

Rapid Prototyping에 관한 소식

1. RP 기술의 응용 사례

1.1 의료분야 전용의 전문적인 RP 기술

이제 RP 기술은 일반적인 상품개발과정에서 쓰이는 용도이외에 의료계와 같은 전문분야에서도 그 쓰임새가 점차 일반화 되어가고 있다. 의학분야에서 RP 기술을 이용하는 가장 보편적인 용도는 이미 널리 알려진 대로 CT 나 MRI 장비를 이용하여 얻어진 인체의 2차원 영상을 합성하여 3차원 형상을 생성하고 이를 RP 장비를 이용하여 직접 인체 내·외부의 모형을 제작해 내는 것이다. 약 4년전에 미국 Colorado 주 Golden 시에 설립된 Medical Modeling Corporation (MMC) 사가 바로 이와 같은 의료용 RP 조형작업 서비스만을 전문으로 담당하기 위해서 설립되었다. 회사관계자에 의하면 의사들은 주로 의학용 모델을 이용하여 수술환자를 실득하는 용도에서부터 의과대학 학생들을 교육하거나 실제 수술과정을 계획하는 전문분야에까지도 광범위하게 RP 장비를 이용하고 있다고 한다. 이 경우 수술시간을 획기적으로 단축할 뿐만 아니라 수술횟수도 감소시킬 수 있다고 한다. 본디 MMC 사는 악관절전문 임플란트(TMJ implant) 제조업체에서 출발하였다. 즉 RP 장비를 이용하게 됨으로써 두개골 부분에서 하악과 상악을 각각 정밀하게 재현할 수 있게 되고 이에 따라 환자의 악관절에 가장 이상적으로 들어 맞는 임플란트를 디자인하는 것이 가능해 지게 되었다는 것이다. MMC 사는 이제 의학용 모델을 전문으로 서비스 하는 RP 서비스 업체로서 전 미국의 의사들을 대상으로 사업을 확장해 가고 있다.

MMC 사는 일반 RP 업체와의 차별화의 부각을 위해서 몇 가지 중요한 기술들에 집중적인 투자를 하고 있다. 우선 MRI, CT 정보를 RP 작업에 적합한 자료로 전환하는 기술이 핵심이 되는 기술 중의 하나인데 CT에서 얻어진 자료의 통상적인 문제점은 환자를 CT로 측정시 환자에게 방출되는 방사능의 양을 최소화하기 위해 통상 3~4 밀리미터 정도에서 단층두께를

결정한다는 데에 있다. 즉 RP에서는 보통 0.1 밀리미터의 적층두께를 적용하므로 이와 같은 CT 작업에서 발생하는 2~3 밀리미터의 층두께는 상대적으로 매우 두꺼운 썸이다. 따라서 CT 정보로부터 RP 작업에 적절한 형상정보를 얻기 위해서는 2차원 정보를 3차원 형상으로 복원시 두터운 층간의 공간을 적절한 보간작업을 통해서 부드럽게 메꾸어 주는 기술이 필수적이다.

여기서는 벨기에의 Materialise 사가 개발한 MIMICS 소프트웨어를 사용하였는데 이 소프트웨어는 우선 CT 정보의 각 층간의 공간을 적절한 보간작업을 통해서 부드럽게 메꾸어 주는 기능을 수행한다. 또한 CT 정보가 서로 명확하게 구분되지 않는 단순히 밝고 어두운 영역이 섞여 있는 음영자료라는 점에 비추어 MIMICS는 주어진 정보로부터 필요로 하는 부위에 해당하는 이미지 정보를 추출해 내는 기능도 수행하고 있다. 그러나 이와 같은 작업을 수행하기 위해서는 소프트웨어 이외에 해부학에 정통한 의료분야전문기술자가 필요하다고 한다. 즉 일단 CT 장치에 의해서 측정된 정보가 의미있는 이미지 영역으로 추출되면 이를 이용하여 그림 1에서 보는 바와 같은 3차원 모델링이 행해진다(그림 1). 사실은 좀 더 정확한 모델링이 이루어 지기 위해서는 최소한 1 밀리미터 정도의 CT 층간격이 요구된다. 이는 전술한 바와 같이 촬영시간이 길어져 환자가 더 많은 방사능에 노출될 가능성이 높아지는 반면에 그대신 MIMICS에서의 3D 모델링 시간을 단축하게 되어 보다 효율적으로 3차원 형상 모델링이 이루어질 수 있게 된다. 통상 일반 산업계의 역공학(reverse engineering)과 같은 분야에서는 대개의 상업용 제품의 경우 다양한 외관적인 특성과 복잡하고 날카로운 특징형상들이 존재하므로 3D reconstruction 영역이 별로 환영받지 못하고 있는데 반하여 의료계에서는 인체뼈의 패턴이 일정하고 형상특징상 대부분 완만한 형상변화를 보여주므로 전술한 기법들을 적용하기에 매우 적당하다고 한다. 일단 3D 모델링작업이 완



그림 1. 교정수술에 사용하기 위해 CT 자료로부터 만든 광조형모델

료되면 이를 바탕으로 직접 2차원 조형정보를 얻기 위한 단면화(slicing) 기법이 적용되거나 직접 STL 모델로 전환하여 다른 RP 장비와도 호환된다. 최초 CT 데이터가 얻어지고 의학용 조형모델이 얻어져서 고객에게 빠른 송달로 부쳐지기까지는 약 1주 정도가 소요된다고 한다.

현재 의학용 조형작업에 쓰이는 재료는 DuPont 사의 Epoxy resin로서 이는 투명도가 높고 표면정도가 좋다. 만약 수술실에서 이와 같은 조형모델을 사용하기 원한다면 영국의 Zeneca Specialties 사가 개발한 Stereocoll이라는 아크릴계통 resin을 사용하면 된다(회사측은 이 resin을 사용하여 조형된 모델을 Clear-View라고 부른다). Stereocoll의 장점은 일단 멸균상태에서 직접 수술실의 견본으로 이용될 수 있으며 심지어 인체내에 삽입시 그 안전성이 이미 입증된 상태라고 한다. ClearView의 또다른 장점중의 하나는 resin 자체에 색깔을 부여할 수 있다는 점인데 이 성질을 이용하면 그림 2와 같이 부위에 따라 색깔을 달리(즉 레이저 강도에 따라 원래는 투명하던 조형파트의 색깔을 붉은색 혹은 청색으로 바꿀 수 있다. 이 경우 담당의사는 투명한 턱뼈인의 신경의 위치와 치아뿌리들의 위치를 명확하게 관찰할 수 있게 되는 것이다(그림 2).

대부분의 경우에 (역자도 이와 거의 동일한 경험을 국내 우수한 대학병원을 방문하면서 느낀 바 있다.)

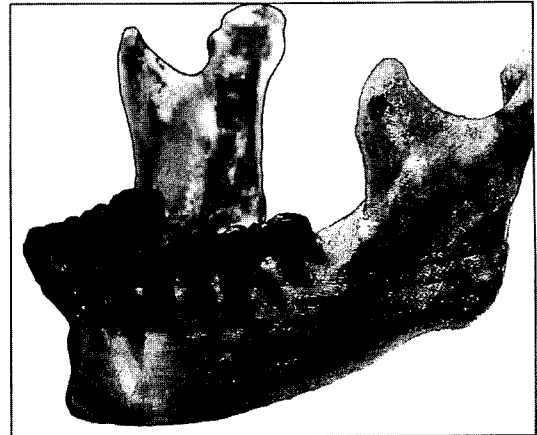


그림 2. Zeneca사의 Clear View 수지로 만든 턱뼈

이와 같은 기술들이 보다 효과적으로 이용되기 위해서는 우선 무엇보다도 이 기술의 수요자인 각 병원의 의료진들의 공감을 얻어내야 한다는 점이다. 이를 위해 그동안 MMC 사는 여러 병원을 순방하면서 강연회와 세미나를 개최하면서 의사들로 하여금 이 기술에 대한 관심과 신뢰를 얻는 작업에 심혈을 기울여 왔다. 통상 특정한 성향의 의사들이나 혹은 나이가 연로한 의사들은 새로운 기술에 관심을 기울이는 데에 다소 소극적인 경향이 높는데 일단 이들도 RP의 장점을 체험하기 시작한 후에는 기술에 대한 높은 만족도를 표시하게 된다고 한다. 현재 이 기술들을 가장 많이 사용하는 의사들은 악안면 구강외과의사들인데 그 이유는 이들이 주로 안면이나 턱뼈 등을 재건하는 치료를 담당하게 되고 일반적인 무릎관절이나 대퇴부관절 정형외과의사보다 병원경영진이나 의료보험회사의 입장을 환자의 치료사보다 더 신중하게 반영하는 경향이 있기 때문이다. 현재는 점점 많은 보험회사들이 RP로 조형된 의료용 모델에 대한 비용을 기꺼이 지불하려고 하고 있으며 병원당국도 그리고 이제는 환자자신도 보다 향상된 의료진료를 위하여 기꺼이 추가되는 비용을 부담하려는 추세라고 한다. 현재 몇몇 의료용 RP 조형 service bureau 등이 단순히 회사명을 선전하기 위하여 무료로 조형서비스를 제공하겠다고 공공연히 나서고 있는 경향이 있다. 솔직히 이러한 시도들이 보다 많은 RP 기술의 의학적 적용을 불러온다는 점에서는 다소 긍정적인 것임에는 틀림없으나 전술한 바와 같이 의학적 응용기술이 다른 분야와 비교해서 상대적으로 고도의 전문적인 의학적 소양을 필요로 한다는

점에서는 우려해야 할 상황으로 볼 수 있다. 즉 무료로 이와 같은 서비스를 한다는 것은 곧 고도의 전문 기술자들이 투입될 경우의 고가의 비용 등을 희생할 공산이 크며 이 경우 정밀한 의학적 모델을 조형하는데 있어서 문제가 발생할 확률이 높다는 점이다. 만약 이것이 만에 하나라도 조잡한 조형물 제작에 기인한 질 낮은 의료용 치료로 귀결될 경우 그 의사와 환자 모두 기술 자체에 대한 본질적인 불신감을 갖게 되고 결국 궁극적으로는 의료분야에서 RP 적용기술의 발전에 장애가 될 확률이 높다는 것이다.

현재 미국이 일반적인 RP 업계의 선두를 이끄는 마차임에는 틀림없으나 의료용 응용분야에서는 호주나 독일과 같은 나라에 다소 뒤지고 있는 것이 사실이다. 이는 곧 미국 정부가 의료용 RP 기술자체에 대하여 지니고 있는 정책적인 자세에 크게 영향을 받기 때문인 것으로 분석된다. 호주나 독일과 같은 나라에서는 지난 수년간 정부가 의료용 RP 조형경비를 모두 부담해오고 있는데 이는 바로 미래의 의료용 RP 시장의 파급효과가 지대하다는 인식을 정부가 갖고 있기 때문으로 풀이된다. 전문가들은 이 현상을 지난 수십 년간 공학적 응용을 위한 2차원 도면작성기술이 3차원 솔리드 모델링으로 발전해 온 과정과 비슷한 패러다임의 변화로 해석하고 있다. 즉 의사가 기존의 단순한 2차원 이미지에서 보다는 3차원 형상정보로부터 보다 유용한 의료정보를 얻을 수 있으리라는 매우 분명한 사실에 기인한 논리인 것이다. 물론 RP 조형물에 의해 재현된 조형 파트가 실제 인체의 일부분을 완벽하게 대신할 수 있는 시기에 이르기에는 아직 좀더 시간이 필요할 것이나 궁극적으로는 효과적인 의료기술의 한 부분으로서 멀지 않을 장래에 확고하게 자리매김 하게 될 것이 분명하다.

1.2 불상제작을 위한 RP 기술

통상 RP는 상대적으로 작은 부품만을 조형하기 위해서 존재한다고 생각하기 쉽다. 그러나 실제로 거대한 무엇인가를 만들기 위해 RP 장비를 이용하는 것도 가능하다는 것을 보여주는 예가 있다. 인도 남부의 도시인 Bodhgaya에 있는 불교 수도원은 세계에서 가장 큰 조각상을 만들려고 계획중이다. 이 수도원이 계획하고 있는, 자유의 여신상보다 3배나 큰 Maitreya 불상은 500피트의 크기로 세워질 예정이며 그리고 이 수도원은 적어도 앞으로 1,000년 동안은 불상이 원형

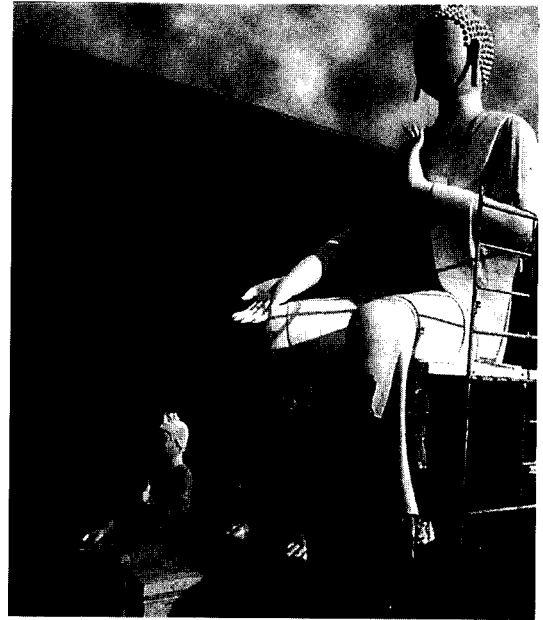


그림 3. 케속조형기술로 복제하여 만든 25 ft Maitreya 불상

그대로 보존되기를 기대하고 있다고 한다(그림 3). 청동, 알루미늄, 스텐레스 스틸, 티타늄으로 구성될 Maitreya 불상은 17층 높이의 기반에 앉아 있는 불타를 보여줄 것이고, 40에이커 넓이의 공원의 중앙에 세워질 것이다. 이 프로젝트를 시작하기 위해 수도원은 불상의 4피트 높이의 모델을 조각할 목적으로 2명의 영국 예술가 Peter Griffin과 Denise Griffin을 고용했다. Griffin 가의 두 사람은 불교 예술가들과 종교 지도자들을 연구하고, 그들의 점토로 모델링된 불상이 불교 전통에 의해 요구된 정확한 비율로 만들어 졌는지를 확인하기 위해 대만과 카트만두, 인도 등지를 여행하였다. 그러나 작은 점토 불상을 500피트 크기로 확대하는 것은 쉬운 일은 아니다. 이것이 RP가 도입된 이유인 것이다. 예술가들이 만든 불상이 불교의 가르침에 따라 완벽한 비율을 가진다는 것을 확신할지라도 이 프로젝트의 담당자인 Steven Kedge는 Maitreya 불상이 실제 크기로 만들어진 무게에 대해서도 견딜 수 있는지를 확인해야 한다.

이 불상의 공학적인 해석을 수행하기 위해서 작은 물리적인 모델을 컴퓨터내의 모델링 정보로 변환하는 것이 필요했다. Kedge는 인터넷을 검색하여 RP와 디지털 타이핑 서비스를 하는 유타주 Salt Lake 시에 있는

Javelin 사를 찾아냈다. Javelin 사는 Helisys의 LOM과 Stratasys의 FDM, Z Corporation의 Z-402을 포함한 다수의 RP 기술을 가지고 있다. Javelin의 창립자인 Alair Griffin은 예술품의 형상을 electronic 한 형태로 바꾸는데 가장 좋은 방법을 결정하기 위한 작업에 착수했다. 불상에는 장식된 기반과 얼굴의 형태 그리고 복잡하게 걸쳐진 옷이 조각되어 있다. Griffin은 다수의 scanning 회사들과 함께 논의한 결과 laser scanning이 비교적 단순한 부품을 디지털화 하는 데에는 적절한 방법이지만 복잡한 형상인 불상의 경우에는 많은 형상적인 특징을 잃을 수 있다고 판단했다. 또한 laser scan에 의해 수집된 수백만 개의 점은 공학적인 해석에는 그다지 유용하지 않다. Griffin은 도움을 구하기 위해 유타주에 있는 Orem의 Viewpoint Data Lab을 접촉하였다. Viewpoint Lab.은 불상 위에 grid를 그리고 이 grid vertex의 3차원 공간상의 위치를 기록하는 touch probe를 이용하는 것이 불상을 디지털화 하는데 가장 좋은 방법이라고 판단하였다. grid가 불상 위에 그려졌고 실제 scanning 작업은 3일이 걸렸다. 이러한 접근은 laser scanning 보다 더 많은 노동을 수반하지만 수집된 데이터는 다른 어떤 방법에 의해 추출된 데이터보다도 더욱 쉽게 CAD 모델로 변환할 수 있다고 한다. 불상을 컴퓨터 모델로 변환한 동기 중에 하나는 데이터의 조작이 가능하다는 것이다. 예를 들어 예술가들이 불상의 얼굴의 한쪽 면은 마음에 들어 했지만 다른 쪽은 그렇지 못하다고 하자. 일단 불상이 디지털화 되면 CAD 모델 상에서 얼굴의 좋은 부분을 다른 부분에 복사할 수 있고 불상의 많은 곡선들의 불규칙한 부분을 손질할 수 있게 된다. 처음에 Kedge는 RP을 이용해서 불상의 작은 모델을 만드는 것에 관심이 있었다. 그러나 Alair는 RP 기술을 이용하여 큰 모델을 만드는 것을 제안했다. 그녀는 유타대학에 있는 Charles Thomas와 합작할 것을 제안했는데, 그는 층을 이룬 폴리스티렌 발포(polystyrene foam) 박판으로 큰 부품을 만들기 위한 반자동 기술을 개발하였다. 그녀의 아이디어는 불상을 25피트 크기의 모델로 만들기 위해 Javelin의 RP 기술과 Thomas의 foam system을 조합하는 것이었다. 유타대학의 RP 공정은 단단한 폴리스티렌 발포 박막을 자르기 위해 water jet을 이용한다. 이 박판들은 고정 pin 위에 수동으로 쌓여지고 집착된다. 대부분의 RP 기술은 층 사이의 계단오차를 줄이기 위해 매우

얇은 층(0.025 mm)으로 부품을 만든다. 모델은 층을 두껍게 하면 보다 빨리 만들 수 있으나 두께가 증가하여 완성된 모델에서 계단오차는 두드러져 보이게 된다. Thomas의 공정은 0.25에서 0.5인치의 두께로 foam을 자르는 4축 제어 water jet을 사용했는데 water jet은 foam 박판의 표면을 수직으로 자르는 대신 모델의 표면과 거의 같은 형상으로 박판의 끝을 각을 주어 자른다. 이렇게 함으로써 완성된 쌓여진 층 사이의 계단오차가 거의 없는 박판이 만들어져 적층되게 된다. Utah system은 5 피트×4 피트의 박판을 자를 수 있기 때문에, 불상을 위한 STL 파일은 여러 개의 부분 파일로 나누어져 조정되었다. cutting 작업과 25피트 높이의 불상을 조립하기 위해 6,000장 이상의 발포 박판을 손으로 쌓고 접합하는데에 한 달이 소요되었다. 일단 각 조각의 층들이 조립되면 구성부품의 표면은 샌드페이퍼로 문질러지고 밀봉되어 진다(그림 4). 전체 불상이 조립되어진 후에 부드러운 발포 표면을 보호하고 매끄러운 대리석질감을 나타내게 하기 위해 에폭시의 단단한 막으로 입혀졌다.

Griffin은 project가 수행되는 동안 예술가들과 함께 일하는 것이 매력적이고 도전적이었다고 말한다. 불상이 완성되어지는 것을 보면서 예술가들은 어떤 부분에는 재료를 붙이고 또 어떤 부분에는 깎아 버리는 것을 원했다. Griffin은 불상에 대한 예술가들의 수정

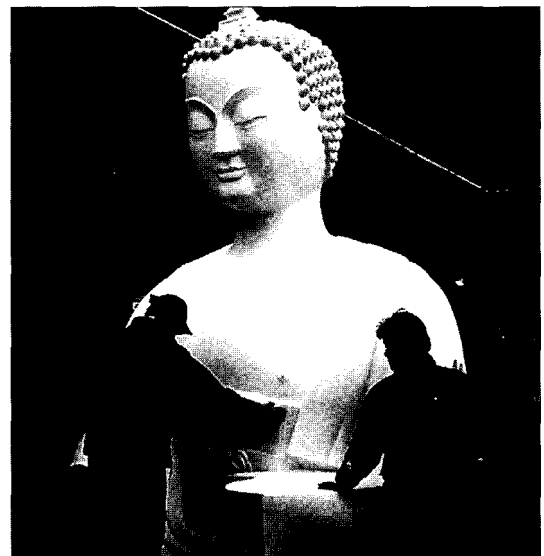


그림 4. 절단된 발포박판을 조립하는데 1달이 걸렸음

때문에 불상의 조립이 늦어지고 CAD 모델로 구체화 하는데 어려움이 있었다고 말한다. 일단 예술가들이 수정된 것에 만족하면 작은 불상에 유사한 변경을 해야 했다. 그 후에 변경된 부분은 다시 디지털화 작업이 필요했다. Griffin은 다시 이러한 작업을 할 때에 만약 예술가들이 없다면 그녀의 팀이 약 2주 동안이면 불상을 조립하고 만들 수 있을 거라고 한다. Utah 대학의 foam-sheet 기술 외에 다른 RP 기술이 불상 제작에 사용되었다. 부처의 3번째 눈과 같은 정밀한 부분들은 Javelin의 FDM 기계로 만들어졌다. 다른 형상들은 Javelin의 Z Corporation Z402로 만들어진 형을 이용하여 우레탄 발포 주조법으로 만들어졌다. Griffin은 Maitreya 프로젝트 디자이너들이 25 피트 크기의 동상으로부터 많은 것을 배웠다고 말한다. 또한 Viewpoint Data Labs은 불상이 하루중 시간에 변화에 따라 그리고 이종의 재료를 사용하여 제작될 경우에 어떻게 보일 것인가 대한 확인작업을 위해 Maitreya 컴퓨터 모델을 이용한 simulation 기법을 사용했다. 심지어 예술가가 만든 작은 조각상과 컴퓨터 시뮬레이션에서 정확하게 보이는 불상의 눈은 실제의 큰 모델을 지면에서 볼 경우 다르게 보일 수 있다는 것이다. 다음 몇 달 이내에 Javelin은 설계변경을 하기 위해 Maitreya의 두 번째 큰 모델을 만들려고 계획하고 있다. Javelin은 아마도 한 손가락이 약 30 피트 정도로 긴 500 피트 크기의 불상을 원래 크기로 만드는 것을 제안하였다.

1.3 의상디자인에서의 RP의 응용

일반적인 RP의 응용사례들은 치수정도를 중요한 구비조건으로 요구한다. 즉 적층크기, 공차, 그리고 정밀도 등이 밀리미터 이내의 단위에서 결정되어야 한다. 의상디자인분야에서는 초점이 다른 곳에 맞추어진다. 여기서는 의상이 특정한 모델에 얼마나 잘들어 맞는가라는 관점에서의 치수를 중요시한다. Cyberform 사에서는 현재 이러한 문제에 초점을 맞춘 연구를 수행하고 있다. 기본 원리는 다음과 같다. 즉 3차원 레이저 측정기를 이용하여 사람의 몸의 외형을 측정하고 이를 의상디자인용 의상틀로 만드는 작업이 그것이다. 여기서 의상틀(dress form)이란 양복재단사나 의상디자이너가 의복을 제작하기 위한 모형으로 이용하고 있는 3차원 인체모형을 말한다. 기존에는 종이재료를 써서 실제 사람의 신체치수를 손으로 일일이 측정해 가면서

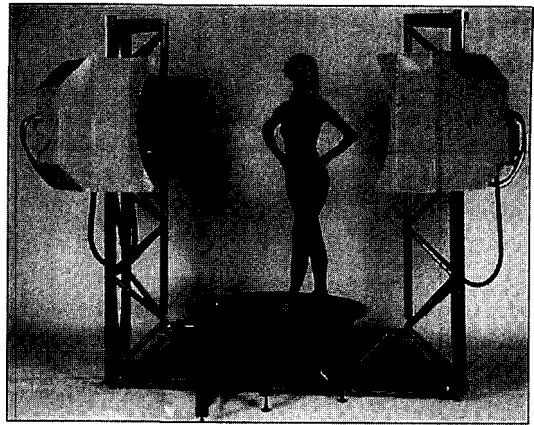


그림 5. Cyberware 전신 스캐너에 의해 17초만에 인체 형상을 측정가능함. 의상을 뿐만 아니라, 애니메이션을 위한 디지털 인간을 만드는 데 사용 가능함

제작해 왔는데 이는 기본적으로 인간의 몸이 모두 균일하지는 않다는 점에서 문제가 있게 된다. 따라서 신체의 한쪽만을 만들어 나머지부분을 대칭구조로 제작해야 하는 어려운 점이 있었으나 이제는 3차원 스캐너를 이용하여 17초 정도의 시간안에 인체의 형상정보를 얻어낼 수 있게 되었다.(그림 5) 이 정보는 CAD 모델러로 넘겨져 머리카락과 팔과 같이 의상틀로서는 불필요한 부분들을 제거한 후에 3차원 밀링장비를 이용하여 폴리우레탄제질의 3차원 패턴(form pattern)을 거쳐 다시 fiberglass 계열의 진공주형이 얻어진다. 이 진공주형을 이용하면 원하는 갯수의 의상틀이 용이하게 제작된다. 이와 같은 공정에서 의상틀을 제작하는 비용은 약 \$10,000-\$12,000로서 비싼 편이지만 유명한 미국 할리우드 여배우 미셸 파이퍼가 영화 Batman에서 보여주었던 가죽슈트의 제작의 경우에서 보는 바와 같이 연예계 스타나 영화사에는 종종 주문이 들어온다고 한다. Cyberform 사는 현재 일반 상업용 의상을 디자인하는 의류업체에서 사용될 고급 의상틀을 제작하는 데에 많은 노력을 들이고 있는데(그림 6). 이러한 작업이 필요한 이유는 각 의상디자이너마다 정형화된 의복형태 즉 size 6, size 8과 같은 수치에 가장 정확하게 맞는 체형이 무엇인가에 대한 정의가 각각 다르기 때문이다. 관심 있는 의상디자이너나 의류업체 종사자는 다음의 주소로 Cyberform 사에 문의할 수 있다.



그림 6. 스캔 자료로부터 만들어진 의상들

Cyberform Corporation
 611 Ruberta Avenue
 Glendale, California 91201
 Tel : 1-818-246-2911
 Fax : 1-818-246-3610
 Web : <http://www.cyberform.com>

2. RP 장비와 조형재료에 관한 보고서

2.1 RP의 이미지

새로운 조형장비로서 RP가 우리에게 보급된지도 10여년이 지났다. 초창기에 RP 기술은 마치 마술을 보는 것과 같은 흡인력을 갖고 사람들에게 다가왔다.

CAD 모델만 집어 넣으면 순식간에 꼭 같은 모양의 물리적 조형물을 손에 쥌 수 있게 된 것이다. 한편 그 외중에 항상 사람들의 뇌리속에서 남는 것은 과연 그러한 물리적 조형물을 갖고 그 다음 단계에서 무엇을 할 수 있는가에 대한 의문이었다. 진정으로 RP가 미술이라면 강철이나, 유리강화복합재, 세라믹과 같이 현재 가공기술이 재료로 사용하고 있는 모든 재료에 대하여 RP의 조형재료로서의 적용이 가능해야만 하는 것이다. 그래야만 그렇게 만들어진 재료가 물리적, 기능적 시험을 수행할 수 있는 진정한 의미의 'prototype'로 일반적인 제품개발 분야에서 활용이 가능한 것이다. 물론 현재 일부의 절삭가공분야나 사출성형분야에 있어서는 RP로 만든 조형체가 그와 같은 역할을 담당하는 것이 가능하기는 하다.

2.2 현실적인 상황

결국 이제 우리는 RP가 더이상 마술과 같이 신비하고 전지전능한 기술이 아님을 깨닫게 된다. 여기에는 여러가지 제약조건이 수반된다. 대표적인 RP 장비인 SLA의 경우에 있어서 조형재료로 사용되는 resin은 조형대위의 한 층에서 골고루 퍼질 수 있는 충분한 점성을 지니면서 조형후 파트형상에 어느 한도 이상의 수축이 발생하지 않아야 한다는 요구를 만족하기 위하여 적절한 조형재료의 개발이 끊임없이 이루어지고 있는 작금의 상황은 주지의 사실이다. SLS 나 FDM은 어떠한가? 이들은 SLA와는 달리 조형체의 상변화가 발생하지 않는다. 그러나 분쇄된 분말입자들이 sintering 과 같은 기술로 결합되어야 하므로 그 결과로 생성된 최종조형파트의 물리적 성질이 기존의 금형이나 절삭가공으로 제작된 파트와 동일한 물리적 성질을 갖기를 기대한다는 것은 매우 어렵다. 그렇다면 오늘날 RP 기술이 우리들에게 궁극적으로 가져다 줄 수 있는 잇점은 무엇인가? RP 기술은 그 태동한 초기단계에서는 디자인 과정에서의 판능적 평가의 대상으로서도 충분히 각광을 받을 수 있었다. 이제는 그것만으로는 불충분하다. 오늘날 RP 기술은 그 기술을 이용하여 조형된 파트들이 제품개발에서의 기능과 품질 실험 대상 파트로서의 역할, 의료분야에서는 생리적으로 위생적이고 안전한 보철물로서의 역할, 그리고 제품생산단계에서는 시제품을 생산할 수 있는 금형으로서의 역할을 수행할 것을 요구 받는 등, 실로 다양한 기능의 구비를 현재 요구 받고

있는 것이다.

2.3 조형재의 개발

다음에서 제시하는 여러가지 표들은 현재 상용화된 대표적인 RP 장비들을 대상으로 그 조형파트들의 공정 및 물리적 기계적 성질을 분석한 것이다. 날이 갈수록 각 장비에서 이용되는 조형재료의 가지 수는 점차 증가하고 있는데 그 이유는 과거에는 여러가지 분야에서 적당한 성능과 용도로 사용될 수 있는 단일조형재를 대표적인 조형재료로 선택하여 사용해 왔으나 현재는 응용분야에 따라 조형재료가 지녀야 할 전문적인 재료특성에 대한 요구조건이 점차 강화되고 있고 그에 따른 전문재료의 개발이 활발히 이루어지고 있기 때문이다. 예를 들어 DuPont 사는 기존의 단단한 resin 대신 말랑말랑한 성질을 지닌, 그리고 바닷물과 같은 특수한 상황에서도 사용될 수 있는 resin을 개발하고 있고 Ciba와 3D Systems 사는 최근 내열성이 강한 resin을 개발하였다. DTM 사는 최근 사출성형에 필요한 강철계 분말 재료와 샌드캐스팅용으로 적합한 모래가 함유된 분말재료 등을 선보였다. 현재 어떤 것이 절대적으로 가장 좋은 RP 장비라고 말할 수 없기에 어떤 장비를 어떠한 조형재료로 사용할 것인가에 대한 해답은 각자가 추구하는 응용분야에 따라 매우 판이하다. 따라서 그 응용분야가 조형물의 어떤 특이한 성격, 예를 들면 재료강도, 내구성, 내열성, 내습성, 정밀도 등과 같은 성질의 어떤 부분에 해당하는가를 잘 파악하여야 하고 그 결과로서 그에 맞는 재료와 공정을 선택하여야 한다. 또한 전문적인 재료성능을 지닌 조형 재료는 대개 가격이 고가이기 십상이므로 과연 그러한 고가의 비용을 치루고 그 재료성능을 백해야 하는가에 대한 필요성에 대하여 미리 생각해 두면 효율적인 조형재의 선택이 될 수 있을 것이다.

2.4 조형재료의 성질과 조형공정정보

일반적으로 조형재료로서 가장 바람직한 성질은 그 조형재료로 제작하려는 조형파트에 상용하는 실제 제품의 물리적, 기계적 성질과 가장 비슷한 값을 갖는 것이다. 이는 그 최종제품에 맞추어 기능시험, 재료시험, 조립시험 등이 행해지기 때문이다. 물론 investment casting과 같은 경우에는 그와 같은 물성치 보다는 조형재의 용융온도, 소각가능성 등이 오히려 주된 관심

사가 될 것이다. Z-402, Actua, Genisys 와 같은 concept modeler의 경우에도 재료성능에 대한 해석이 달라져야 하는데 이는 이들 조형장비들이 주로 관능에 의존한 디자인 모델을 주로 제작하는 까닭이다. 즉 회의 탁자위에서 presentation 시에 사람들끼리 만져보고 서로 돌려볼 수 있는 정도의 강도만 있으면 되기 때문이다.

조형공정정보로서 여기에 수록된 정보들은 모든 RP 장비에 통용되는 일반적인 것이라기 보다는 임의의 한 공정에만 해당하는 전용 정보들이다. 예를 들면 SLA의 경우에 서술한 공정정보들은 SLA에 의하여 조형될 파트의 조형속도와 정밀도에 대한 영향만을 의미한다. 참고로 이 경우에 광노출시간, 노출강도, 재료점도 등이 주요한 공정정보로 간주되는데 통상 노출시간이 작을수록 그리고 노출강도가 높을수록 조형속도는 증가하는 경향을 지닌다. 이와 같은 정보들은 제작사에서 제공한 정보이므로 실험에 사용된 조형파트의 형상이나 크기 실험실 상황 등을 고려할 경우 실제 객관적인 상황에서 이루어진 실험에서 얻어질 결과와는 차이를 보일 수 있다.

3. RP 관련 새로운 상품 소개(Software 및 Hardware)

3.1 EOS 사의 Metal Prototyping

독일의 EOS, GmbH(Electro Optical Systems)는 최근 rapid tooling 용 금속을 소재로한 RP 기술을 선보였다. 1995년에 설립된 이 회사의 EOSINT M 장비는 DTM의 SLS와 비슷한 기법을 이용하여 조형파트를 제작하는데 DTM의 Rapid Tool 기술이 접착제로 코팅된 강철분말을 이용하는데 비하여 EOSINT M은 분말 그 자체를 직접 소결하여 파트를 구성한다. 초기의 EOSINT 장비의 주조형재료는 구리와 니켈의 합성분말이었는데 바인더(binder)를 제거할 필요가 없다는 것은 장점이 되겠지만 조형후 기공(porous)이 많이 존재하는 관계로 주석계열이나 에폭시 레진과 같이 용융점이 낮은 재료의 경우 침강(infiltrated) 후처리를 해주어야 한다. 이와 관련하여 새로운 조형재료도 선보였는데 DirectSteel 50-V1 이라고 불리는 이 재료는 기존의 구리계열의 재료가 보여주었던 장점을 그대로 살린 강철분말계통으로 알려져 있으나 자세한 내용은 아직 공개가 되지 않았다. 중요한 특징은 재료의

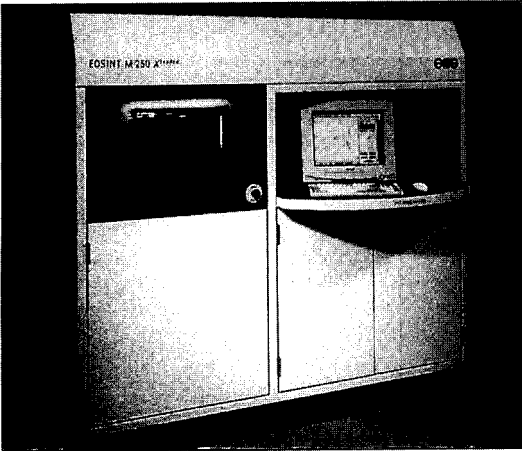


그림 7. 강철분말을 처리하기 위해 재설계된 EOS사의 EOSINT M250 Xtended 콤팩트조형기

분말입자 크기가 최대 50 마이크로미터 이하여서 양질의 표면정도와 무시할 정도의 수축율을 자랑하며 또한 후처리인 침강(infiltration) 작업이 요구되지 않는다고 한다. 또한 500 N/mm의 인장강도와 60~80 정도의 Brinell 경도특성을 지니 수천회의 사출성형이나 수백 회의 다이캐스팅작업을 견디어 낼 수 있다고 한다.(그림 7) EOSINT-M의 가격은 약 \$400,000 정도이나 몇가지 추가적인 옵션을 넣기위해 \$30,000~40,000이 추가적으로 요구된다고 한다.

3.2 3D Systems의 SLA-7000

3D Systems 사는 SLA 기계 중 가장 최신의 기계를 판매한다고 발표했다. 제품개발 관리자인 Mervyn Rudgley에 따르면 SLA-7000 Production Solid Imager (3D 시스템이 stereolithography 대신에 solid imaging이라는 용어를 사용하기 시작했기 때문에)가 현재의 SLA 시스템에서 가장 발전된 모델이고 전에 3D Systems사의 주력품인 SLA-5000 보다 평균적으로 4배 더 빠르게 성형할 수 있는 능력을 갖추었다고 한다. Rudgley는 여러 가지 새로운 기술개발을 조합함으로써 새로운 SLA-7000의 성형 속도가 증가된다고 설명했다. 즉 SLA-7000은 SLA-5000보다 보다 강력한 레이저를 사용하며 수지통에 820 mW의 파워를 전달할 수 있는 1 W 짜리 수냉식 고체 레이저를 사용한다. 반면 SLA-5000의 고체 레이저는 230에서 240 밀리 와트를 수지통에 전달한다. 이처럼 강력한 레이저의 이점을 이용하기 위해서 3D 시스템은 SLA-7000 전

용의 Cibatool SL-7510 이라는 새로운 수지를 개발하였다. 이 밖에도 SLA-7000은 부품을 성형하는 방식을 개선하였는데 기존에 수지의 표면에 레이저 에너지를 집중하는 하나의 경로를 사용하는 대신에 SLA-7000은 레이저가 수지의 표면을 주사할 때 다른 스폿을 만들기 위해 두 개의 다른 경로를 스위치할 수 있다. 지름이 0.010인치인 작은 스폿 한 경로는 한 층의 모든 경계를 추적한다. 지름이 0.030인치인 다른 경로는 한 층의 경계선 사이에 면적을 채우는 데 사용된다. Rudgley에 의하면, 큰 면적을 채워서 성형해야 하는 부품에 대해서, 보다 빠르게 큰 면적으로 빛 에너지를 전달해 줄 수 있는 큰 스폿이 약 800% 정도 부품을 빨리 성형할 수 있다고 한다. 14대의 SLA 장비를 보유하고 있고 최초의 SLA-7000 구매자중에 하나인 일본의 서비스 회사인 INCS사의 Tetsuzo Igata에 따르면 SLA-5000에서 한 실린더 헤더를 만드는 데 36시간 걸렸던 것이 fast mode 상태의 SLA-7000에서 단지 9시간만에 성형되었다고 한다. 또, Igata는 SLA-5000에서 14시간이 걸렸던 것이 SLA-7000에서는 5시간도 걸리지 않았다고 한다.

Rudgley는 SLA-7000이 소프트웨어인 3D Systems사의 Lightyear 신 버전과 같이 제공된다고 말한다 (RP Report, 1999년 2월호를 참조). 마이크로소프트의 윈도우 NT 시스템에서 운영되는 Lightyear는 기존의 유닉스 기반인 Maestro 보다 검증에는 약 150 배, 렌더링에는 6배, 성형용 파일생성에는 두배 빠르다고 한다. SLA-7000은 또한 3D Systems사가 생산한 다른 어떤 SLA 장비보다 가장 큰 외관을 성형할 수 있다고 한다. SLA-7000은 길이가 20인치, 넓이가 20인치, 그리고 높이가 23.6인치의 부품을 성형할 수 있다 (508 mm×508 mm×600 mm). 이것은 기본적으로 SLA-5000에서 성형할 수 있는 크기와 똑같다. 가장 큰 차이점은 SLA-7000은 SLA-5000에서 만들 수 있는 layer 두께의 절반인 0.001 inch (0.025 mm)까지 성형할 수 있다는 것이다. 보다 더 얇은 layer는 더 적은 표면 조도와 높은 정밀도를 만들 수 있다는 것을 의미한다. SLA-7000은 각각 네 가지 다른 모드에서 작동하는데 layer의 두께에 따라 0.003인치 (0.0762 mm) Exact, 0.004인치인 (0.1 mm) Quick-Cast, 0.005인치인(0.127 mm) Fast, 0.001인치인(0.024 mm) Tooling이 그것이다. 성능면에서 새로운 표준을 제시한 것 외에도 SLA-7000은 가격에 있어서도 새로운 기록을 세웠다. 이 새 기계는 미국에서 \$799,995로

정해졌다. SLA-5000은 약 \$490,000에 팔렸다. 그러나 3D Systems 사는 SLA-7000의 향상된 기능에 비하면 SLA-7000은 SLA-5000의 가격대비성능에 비교했을 때 3배 높게 팔려야 한다고 주장하고 있다.

3.3 3D Systems 사의 ThermoJet Solid Object Printer

3D Systems 사는 이 달에 새로운 concept 모델러인 ThermoJet Solid Object Printer라고 불리는 신기종을 발표했다. 1995년에 도입되었던 3D 시스템의 Actua 2100과 유사한 기술에 기반을 둔 ThermoJet은 왁스와 같은 물질을 성형하기 위해 multijet 프린터 헤드를 사용하며 Actua보다 3배 더 빠르게 제품을 조형할 수 있다고 한다. 정가는 약 \$15,000가 더싼 \$49,994 이고 3D 시스템의 multijet-modeling technology (MJM)를 사용한다. Multijet-modeling에서 한 방향으로 여러 개의 jet를 포함한 프린터 헤드는 성형 플랫폼을 지나가고 각각의 jet는 용융 재료에 작은 방울을 분배하기 위해 전기적인 신호에 의해서 작동한다. Actua's 프린터 헤드는 약 2.5인치에 96개의 jet가 있고 2.5인치보다 더 넓은 부분을 조형하기 위해서 여러 번 프린터 헤드가 움직이고 그 결과 띠 모양의 각각의 층을 성형한다. ThermoJet's 헤드는 약 8인치에 352 jet가 있으며, ThermoJet는 한번 움직여 완벽한 8인치 넓이의 크기를 만들 수 있어서 Actua보다 훨씬 빠르다. 새로운 기계의 최고 크기는 10" × 7.5" × 8" (250 mm × 190 mm × 200 mm)이다. 보기로 들면 Actua가 최대 크기의 부품을 성형하는데 50시간이 걸리는데 반해 ThermoJet printer는 똑같은 부품에 20시간이 걸린다. 그리고 기계를 시험 평가한 고객이 성형한 대부분의 부품이 8시간 이상 걸리지 않았다고 한다. Rudgley에 따르면 ThermoJet의 해상도는 Actua의 300~400 dpi와 맞먹는다. 또한 성형할 수 있는 가장 작은 형상은 약 0.003"이며, 최소 layer 두께는 0.0016"이다. 성형재료는 현재의 Actua 재료보다 두배 정도 오래 사용할 수 있다. 모든 Actua 재료와 같이 ThermoJet 88은 왁스에 기반을 둔 paraffin 기반의 왁스 합성물이며 일반적인 부품을 하나 성형하는데 \$15~20 정도의 비용이 소요된다.

ThermoJet에 대한 소프트웨어로 개발된 CAD 워크스테이션에 있는 Client 소프트웨어는 사용자가 ThermoJet에서 성형하고자 하는 부품을 미리 볼 수 있고, 성

형공간 내에서 배치할 수 있게 해 준다. 또한 queue에 있는 작업의 순서를 바꿀 수 있게 해준다. Actua 사용자들이 가끔 Actua에 작업을 보내고 나서 10시간 짜리 작업 대신에 2시간 짜리 작업으로 그리고 밤에 작업하도록 계획되어 있는 것을 발견하곤 한다. Actua에서는 이처럼 쉽게 작업 과정을 바꿀 수 없다. ThermoJet은 Actua 보다 훨씬 진보한 기술을 보여준다. ThermoJet은 가장 큰 부품일지라도 하루 이상은 걸리지 않는다. ThermoJet는 보다 빠른 속도와 내구성이 보다 좋은 재료, 그리고 \$49,995라는 경제적인 가격이 무기이다.

4. RP 업계 동향 및 학술대회 소식

4.1 서비스 bureau 동향

최근 세계에서 가장 큰 service bureau의 하나인 Plynetics Express 사가 경영위기에 처해 약 2천만달러의 대규모 적자를 내고 서비스를 중단하기에 이르렀다. Plynetics Express 사는 Prost Prioleau의 Plynetics 사, Tom Mueller, Dave Flynn의 Prototype Express 사, 그리고 Dave Tait의 Laserform 사와 같은 소규모 service bureau 회사들이 병합되어 1997년에 세워진 대규모 회사이다. 사실 이들 4사람은 모두 RP 업계에서 오랜동안 경력을 쌓은 전문가들인데, 예를 들면 Flynn과 Mueller는 3D Systems 사에서 개발한 초기장비의 운영자들이었고 Tait는 미국 Chrysler 자동차사의 첫번째 SLA 시스템을 담당하였던 경력자이며 Prioleau는 DTM 사의 SLS를 가장 먼저 보급시켰던 service bureau의 장본인이었다.

1990년 중반에 service bureau는 소위 잘 나가는 사업체중의 하나였다. 조형파트제작비는 고가로 주문을 받을 수 있었기 때문에 당시 기준으로 부가가치가 매우 높은 사업중에 하나였고 따라서 이들 여러 장비의 전문가들인 이들 4사람은 그들이 한데 모여 전문기술들을 결합한 보다 규모가 큰 service bureau를 설립함으로써 그들이 얻을 수 있는 이익을 극대화 하고자 하였다. 사실 이들은 RP와 연관된 모든 것 즉 개념모델의 생성에서 부터 사출성형의 시작까지를 담당하였으며 그에 따른 추가적인 장비, 즉 NC 장비와 사출성형장비 등을 구입하기 위한 대규모 경비의 지출도 불사하였다. 물론 이와 같은 사업성향을 가지고 시장에 뛰어든 것은 Plynetics Express 만은 아니었다. 미

국 인디애나 주, 인디애나 폴리스시의 Compression 사도 이와 같은 경영을 시도하여 전미를 통틀어 7군 데에 지사를 만들었을 정도였다. 그러나 이와 같은 대규모 회사를 운영한다는 것이 결코 쉬운일이 아니라는 것이 점차 밝혀지기 시작하였다. 여러가지 장비들이 투입되어야 했고 그리고 작업종류별로 차별화 될 수밖에 없었던 많은 공정들이 결합되어야 했다. 또한 소규모 회사에서는 독립적으로 행해진다면 오히려 효율적일 수 있는 그러한 공정들이 대규모 회사에서는 하나의 일관작업으로 병합되다 보니까 무리한 점들이 노정되게 되었다. 무엇보다도 사장이 변화하고 있었다. 이제 조형작업의 주문자들은 더 이상 특정한 하나의 거대한 회사에 모든 작업을 맡기지 않게 된 것이다. 대신 그들이 하기에는 다소 어려운 특정한 작업, 즉 컨셉 모델만을 요구한다거나 혹은 그에 의거한 조형파트의 제작만을 요구하기에 이르렀다. 설상가상으로 장비의 정밀도와 속도가 날이갈수록 향상되어 다른 소형업체들도 조형작업의 질을 힘들이지 않고 높일 수 있게 됨에 따라 전문가들이 다수 뭉쳐서 일을 한다는 측면에서 대형업체가 차지하는 잇점이 점차 희석되고 있었다. 이러한 와중에서 대형업체로서의 잇점보다는 불리한 점, 즉 고가의 설비비와 운영상의 비효율성이 더욱 더 시장에서의 그들의 위치를 불리하게 만들었다. 설상가상으로 그 사이에 service bureau를 담당하는 회사들이 너무 많이 생겨났다. 그 전에는 고가의 조형비를 받을 수 있었던 시장이 이제는 생존을 위한 저가의 수주경쟁으로 바뀌게 되었다. 이는 결국 조형서비스업체들의 제살 깎기 경쟁으로 차달아 수익성을 더욱 악화시켰다. 예를 들면 1994년에 약 \$3,000 정도의 조형장비를 받을 수 있던 작업이 현재는 약 \$500 정도로 폭락하였다. 이처럼 조형작업수입이 감소하였어도 장비의 가격은 별로 낮아지지 않았고 악화된 수익성 감소로 연쇄적으로 쓰러지는 조형서비스업체수가 증가하였다. 조형서비스업체의 수익성 악화는 곧 이들이 주요한 고객으로 영향을 미치는 조형장비생산업체에게는 폭풍우와 같은 악재로 작용하였다. 이들도 점차 장비를 팔기 위하여 수익을 포기한 출혈가로 장비를 떠 넘기게 되었고 그나마도 이제는 조형서비스업체들이 좀더 값이 싼 중고장비로 구매선을 바꾸고 있어 신형장비를 파는 것이 점점 어려워 지게 되었다. 즉 신형SLA-500이 \$500,000인데 반하여 성능 좋은 동일한 품목의 중고장비가 고작 20%의 가격으로 시

장에서 팔리고 있는 것이 현실이어서 경쟁력이 상실되고 있었다.

현재 조형업체들의 상황은 최악이다. 조형서비스업체의 출혈경쟁가격으로 점점 더 소비자들은 비싼 조형장비를 구입할 필요를 느끼지 않게 되었다(역지주 : 역설적으로 1990년대 조형장비의 구매가 활발할 수 있었던 원인은 조형업체들의 조형서비스 경비가 높았던 때문이었다). 조형 서비스업체들은 이와 같은 경쟁적 시장상황에 적응하기 위해서 점점 더 조형단가를 싸게 해야 할 것이고 이는 곧 장비업체들의 수익성 악화로 연결된다. 이와 같은 두가지 상황은 이제 서로 맞물려 시장상황을 더욱더 악화 시킬 것이며 결국 다수의 조형서비스업체와 그리고 몇몇 메이저급의 장비업체의 부도로 귀결될지도 모르는 경악스러운 시나리오에 직면해 있는 것이다. 사실 Plynetics Express 사의 4인방들은 RP 업계에서는 이 분야 최고의 전문가로 받아들여지고 있는 까닭에 이들의 실패는 업계에서 무엇보다도 받아들이기 어려운 충격으로 다가서고 있다. 그들이 못한다면 누가 할것인가? 그러나 분명한 것은 이제 1992년에 그들 4인방이 맹위를 떨치던 그러한 상황은 더이상 존재하지 않는다는 것이다. 그리고 Plynetics Express 사는 이와 같은 시대상황의 변화에 적응하는데 실패했다는 사실이다.

결국 오늘날과 같은 어려운 시장상황에서 조형서비스업체가 살아남기 위해서는 다음과 같은 전략을 고수해야만 할 것이다.

첫째, 특정 분야의 고가의 부가가치를 부여할 수 있는 전문기술을 확보하여 특정업체 수요자와 독점적이고도 돈독한 관계를 항상 유지하여 이들을 주된 고객으로 확보해야 한다. 예를 들면 의료분야에서의 특수한 목적의 조형기술이나 전자부품과 같은 고부가가치 제품의 시제품 개발 등이 그것이다.

둘째, 인터넷과 특배업체를 적극 활용한 용역수주로 조형비용을 최대한 낮추고 신속한 배달로 고객의 신뢰를 얻는 것이다

4.2 업계단신

LOM 장비를 생산하는 Helisys는 최근 1998년도 경영수지를 발표하였다. 1998년 7월 31일 결산일 기준으로 LOM-1015 24대와 LOM-2030 26대를 팔아 전체 년매출이 전년대비 약 40% 감소하였고 수지상으로는 약 3백만달러의 적자를 보았다고 발표하였다.

최근 3D Systems 사는 고온에서(200°C) 견딜 수 있는 새로운 조형재료, Cibatool SL-5530HT를 개발하였다. SLA-350, SLA-3500, SLA-5000 등에서 사용되는 이 재료는 자동차 후드 안쪽판, 풍동 실험, 금형등과 같은 내열, 내수, 내유기용제 실험 등에 이용될 수 있다고 한다.

MetLAM, 즉 LOM과 비슷한 공정이나 종이대신 sheet metal을 사용하여 파트를 적층하는 metal rapid prototyping 기법을 사용하는 Loan Peak Engineering 사는 미국 연방 방위사업단으로 부터 약 백십만불 정도의 프로젝트를 수주하였다

최근 Z-402 장비를 취급하는 Z-Corp. 사에는 국제적인 판매망 설치의 첫번째 사업의 일환으로 독일(4D Concepts-<http://www.4dconcepts.de>), 프랑스(Multistation-<http://www.multistation.com>), 그리고 이탈리아

(Cesare Marelli & Figlio) 이렇게 3곳에 distributor 계약을 완료하였다.(역자주 : 국내에서는 (주)세중 컴퓨터 시스템즈가 최근 한국내 distributor 계약을 맺은 것으로 밝혀졌다)

《RP Report Vol. 8, No. 12 December 1998
RP Report Vol. 9, No. 1 January 1999
RP Report Vol. 9, No. 3 February 1999》

본 기사는 전북대학교의 체희창 편집위원, 홍익대학교의 지해성 편집위원이 "Rapid Prototyping Report" 에서 발췌하였으며 출판사인 CAD/CAM Publishing Inc.의 연락처는 다음과 같다.

- Fax : +1-619-488-6052
- E-mail : cadcric@aol.com