

실습과제 모형제작 방법에 관한 연구
-RP와 수동형, CNC 모형제작 방법 비교를 중심으로-

A study about modeling methode of practice works
-Focus on compare RP with manual processing, CNC -

주저자 : 신명철 (Shin Myung-chul)
대구대학교 조형예술대학 산업디자인학전공

“이 논문은 2004학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문임.”

1. 서 론

- 1-1. 연구배경과 목적
- 1-2. 연구방법 및 범위

2. 기존의 모형제작 방법

- 2-1. 모형제작 방법의 변화 과정
- 2-2. 수동형 도구를 사용한 모형제작
- 2-3. CNC기기를 사용한 모형제작

3. RP기기를 사용한 모형제작

- 3-1. RP기기의 발달과정과 모형 조형방식
- 3-2. RP장비에 사용하는 File Format
- 3-3. RP기기를 사용한 모형제작

4. 결 론

참고문헌

(要約)

컴퓨터의 보급으로 모든 산업이 자동화 및 간편화 되어가고 있는 개발 및 생산체계 환경과 경쟁적인 산업디자인 제품개발 과정에서 가장 우선하는 것은 신속성과 다양성의 추구라고 할 수 있다. 디자인을 연구하는 학생들에게 사회 환경 적응을 위해 다양한 아이디어를 단시간에 전개해야만 한다. 그러므로 학교나 기업에서 새로운 조형의 전개와 신속한 디자인 설계 검토 및 생산을 위해서는 신속한 조형능력에 대한 결과를 보여줄 수 있는 새로운 도구를 찾게 되었다. 이와 같은 환경변화에 따라 기업은 경쟁이 치열해짐에 따른 제품설계에서부터 생산에 이르기까지의 소요되는 시간과 비용 절감에 따른 요구와 학교는 다양한 디자인전개에 따른 3차원 모형에 대한 결과물 제시 등으로 RP도입을 생각하기에 이르렀다. 본 연구는 앞으로 도입해서 사용하고 있거나 예정하고 있는 대학에 하나의 새로운 사례로서 도움이 될 수 있다고 생각한다. 본 연구목적은 이러한 시점에서 연구자가 재직하고 있는 대학에서 사용하고 있는 RP기기를 중심으로 학생들의 디자인결과물을 어떻게 제작했으며, 수작업이나 CNC기기를 사용한 모형제작 방식과의 차이점을 비교 하려고 한다. 그 결론으로는 수동형 도구로는 곡선적인 모형으로 형태가 큰 것이, CNC기기로는 복잡하지 않으면서 정교하게 제작 하려는 모형, RP는 복잡하면서 제품의 크기가 작은 것이 경제적이 측면에서 유리함을 알 수 있었다.

(Abstract)

By supply of high performance computer becomes all industries automation and convenient of our life. Can speak that is pursuit of swiftness and variety that is prior most development of information society and production system in competitive industrial design product development process. Specially, students who consumer personality studies design according to variableness must present idea in a short time. Therefore, find a new tool that can show quick modeling result for present of new idea or fast design specifications examination and production at college or corporation now. According to such environment change did request by cost time and cost-cutting until reach in production from product design because competition is gone vigorously. University arrived to think RP induction by result presentation and so on for third dimension model by various design process. This research purpose is going to compare difference methods(Manual processing, CNC machine) with students' design result manufacture process on RP appliance that is using in college. Consequently, think that this study is helpful in the college of which is making use of RP appliance or planning installation. By result of this research, model of big curved line is profitable in hand process, by CNC is profitable when model is going to manufacture finely, RP work could know that size of product is profitable small thing as is complicated.

(Keyword)

Industrial design product development process, RP appliance, modeling.

1. 서론

1-1. 연구배경과 목적

현재는 성능이 좋은 컴퓨터의 보급으로 모든 산업이 자동화 및 간편화 되어가고 있는 개발 및 생산체계 환경에서 우리는 신제품을 생산해서 판매하고 있다. 이와 같은 현상은 경쟁적인 산업디자인 제품개발 과정 속에 가장 우선하는 신속성과 다양성의 추구라고 할 수 있다. 학교에서는 위와 같은 사회변화에 부응하기 위해 지난날의 개발방식에 대한 교육과정이나 교육방법, 또는 디자인전개의 흐름에 새로운 도구의 도입을 모색하고 있으며, 기업에서도 새롭고 경쟁적인 상품개발에서 살아남기 위한 전략과 방법의 도입을 위한 신속한 개발 도구를 생각하게 되었다. 특히 소비자 기호가 빈번하게 변화함에 따라 디자인을 연구하는 학생들에게 사회 환경 적응을 위해 다양한 아이디어를 단시간에 전개해야하는 지금의 현실이다. 따라서 학교나 기업에서 새로운 조형의 전개나 빠른 디자인 설계 검토 및 생산을 위해서는 신속한 조형능력에 대한 결과를 보여줄 수 있는 도구를 찾게 되었다. 이러한 필요로 기업에서 개발단계나 학생들의 실습단계에서 다양한 디자인 조형 도구를 충족시키기 위해서는 과거와 같은 모형(Prototype)제작 과정으로는 시대의 흐름에 부응할 수 없다고 생각한다. 그러므로 기업에서는 경쟁이 치열해짐에 따른 제품의 설계에서부터 생산에 이르기까지의 소요되는 시간과 비용 절감에 따른 요구와 학교에서는 다양한 디자인전개에 따른 3차원 모형에 대한 결과물 제시 등을 위한 폐속조형시스템(RP-Rapid Prototyping¹⁾)의 도입을 생각하기에 이르렀다. 이와 같은 시대적 상황에 부응하기 위해 RP관련 제조회사들은 조형방식이 조금씩 다른 여러 기기들이 판매하고 있고, 과거보다는 개선된 신제품을 꾸준히 개발 중에 있는 회사들도 있다. 실물제작이 아닌 가상공간에서 모델링을 위해 산업디자인분야의 대학교육은 3D CAD도입과 다양한 3차원 모델제작, 시뮬레이션과정 등에서 여러 가지 S/W를 응용해서 여러 가지 방향으로 실험해보고 있는 것이 현실이다. 그리고 대부분 대학에서는 3차원 모형제작을 위해서는 수동적인 방법이나 기계식 방법에 의해 모형을 제작해 나가고 있다. 일부에서는 대학교육과정에 고가의 RP도입과 사용이 이루어지고 있지만, 앞으로 저가의 기기개발과 조형재료의 개선으로 많은 대학에서 도입이 가능하리라고 예측할 수 있다. 본 연구 목적은 이러 시점에서 대학에서 사용하고 있는 RP기기를 중심으로 학생들의 디자인결과물을 어떻게 제작했으며, 다른 3차원 모형장비 및 방식과의 차이점을 비교 하려고 한다. 그러므로 앞으로 도입해서 사용하고 있거나 앞으로 예정하고 있는 교육기관에 하나의 새로운 사례로서 참고가 될 수 있다고 생각한다.

1.2. 연구방법 및 범위

본 연구에서는 RP장비를 도입해서 학생들의 창작 제품을 제작해나가는 과정을 연구하려고 한다. 다양한 RP장비 중에서도 산업디자인 모형제작측면에서 사용하기 편리하고, 후 가공에

1)CAD 시스템에서 설계한 3차원 CAD 모델을, 일반적인 가공과정 없이, 다양한 소재를 적층(Layer)하여, 곧바로 (Rapid) 3차원 실물형상(Prototype)을 만드는 기술을 말한다. RP를 번역에서 폐속조형시스템, 신속조형기술, 급속조형시스템 등으로 사용되고 있다.

서 모형의 완성도를 높일 수 있는 장비를 선택한 것이다. 여기서 사용하는 장비는 Object Geometries Inc. 사의 Eden 330 모델을 중심으로 여러 가지 모형 제작사례를 연구하였다. 그리고 연구과정에서 하나의 모형제작에 대해 제작방법에 따라 다른 기기를 사용했을 때의 장점과 단점을 비교하였다. 예를 들면 컴퓨터의 도움 없이 수공구나 간단한 기계가공에 의해서 제작하는 방법인 수동형 도구를 사용한 모형제작방법과 CNC(Computerized Numerical Control)설비를 갖고 있는 모형전문 제작업체에 의뢰해서 제작하는 방법, 그리고 RP를 사용해서 모형을 제작하는 방법 등에 대해 서로간의 장,단점을 비교하였다. 그러므로 자신의 모형형태에 따라 어떤 방법을 선택하는 것이 시간과 제작비용 측면에 효율적인지를 생각할 수 있도록 하였다. 물론 여러 가지 제작방향에 따라서 서로간의 장, 단점이 제작하는 방법과 조건에 따라 약간의 차이는 있다. 모형제작에서 그것을 동일한 조건에서 검증하기란 쉽지 않다. 그래서 한정적이지만 시간과 지역 등, 비교 대상에 대한 편차를 줄이기 위해 본인이 제작하고 있는 대학에 학생을 대상으로 공모전이나 졸업전시회를 출품하려는 학생들의 작품을 대상으로 연구하였다.

2. 기존의 모형제작 방법

2.1. 모형제작 방법의 변화 과정

모형제작을 하는 이유는 디자인개발과정이나 마케팅에서 여러 가지 디자인을 비교 검토하기 위함과 신제품개발에서 대량생산을 위한 금형제작과정에서 문제점 해결, 공장생산에서 나타나는 문제점을 사전에 방지하기 위한 것이다. 특히 산업디자인의 신제품 개발과정에서 최종결과물은 모형을 통해 제시되고, 양산을 하기위한 준비에 들어가기 전에 시행착오를 최소화 하기위한 필수적인 단계라고 할 수 있다. 즉 모형이라 함은 단순한 디자인모형을 비롯해서 양산에 들어가기 전에 기구나 전기적인 특성을 실험하기 위한 개발검토 및 모의실험을 위한 동작 실험모형까지를 말 할 수 있다.

초기의 모형제작은 목형(木型)이라는 의미에서 기계부품이나 주물제품의 형틀을 제작하는 과정에서 나무로 원형형태로 만들기 위해, 주로 수작업에 의해 가공해오던 것을 초기단계의 모형제작이라고 할 수 있다. 우리나라에 이와 같은 디자인 모형이 처음 도입은 전자산업이 시작되면서 금형과 플라스틱공업 발전하게 된 1970년대부터라고 볼 수 있다. 처음에는 간단한 수공구나 기계가공 선반 등을 이용해서 아크릴을 주재료로 사용해서 제작되었으며, 지금은 대부분 CNC로 가공해서 후 가공 부분만을 수작업의해 마무리 되고 있다. 학교교육에서는 모형제작은 산업디자인 전공 학생들이 새로운 디자인 창작물 결과 제시단계에서 최종결과물로 중요한 위치를 차지하고 있고, 학생자신의 아이디어가 새롭게 실제화 되는 과정을 눈으로 확인하는 순간이 될 수 있다. 학교교육과정에서 이런 작업을 과거에는 주로 수작업 또는 수동형 모형제작기계에 의존하여 손으로 직접 제작하는 과정으로 진행해 왔었다. 이제는 컴퓨터의 보급으로 모형제작을 위한 환경설비 변화로 학생들의 사고방식도 과거의 개념과는 달리 컴퓨터 환경을 통한 디지털 개념의 도입으로 모형을 전문적으로 제작하는 곳 못지않게 학

교 내에서도 새롭고, 경제적이며, 시간이 절약되는 제작과정을 통해 산업디자인에 접근 할 수 있는 방법의 필요성이 절실히 느껴지게 되었다

2.2. 수동형 도구를 사용한 모형제작

수동형도구에 의한 모형제작 방법으로 가장 간단한 모형제작 절차로는 새로운 디자인을 생각한 학생 자신이 수지나 아크릴 등을 가공할 수 있는 간단한 제작 도구를 준비해서 자신이 직접 제작하거나, 수동형 기계나 간단한 도구를 사용해서 주물을 위한 목형을 제작하는 곳을 이용해서 디자인 모형제작을 의뢰해서 모형을 제작방법이다.(그림 1참조) 이와 같은 방법은 가장 적은 설비투자로 모형을 제작 할 수 있는 공정을 마련 할 수 있는 수단이 될 수 있다. 산업디자인 초기 교육과정에서 많은 학생들은 디자인한 학생 자신이 수지나 아크릴 등을 가공할 수 있는 간단한 가공 도구를 준비 하였다. 이와 같은 작업은 2D 도면이나 3D 렌더링에 기본적인 치수가 기입된 그림을 보고 제작 할 수 있으며, 모형의 제작을 위한 준비작업 기간이 짧게 소요되는 장점이 있다. 그리고 모형을 제작하면서 디자인의 변경이나 수정을 쉽게 할 수 있다.



그림1) 수동형 모형제작 기기를 사용해서 모형제작을 하는 그림으로 좌측 그림은 때를 사용해서 수지를 원하는 크기로 절단하는 그림이며, 우측그림은 가공 면을 고르게 하기 위해 벨트샌더에서 작업하는 모습.

이런 방법으로 모형을 제작할 경우 모형의 형상에 따라 단순한 형태로 모형의 크기가 큰 것에 적용하는 것이 유리한 방법이 될 수 있다. 모형제작에서 기계적인 가공방법에 비해 모형의 제작의 크기와 조건에 구애받지 않고 제작이 가능하다는 것도 큰 이점이라고 볼 수 있다. 더구나 작업 기간 내에 디자인의 형태를 일부 수정하면서 제작할 수 있으므로 디자인의뢰자가 생각한 조형형태가 이루어지지 않을 때에는 작업 진행 단계에 따라 수정이 가능하다는 것은 큰 장점이 될 수 있다. 이와 같은 모형작업에 적당한 것은 제품의 크기가 크고 자유곡선으로 이루어진 덩어리개념으로 된 디자인으로 복잡한 조립과정을 필요하지 않은 디자인모형이 적합하다고 볼 수 있다. 그러나 작업자가 수작업에 의해 진행되므로 야간작업이나 작업자의 능력에 따라 작업시간이 좌우될 수 있으므로 자동화된 기계에 의한 작업보다는 효율이 떨어질 수밖에 없다. 작업 준비기간도 정확한 3D데이터를 요구되지 않으므로 자동화된 기계보다는 정확도는 떨어지지만 시간이 단축된다는 장점이 있다. 그리고 작업의 마무리를 위한 나머지 가공부분은 의뢰자가 직접 해야 한다는 단점도 있지만 앞으로 소개할 다른 가공방법에 비해 모형제작 가격이 저렴하다는 장점도 있다.

다음 그림2는 졸업전시회에 출품한 작품으로 좌측은 Little

Pretty제목으로 크기는 320x220x280mm의 어린용 의자이며, 우측은Bong Bong이라는 제목의 의자는 실제크기 290x230x240mm의 1/2 모형이다.(그림2 참조) 숙련된 기술자가 좌측 모형의 제작에 소요되는 시간은 10시간 정도로, 제작 가격은 62만원이며, 우측 모형의 제작에 소요되는 시간은 7시간 정도로, 제작가격은 52만원이다. 이와 같은 작품의 모형 제작 가공비, 재료비 등을 계산 했을 때 수작업에 의한 방법이 가장 적절하다고 할 수 있다.

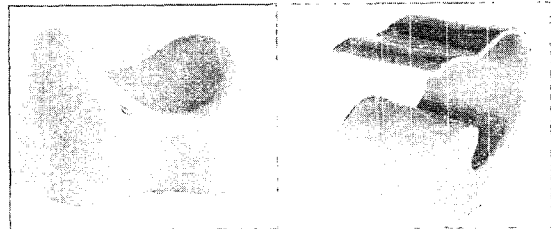


그림2) 위의 그림은 수동형 도구를 사용해서 제작된 의자로 수지를 사용해서 목형을 제작 하는 곳에 의뢰해서 만들었다. 좌측은 제목 Little Pretty이며, 우측은Bong Bong이라는 제목의 의자이다.

2.3. CNC기기를 사용한 모형제작

CNC모형제작 기기에 주된 기능인 NC(Numerical Control)는 공작기계에 사용하여 공작물에 대한 공구의 위치를 기억시켜 놓은 명령으로 공작기계를 제어하거나 자동으로 조작하는 데 이용된다. 과거의 제어방식으로는 펀치테이프(코드)방식, 자기테이프(디스크)방식, 아날로그병용방식이 있었으며, 지금은 디지털방식을 주로 사용하고 있다. 고전적인 의미의 NC에는 작업의 지시수단으로 지령테이프가 있다. 이것은 무엇인가를 가공하려고 할 때 미리 정해진 약속에 따라 그 치수나 가공조건을 종이테이프에 펀치(Puncher)로 구멍을 뚫어 수치정보(이것을 코드데이터라고 한다)를 기억시킨 것이다. 즉 수치 또는 기호의 정보 사용해서 공작기계의 운전을 자동으로 제어하는 것을 뜻한다.²⁾

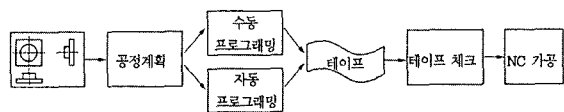


그림3) NC가공에서 정보흐름 체계.

CNC는 Computerized NC로 소형 컴퓨터가 내장되어있음을 말한다. 반도체 기술의 발달로 컴퓨터가 발전하면서 소형화되고 가격이 저렴해져 NC에 내장하게 되었다. 그러므로 프로그램의 작성과 편집은 물론 입, 출력 제어와 연산처리 등이 간편해져 사용의 편리성을 가져왔다. 모형제작방법은 제작할 모형의 특성에 따라 여러 가지 방법에 도입 될 수가 있다. 이러한 CNC공작기계의 도입의 장점으로는 기존 공작기기(기계식 모형조각기)와 차이점은 기계조작이나 가공이 단기간에 숙련될 수 있으며, 공정관리 PDM (Product Data Management) 또는 공구관리측면에서 표준화를 가져올 수 있고 설계변경 시 컴퓨터에 의해 쉽게 변환이 가능하며, 가공시간을 절약할 수

2) <http://kr.encycl.yahoo.com/final.html?id=97508&from=enc>, 2004.

있고 24시간 운영이 할 수 있다는 점 등 이다. 이와 같은 가공방법에 적합한 디자인 모형은 가공대상물의 크기가 가공선반크기보다 작은 범위에 있어야 하며, 다른 모형 제작방법에 비해 단시간에 성형(조형)이 가능하다. 이 방법은 사전 준비 조건으로 컴퓨터로 작업한 도면이나 3D 데이터에 의한 명령이므로 가공정밀도에 안정성이 있고, 기계조작 숙련도에 따른 가공에 대한 실수가 적다.(그림4 참조) 단점으로는 프로그래밍 등 작업 전 준비에 시간이 걸리고, 관련 S/W에 대한 이해가 필요하며, 모형가공기기의 조건에 따라 모형제작의 크기에 구애 받으며, 모형가공의 조건에 따라 복잡한 모형 제작이 어렵다는 것이다. 가공비도 시설에 대한 투자비가 있으므로 수동형 제작 방법에 비해서 비싸다는 단점이 있다.



그림4) 좌측 그림은 CNC에 입력된 명령에 따라 가공대상물은 가공하는 모습이며, 우측그림은 가공물에 대한 조립에 끝난 상태에서 동작작업을 하고 있는 모습.

이와 같은 제작방법에 적합한 디자인 모형은 여러 가지 형상 조건을 동시가공이 가능하고, 제품의 모양은 복잡하지만 Under-cut 등 CNC기기 성능과 조건에 따른 가공 문제점이 없어 한다. 다음 그림5는 졸업전시회에 출품한 작품으로 좌측은 Cross Point이라는 제목의 맹인용 보도블럭으로 1/1크기 300x300x40mm이며, 우측은 Slim이란 제목의 이동식 가구로 크기300x200x45mm로 실제크기의 1/5 모형이다.(그림5 참조) 모형을 CNC로 모형을 제작하는 곳에 의뢰해서 가공 했을 경우에 좌측 모형의 제작에 소요되는 시간은 2.5시간(RP는 6시간)정도로, 제작가격은 23만원(RP는 42만원)이며, 우측 모형의 제작에 소요되는 시간은 6시간(RP는 9.5시간) 정도로, 제작가격은 32만원(RP는 53만원)이다. 이 모형제작은 학교 내에서는 CNC로 가공할 경우 대한 Know-how가 축척되기 어렵기 때문에 지나치게 복잡한 형상으로 이루어진 것보다는 단순한 조립구조를 갖고 있는 모형이 유리하다.

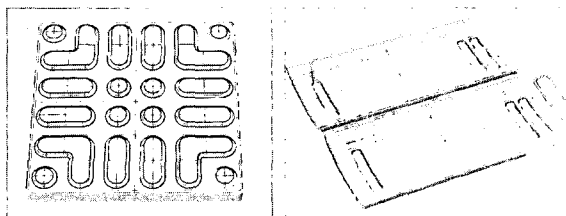


그림5) 상기 좌측 그림은 맹인용 보도 안내판이며, 우측은 접이식 가구의 일부분이다.

3. RP기기를 사용한 모형제작

3.1. RP기기의 발달과정과 모형 조형방식

일반적으로 모형을 제작하는 방법에는 모형재료를 가다듬어

가면서 가공하는 방법 즉, 전통적인 방식으로 재료를 원하는 형상으로 다듬어 내는 Subtractive와 모형의 재료를 원하는 형상으로 쌓아가면서 가공하는 Additive 등, 크게 2가지 방법이 있다, RP가공과 같은 방법은 모형재료를 여러 개의 층(Layers)을 결합(쌓는다)해서 제조하는 Additive 방법이다. RP의 기원은 1970년대부터 개발되기 시작한 컴퓨터를 이용한 기초적인 지도 모형 작업인 Geometric Modeling System과 연관이 있다. 즉, 이들 시스템으로부터 만들어진 기하학적 자료로부터 직접 물리적인 모형을 만들려는 욕구에서 오늘날의 패속조형 기술의 태동이 시작되었다고 볼 수 있다.³⁾

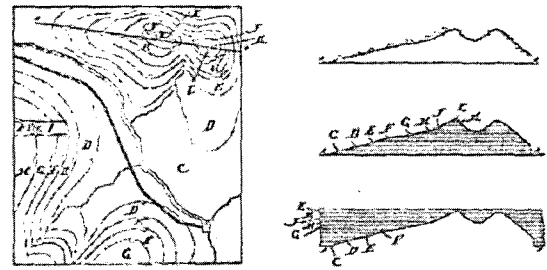


그림6) 좌측 그림의 1892년 J.E. Blather가 처음 발표한 방법으로 지도를 갖고 표준해면에서 같은 높이의 있는 지점을 연결해서 입체 모형을 만들었다.

이후 1980년대에 이르러서, 그러한 시도가 처음으로 결실을 맺게 되는데, 미국의 3D System사의 "Stereolithography"가 첫 번째로 상업화에 성공하게 된다. 오늘날 우리에게 SLA(Stereo Lithography Apparatus)라는 이름으로 널리 알려진 이 기계장치는 그 이후 1992년까지 약 17개국에 걸쳐 500대 이상이 판매되었다. 물론 SLA의 발표를 전후로 하여 세계각지에서 각기 다른 원리의 패속조형장치에 관한 연구개발 노력이 여러 곳에서 진행이 되었고, 1992년까지는 SLA의 뒤를 잇는 약 12개의 상업화된 패속조형 기계장치기술과 30여 개 관련기계장비 특허가 신청되었다. 지금에 와서 패속조형장비업계의 상황을 잘 설명해주는 것이 그 관련 용어의 다양화이다. 즉 영문명인 "Rapid Prototyping"은 다른 말로는 "Desktop Manufacturing", "Direct CAD Manufacturing", "Optical Fabrication", "Solid Freeform Fabrication(SFF)", "Solid Freeform Manufacturing(SFM)" 등으로 사용되고 있다. 하나의 신기술이 이렇게 제 각기 다른 이름으로 불리고 있는 현재의 패속조형이라는 기술이 세계각지의 각기 다른 장소에서 서로 다른 방법으로 지금도 그 주도권을 장악하기 위한 연구 개발이 한창 진행 중임을 시사하고 있다고 하겠다. 1988년 최초로 상업화된 패속조형장비인 Stereolithography를 발표한 후 1995년까지 줄곧 조형장비시장을 석권해오다가 한 3D System사가 1996년에 시장점유율에서 후발 업체인 Stratasys사의 FDM장비에게 1위 자리를 물려주고 2위로 물러났다. 이처럼 최근 조형장비 시장상황이 급격한 변화하고 있는 대표적인 원인은 각 조형장비 및 그 소재들의 뚜렷한 가격 차이에 따른 시장경쟁력의 변화와 조형기술 응용분야에 대한 새로운 연구의 출현 때문이라고 분석된다. 최근에는 3차원 CAD의 보급과

3) <http://www.cyberp.com/rpcenter/aboutrp/aboutro.htm>, p1, 2004.07.30.

관련하여 자동차산업, 가전산업 등의 기간산업분야에 급속히 RP system이 채용되고 있다. 일본을 제외하고 구미에서는 3D system의 배타적인 특허 때문에, 현재에는 액상 감광성 수지를 이용하는 광 조형 시스템뿐만 아니라 아래와 같은 방법으로도 다양하게 제작되어 판매되고 있다. • 열가소성 수지를 압출하여 적층하는 방식FDM(Fused Deposition Modeling) • 분말을 용융접착 적층하는 방식SLS(Selective Laser Sintering) • 박막 종이를 적층하는 방식 LOM(Laminated Object Manufacturing) • 분말(Starch, Plaster) 또는 광수지(Acrylate photopolymer Resin)를 토출 또는 분사시켜 적층하는 방식 Printing 또는 Poly Jet법 등이다.4)

이상과 같은 방법의 조형시스템을 총칭하여 RP System이라고 말하고 있다. 이들 중에 FDM방식은 광 조형방식과 거의 같은 수준으로 성장하였다. 이들의 RP system은 기본적으로는 CAD로 작성한 3차원 모형을 Z축 방향으로 두께 0.1~0.2mm 정도의 윤상으로 쪼개어, 그 층을 광 경화성 액상수지나 왁스 등의 재료의 쌓아 올림으로서 3차원 모형을 만든다.

이러한 방법으로 모형을 제작 할 수 있는 RP의 장점은 다음과 같이 나열할 수 있다. ①통상의 절삭가공이 곤란한 자유곡면이나 복잡한 구조 (Under Cut부분 등)를 지닌 일체형상을 간단히 제작할 수 있다. ②완전 자동화시킨 공정이며 장치를 조작하기 위한 특별한 지식, 숙련이 불필요하다.

③단시간에 또한 경제적으로 소량하는 모델 제작이 가능하다. ④공구연마, 소음, 진동, 절삭조각의 발생이 없다.

현재 RP를 생산하고 있는 국가 중 유럽지역에는 독일, 이스라엘, 스웨덴 등으로 성형방법으로는 SLA, SLS, SGC, PolyJet, SLM, DLP, EBM 등으로 스웨덴 Arcam 사의 EBM(Electron Beam Melting)성형방식은 금속으로도(Low-alloy Steel)조형이 가능하다.

표1) 세계 각 나라가 생산판매하고 있는 RP장비의 제조회사별 성형방법과 사용재료.

Manufacturer	Process Name	Process Type	Materials
3D Systems	Stereolithography Apparatus (SLA)	laser photolithography	acrylate, epoxy
	Multi-Jet Modeling (MJM)	liquid jetting	wax
3D Systems (DTM)	Selective Laser Sintering (SLS)	power-based, laser fusion	nylon, wax, polycarbonate, polymer-coated metal
Stratasys	Fused Deposition Modeling (FDM)	extrusion	ABS, wax, nylon, gel casting
Cubic Technologies (Hellsys)	Laminated Object Manufacturing (LOM)	lamination, laser-cut	paper, tape casting
Solid Scape, Inc. (Sanders)	Inkjet Modeling (IM)	liquid jetting	low-melt plastic
Z Corp. (MIT)	Three Dimensional Printing (3DP)	Jetting of binder onto powder	starch, plaster
Optomec	Laser Engineered Net Shaping (LENS)	direct metal deposition	steels, stainless steel alloy, aluminium, titanium alloy

4) <http://www.hwaimachinery.co.kr/chamqo/rp-machines.htm>, p3, 2004.07.30.

EOS (Germany)	STEREOS (SLA)	laser photolithography	acrylate, epoxy
	EOSINT (SLS)	power-based, laser fusion	polyamide, polystyrene, metal alloy, resin-coated sand
Cubital (Israel)	Solid Ground Curing (SGC)	photomasking	acrylate, wax
Objet Geometries Ltd. (Israel)	PolyJet	liquid jetting UV curing	acrylate photopolymer resin
Fockele & Schwarze (Germany)	Selective Laser Melting (SLM)	power-based, laser fusion	stainless steel powder
Envision (Germany)	Digital Light Processing (DLP)	mask-exposure	acrylate
Generis (Germany)	Inkjet on Sand	jetting of binder	foundry sand
Arcam (Sweden)	Electron Beam Melting (EBM)	electron beam melting	H13 tool steel, low-alloy steel
CMET	Solid Object Ultraviolet Plotter (SOUP)	laser photolithography	epoxy
D-MEC (JSR/Sony)	Sony's Solid Creation System (SCS)	laser photolithography	urethane acrylate
Kira Corp.	Paper Lamination Technology (PLT)	lamination knife-cut	paper
Meiko Corp.	Meiko(SLA)	photolithography	acrylate
Denken Engineering	Solid Laser Plotter (SLP)	laser photolithography	acrylate
Unirapid, Inc.	Uni-Rapid	photolithography	acrylate, epoxy
Autostrade	(E-DARTS)	photolithography	acrylate
Beijing Yinhua (China)	Slicing-solid Manufacturing (SSM)		paper
	Melted-extrusion Manufacturing (MEM)		wax, thermoplastic
Kinergy (Singapore)	Sheet Lamination	lamination	paper

미국은 3D Systems외 5개의 RP제조회사가 있으며, 성형방법으로는 SLA(Stereolithography Apparatus), MJM(Multi-Jet Modeling), SLS, FDM, LOM을 갖고 다양한 재료를 사용한 장비들을 제조 판매하고 있다. 아시아지역에는 일본, 싱가포르, 중국 등의 나라에서 RP장비를 제조 판매하고 있으며, 유럽이나 미국제품에 비해 시장점유율 면에서는 떨어지고 있다. 상기 표1은 제조회사별 성형방법 및 사용재료를 나타낸 것이다. 이와 같이 다양한 재료를 사용해서 여러 가지 방법에 의한 모형제작은 각기 나름대로의 특징이 있지만 무엇보다도 처음 개발회사의 특허를 피하면서 신제품을 개발하면서 제품의 차별화해야 하기 때문에 이라고 할 수 있다.

그림7은 미국 Stratasys사가 1991년부터 판매하기 시작한 FDM(Fused Deposition Modeling)성형방법을 설명한 그림으로 플라스틱 필라멘트 코일 선을 녹여서 적층하면서 성형하는 방법을 보여주는 개념도이다. 이렇게 성형된 제품은 실제 제품처럼 사용해서 실험하는 것이 가능할 정도로 강도도 있고 정밀도가 높지만 산업디자인에서 후 가공을 위해 표면에 연마 또는 도장처리 하는 것이 어렵다는 것이 디자인 모형제품으로서 단점을 갖고 있다.

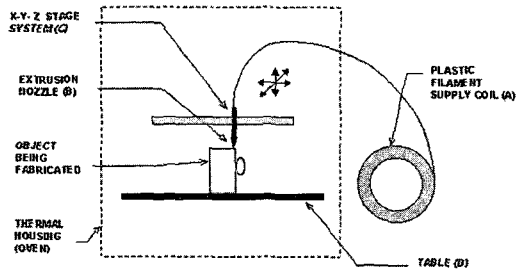


그림7) FDM(Fused Deposition Modeling)방식의 성형 방식에 대한 개념도.

아래 그림8은 본 연구 대상으로 하는 제품을 성형하기 위해서 사용한 장비로 이스라엘 Objet Geometries사의 PolyJet liquid jetting 방식 부분을 개념도로 표현한 것으로 형상을 Acrylate Photopolymer Resin 적용하면서 UV라이트를 사용해 액체를 고체 화시켜가면서 성형하는 방법이다. 이렇게 성형한 제품은 강도는 약하지만, 도장을 위한 후가공이 가능하다는 장점이 디자인제품 모형제작에 알맞은 장비로서 현재 국내에서 신제품 디자인개발 관련부문에 공급이 이루어지고 있다.

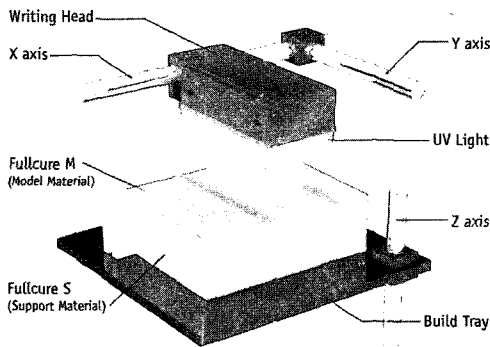


그림8) PolyJet(Polymer Jetting)방식의 성형 방식에 대한 개념도.

3.2. RP장비에 사용하는 File Format

STL 또는 Stereolithography 포맷은 ASCII 또는 2진구조의 파일로 구성되어있다. 이와 같은 파일은 RP에서 가장 대표적으로 사용되는 파일 포맷방식이며 삼각형구조로 입체 표면을 구성하게 된다. RP장비 중에서 가장 중심이 되는 SLA(Stereo Lithography Apparatus)시스템의 경우 조형대상의 3차원 CAD 모델로부터 STL 변환기를 통해 삼각형망으로 구성되어있는 STL 포맷으로 변환이 필요하다. CAD Data와 RP의 중간 매개체가 STL 포맷이다. STL 파일은 삼각형의 세 정점과 삼각형을 이루는 면의 법선 벡터로 구성되어있다.⁵⁾ 오류가 없는 STL 포맷을 형성하기 위해서는 물체를 구성하는 삼각형들이 Vertex-to-Vertex 규칙과 오른손법칙⁶⁾을 만족시켜야한다.(그림9)

3D CAD 모델의 Skin을 STL Data로 변환하는 과정에서 가끔

5)허상민 외 2인: '97년도 춘계학술대회논문집, 한국정밀공학회, p147, (1997).

6)삼각형 세 정점의 배열 순서에 따라 오른손을 감았을 때 엄지손가락이 가리키는 방향이 법선 벡터의 방향이 되며 한상 면의 외부를 향한다.

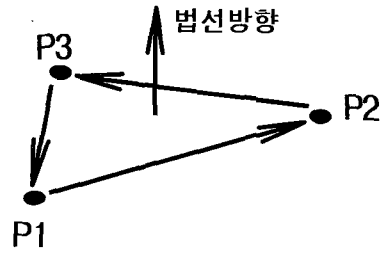


그림9) 오른손 법칙을 나타낸 그림이며, STL Data에서는 법선방향의 항상 외부(바깥)쪽을 향해야한다.

가끔 오류가 발생한다. Skin을 이루는 Face들의 곡면법선 벡터가 동일한 방향성을 가지고 있지 않을 경우가 생긴다. 이를 해결하기 위하여 Skin을 이루는 Face들의 법선 벡터를 기준 Face에 맞추어 정렬시켜 주어야 한다.

STL 정보는 삼각형의 정점좌표(Vertex)와 삼각형을 이루는 법선벡터(Facet Normal)로 구성되며, 하나의 삼각형망은 Vertex-to-Vertex 규칙은 모든 삼각형의 정점은 반드시 이웃한 삼각형의 정점과 만나서 연결되어야한다.(그림10)

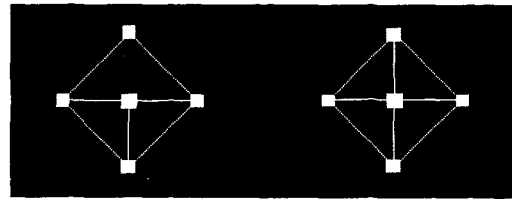


그림10) 좌측 그림은 STL정보에서 Vertex-to-Vertex 규칙은 모든 삼각형의 정점은 오류가 발생한 예이며, 오른쪽은 완전하게 구성된 예이다.

그러므로 정확한 형상 제작을 위한 면 생성을 위한 방향과 높이를 결정하는 중요한 역할을 할 수 있다.

하나의 4각형은 2개 또는 그 이상의 삼각형으로 나누어 질 수 있으며, 곡선으로 이루어진 면은 더 많은 삼각형 구조가 필요하다. 예를 들면 표면이 부드러워야 할 때는 많은 수의 삼각형 구조로 이루어지며, 거친 면을 구성할 때에는 적은 수의 삼각형구조로 이루어진다.(그림11) 결론적으로 모델 조형에서 좋은 표면구조를 원할 때에는 파일의 용량이 커지며 적은 삼각형구조로 이루어진 면은 STL파일 용량이 작아진다.⁷⁾



그림11) 왼쪽은 거친 표면구조이며, 가운데는 아주 세밀한 표면구조를 갖고 있으며, 오른쪽은 적당한 표면구조를 갖고 있다.

STL 파일을 이용하여 최종적인 조형용 정보인 Build data를 생성시키기 위해서 STL파일의 모든 삼각형망을 차례로 읽어 들여 삼각형망끼리 완전하게 인접해 있는지를 확인하고, 면

7) http://www.protogenic.com/STL_File.aspx 2004,10,01.

정보와 Vertex 정보를 이용하여 지지대를 생성시킨 뒤 Slice할 두께를 입력하여 형상을 순차적으로 모델형상을 만들어갈 순서 뒤로 일정한 두께(적층 또는 Layer)에 따라 높이를 Slice시키면서 형상화 시켜 나간다.

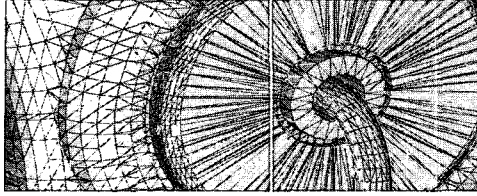


그림12) CAD 3D Data를 STL구조로 변환시킨 예로서 일부 백선으로 보이는 부분은 삼각형구조에서 오류가 생긴 것이다.

3.3 RP기기를 사용한 모형제작

모든 산업디자이너들은 디자인과정에서 자신이 생각한 아이디어가 3D 모델링으로 제작된 Data를 직접 확인하기 위한 수단으로 정확하고 빠르게 모형을 만들어 보기를 원할 것이다. 일반적으로 Idea Sketch 단계에서부터 하나의 실물 모형을 만들기 위해서는 많은 시간이 필요로 했었다.

RP가 등장하면서 신속하게 아주 짧은 시간 안에 실물 모형에 손에 잡아 볼 수가 있게 되어 보다. 정확한 Data를 다음 공정으로 이어 질 수가 있다. RP에 의해서 제작된 마스터 모델과 복제 공법을 후속 공정으로 연계하여 실물 모형의 신속한 제작 가능성은 이외에도 외관 디자인검토용 모델로, 기업에서 디자인 제사용으로, 소량의 실제 기능 부품으로, 급속 간이급형 제작용 패턴 또는 동시공학을 위한 커뮤니케이션 도구 등에 활용되고 있다.

본 연구에 사용한 RP기기는 주재료인 Acrylate Photopolymer Resin적층하면서 동시에 보조 재료가 벽을 쌓아가면서 UV라이트를 사용해 주재료를 고체화시켜가면서 성형하는 방식을 사용하고 있다. 성형이 끝난 다음에는 보조 재료를 Water Jet⁸⁾방식으로 도구를 사용하거나 수작업으로 제거해주면 된다.

그림13의 제작물은 2층으로 복잡한 구조로 되어 있고, 깊게 파여 있어서 CNC모형제작의 어려움이 많고 시간이 많이 걸리며, 학생으로서는 경제적인 부담이 많이 되는 모형이다. 모형전문 제작업체에서는 견적가격이 160만원으로 산출되어서 학생 자신이 직접 RP기기를 사용해서 제작해보기로 하였다. 학생이 Rhino 3D S/W를 사용해서 모델링을 한 다음 STL파일로 변환시켜 저장해서, RP운영 S/W인 Object Studio로 가져와서 시뮬레이션 과정을 거치면서 효과적인 배치와 가공시간 및 소요재료 양을 산출해 봤다. RP가공에서 가장 효율적인 제조방법은 Z축(성형제품의 높이에 해당함)을 적게 해서 성형하는 것이다. 일반적으로 프린팅방식의 성형에서 적층하는 레이어의 Z축으로 Slice시키는 간격조절이 제품을 정밀도를 나타낼 수 있다고 봐야한다. 한 RP기기의 예를 든다면 프린트 해상도(Print Resolution)로 X축이 600dpi, Y축이 300dpi, Z축

8)성형이 끝난 다음 보조 재료는 고압의 수돗물을 건으로 분사시켜 제거하는 방법.

이 1270dpi로 규격으로 나타내면서 RP제품의 정밀도를 표현하기도 한다. 그러므로 Z축 높이를 가능한 낮게 해서 배치하는 것이 효율적이며, 제품의 간격이나 가공 대상물을 입체로 봤을 때 공간도 X, Y, Z축으로 경제적인 배치를 함으로서 가공시간은 물론 재료비도 절약할 수 있다.

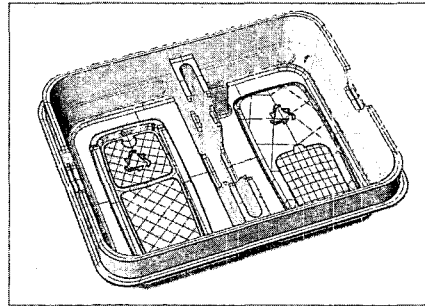


그림13) 졸업전시회 출품작 제목 Out of The Box로 구조형태가 복잡하므로 RP를 사용해서 제작을 하였으며, 위 그림은 Rhino 3D에서 모델링 한 것이다.

좌측 그림과 같은 배치는 3D 모델링 한 형상 그대로 가져와서 배치한 것이며, 우측의 그림은 Parts를 분해해서 배치한 것이다. 다음 표에서 보듯이 Z축(높이)의 크기를 작게 한 가공물이 모든 점에서 경제적이며, 재료비는 물론 가공시간의 단축을 가져와서 효과적인 방법임을 알 수 있다(그림14, 15 참조)

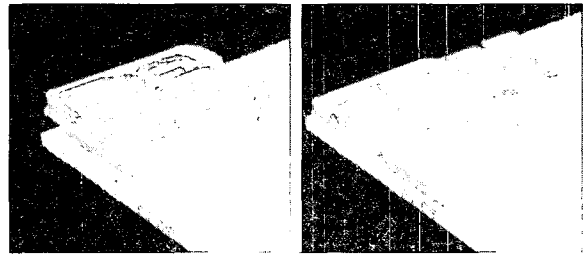


그림14) 좌측그림은 조립된 상태로 RP가공을 하기위해 배치한 모습이며, 우측그림은 분해해서 배치한 모습이다.

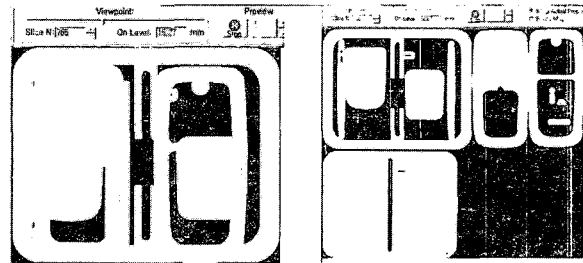


그림15) 실험대상으로 두 가지 모델을 모의 가공을 하고 있는 그림이며, 그림에서 회색부분이 보조재료, 흰색부분이 주재료를 나타내고 있다.

2가지방법의 배치에서 가공시간은 3시간정도의 차이가 있지만 모형재료에서 183g과 보조재료 304g의 절감을 가져올 수 있다는 것이 큰 효과이며, 가공시간도 함께 조립형상 배치한 성

형방법에 비해 절감을 가져올 수 있었으며, 성형가격은 분해한 형상으로 제작 했을 때 42만원이 소요되었다.(표2 참조)

표2) 상기모델에 대한 가공시간과 재료사용에 관한 데이터로 분해한 형상의 조건이 유리한 성형조건으로 나타났다.

가공 형상	모형재료/g	보조재료/g	가공시간	가공물의 크기
조합한 형상(좌측그림)	357	492	7시간43분	154x125x36 (XxYxZmm)
분해한 형상(우측그림)	174	188	4시간50분	224x198x15 (XxYxZmm)

다음 그림16은 모델성형에 관한 실험대상은 산업디자인전시회 출품작으로 제목은 웰빙족을 위한 접이식 헬스머신이다. 이 작품은 실제크기의 제작이아니라 1/10크기의 모형으로 제작한 것이다. 이 작품은 구조가 복잡하고 마감처리에서 색상부분을 다양하게 처리해야하므로 분해상태의 성형이 바람직하다고 생각했다. 그리고 조합된 예와 분해된 예의 가공시간이나 사용재료에 대한 가격측면에서 분해해서 배치하는 것은 3D모델링 한 데이터를 다시 부품별로 나누어야하며, 배치에도 높이가 같은 것끼리 모아놓으므로 가공시간의 절약을 가져올 수 있는 이점이 있다.

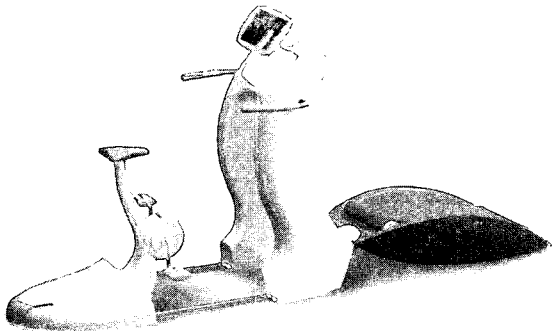


그림16) 졸업전시회 출품작 제목 웰빙족을 위한 접이식 헬스머신으로 위 그림은 Rhino 3D에서 모델링 한 것이다.

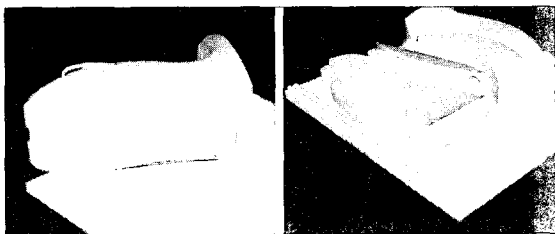


그림17) 좌측그림은 조립된 상태로 RP가공을 하기위해 배치한 모습이며, 우측그림은 분해해서 배치한 모습이다.

2가지 가공방법의 조합한 형상과 분해해서 배치한 형상과의 가공시간 차이는 11시간 정도의 차이가 있지만 모형재료에서 1,019g이 조합한 형상에서 더 많이 소요되고, 보조재료는 193g이 절감되지만 가공시간과 차이 등으로 분해한 형상이 조합한

형상에 비해 절감을 가져올 수 있다. 표3에서 보는 것처럼 분해해서 가공하는 것이 경제적임을 알 수 있었다. 성형가격은 분해한 형상으로 제작 했을 때 95만원이 소요되었으며, 모형 전문 제작업체의 견적 가격은 230만원이었다.

표3) 접이식 헬스머신 모델에 대한 가공시간과 재료사용에 관한 데이터로 분해한 형상의 조건이 유리한 성형조건으로 나타났다.

가공 형상	모형재료/g	보조재료/g	가공시간	가공물의 크기
조합한 형상(좌측그림)	2,708	1,965	34시간53분	92x144x68 (XxYxZmm)
분해한 형상(우측그림)	1,689	2,158	23시간48분	297x328x57 (XxYxZmm)

다음 모델성형에 관한 실험대상은 졸업전시회 출품작으로 제목은 Digital Camcorder Fun Cam이다. 이 제품은 내부구조가 복잡하고 외형이 2가지 색상으로 구분해서 마감 처리하고, 제품의 크기는 1/1이다.(그림 18 참조)

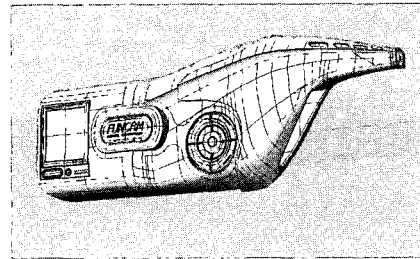


그림18) 졸업전시회 출품작으로 제목은 Digital Camcorder Fun Cam으로 위 그림은 Rhino 3D에서 모델링 한 것이다.

그림 19는 위의 모형성형에는 좌측 보다는 우측의 그림처럼 분해해서 배치하는 것은 3D모델링 한 데이터를 다시 부품별로 나누어야하며, 배치에도 높이가 같은 것끼리 모아놓으므로 가공시간의 절약을 가져올 수 있는 이점이 있다.

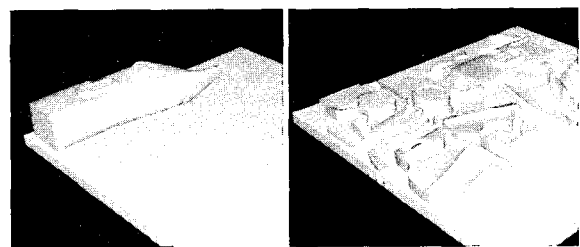


그림19) 좌측그림은 조립된 상태로 RP가공을 하기위해 배치한 모습이며, 우측그림은 분해해서 배치한 모습이다.

상기의 성형에서 2가지 가공방법의 조합한 형상과 분해해서 배치한 형상과의 가공시간 차이는 1시간 정도의 차이가 있지만 모형재료에서 573g이 조합한 형상에서 더 많이 소요되고, 보조 재료는 423g이 절감되지만 가공시간과 차이 등으로 조립한 형상이 분해한 형상에 비해 절감을 가져올 수 있다. 성형가격은 분해한 형상으로 제작 했을 때 80만원이 소요되었으며, 모형 전문 제작업체의 견적 가격은 190만원이었다.

표4) Fun Cam모델에 대한 가공시간과 재료사용에 관한 데이터로 이 경우도 분해한 형상의 조건이 유리한 성형조건으로 나타났다.

가공 형상	모형재료/g	보조재료/g	가공시간	가공물의 크기
조합한 형상(좌측그림)	988	105	7시간42분	232x52x86 (XxYxZmm)
분해한 형상(우측그림)	415	528	6시간45분	297x242x19 (XxYxZmm)

4. 결론

신제품이나 디자인 개발에 참여하는 사람은 누구나 편리하고 쉽게 모든 과정을 진행하기를 원하며, 기업의 경쟁적인 입장에서 보면 우위를 차지하기 위해서라도 많은 설비투자를 하면서 좋은 결과물을 기대하게 된다. 학교교육에서도 학생들 자신이 생각한 아이디어를 3D형상으로 보기 위해서는 컴퓨터를 통해서 볼 수도 있지만, 한편으로는 금형제작과 사출을 통해서 만들어진 것처럼 실물과 동일한 느낌으로 확인 해보고 싶은 것이다. 이런 것을 실현하기 위한 새로운 제작방법인 RP 도입은 미래의 디자이너로서 실무에서 적용 가능한 새로운 시스템적인 개념을 주입시키는데 아주 중요한 역할을 할 수 있다. 단기간에 새로운 모델 개발과 동시에 생산해야하는 자동차산업에서 RP적용은 짧은 기간에 많은 성장을 거듭해 왔다. 특히 시작부품이나 제품개발에 RP를 적용한 모형가공 시스템, 즉 기존의 전통적인 금형 제작이 아닌 RP가 제공하는 정확하고, 신속한 원형모형이나 패턴을 이용한 Soft Tooling⁹⁾이 매우 활성화 되고 있다. 이러한 RP는 CAD 시스템에서 설계한 3차원 CAD 모델을, 일반적인 가공과정 없이, 다양한 소재를 적용하여, 곧바로 3차원 실물형상을 만드는 RP기기를 사용해서 모형을 제작한다는 것은 고가의 장비를 사용해야하고 관련 기술에 대한 Know-How를 알고 있어야하기 때문에 쉽게 도입되어 사용할 수는 있지 않다. 그렇지만 성능이 향상된 컴퓨터의 보급과 디자이너의 작업은 항상 시간과 경제성이 중요하기 때문에 설비투자가 많이 들더라도 장비를 갖추어야 할 상황까지 이르게 된 것이다. 본 연구의 결론으로 3가지 종류의 모형제작기기를 서로 장·단점을 비교해본 것으로 서로간의 장점과 단점을 잘 이해해서 적용한다면, 효과적인 디자인 모형제작을 할 수 있을 것이다.

일반 수동형 모형 제작기기의 장점으로는 ①2D 도면을 보면서 작업 할 수가 있으므로, 단품(단일구조)가공에 적합하다. ②특수 수공구에 의한 가공 등, 요령이 필요한 작업에 적합하다. ③모형제작의 크기에 구애 받지 않는다. 단점으로는 ①작업에 정통하고, 숙련자라 불리기까지는 오랜 경험이 필요하다. ②고품질, 고정밀도를 요구하는 부품가공에서는 고도의 Know-how가 필요하다. ③작업공정이 개인의 특성에 좌우되기 쉬우므로 표준화가 어렵다.

CNC모형 제작기기의 장점으로는 ①비교적 단기간에, 기계조작이나 가공이 가능하다. ②가공정밀도에 안정성이 있고, 숙련도에 따른 가공정밀도의 실수가 적다. ③공정관리, 공구관리 등 작업의 표준화를 기할 수 있다. ④설계 변경, 재고의 감소 등 컴퓨터에 의해 생산관리가 용이하게 되어, 시스템화가 가

능하다. 단점으로는 ①프로그래밍 등 작업 전 준비에 시간이 걸리므로 중량 이상의 생산에 적합하다. ②모형가공기기의 조건에 따라 모형제작의 크기에 구애 받는다.

③가공기기의 설치에 대한 비용이 크며, 관련 S/W에 대한 이해가 필요하다. ④모형가공의 조건에 따라 복잡한 모형제작이 어렵다.

RP모형 제작기기 장점으로는 ①복잡한 형상의 부품, 다 공정 부품(모형)의 가공에 뛰어난 성능을 발휘한다. ②장시간 자동 운전이 가능하므로 성력화, 무인화 등에 대응이 용이하다. ③모형가공의 조건에 따라 복잡한 모형제작이 다른 장비에 비해 아주 쉽게 이루어진다. ④사무실환경에서 장비 설치 및 운영이 가능하면 소음이 적다. 단점으로는 ①기술의 진보에 따라 기계의 진부화가 빠르고, 설비비용이 많이 들고, 프로그램에 의존해서 작업개선의 노력을 태만히 하게 하는 등 마이너스 요인이 있다. ②현재로서는 모형성형재료에 대한 비용이 비싸다. ③가공기기의 설치에 대한 비용이 크며, 관련 S/W에 대한 이해가 필요하다.

RP기기 사용의 장점은 조립형상의 성형에 유리하지만 학교 실습과제 디자인 모형에서는 앞의 여러 번의 모의실험에서 조립형상이 시간과 경제적인 면에서 불리함을 알 수 있었다. 더구나 디자인 모형에서는 색상처리 등, 후 가공에서 다양한 제시를 해야 하기 때문에 분해한 형상으로 성형해서 다양한 후처리가 행해지는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

이와 같은 모형제작기기에 따른 장, 단점 비교에서 RP로 모형을 제작하는 방법이 가장 편하고 효과적이지만 현재로서는 성형재료에 대한 가격이 고가이므로 모형에 따라 모형제작기기를 혼용해서 사용하는 것이 효율적이라고 할 수 있다. 예를 들면, 모형의 전체 부분을 여러 개로 구분해서 앞에서 연구한 내용을 참조해서 유리한 방법으로 혼용해서 적용한다면, 경제적인 제작이 가능하다. RP기기 Z축의 크기를 낮추어서 가공물을 경제적인 공간으로 배치하는 것이 적절한 방법임을 알 수 있었다.

참고문헌

- 허상민 외 2인: '97년도 춘계학술대회논문집, 147, 한국정밀공학회, (1997).
- <http://kr.encycl.yahoo.com/final.html?id=97508&from=enc>, (2004).
- <http://www.cyberp.com/rpcenter/aboutrp/aboutro.htm> p1, (2004).
- <http://www.hwailmachinery.co.kr/chamgo/rp-machines> p3, (2004).
- http://www.protogenic.com/STL_File.aspx, (2004).

9) 기존의 모형제작방식을 Hard Tooling이라고 한다면 RP와 같은 모형가공방법을 Soft Tooling이라고 말할 수 있다.