

신속시작체계 정립 방안

이우종 · 홍유석 · 이용한

An Implementation Scheme for Rapid Prototyping Systems

Woo-Jong Lee · Yoo-Suk Hong · Yong-Han Lee



- 이우종 (대우자동차 차량시작실)
- 1956년생.
- CAD/CAM을 전공하였고, Geometric Modeling 및 공차이론에 관심이 있으며, 최근에는 Prototype Manufacturing을 전문적으로 다루고 있다.



- 홍유석 (대우자동차 차량시작실)
- 1965년생.
- 생산시스템자동화를 전공하였으며, CAD/CAM응용 및 CIM구축기법에 관심을 가지고 있다.



- 이용한 (대우자동차 차량시작실)
- 1965년생.
- CAD/CAM을 전공하였으며, 특히 Geometric Modeling 및 NC머시닝에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

한 회사의 제품개발력을 함축적으로 표현한다면 소비자가 원하는 제품을 적기에 공급할 수 있는 능력이라 할 수 있다. 여기서 "적기에 공급한다"함은, 최근과 같이 소비자의 취향이 다양하면서도 빠른 템포로 변화하는 시대에서는 단기간 내에 제품을 개발하여 공급함을 의미하게 된다. 제품개발기간을 가능한 단축한다는 명제를 올바르게 실현하기 위해 최근에 강조되고 있는 개념으로서 동시공학(simultaneous engineering) 혹은 병행공학(concurrent engineering)이 있는 바, 이는 제품개발 초기부터 제품개발상의 모든 단계가 병행적이고도 동시협력적으로 참여하여 제품개발 행위를 수행하여야 함을 주장하고

있다. 그러나 이 개념이 진정하게 실현되려면 역시 제품개발 각 단계의 경쟁력이 충분히 갖추어져 있어야 함은 의심의 여지가 없을 것이다.

이 글은 이러한 측면에서 제품개발단계 중 하나인 시작(prototyping) 단계의 효율화방안을 모색하고자 한다. 주지하는 바와 같이 제품개발이란 기획, 스타일링, 설계, 해석, 시작, 시험의 과정을 거친다. 이 중 시작단계는 제품의 양산 제작 과정에서 발생할 수 있는 제반 문제점들을 조기에 발견하여 전(前) 공정으로 피드백(feedback)시키기 위하여 양산과 같은 조건하에 제작, 가공하는 과정을 의미한다. 이런 점에서 시작과정을 통해 얻어지는 시작품은 양산품과 치수, 기능, 재질이 같아야 하며 아울러 그 제작공법이 기본적으로 같아야 한다는 전제조건이 있으며,

표 1 시작품과 모형의 차이점

	Dimension	Function	재질	공법
시작품	○	○	○	△
Mock-Up	○	△	×	×

이점이 제품형상의 치수를 중시하여 제작되는 모형(mock-up)과 구별되는 점이라 할 수 있다. 모형은 제품의 스타일링 및 기획단계에서 정적인(static) 형상과악을 주 목적으로 사용되어지고 있는 반면 시작품은 그 자체로써 동적인 상태에서의 기능 평가가 가능하여진다. 표 1은 시작품과 모형의 차이점을 네 가지의 대표적 기준측면에서 상세히 구분 정리하였다.

여기서 주의를 요하는 사항은 시작공법이 양산공법과 가능하면 같도록 수행되어져야 하나, 경제성과 제작기간 등의 이유로 양산공법과 다소 차이가 발생할 수 있다는 것이다. 예를 들어, 자동차 차체제작의 경우에는 대량생산을 위한 프레스공법을 사용하고 있는 바, 프레스공법을 수행하는 데 필요한 금형 자체는 시작금형과 양산금형에 있어서 제작공법과 재질을 달리 할 수 있다. 물론, 이 경우에도 시작금형과 양산금형이 같은 프레스공법으로 같은 재질의 강판을 성형하여야 함은 시작과정이 요구하는 최소한의 조건이다. 실상, 자동차 차체의 경우 양산금형은 주물에 대해 CAM에 의거하여 생성된 공구 경로를 통해 곧바로 수치제어기기에 의한 밀링가공을 하고 있으나, 시작금형 제작의 경우는 경제성 및 제작기간이라는 측면에서 마스터모델(master model)을 선(先)제작한 후 이에 기초하여 에폭시주형수지(epoxy casting resin)로써 표면복제를 수행하는 것이 현재의 추세이다.

그렇다면, 표 1에서 나타난 바와 같은 시작품, 즉 양산품과 치수, 기능, 재질면에서 동일하면서도 기본적으로 그 제작공정이 양

산공정과 같은 성격을 지닌 시작품이 경제적이고도 단시간 내에 제작되기 위해서는 어떠한 시작과정이 요구되어 지는가? 이 글은 이점에 착안하여 그 동안 저자가 근무하고 있는 대우자동차에서 실제로 적용되고 있는 사례를 중심으로 신속시작체계(rapid prototyping system)에 대해 기술하고자 한다.

2. 시작기간 단축을 위한 제반 연구 방향

시작과정에 소요되는 시간을 단축하기 위한 방안을 설명하기 이전에, 우선 시작과정 자체를 생략 또는 대치하고자 하는 노력을 살펴보자. 이상적으로는 시작과정을 거치지 않고 곧바로 양산과정에 진입할 수 있다면 제품개발기간 측면에서는 최상의 해결책일 것이다. 이를 위해서는 설계된 제품이 기능, 제작공법, 형상, 재질측면에서 시제품을 만들어 점검의 과정을 거치지 않을 정도로 완벽하다는 전제조건을 필요로 한다. 물론 이러한 방향이 컴퓨터 모의실험(computer simulation)이 추구하는 방향, 즉 후공정에서 발생 가능한 에러(error)를 최소화시키고자 하는 방향과 일치하고는 있으나, 시작과정 자체를 없애는 데에는 아직도 많은 무리가 수반되곤 한다. 이는 더욱이 후공정에서 발생하는 에러로 인한 영향이 이를 수정하는데 소요되는 시간과 비용면에서 크면 클수록 시작과정의 중요성은 더욱 증대된다.

시작과정을 대치하고자 하는 사고와 비슷한 발상 중의 하나가 시작과정에 쓰인 금형을 곧바로 양산금형으로 연장 사용하는 것이다. 이는 시작단계와 양산단계의 구분을 명확하게 짓는데서 발생할 수 있는 이중적 시간과 기술력의 낭비를 막을 수 있다는 측면에서 일견 흥미로운 발상으로 받아들여 지고 있다. 그러나 시작과정에 대한 상당한 노하우(know-how)와 자신감이 없이는 통상적으로 시간과 경비면에서 우를 범할 소지가 많

아 주의가 요하는 발상이다. 따라서 이 경우는 과거의 경험으로 미루어 보아 특별히 시작의 과정을 거치지 않아도 될 정도로 충분히 기술이 성숙된 제품에 대해서만 고려되어져야 한다.

이렇게, 시작과정의 중요성이 제품개발기간의 측면에서 강조되어질 때, 시작과정의 단축을 위한 방안, 즉 신속시작체계에 대한 연구가 최근 활발해 지고 있다. 신속시작에 대한 연구방향은 크게 다음의 세 가지로 구분할 수 있다.

- (1) 비금형(no tooling)방식 : 금형없이 시작품의 직접제작
- (2) 무모델(modeless)방식 : CAM에 의한 시작금형 가공
- (3) 마스터 모델 방식 : 마스터 모델을 복제하여 시작금형을 제작하는 방법

이상의 세 가지 방식중 첫번째 방식은 다른 두 방식과는 금형을 필요로 않고 있다는 면에서 기본적인 차이가 있는데, 이 첫번째 방식은 최근에 주목을 받고 있는 신기술인 3차원 인쇄장치(이에 대한 설명은 다음 장에서 상세화됨)의 등장으로 현실화되고 있고, 때로는 이것이 신속시작체계로 인식되고 있다. 그러나 이는 협의의 신속시작체계라 할 수 있지만, 이는 표 1에서 나타난 바와 같은 시작품이 지나야 될 조건이라는 측면에서 평가된다면 진정한 의미의 시작과정이라기 보다는 신속모형 제작(rapid mock-up manufacturing)방법으로 인식되어야 함이 옳을 것이다.

그렇다면, 진정한 의미의 신속시작체계는 다수의 제품을 제조하기 위한 금형을 선제작한 후 이에 의거하여 시작품을 제조하는 두번째 내지는 세번째 방법으로 가능하게 되는 바, 이들 방법에서의 신속제작에 대한 관건은 시작금형을 어떻게 신속하게 제작하느냐에 달려게 된다. 이러한 두 가지 방법에 대해서는 다음의 4장과 5, 6, 7장에서 각기 상술되어 진다.

3. 비금형방식에 의한 신속시작체계

시작품을 제작하는 데 있어서 금형 없이(주로 3차원 인쇄장치를 이용하여) 시작품을 직접제작하는 방법인 비금형(no tooling)방식은 이 글에서 주로 다루고자 하는 넓은 의미의 신속시작체계와 약간의 개념을 달리한다는 점은 이미 기술한 바 있다. 그러나 3차원 인쇄장치의 등장은 기존에는 전적으로 수가공에 의존해 왔던 실물모형의 제작을 3차원 형상의 CAD데이터를 이용하여 빠르고 정확하게 가공하는 방향으로 전환시키고 있다는 점에서 실로 경이로운 발전이라 아니할 수 없다. 또한, 3차원인쇄장치 자체의 발전 뿐만 아니라 이 과정에서 생성된 모형을 실제 시작과정에서 본격적으로 활용하는 기술의 개발이 최근들어 활발히 진행되고 있으므로, 넓은 의미에서의 신속시작체계 확립에 있어서 그것이 가지는 의미는 자못 크다고 할 것이다. 본 장에서는 비금형방식의 신속시작체계를 가능케 한 최신킨기술인 3차원 인쇄장치의 기본원리와 대표적 작동방법을 분류, 소개하고, 이들 3차원 인쇄장치에 의하여 신속, 정확하게 제작된 실물모형이 다음 단계인 실제 시작단계와 어떠한 관계를 맺고 있는가에 대하여 살펴보기로 하자.

3차원 인쇄장치란 최근 수년전부터 실용화되기 시작한 신기술로, CAD시스템으로부터 생성된 3차원 형상 데이터(주로 solid modeling)를 입력하여 이에 해당하는 실물모형을 단시간 내에 만들어주는 장치이다. 현재 상용화된 시스템으로는 약 십여 종 이상이 있으며, 이들 각 시스템들은 생성되는 제품의 재질이나 작동원리 등이 서로 달라 각기 장단점을 가지고 있다. 여러가지 종류의 3차원 인쇄장치에 공통적으로 적용되는 근본원리를 살펴보면, 입력된 3차원 CAD데이터를 일정 두께(보통 0.1~0.25mm)로 절단(slicing)하여 일련의 2차원 단면 형상을 얻어낸

후, 이들 단면형상을 순차적으로 가공하여 서로 결합시키는 층별가공(layer-by-layer-manufacturing) 방식을 채택하고 있다는 것이다. 이러한 방식의 가공은 2차원 종이 위에 문자나 그림을 인쇄하는 과정을 3차원적으로 확장시킨 것과 유사한 원리에 의하여 진행되므로, 3차원 인쇄장치라는 이름도 이러한 점에서 유래되었다고 하겠다. 현재 상용화되어 있는 3차원 인쇄장치에서 주로 채택하고 있는 공법은 크게 다음의 두 가지로 대별된다.⁽⁴⁾

(1) 광중합경화(photopolymer solidification) 방식

(2) 원재료 적층(material deposition) 방식
이 두 가지 방식은 각 층(layer)을 가공하고 가공된 층을 계속적으로 결합해 나가는 방법에 있어 근본적인 차이점이 있다. 현재 상용화된 시스템에서 가장 많이 이용되고 있는 광중합경화 방식은 광중합반응을 이용하는 방법으로, 주어진 2차원의 단면 정보에 따라 초기에 액체상태였던 광중합체를 선택적으로 경화(solidification)시키는 원리를 이용하는 반면, 두번째의 원재료적층방식은 다양한 재료의 원료를 기계적 방식에 의하여 얇은층으로 펼친 후, 단면 형상의 해당부위를 소결, 융합 또는 접착 등 독특한 공법에 의하여 결합시키는 방법이다.

3.1 광중합경화 방식

광중합경화(photopolymer solidification) 방식의 핵심은 액체상태의 광중합체가 광선(주로 자외선)에 노출될 경우 고체상태로 경화되는 성질인 광중합 반응(photo-polymerization)이다. 본 방식은 층별로 각 층(layer)을 가공함에 있어 일정 두께의 액체 수지를 레이저광선에 노출시켜 원하는 부분만을 경화시키는 방식을 채용하고 있으므로, 사용가능한 재료는 반드시 광경화성수지(photo-curable resin)라야 한다는 약간의 제약과 가지고 있으나, 3차원 인쇄장치의 태동

기부터 주로 사용되어 오면서 여러가지 기술적 발전을 거듭한 결과, 현재는 실제 시작과정을 위한 3차원 모형 내지는 마스터모델로 사용하기에는 손색이 없을 정도로 그 재질이나 치수의 정확도에 있어 안정된 상태이다. 본 방식을 채용하고 있는 여러가지 3차원 인쇄장치들은 층별 경화과정에 있어서의 약간의 차이를 나타내고 있는데, 이들은 크게 '스테레오 리소그래피(stereo-lithography)공법'과 '포토 마스크(photo-masking)공법'으로 나눌 수 있다.

(1) 스테레오 리소그래피공법

스테레오 리소그래피장비는 광경화성 액체 수지를 담고 있는 수지탱크(vat), 액체수지 속에서 상하운동을 하는 엘리베이터 테이블, 그리고 자외선 레이저 스캐닝 시스템으로 구성된다. 가공의 초기상태에는 수지탱크 속에 액체수지가 가득 채워져 있고, 엘리베이터 테이블은 액체수지 표면의 바로 밑(정해진 한 층(layer)의 두께만큼)에 위치되어 있다. 이 상태에서 갈바노미터 미러(galvanometer mirror)에 의하여 제어되는 자외선 레이저 스캐닝 시스템은 x와 y방향으로 움직이고, 원하는 부분의 액체수지 표면은 고체상태로 경화된다. 이때 경화되는 부분은 3차원CAD 데이터로부터 2차원 분해과정(slicing)을 거쳐 얻어진 단면 정보 중에서 제품의 가장 하층부에 해당한다. 이렇게 하여 한 층의 경화가 끝나면, 엘리베이터 테이블은 층두께(layer thickness)만큼 액체수지 속으로 침수하고 다음 층의 경화를 기다리게 된다. 다음 층의 가공은 동일한 방식에 의하여 진행되는 데, 이미 경화되어 엘리베이터 테이블과 함께 침수된 직전 층(previous layer)의 표면 위에서 액체수지의 경화작업이 이루어지므로, 각 층은 자연스럽게 서로 결합된다. 이와 같은 작업의 반복에 의하여, 원하는 제품은 하층부로부터 상층부로 순차적으로 성장하게 되며, 모든 층의 경화가 끝난 후에는 엘리베이터를 상향으로 구동시킴으로써 완성

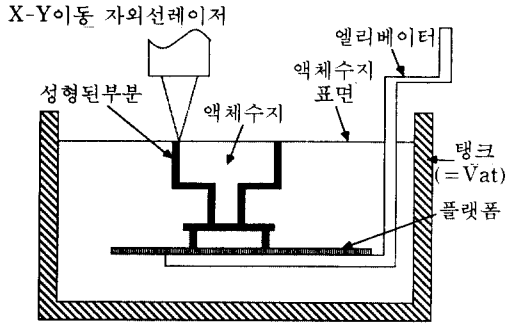


그림 1 스테레오 리소그라피의 작동원리

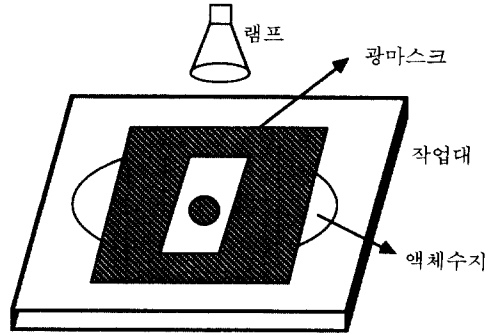


그림 2 포토마스킹 방식의 원리

된 모형을 얻게 된다.^(2,10) 그림 1은 스테레오 리소그라피(SL; stereo-lithography)공법의 작동원리를 나타낸 것이다.

(2) 포토마스킹 공법

포토마스킹공법은 광중합체를 층별로 경화시켜 원하는 형상을 만들어 간다는 점에서는 앞에서 설명한 SL공법과 그 원리를 같이 하나, x-y스캐닝 방식에 의하여 단면형상의 외곽선과 내부를 경화시키는 것과는 달리, 반도체의 PCB(printed circuit board) 제조공정과 마찬가지로 광마스크(photomask)를 사용하여 단번에 경화시키는 것이 특징이다. 포토마스킹(PM; photo-masking) 공법은 SL에서와 같은 방식에 의하여 얻어진 2차원 단면형상을 토대로 광마스크를 생성시키는 일로부터 시작된다. 광마스크의 생성과정은 복사기의 원리와 거의 비슷하며, 주로 유리판(glass plate)을 사용하여 그 위에 단면형상의 음영(陰影: negative image)을 감광시켜 생성한다. 한편, 준비과정에서 층별 경화 과정에 사용될 액체수지는 작업대(workbench) 위에 일정 두께만큼 고르게 펼쳐지는데, 그 위에 미리 생성된 광마스크가 놓여지게 되면, 여기에 약 2kW 정도의 램프에 의하여 강한 자외선이 일정시간(약 2~3초간) 쬐여지게 된다. 이렇게 하면, 자외선에 노출된 제품형상의 단면은 광중합에 의하여 고체로 굳어지게 되고, 제품형상의 바깥 부분 단면

형상은 굳지 않은 액체상태로 그대로 남아 있게 된다. 그림 2는 PM방식의 원리를 나타낸다.

경화된 한 층의 형상은 정확한 두께 및 표면 거칠기를 유지하기 위하여 특수한 형태의 밀링가공을 거치게 되고, 다음 층의 가공이 계속적으로 반복된다. 본 PM공법은 광마스크를 이용하여 한 층의 단면형상을 한꺼번에 골고루 경화시키므로, 다른 방식에 비하여 경화속도가 빠르고 균일한 경화정도를 얻을 수 있어, 생성된 제품이 변형되는 현상을 최소화할 수 있다는 점에서 시선을 집중시키고 있으나, 현 상태로서는 광마스크를 생성하거나 경화된 형상을 밀링가공하는 등의 부대공정에 소요되는 시간을 단축시키는 것이 강력히 요구된다.

3.2 원재료 적층 방식

위에서 설명한 광중합경화방식의 경우에 광경화성을 가지는 특수한 종류의 재질만을 사용하여야 한다는 제약을 가지는 점을 개선하기 위하여, 실제 제품의 재질에 보다 가까운 재질을 사용하고자 하는 의도에서 출발하여 최근들어 활발한 연구가 진행중인 3차원 인쇄장치의 종류가 원재료적층방식이다. 본 방식은 3차원 모형을 가공하는 데 있어, 단면형상의 층별가공 방식을 채택한다는 측면에서는 광중합경화 방식과 그 맥락을 같이

하나, 사용되는 재질에 있어 상당한 차이가 있으며, 그 공법 자체가 광중합 원리를 이용하지 않는다는 점에서 큰 차이를 보이고 있다. 원재료적층방식의 공법중 최근의 가장 관심의 대상이 되는 것들로는 선택적 레이저 소결(SLS; selective laser sintering), 용융적층성형공법(FDM; fused deposition modeling), 박판적층성형공법(LOM; laminated object manufacturing) 등이 있다.⁽⁵⁾

(1) SLS 공법

SLS(selective laser sintering)공법은 기존 공법 중 분말야금(powder metallurgy)방식을 3차원 인쇄장치에서 응용한 것으로, 레이저 빔을 이용하여 분말상태의 재질을 원하는 부분만 선택적으로 소결시키는 방법을 사용한다. 먼저 분말상태의 재질을 피스톤과 레벨링 롤러를 사용하여 가공실(part-build chamber)에 얇은 층으로 펼쳐 위치시킨다(deposit). 그 후, 단면형상에 따라 초강력의 레이저 빔을 재질의 표면에 쏘이게 되는데, 이 때 150°C 정도의 열이 발생되면서 분말 소재의 입자가 소결된다. SLS공법의 가장 큰 장점으로는 사용할 수 있는 재질이 다양하고 실제제품의 재질과 유사하다는 점을 들 수 있다. 사용되는 주요 재질로는 폴리카보네이트, 폴리비닐클로라이드 및 자동차의 부품으로 많이 사용되는 ABS(acrylonitrile butadiene styrene) 등이 있으며, 금속재질과 세라믹 등을 SLS 공법에서 활용할 수 있는 방법에 관하여는 현재 활발한 연구가 진행 중에 있다

(2) FDM 공법

FDM(fused deposition modeling)은 주로 플라스틱 제품을 신속하게 제조하는 3차원 인쇄공법으로, 마치 치약을 짜서 그림을 그리듯이, 정밀 펌프(precision pump)를 이용하여 용융된 플라스틱을 분출, 경화시켜 단면형상을 형성시키는 방식을 채택하고 있다. 본 공법은 일반적으로 한 층을 가공하는 데 걸리는 시간이 매우 짧은 것이 특징이나, 용

융된 플라스틱을 분출시키는 데 있어서의 정밀도에 관한 개선이 아직은 요구된다고 하겠다. 사용 가능한 재질로는 가공용 왁스, 인베스트먼트 캐스팅용 왁스, 플라스틱, 실리콘 러버 및 나일론계 재질 등이 있다.

(3) LOM 공법

지금까지 설명한 여타의 3차원 인쇄장치는, 그 층별가공 방식에 있어 모두 액체나 분말상태의 원재질을 경화시키는 방법을 사용했던 것과는 달리, LOM(laminated object manufacturing)공법에서는 이미 경화되어 있는 재질을 사용한다는 것이 가장 큰 특징이다. 일명 'Laser Cookie Cutter 공법'이라고 불리우는 이 공법에서는 플라스틱, 종이, 포일(foil), 유리·섬유 합성소재 등의 판형 재질(sheet material)을 계속적으로 접착(bonding)시켜 나가면서 레이저 빔을 이용하여 층별 단면형상을 절단하는 방식을 사용하고 있다. LOM 공법의 가장 큰 장점으로는 기본적으로 판형의 완제품 재질을 사용하므로, 다른 방식의 3차원 인쇄장치에서 가장 큰 문제점으로 대두되고 있는 경화과정상의 재질 수축 및 변형 등을 거의 완벽하게 해결할 수 있다는 것이다. 가장 뒤늦게 개발되기 시작한 공법중의 하나로 앞으로의 발전이 주목된다고 하겠다.

지금까지 비금형 방식의 신속시작체계에 있어 요체라 할 수 있는 3차원 인쇄장치의 종류 및 각 공법의 원리에 대하여 자세히 알아보았다. 앞에서도 언급한 바와 같이, 3차원 인쇄장치에 의하여 생성된 제품이 진정한 의미의 시작품으로서의 역할을 하기 위한 가장 시급한 문제는 사용되는 재질에 관한 것이다. 이러한 관점에서 다양한 재질을 활용할 수 있는 3차원 인쇄공법에 관한 연구가 계속적으로 진행되고 있으나, 아직까지는 완벽한 정도의 신속시작체제로서 자리를 잡지는 못하고 있는 실정이다. 따라서, 현단계에서는 차선책으로서 활발한 발전을 보이고 있는 분야는 3차원 인쇄장치에 의하여 생성된

모형을 금형의 신속제조를 위한 마스터 모델로 사용하는 분야이다. 이에 관한 자세한 내용은 다음의 5,6,7장에서 자세히 다루어진다.

4. CAM에 의한 신속시작체계

일반적으로, 협의의 CAM은 주어진 3차원 CAD(computer-aided design) 입력 정보를 기준하여 수치제어식 공작기기(NC: numerically controlled machine)의 공구경로를 자동생성하는 과정을 의미한다.⁽¹¹⁾ 이 글에서는 이러한 협의의 CAM방식을 사용하기로 하고, 이 방식의 적용을 전제로 하여(단, 시작품의 3차원 형상정보는 CAD로써 준비되었다는 가정하에) CAM 방식이 어떻게 시작금형제작에 사용되어지는가를 고찰하고자 한다.

CAM방식에 의거한 시작금형의 신속제조를 올바르게 이해하기 위해 먼저 금형제작의 일반적 과정을 살펴보자. 그림 3에서 보는 바와 같이 금형제작 과정은 주물제작, 금형설계, 공구경로 생성, 가공, 사상작업, 시험성형의 순으로 이루어진다. 이들 가운데 통상 주물제작, NC 가공, 사상작업, 시험성형이 일정상 주경로(critical path)를 형성하게 된다. 따라서, 금형(양산 및 시작금형)의 제작기간을 최소화하기 위해서는 이들 주공정을 최소화시켜야 하는 바, 특히 기계절삭가공의 신속도 및 정확도를 향상시켜 NC 가공시간 및 사상작업시간을 최소화함이 CAM분야의 주요 추구 목표였다. 따라서, CAM에

의한 시작금형의 제작도 이러한 CAM의 장점(즉, 가공의 신속, 정확성)을 십분 이용하고자 추진되고 있다. 이러한 CAM에 의한 시작금형의 적용은 비교적 주물을 제작하기 용이한 작은 단품 내지는 피절삭재의 경도가 비교적 낮아 가공시간의 단축이 가능한 경우, 즉 알루미늄 혹은 아연합금으로 구성된 시작금형의 경우에 주로 사용되고 있다.

그러나 주물제작 및 기계가공 시간의 절대량이 매우 클 경우(예를 들면 차체 프레스금형 등)에는 CAM에 의한 시작금형의 직접가공 방식을 채택하기에는 개발기간(lead time) 측면에서 불합리한 경우가 대부분이다. 이러한 경우는 신속한 시작금형의 제작을 위하여, 양산과정과 대비된 시작과정만의 특성을 충분히 고려하여 볼 필요가 있게 된다. 예를 들어, 프레스금형의 경우, 규모에 따라 약간의 차이는 있겠으나, 일반적으로 수백장의 제품을 성형할 수 있다면 그 역할을 다하는 경우가 대부분이다. 그렇다면, 프레스공법에 자체는 유지하되(본연의 기능상에 큰 지장이 없다면) 이에 사용되는 금형의 제작과정은 일부 변경하는 것이 더욱 효과적이라고 판단된다. 즉, 이러한 경우 다음 장에서 설명되는 마스터모델의 복제에 의한 방법이 경제성 및 제작기간면에서 유리할 수가 있는 것이다. 더욱이, 마스터모델의 제작이 NC 기기 내지는 전장에서 기술한 3차원인쇄 장치의 이용 신장과 함께 신속·정확하게 되어 마스터모델의 복제에 의한 방식이 신속시작체계의 중요부분으로 대두되고 있다.

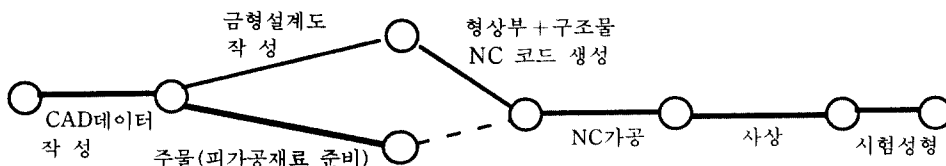


그림 3 금형제작과정

5. 마스터모델의 복제에 의한 신속시작체계

전술한 CAM에 의한 비금형방식의 공법이 양산금형을 경제성있게 제조하는 커다란 방향이라 한다면 본절과 다음 6,7장에서 기술할 마스터모델의 복제에 의거한 금형제작은 시작금형을 경제성있게 제작하는 게 주 방향이라 할 수 있다.

우선 혼선을 피하기 위해 본 장에서 기술하고자 하는 마스터모델의 복제에 의거한 금형제작을 설명하고자 한다. 그림 4에서 나타난 바와 같이, 본 장에서 설명하고자 하는 복제에 의한 금형제작과 혼돈을 야기할 수 있는 금형제작 방법 중의 하나는 마스터 모델을 선제작한 후 석고 등으로 복제하여 제작된 켈라(kellar) 모델을 제작한 후 이를 모방가공(copy machining)하여 금형을 제작하는 방식이 있다.

그림 5에서 도시화된 이 모방가공 방식은 CAM이 활성화되기 이전에 양산금형 제작에 사용된 방식이나, 금형제작 기간 및 정확도의 열세로 CAM의 등장과 함께 대치되고 있는 방법이다. 따라서 본 장에서 논하고자 하는 복제에 의한 금형제작이란 모방가공에 의한 것이 아닌, 금형자체를 마스터 모델로부터 직접 복제하여 제작하는 방식을 의미한다.

이렇게 마스터모델의 직접 복제에 의한 시작금형을 제작하게 된 경위는 무엇보다도 제작의 경제성이다. 이러한 복제방법이 시작과 경비면에서 시작금형을 생산성있게 제작할 수 있기 때문이다. 이러한 복제에 의한 시작금형의 질과 제작기간을 향상시키려는 일단의 연구가 활발히 이루어지고 있는데, 그 기본방향은 무엇보다 먼저 금형자체가 복제로 제작되므로 복제의 기본인 마스터모델의 제작에 있어서 정확도를 유지, 향상시키면서도 제작기간을 최대한 단축하고자 하는 것이다. 결국, 신속 시작체계의 주요 연구방향이 마

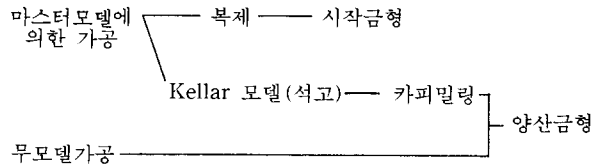


그림 4 마스터 모델에 의거한 금형제작방법

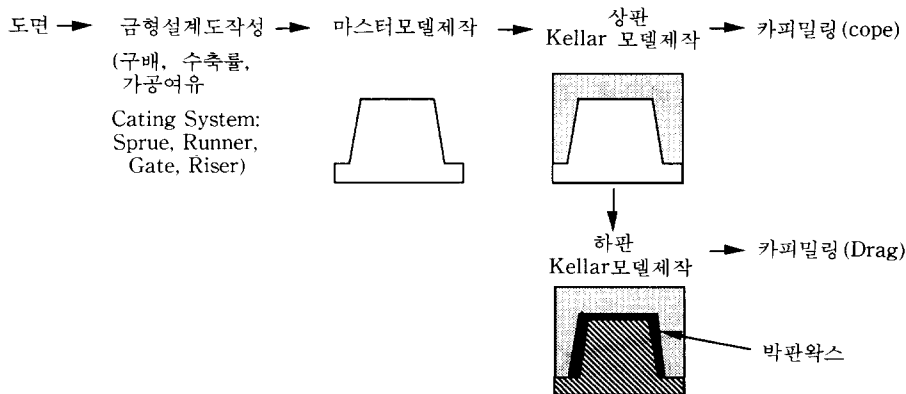


그림 5 모방가공에 의한 금형제작방법

스터모델의 신속, 정확한 제작으로 귀결된다
는 것이다.

6. 마스터 모델 제작시의 고려사항

마스터모델의 정확하고 신속한 제작을 위
한 가능성은 컴퓨터제어(computer control)
기능을 갖춘 기기들의 계속적인 등장으로 가
능화되었는 바, 이의 대표적 기기는 컴퓨터
수치제어공작기기(computer numerical controlled machine)의 3차원 인쇄장치이다. 본
장에서는 수치제어 공작기기와 3차원 인쇄
장치중의 하나인 SLA(stereo lithography
apparatus)를 이용하여 마스터모델을 제작할

경우에 고려되는 기본적 지침을 제시하고,
다음 장에서는 구체적으로 마스터모델을 복
제하여 제작하는 복제공법을 소개하기로 한
다.

수치제어식 공작기기와 SLA를 이용하여
마스터 모델을 제작하는 과정은 CAD로 제
작된 3차원 형상데이터를 입력데이터로 하여
수치제어 공작기기 및 SLA가 구동할 수 있
는 입력 코드, 즉 APT코드(혹은 CL 데이
터) 혹은 STL(stereo lithography)코드를
형성하여서 해당기기로써 가공하는 과정^(2,3,10)
으로 요약할 수 있다. 그림 6과 7는 이러한
과정상에서 발생 가능한 예러 요소들을 특성
요인도 형식으로 요약하고 있다. 이들 특성

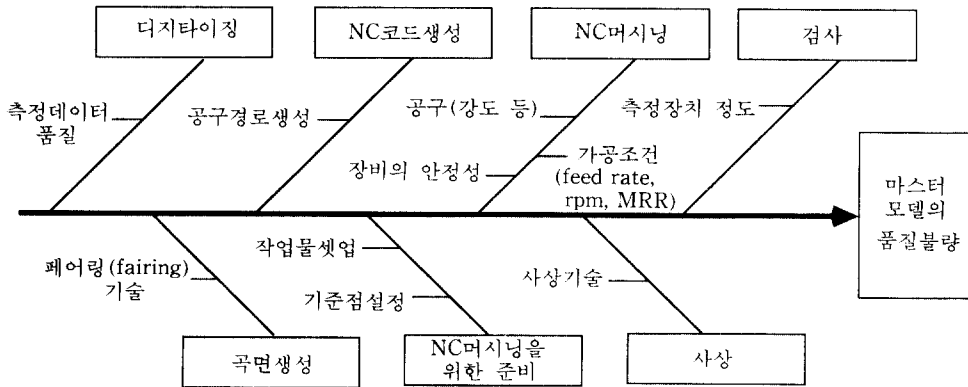


그림 6 수치제어 공작기기에 의한 마스터모델 제작특성요인도

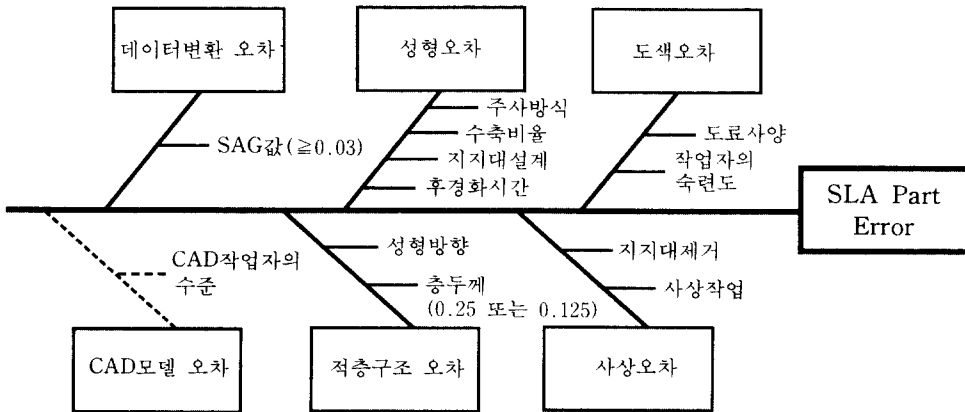


그림 7 SLA에 의한 마스터모델 제작 특성요인도

요인도에서는 시간의 흐름이 가로축 방향으로 나타나고 있는 바, 단위업무는 중심축에서 분지된 하나의 가지로 표현되면서 이 가지상에서는 해당 단위업무를 수행하면서 발생 가능한 에러들이 열거되어 있다. 이러한 에러 요소 가운데 특별히 지적하고 싶은 최대 에러 요소는 입력데이터인 CAD데이터의 품질이라 할 수 있는데, 성공적 마스터모델의 제작을 위하여서는 CAD에 의거하여 작성된 3차원 형상의 품질이 우선적으로 보증되어야 한다. CAD에 의해 작성된 3차원 형상데이터의 품질분석 기법에 대해서는 참고문헌⁽¹⁾을 참고하기 바란다.

7. 대표적 복제공법

전술한 바와 같이, 시작금형의 특성을 반영하고 무엇보다 제작의 경제성을 달성하기 위한 노력은 수치제어기구나 3차원 인쇄장치를 이용하여 마스터모델을 신속, 정확하게 제작하고, 이를 복제하여 시작금형을 신속하게 제작하려는 방향으로 발전되고 있다. 만들고자 하는 시작품의 종류 및 시작금형의 사용공법에 따라서 복제공법도 여러가지로 분류되는 바, 그 중 대표적인 방법을 열거하면 다음과 같다.

- 에폭시수지 금형
- 실리콘 고무형
- 아연합금 금형
- 인베스트먼트 주조(investment casting)
- 금속분사 사출금형(metal spray injection mold)

주목할만한 사실은 위에 열거한 방법중 많은 부분은 오래전부터 사용되어 왔으며, 주로 소규모의 체계화되지 못한 제공정으로 인식되어 왔다는 것이다. 그러나 이 시점에 와서 이러한 종류의 제조공법들을 재평가하면서, 새로운 발전 방향을 모색하고 있는 이유는 무엇일까? 이에 대한 해답은 지금까지 기술된 이 글의 내용으로부터 어느 정도 유추

가 가능할 것이다. 나름대로 정리해 본다면, 이러한 이유를 크게 두 가지로 요약할 수 있을 것이다. 첫째는 무엇보다도 이러한 제조공법들에 있어서 가장 기본이 되는 마스터모델의 제작능력이다. 기존에 전적으로 수가공에 의존했던 마스터모델의 제작에 비하여 NC기기 및 3차원 인쇄장치의 등장은 이러한 복제공법에 새로운 활력소를 제공하기 충분한 생산성을 제공한다고 볼 수 있다. 둘째는 산업계의 전반적인 다품종 소량생산으로의 전환추세이다.

이 글에서는 시작체계에 관해서만 논하고 있으나, 비단 시작체계뿐만이 아니라 많은 부분의 양산체계에 있어서도, 급변하는 시장 상황에 의한 제품제작기간 단축의 계속적 요구는 기존의 양산공법으로부터 보다 신속한 공법으로의 전이를 필요로 하고 있다. 이러한 상황에서 소량의 제품을 신속하게 만들 수 있는 공법에 관한 관심은 당연한 귀결이라 하겠다.

7.1 에폭시수지 금형

에폭시수지 금형은 프레스 금형(stamping die)의 신속시작에 주로 사용되는 공법이다. 공법의 특성상 프레스 제품은 두께가 일정한 판재형상을 띠고 있으므로, 금형의 상형과 하형을 따로 제작할 필요 없이, 마스터모델로부터 상·하형을 동시에 얻어낼 수 있다는 것이 본 공법의 가장 큰 특징이 되겠다. 그림 8에서 보는 바와 같이, 본 공법은 마스터모델에 제품의 두께에 해당하는 박판왁스(sheet wax)를 접착시키는 작업으로부터 시작된다. 박판왁스란 일정한 두께를 유지하는 왁스의 일종으로, 마치 두꺼운 테이프와 같은 모습을 띠고 있으며 매우 유연한 성질을 가지고 있다. 본 공법에서 박판왁스의 역할은 프레스 성형시 철판이 차지하는 두께를 금형의 제작시에 고려하도록 하는 것이다. 이렇게 한 후, 고정대에 정착시키고 에폭시수지를 주입시켜 상·하형 금형의 형상을 성형하

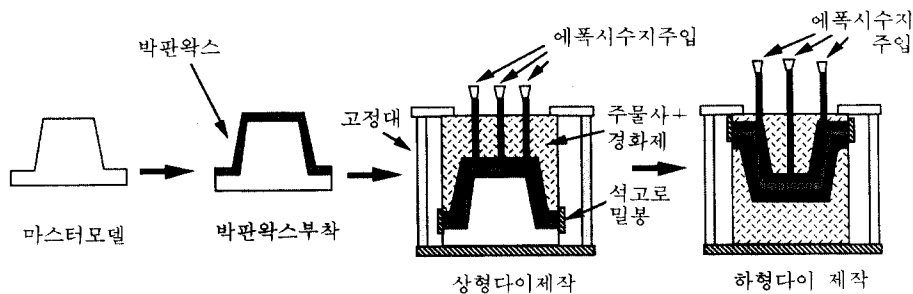


그림 8 에폭시수지금형의 제작과정

고, 주입된 수지를 경화시킨 후, 박판왁스를 떼어내어 금형을 완성하는 것이다.

본 공법은 금형이 표면이 경화된 에폭시 수지로 되어 있으므로, 금형의 마모로 인하여 양산 수준의 많은 양의 제품을 성형할 수 없다는 단점이 있으나, 자동차산업의 경우 시작금형으로서는 충분한 역할을 한다고 평가되고 있다. 최근들어 이러한 단점을 보완하기 위하여 에폭시수지로 된 금형의 표면에 금속도금을 하는 방법도 시도되고 있다.

7.2 실리콘 고무형에 기초한 진공주형

실리콘 고무형을 이용한 진공주형은 양산품이 사출성형에 의하여 제작되는 제품의 소량 시작품 제작에 주로 사용되는 공법으로, 특히 3차원 인쇄장치에 의하여 생성된 모형을 이용하여 폴리우레탄 등의 재질로 여러 개의 부품을 복제할 때 주로 사용된다. 이 공법은 신속시작체계의 관점에서 볼 때, 공법 자체는 양산공법과 약간의 차이를 보이고 있으나, 제작된 제품의 재질이나 기능 등이 양산품과 같거나 거의 유사하기 때문에 상당히 많이 상용되는 공법이다.

먼저 모형의 형상으로부터 분할선(parting line)을 정한 후, 이에 맞게 모형을 틀 속에 위치시킨다. 여기에 액체상태의 실리콘 고무를 부어 경화시켜 진공주형에 사용될 금형이 성형된다.^(6,8,13) 이러한 공법에서 실리콘 고무형이 주로 사용되는 이유는 재질의 유연성에

있다. 즉, 실리콘 고무는 경화된 후에도 상당한 유연성을 유지하므로 일반적 사출금형에서 필요한 복잡한 코어(core) 등의 별도 제작이 필요없다는 장점이 있다.

7.3 아연합금 금형

그림 9에 나타난 아연합금(ZAS: Zinc alloyed steel) 금형은 에폭시수지 금형과 거의 같은 원리에 의하여 제작되나, 주로 사출성형을 위한 금형제작에 사용된다. 아연합금 금형의 가장 큰 장점은 시작금형이라 하더라도 동일한 재료로 동일한 성형법(사출성형)이 가능한 데 있다. 용융점이 비교적 낮아 비교적싼 가격의 구조설비로도 충분하며, 반면 형상 전사성과 피삭성, 방전가공성, 열전도율 등이 뛰어나 사출성형을 위한 시작금형으로는 매우 적합한 공법으로 인정되고 있다.

7.4 인베스트먼트 캐스팅

일명 Lost-Wax Process 또는 정밀주조 공법 등으로 불리워 온 제조공법의 하나로, 제품의 형상이 복잡하여 상·하형의 금형을 만들기가 어려운 경우에 주로 사용되어 온 공법이다. 주로 알루미늄 등의 재질로 된 제품을 원할 때 사용하는 방법으로, 제품형상의 왁스 패턴에 고온, 용융 상태의 재질을 주입시키게 되면 열에 의하여 왁스의 형상이 녹아 없어지게 되고, 이를 경화시켜 원하는 제품

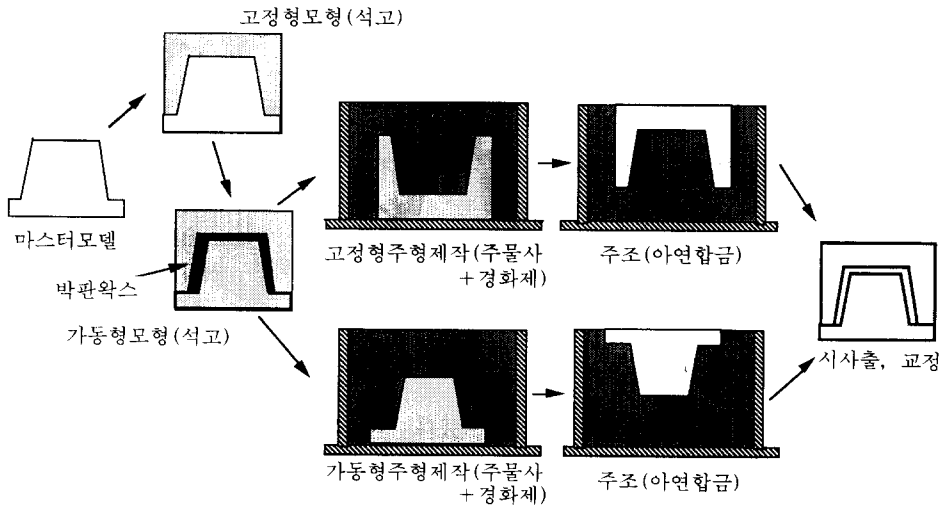


그림 9 아연합금금형의 제작과정

을 얻게 되는 것이다. 기존의 금형에 의한 제품제작과 비교하여 가장 큰 차이점이라고 할 수 있는 것은 주물의 주입시 패턴이 녹아 없어지게 되므로 원하는 제품의 개수만큼의 왁스패턴이 필요하다는 것이며, 따라서 여타의 공법에 비하여 비용이 많이 드는 공법으로 인정되어 왔다. 인베스트먼트 캐스팅은 금형 캐비티를 제작함에 있어 왁스패턴을 어떠한 방식으로 활용하느냐에 따라, 크게 플라스틱 캐스팅과 셀 캐스팅으로 나눌 수 있는데, 근래에는 인베스트먼트 캐스팅용 주물사 등의 발달로 인하여 셀 캐스팅이 주로 사용되고 있다.⁽⁷⁾

인베스트먼트 캐스팅공법의 사용에 있어서 가장 관건이 되어 왔던 것은 역시 패턴의 제작이었으나, 3차원 인쇄장치의 등장은 이러한 애로공정을 점차적으로 해소시켜 주고 있다. 최근들어 3차원 인쇄장치에 의하여 생성된 제품을 패턴으로 사용하거나, 이를 이용하여 왁스패턴을 경제적으로 제작하는 방법에 관한 연구가 활발히 진행중에 있다. 이러한 연구의 방향을 분류하여 보면 크게 세 가지 정도로 생각할 수 있는데, 첫째는 3차원 인쇄장치의 성형품 자체를 패턴으로 사용하

는 방법이고, 둘째는 3차원 인쇄장치의 성형품을 벌집모양(honeycomb type)으로 특수하게 제작하고 이에 왁스를 혼합하여 패턴을 제작하는 방법이며, 셋째는 3차원 인쇄장치의 성형품을 실리콘고무형 등을 이용하여 복제하여 왁스패턴을 생성시키는 것이다. 이러한 종류의 접근방법은 주로 주물의 주입시 패턴이 용융 또는 연소되는 정도를 높이고자 하는 방향으로 진행되고 있으며, 여러가지 종류의 시도는 많은 성과를 보이고 있다.⁽¹²⁾

7.5 금속분사 사출금형

금속분사 사출금형(TAFA ; metal spray injection molding)은 미국의 TAFA Inc.에서 개발하여 실용화한 금형제조 공법의 하나로, 일명 TAFA공법으로 불리우기도 하는데, 사출금형을 신속히 제작하는 데 주로 사용된다. 본 방식은 기본적으로 모형의 복제에 의하여 금형을 생성시키는 방법으로, 모형의 표면에 금속재질을 분사, 코팅하여 금형 캐비티를 생성한다.⁽¹⁴⁾ TAFA 공법의 주요 구성요소로는, 금속 분사기(metal spray gun)와 분사될 재질로 만들어진 금속선(metal wire), 그리고 경화된 금속코팅이 금

형으로서의 역할을 할 수 있도록 해주는 지지용 수지(backup resin)을 들 수 있다. 본 TAFAP공법 역시 3차원 인쇄장치의 등장에 의하여 그 응용분야를 넓혀가고 있는 공법의 하나로, 폴리우레탄 및 ABS 등의 재질로 된 제품의 사출성형 및 블로우 성형(blow molding) 등에 많이 활용되고 있다.

8. 맺음말

이 글은 제품개발과정 중 하나인 시작품 제작과정의 경쟁력 향상 방안을 연구, 조사하였다. 이 글에서는 시작품 제작과정을 대별하여 비금형방식, 무모델방식, 마스터모델의 복제방식으로 구분하였으며, 이들 방식의 향후 연구개발 방향은 다음과 같이 요약할 수 있을 것이다.

첫째, 비금형 방식의 향후 발전성은 신기술인 3차원 인쇄장치의 발전 방향과 그 맥을 같이 할 것이다.

3차원 인쇄장치에 대한 연구는 무엇보다도 그것이 지닌 제작속도의 탁월성 때문에 제작속도가 관건인 소량다품종 생산분야에서 크게 주목받고 있으나, 반면에 그것이 지니고 있는 일반적 문제점인 재질의 취약성과 제작정밀도의 한계성 때문에 진정한 의미의 시작품 제작에는 한계가 있으므로 이를 해결하는 것이 앞으로의 과제라 할 수 있을 것이다.^(9,15)

둘째, 무모델방식에 의한 시작품의 제작인바, 이는 제작 정밀도의 우수성 때문에 양질의 시제품을 제작할 수 있다는 장점을 지니게 된다. 반면에 시작과정이 요구하는 신속성 면에서는 취약하므로, 가공하고자 하는 금형의 재질상태와 이의 CAM 가공성을 고려하여 사용되어야 할 것이다. 따라서, 앞으로의 발전 가능성은 NC절삭기계에 의한 고속 가공성의 발전과 더불어 그 활용 분야가 점차 증대될 것이다.

마지막으로, 이 글에서 중점적으로 설명되

어진 복제에 의한 시작금형의 제작은 복제의 기본인 마스터 모델의 제작 정밀도 및 신속성이 각종 NC공작기계 및 3차원 인쇄장치의 발전으로 가능하여져서 최근에 크게 주목받고 있는 분야이다. 복제에 의한 방법이 시작분야에서 주목을 받게 되는 이유는 시작과정이 지닌 독특성, 즉 소량다품종이며 제작신속성이 관건이 되는 특성 때문일 것이다. 기본적으로 복제 공법은 그 품질이 마스터 모델에 크게 의존하므로, 마스터모델의 제작에 필요한 NC공작기계와 3차원 인쇄장치의 새로운 개발이 복제 공법의 발전을 계속적으로 주도할 것이며, 아울러 복제의 전사성을 우수하게 유지시키는 복제용 재질 및 복제공법의 개발이 향후 연구의 주를 이룰 것이다.

참고문헌

- (1) 이우중, 1991, "CAD에 의한 곡면의 품질분석방법," 1991년 대한산업공학회 추계 학술발표대회.
- (2) 이우중, 이용한, 홍유석, 1992, "Rapid Prototyping System을 위한 형상정보 변환절차," 대한산업공학회지, Vol. 18, No. 1, pp. 63~80.
- (3) 3D Systems Inc., 1989, "Stereolithography Interface Specification," P/N50064-SK01-00.
- (4) Ashley, S., 1991, "Rapid Prototyping Systems," Mechanical Engineering, Vol. 113, No. 4, pp. 34~43.
- (5) Beckert, B. A., "Cutting It in Rapid Prototyping," Computer-Aided Engineering.
- (6) Bjorke, O., 1991, "How to Make Stereolithography into a Practical Tool for Tool Production," Annals of the CIRP, Vol. 40/1, pp. 175~177.
- (7) DeGarmo, E. P., et al, 1988, Materials and Processes in Manufacturing, Seventh

- Edition, Macmillan Publishing Company.
- (8) Deitz, D., 1990, "Stereolithography Automates Prototyping," *Mechanical Engineering*, Vol. 112, No.2, pp. 34~39.
- (9) Dolenc, A., et al., 1992, "Better Software for Rapid Prototyping with INSTANT-CAM," *Human Aspects in Computer Integrated Manufacturing*, Edited by G.J. Olling and F. Kimura, Elsevier Science Publishers, B.V., IFIP, pp. 449~456.
- (10) Lee, W. J., Lee, Y. H. and Hong, Y. S., 1992, "Geometric Conversion Procedure for Rapid Prototyping System," *Journal of Design and Manufacturing*, Vol. 2, No. 2, pp. 83~92.
- (11) Lee, W. J. and Hong, Y. S., 1991, "Analysis of NC Tool Path Generation Methods for the Manufacturing of Sculptured Surfaces," *Proceedings of the 6th International Pacific Conference on Automotive Engineering*, Oct. 28. Nov. 1, Seoul, Korea.
- (12) Sachs, E., et al., 1992, "CAD-Casting: Direct Fabrication of Ceramic Shells and Cores by Three Dimensional Printing," *Manufacturing Review*, Vol. 5, No. 2, pp. 117~126.
- (13) Thomas, S. W., 1992, "Stereolithography Simplifies Tooling for Reinforced Rubber Parts," *Mechanical Engineering*, pp. 62~66.
- (14) Weiss, L. E., Gursoz, E. L., Prinz, F. B., Fussel, P. S., Swami, M. and Patrick, E. P., 1990, "A Rapid Tool Manufacturing System Based on Stereolithography and Thermal Spraying," *Manufacturing Review*, Vol. 3, No. 1, pp. 40~48.
- (15) Wozny, M. J., 1992, "Data Driven Solid Freeform Fabrication," *Human Aspects in Computer Integrated Manufacturing* Edited G.J. Olling and F. Kimura, Elsevier Science Publishers B. V., IFIP, pp. 71~82.

