회전축(이하 C축)으로 사용되며 선삭바이트가 장착

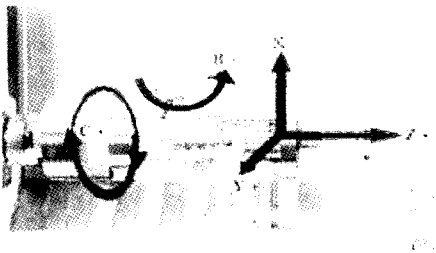


Fig. 1 Integrex-200 mill-turn machine

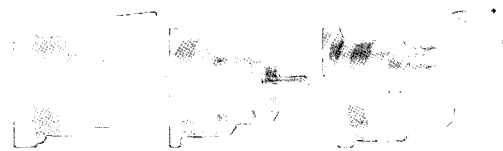
되는 톨 장착 유닛 또한 밀링 가공 모드에서는 엔드밀이나 드릴을 회전하는 주축으로 사용되면서 동시에 틸팅축(이하 B축)의 기능을 하고 있다. Fig. 1은 Integrex-200의 이러한 각 축 구성을 보여주고 있으며 X축의 경우 직경모드(선삭 시)와 반경모드(밀링 시)를 동시에 사용할 수 있다.

이 장비의 또다른 특징은 고속가공이 가능하다는 것이다. 즉 밀링 가공 시 최고 주축 회전수가 12,000 rpm이며 이송속도는 38,000mm/min에 이른다. Table 1은 최고 회전수를 포함한 Integrex-200의 주요한 규격을 보여준다.

Table 1. Specification of Integrex-200

Model	Integrex-200
Company	Mazak(Japan)
Machine Limits	X580, Y160, Z1045, B225, C360
Turning Speed	5,000rpm
Milling Speed	12,000rpm
Max. Feedrate	38,000mm/min

복합가공의 다양한 기능 가운데 가장 먼저 살펴볼 것은 확장된 선삭 가공 기능이다. 다공정 제품의 선삭가공 시 여러번의 선삭 공구 교환을 하지 않고도 간단한 틸팅 축 회전과 플래시 톨(하나의 홀더에 팁이 여러개 장착됨)을 통하여 완가공을 할 수 있으며 Fig. 2는 그 과정을 보여주는 사례이다. 즉 Fig. 2의 (a)에서는 외경가공을 하고 있으며 Fig. 2의 (b)에서는 동일한 팁을 사용하여 내경작업을 하고 있다. 또한 Fig. 2의 (c)에서는 도 만큼 B축 틸팅을 통하여 나사 가공을 수행하고 있는 모습을 볼 수 있다.



(a) 외경가공 (b) 내경가공 (c) 나사가공

Fig. 2 Turning by the mill-turn machine

다축복합가공기의 주요한 특징은 위와 같은 확장된 선삭 기능과 함께 선삭 밀링 복합 가공 특성을 들 수 있다. 즉 선

삭작업 후에 제품을 탈착하지 않고 면삭(Facing) 작업과 드릴링(Drilling)작업을 동시에 수행할 수 있을 뿐만 아니라 외주면에 대한 헬리컬 가공도 가능하며 Fig. 3은 이러한 선삭 밀링 복합가공 기능을 보여주는 사례이다. 즉 Fig. 3의 (a)에서 원호 프로파일에 대한 선삭가공을 수행한 후, Fig. 3의 (b)에서 외주면의 6면체 가공을 수행한 후 Fig. 3의 (c)에서는 드릴링 가공을, Fig. 3의 (d)에서는 헬리컬 가공을 순차적으로 복합가공기에서 수행한 모습을 볼 수 있다.

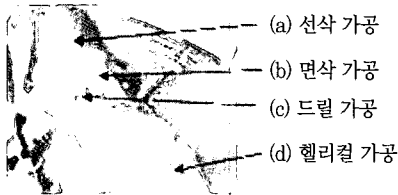


Fig. 3 Turning & facing & drilling & helical machining by the mill-turn machine

서론에서 서술한바와 같이 원통형상 소재를 갖는 제품의 가공에서 복합가공기의 탁월한 위력을 확인할 수 있는데 인서트 커터의 홀더가 대표적인 예이다. 인서트 커터의 가공을 위해서 기존에는 선삭 가공과 밀링가공의 상이한 프로세스를 독립적으로 수행하였으며 대부분 인덱스 테이블이나 보조 치공구를 사용하여 공구 자세를 제어하였다. 그러나 이런 방법은 가공 오차가 누적되어 정밀도가 저하될 뿐만 아니라 가공시간이 지연되어 생산성이 떨어뜨리는 원인으로 작용하였다. 이러한 문제를 다축복합가공을 통하여 해결하였으며 Fig. 4는 볼랜드 인서트커터의 5축복합가공 장면을 보여주고 있다.

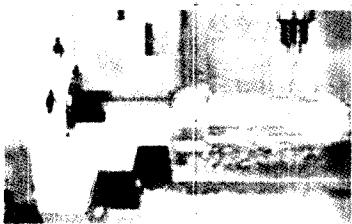


Fig. 4 Machining of insert cutter by the mill-turn machine

원통형상의 소재를 사용하는 대표적인 부품인 터보기계류 부품 또한 복합가공에 적용하여 큰 효과를 볼 수 있는데 이는 선삭 후 탈착하지 않은 상태에서 Fig. 5와 같이 회전축을 회전하면서 동시에 5축가공을 수행함으로써 가능한 것이다. Fig. 5는 버켓 블레이드의 복합가공을 보여주고 있으며 그림과 같이 양 센터 작업을 통하여 가공 정밀도를 더욱 향상시킬 수 있다. 즉 주 스피indle과 보조 스피indle의 동시 물림에 의한 동기 가공으로 동심도, 진원도 및 축직각도 등의 형상정밀도를 배가할 수 있다.

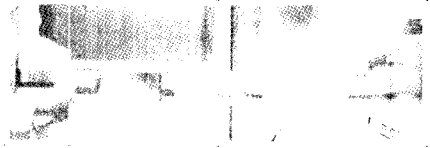
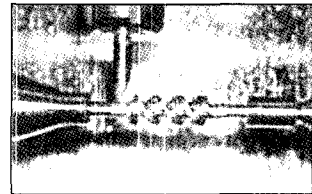
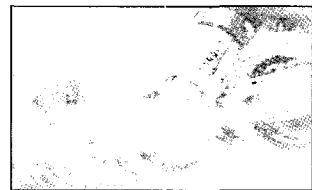


Fig. 5 Dual center machining by the mill-turn machine

복합가공은 다양한 응용을 통하여 더욱 확장된 기능을 적용할 수 있는데 Fig. 6은 특수공구를 사용하여 호빙머신의 기능을 수행하는 사례를 보여준다. 즉 총형공구(Form Tool)나 호브(Hob) 등을 사용하면 기어가공에도 적용할 수 있음을 보여주는 사례로서 각각 헬리컬 기어와 평기어 가공 장면을 나타낸다.



(a) Helical gear



(b) Spur gear

Fig. 6 Gear machining by the mill-turn machine

확장된 축자유도는 Fig. 7과 같은 원통연삭도 가능하게 해주며 이를 위해서는 밀링 스피들의 회전속도가 고속이어야 하는데 Integrex-200은 최대주속 12,000rpm 으로서 이러한 고속조건을 만족하고 있다.

앞서 열거한 다양한 복합가공 기능 이외에도 총형 공구의 조합을 통하여 광범위한 가공 방법이 적용될 것으로 사료된다.

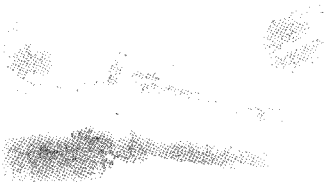


Fig. 7 Cylindrical Grinding

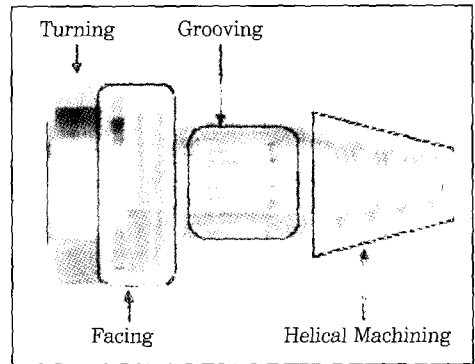
3. 다축복합가공을 위한 CAM

앞 절에서 살펴본 바와 같이 복합가공기를 사용하여 다양한 종류의 가공을 수행할 수 있다. 그러나 다축 복합가공의 경우 수작업으로 공구경로를 생성할 수 있는 제품은 매우 제한적이며 컴퓨터를 사용한 전산원용가공(CAM) 작업을 통하여 정확하고 신속한 공구경로 생성을 수행해야 한다. 이를 위하여 다축가공, 특히 5축가공을 수행할 수 있는 모듈이 포함된 CAM 소프트웨어를 사용하거나 독립적인 소프트웨어를 개발하여 적용할 필요가 있다. 본 고에서는 CATIA의 Multi-Axis Machining 모듈을 사용하여 다축 복합가공(여기서는 5축 복합가공)을 수행한 과정을 소개한다.

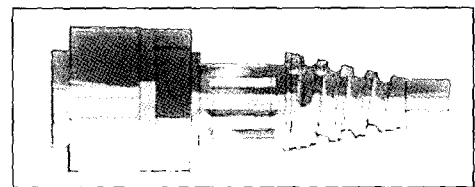
3.1 CAM 작업을 위한 모델링

5축복합가공기를 사용하여 가공한 다양한 제품 가운데 장비의 가공정밀도 시험용 시편 모델을 예로 들어 CAM 작업을 수행한 프로세스를 소개하고자 한다. 테스트용 시편은 Fig. 8의 (a)와 같다. 이는 5축 복합가공기의 다양한 가공 특성을 검증할 수 있도록 설계되었으며 Fig. 8의 (a)에 표시된 각각의 작업 공정은 5축 복합가공기가 아니면 1회 세팅으로 가공할 수 없는 특징을 지니고 있다. 즉 선삭을

수행한 후에 그림과 같은 면삭 및 홈작업을 하고 마지막으로 헬리컬 가공을 수행함으로써 완가공을 마치게 되며 이러한 복합가공 테스트를 통하여 장비의 복합가공 기능성과 정밀도를 시험할 수 있다. CAM 작업을 수행하기 위한 첫 번째 과정으로서 3-D 모델링을 해야 하며 본 절에서 수행한 모델링은 CATIA의 CAD 모듈을 사용하였다. Fig. 8의 (b)는 이러한 모델링의 결과이다.



(a) Test piece for machining accuracy



(b) Modeling of test piece for machining accuracy

Fig. 8 Modeling for CAM work

3.2 5축 복합가공 공구경로 생성

정밀하고 경제적인 가공을 위해서는 공구경로의 생성 시간 자체를 최대한 줄이고 결과적으로는 가공시간을 단축할 수 있는 효율적인 가공 프로세스를 선정하여야 한다. 복합가공에서는 대부분의 경우 소재의 선삭을 수행한 후 면삭, 프로파일 가공, 홈가공 및 헬리컬 가공의 순서로 공정을 구성하는 것이 작업 효율의 측면에서 효과적이다.

Fig. 9는 복합가공을 위한 공구 경로를 프로세스별로 순차적으로 나타낸 것이다. Fig. 9의 (a)는 외경선삭 작업을

로서 수동으로 작성하여도 무방하며 본 고에서는 CATIA의 Turning 모듈을 사용하여 정삭경로를 생성한 후 반복 사이클을 사용하여 황삭 및 정삭가공 경로를 생성하였다. 그림과 같이 황삭바이트가 제품의 외경 프로파일을 따라 공구경로를 생성하고 있다. 또한 Fig. 9의 (b)는 홈바이트를 사용한 선삭 작업으로서 그림과 같이 홈바이트가 원하는 가공 부위의 공구경로를 생성하고 있다.

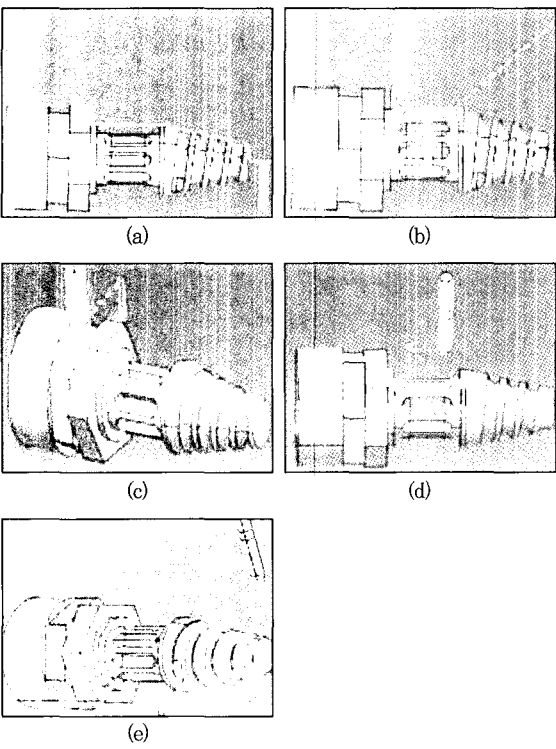


Fig. 9 Tool path construction for milling

선삭 작업 후에는 엔드밀을 이용한 평삭, 프로파일 가공 및 홈가공, 헬리컬가공 등을 수행한다. Fig. 9의 (c)는 평엔드밀을 사용한 면삭 가공의 예를 보여주는 것으로서 1면에 대한 공구 경로 생성 후 도 만큼 원하는 횟수로 복사생성하여 사용할 수 있다. Fig. 9의 (d)는 볼엔드밀을 사용한 홈가공으로 이 공정도 마찬가지로 복사생성하여 사용한다. Fig. 9의 (e)는 회전축과 틸팅축의 동시 제어를 통한 헬리컬 가공으로서 테이퍼 형태의 외주면을 따라서 볼엔드밀

이 원하는 형상을 가공한다. 만약 틸팅 각도가 고정되어 있고 헬릭스 각도와 피치를 알고 있다면 CAM 소프트웨어를 사용하지 않고도 수동으로 공구경로를 작성할 수 있다.

3.3 Post-Processing

이상과 같이 생성한 공구경로는 가공 소재와 공구간의 Cutter Contact Data(이하 CC-Data)로서, 가공하고자 하는 5축복합가공기의 기계구조에 맞는 NC-Data로 변환해 주어야 하며 다축가공에 있어서는 이와 같은 Post-Processing 작업의 정밀한 제어가 매우 까다롭고도 중요한 요소이다. Fig. 10은 본 고에서 제시한 Integrex-200 5축복합가공기의 공작물좌표계와 기계좌표계를 나타내고 있다. CC-Data로 생성된 공구경로는 Fig. 10의 공작물 좌표계인 x_c, y_c, z_c 직교 좌표계 상에서 구현된 것이므로 가공하고자 하는 머신 좌표계인 x_m, y_m, z_m 로 변환해 주는 역기구학 과정을 수행해야 하며 또한 Pivot length와 Tool length를 더한 Gage length 값인 만큼 보상해 주어야 한다.

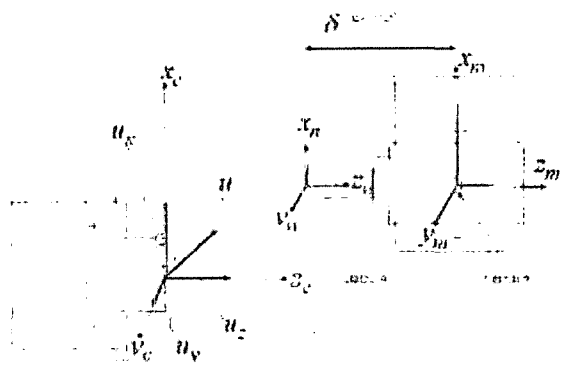


Fig. 10 Coordinate systems for 5-axis MCT

위와 같은 Post-Processing 과정은 상용 소프트웨어인 Post-Works나 G-Post등을 통하여 수행할 수 있다.

3.4 공구경로의 검증을 위한 모의 가공

이상과 같이 생성한 NC-Data는 실제 절삭가공을 수행

하기 전에 반드시 디지털 가공, 혹은 모의 가공 과정을 거쳐야 하며 피삭재 시뮬레이션과 머신 시뮬레이션을 통하여 피삭재와 머신의 상호 충돌이나 피삭재의 과, 미삭 여부를 파악할 수 있다. 공구경로의 검증은 위하여 상용 소프트웨어인 Vericut 5.3(CG Tech. U.S.A)을 사용하였으며 Fig. 11과 같은 모의 가공결과를 도출하였다. Fig. 11의 (a)는 피삭재 시뮬레이션 장면을 보여주고 있으며 여기서는 과, 미삭 여부를 주로 검증하게 된다. Fig. 11의 (b)는 머신 시뮬레이션 장면으로서 주로 머신과 소재, 혹은 머신과 치구의 상호 간섭 및 충돌 테스트를 수행한다.

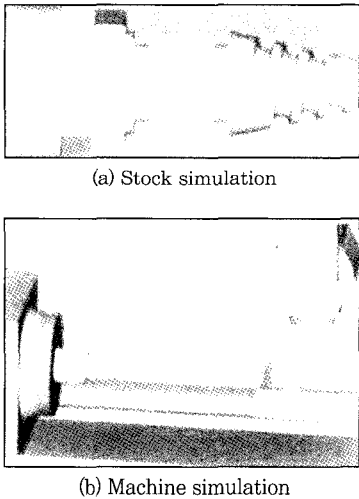


Fig. 11 Tool path verification with Vericut

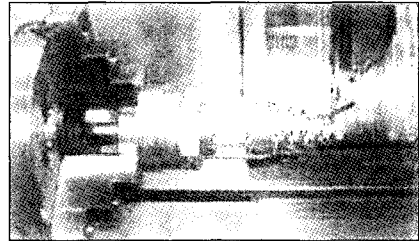
4. 다축복합 절삭가공

앞 절에서 소개한 CAM 과정을 통하여 제품의 가공 가능성과 형상 정밀도를 미리 예측할 수 있으며 모의 가공 과정은 과, 미삭 여부와 충돌, 간섭 여부까지 파악하도록 도와준다. 이러한 모든 과정이 착오없이 수행되었다면 5축복합가공기를 통한 절삭가공을 시작할 수 있다.

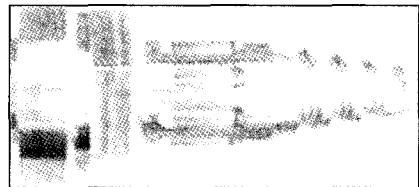
Fig. 12의 (a)는 Integrex-200 5축복합가공기를 사용하여 절삭가공하는 장면으로서 가공 결과 Fig. 12의 (b)와

같은 완제품을 얻을 수 있다.

결론적으로 선삭과 밀링을 분리하여 가공하던 기존의 방식에 비해 매우 개선된 작업효율과 정밀도를 얻을 수 있었다. 정량적인 비교를 위해서는 기존의 가공 방식과 복합가공기를 사용한 가공 방식을 동일한 가공조건으로 세팅한 후 가공하여야 할 것으로 사료된다.



(a) Machining with Integrex-200



(b) Result objects of machining

Fig. 12 CNC machining with Integrex-200

5. 결론

본 고를 통하여 차세대 공작기계의 주역으로 떠오르고 있는 다축복합가공기술의 동향과 그것을 떠받치는 CAM 기술의 적용 사례를 소개하였다. 다축복합가공기술은 확장된 축자유도와 선삭 및 밀링의 동시 제어 가공이라는 특징 및 1회 세팅에 의한 완가공 특징 등으로 인하여 고효율의 생산성 확보, 고부가가치화 실현 및 가공정밀도 향상이라는 공작기계의 핵심적인 보유조건을 확보하고 있다는 점에서 차세대 공작기계의 흐름을 주도할 것이며 고속가공 기술의 진보와 더불어 점차 고속화, 지능화될 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. Choi, B. K., Surface Modeling for CAD/CAM, pp. 152-156, 1991.
2. Ibrahim Z., CAD/CAM theory and practice, 1994.
3. Steven, C. C. and Raymond, P. C., Numerical Methods for Engineers, 1999.
4. Derek, Y. H and Debashish D., "Finding the maximum turnable state for mill/turn parts", Computer Aided Geometric Deign, Vol. 29, No. 12, pp. 879-894, 1997.
5. Yoshimi T., Kouichi M., Makoto Y. and Tatsuya H., "5-Axis Control Machining using Side-Milling Cutter", Journal of Advanced Automation Technology Vol. 7, No. 1. 1995
6. Hagen, H. and Schulze, G., "Automatic Smoothing with Geometric Surface Patches", Computer Aided Geometric Deign, Vol. 4, No. 2, pp. 131-138, 1998.
7. Lott, N. J. and Pullin, D. I., "Method for fairing B-spline Surfaces", Computer-Aided Deign, Vol. 20, No. 10, pp. 597-604, 1983.