

역공학을 이용한 사출금형제작 공정에 관한 연구

이희관*, 김형찬**, 양균의***

A Study on Digital Process of Injection Mold in Reverse Engineering

H. K., Lee*, H. C., Kim**, G. E., Yang***

ABSTRACT

A study on digital processes of injection mold in reverse engineering are presented. Reverse engineering is useful for several cases, where user has no geometry information of object. Laser scanner is used to obtaining 3D coordinates of object. Sequences to process cloud data are described; sampling to reduce number of points, sorting to adjust the point order, and fitting to curve and surface, and so on. Split slide structure of mold is used for undercut part and high viscosity material. Flow of injection molding are analysed to correct cooling channel and simulate molding conditions. NC tool paths are generated to carve core and cavity. The processes are performed in digital data for reduction of lead time and consecutive geometry data.

key words: Reverse engineering(역공학), Injection mold(사출금형), Digital process(디지털 공정)

1. 서론

3차원 디지털이저를 이용하여 물체의 점 데이터를 획득하고 기하학적 모델을 만들어내는 기술을 역공학(reverse engineering)이라 한다. 역공학은 물체만 있고 CAD정보가 없는 경우, CAD 정보 손실 또는 훼손된 부품을 재생산하거나, 제품의 형상이 공정 진행 중 수정 및 변경되었을 경우 매우 유용한 기술이다.^[1,2,3]

역공학은 크게 세 가지 방법으로 분류되며, 첫 번째는 측정점을 곧바로 NURBS 곡면으로 변환시키는 것이다. 이 방법은 곡면이 측정점을 정확히 지나기 때문에 측정점이 실물과 오차가 없다고 가정하였을 경우에 정밀도가 높은 곡면을 얻을 수 있다. 이 방식은 검사에서 유용하게 활용될 수 있지만, 곡면 수정 등이 어렵고 NC 가공 등의 후공정 작업을 어렵게 하며, 측정점들은 측정 및 가공오차 등 오차를 포함하고 있어 제품특성을 복원하기도 어렵다.

2001년 11월 20일 접수

* 전북대학교 자동차부품-금형 기술혁신센터

** 전북대학교 대학원 기계항공시스템공학부

*** 전북대학교 기계항공시스템공학부, 자동차부품-금형 기술혁신센터

두 번째 방법은 측정점에서 단면곡선이나 경계 곡선을 추출한 후 곡면을 생성하는 것이다.^[1] 이 방식은 작업속도가 느리지만 제품 특성 복원과 도면 작업시 유리하고 정밀도도 비교적 높다.

세 번째 방법은 측정점을 삼각다면체로 생성 한 후 NURBS 곡면을 생성하는 것이다. 곡면생성이 편리하나 정밀도가 떨어져 형상가시화 방법에 많이 이용된다.

본 논문에서는 인체 데이터를 기반으로한 인체 공학적 곡면의 제품 제작을 위해 두 번째 방식을 이용하였으며, 2장은 디지털 공정을 기술하고 3장은 측정 데이터를 이용하여 형상 모델링을 하였고 4장은 금형설계와 제작에 대해서 다루었다.

2. 금형의 디지털 공정

Fig. 1은 역공학을 이용해서 기하학적 정보가 없는 인체공학적 제품을 만드는 과정과 대응하는 디지털 공정을 볼 수 있다. 인체 데이터 획득을 위해 3차원 측정을 수행하고, 측정 데이터와 인체 표준 사이즈를 활용하여 인체공학적 제품의 설계 등의 공정에 기하학적 디지털 정보로 작업을 수행하였다. 기존 제품의 복사가 아닌 신제품개발을 위해 측정 데이터를 활용한 CAD 공정에서 디자인 개념 등이 포함되었다. 또한, 디지털 목업, RP 및 가공 시뮬레이션 등이 CAM 공정에 이용되었다.

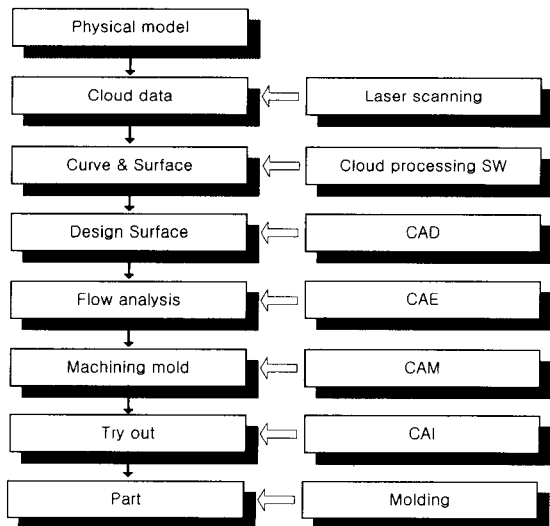


Fig. 1 Digital process of injection mold

인체공학적 제품을 만들고자 했던 개념과 디자인 등은 기하학적 정보를 일관된 디지털 데이터를 통해 손실없이 후 공정으로 가져갈 수 있어 만족할 만한 제품을 제작할 수 있었다. 또한 정확한 데이터 이동을 통한 정밀도 향상과 시행착오를 줄일 수 있었다. 기존 제품의 개발기간이 6개월 이상 소요 되었으나, 디지털 공정화를 통해 3개월로 단축되었으며 인체공학적 디자인 등을 통해 기능개선이 이루어졌다. 그러나, 각 시스템과 공정마다 데이터 변환을 해야하는 어려움과 데이터 변환시 모델 정보의 손실 등 어려움이 있기 때문에 데이터 호환에 대한 고려가 필요하다.

3. 측정데이터를 이용한 형상 모델링

3.1 측정점 획득 및 처리

3차원 측정점 획득방법은 비접촉식과 접촉식이 있는데, 여기서는 신속한 측정속도와 비교적 높은 정도를 가진 레이저측정기를 사용하여 측정점을 획득하였다. Fig. 2는 인체 다리의 골절시 사용하는 스프린터의 기본 모형을 위해 인체의 일부분인 다리의 분을 측정한 데이터이다. 이 데이터를 수정하여 제품 디자인을 한다.

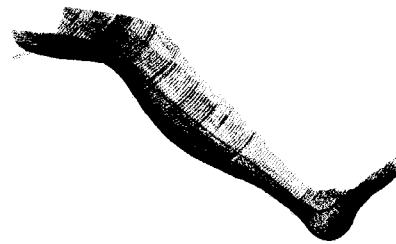


Fig. 2 Cloud data

3.2 단면 곡선

여러 개의 단면을 잡아 점 데이터를 추출한 다음 단면 곡선을 생성하는데 단면의 점들은 일정한 방향으로 정렬되어야한다.^[4] 단면곡선은 형상 표현이 우수하고 국부적인 수정이 편리한 B-spline곡선으로 생성하였다. 식(1)과 식(2)는 B-Spline 곡선식, 기저 함수이다.^[1]

$$C(u) = \sum_{i=0}^n Q_i N_{i,k}(u), \quad a \leq u < b \quad (1)$$

$$N_{i,k}(u) = \frac{(u-u_i)N_{i,k-1}(u)}{u_{i+k-1}-u_i} + \frac{(u_{i+k}-u)N_{i+1,k-1}(u)}{u_{i+k}-u_{i+1}} \quad (2)$$

$$N_{i,1}(u) = \begin{cases} 1, & \text{if } u_i \leq u < u_{i+1} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서, $C(u)$ 는 점데이터, Q_i 는 조정점, $N_{i,k}(u)$ 는 B-Spline 블렌딩 함수이고, u_i 는 매듭값이다.

매개변수를 얻는 방법으로 chord length method를 이용하였다. 매듭값은 open uniform 방식을 이용하였다. 식(3)은 매개변수를 구하는 식이다.

$$t_1 = 0 \quad (3)$$

$$\frac{t_l}{t_{\max}} = \frac{\sum_{i=2}^l |P_i - P_{i-1}|}{\sum_{i=2}^j |P_i - P_{i-1}|} \quad 2 \leq l \leq j$$

여기서, P 는 측정점이고, t 는 매개변수, l, j 는 측정점의 수이다.

3.3 곡면생성

생성된 단면 곡선으로 곡면을 생성하는 방법은 여러 가지가 있지만 여기에서는 loft 곡면을 이용하였다. 식 (4)는 loft 곡면식이다. 제 1단면에서 이동하여 수정한 단면 곡선(q_0)과 제 2단면에서 이동하여 수정한 단면 곡선(q_1)을 혼합한다. 단면 곡선에 혼합함수 $\alpha(v)$, $\beta(v)$ 를 혼합한다.

$$S(u, v) = \alpha(v)q_0(u, v) + \beta(v)q_1(u, v) \quad (4)$$

여기에서, α, β 은 3개 이상의 단면을 연결하기 위해 Hermite 혼합함수를 사용하였으며 각각 $\alpha(v) = 1 - 3v^2 + 2v^3$, $\beta(v) = 3v^2 - 2v^3$ 이다.

loft 곡면은 구속 조건이 단면 곡선밖에 없으므로 곡면의 질이 우수하지는 않다. 단면 곡선들이 단면의 법선 방향으로 진행하면서 곡면을 생성하도록 하여 loft 곡면을 생성하면 양호한 곡면을 얻을 수 있다. Fig. 3은 곡면을 생성한 후 기능성과 외관 등 디자인을 가미하여 수정한 곡면이다.

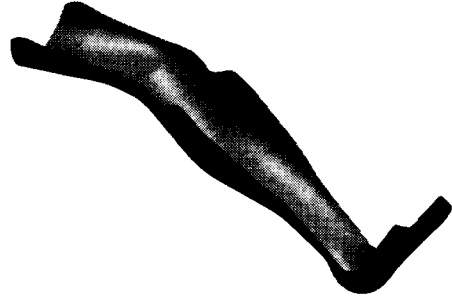


Fig. 3 Designed surface

3.4 목업제작

3차원의 형상 모델을 컴퓨터 상에서 가상적으로 구성된 입체를 디지털 목업(digital mock-up)이라 한다. 이웃 부품들과의 간섭 또는 조립성을 완벽하게 검증하여 부품을 제작하거나 실물 목업을 제작하기 전 컴퓨터 상에서 가상 목업을 제작하여 제품 제작의 시행착오를 줄여 생산기간 및 비용을 절감할 수 있다. 이러한 작업을 거친 후 실제 제품의 모습을 보기 위해 사용하는 방법 중 최근에 많이 사용하는 것이 RP(Rapid Prototyping)이다. 3차원 형상 모델의 기하학적 자료로부터 그 물리적인 모형을 신속하게 조형해 내는 것이다. 만들어진 모형으로부터 설계요류를 확인하여 설계 완성도를 향상시키고, 상품 개발기간을 단축하고자 하는 목적으로 주로 활용한다.

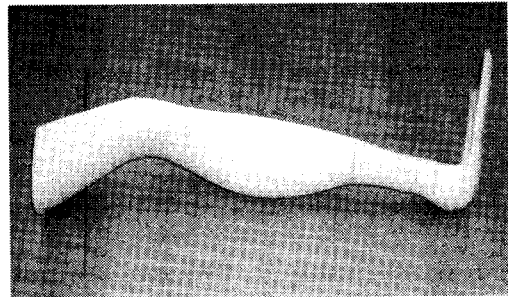


Fig. 4 Rapid prototyped Mock-Up

4. 금형제작

4.1 금형을 위한 곡면 수정

사출물은 플라스틱 재료의 냉각에 의해 수축되기 때문에 디자인된 곡면을 금형 곡면으로 수정해야 한다. 성형품의 두께와 리브(rib)를 적절히 선택하고 재료의 수축율에 의한 치수 변경을 보정한다. 또한, 유동성과 디자인을 고려하여 국소 형상 변경에 대한 보정을 해야 한다. 식 (5)는 상온에서의 금형 치수와 성형 수축률에 대한 보정식이다.^[5]

$$l_m \cong l_c(1 + m_s) \quad (5)$$

여기서, l_m 은 상온금형치수, l_c 는 상온성형치수, m_s 는 성형수축률로서 0.1 ~ 0.5%를 적용하였다. 또한, 최종 성형품은 환자에게 시술시 열을 가하여 사용하기 때문에 이에 대한 고려가 필요하여 샘플 실험(PVC 시편)을 통해 얻은 데이터(H-20%, V-5%)를 다시 적용하여 곡면을 생성하였다.

4.2 금형구조와 파팅면 생성

금형으로부터 성형품을 배출시키기 위해서는 반드시 금형이 개방되어야 하는데 금형 개방의 분할선을 파팅 라인(parting line)이라 하고, 파팅면에 의해 금형의 구조가 결정된다.

파팅라인은 성형품에 줄무늬를 만들기 때문에 상품 가치와 금형 제작비에 큰 영향을 미치므로 그 위치와 형상을 충분히 고려해야 한다. 깃스의 뒤쪽 부분과 경계부분은 리브(rib)와 러너(runner)의 방향과 같아 외관상 좋은 위치이며 정밀한 치수 공차를 요구하지 않고 언더컷이 발생하지 않아 파팅 라인으로 잡았다.^[4]

여기에서는 성형품의 외부를 형성하는 cavity를 2개로 나누어서 이동시켜 외부의 언더컷(under cut)부를 성형할 수 있는 금형인 분할형 슬라이드 금형을 사용했다. 금형이 개방되는 동안 상측 슬라이드는 미끄럼 운동을 하면서 경사핀도 따라 올라가 금형이 개방되어 성형품이 나온다.

Fig. 5는 금형 구조를 보여주고 있다. 그림에서 A는 경사핀, Cv는 캐버티, Co는 코아이다. PL는 파팅라인으로 분할 슬라이드 금형의 구조를 보여주고 있다.

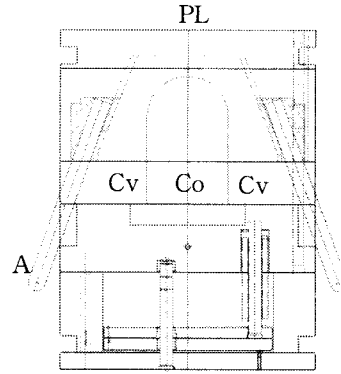


Fig. 5 Structure of split slide type

4.3 금형유동해석을 통한 설계검증

금형 구조 결정 후 금형유동해석을 통해 금형 설계 및 검증을 한다. 냉각수로의 위치, 금형 체결력, 금형의 온도 등의 여러 인자들을 금형 가공하기 전에 검증하여 도면의 수정 및 금형 수정 등을 단축 할 수 있다.

Table 1 Input conditions

Input parameters	Value (unit)
Material	PVC
Max machine injection pressure	180 (MPa)
Fill time	1.0(s)
Cooling time	7.4196(s)
Ideal cavity-side mold temperature	29(℃)
Ideal core-side mold temperature	29(℃)
Coolant temperature	25(℃)
Coolant flow rate	20(lit/min)

Table 1은 유동해석의 입력치를 보여준다. Fig. 6은 유동수지 선단 진전도(melt-front-advancement), 유동수지 주입시 압력, 유동수지 충전 후 압력, 체적 수축률, 냉각결과에 대한 전체적인 변형량을 보여준다.

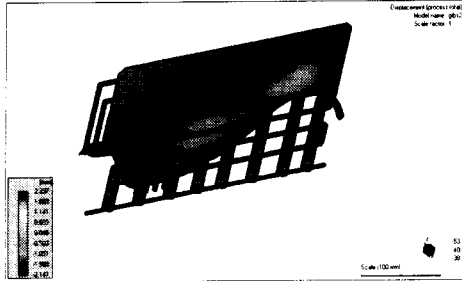


Fig. 6 Shrinkage (process total)

Table 2 Maximum shrinkage (process total)

Item	Value
Initial distance	738.97mm
Part distance	730.50mm
Shrinkage	-8.4721mm
Shrinkage rate	-1.15 %

Table. 2는 최대 수축량에 대한 결과를 보여준다. 수축이 크게 일어나는 부위는 냉각수를 조절하거나 설계 변경이 필요하다.

4.4 CAM을 이용한 금형가공 및 공정

모델 검증을 거친 후 CAM를 이용해서 금형의 수형과 암형 가공을 Fig. 7과 같은 공정을 거쳐서 가공을 수행하였다.^[6,7]

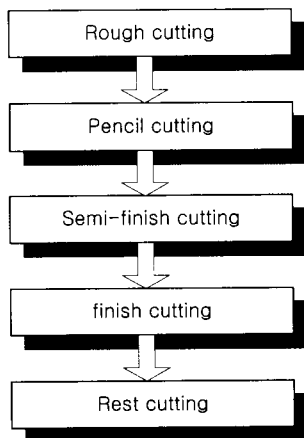
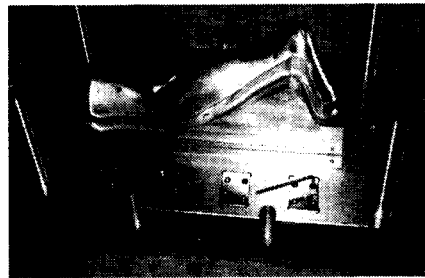
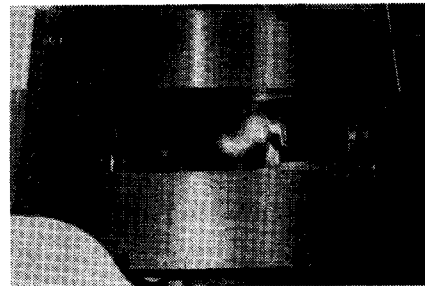


Fig. 7 Machining process

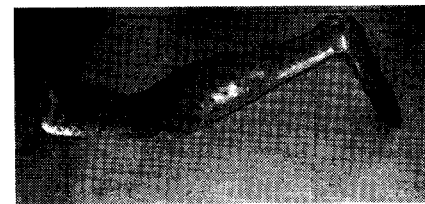
황삭은 절삭량 제거를 최대로, 펜슬가공은 후공정에 과절삭력이 적게 걸리도록 가공경로와 절삭조건을 설정하였다. 중삭은 정삭 공정에서 균일한 절삭량과 절삭부하를 주도록 하고, 정삭은 치수정밀도를 균일하게 할 수 있도록 가공경로를 생성하였다.



(a) core



(b) cavity



(c) part

Fig. 8 Machining process

Fig. 8은 가공 결과 및 사출품을 보여주고 있다. (a)는 코어, (b)는 캐비티, (c)는 사출품이다. 금형재료는 KP4이며, 몰드베이스는 일반구조강을 사용하였다. 사출물의 수지는 PVC이며, 금형에 대한 유동 해석데이터는 시사출제품과 거의 일치하였지만 수지 유동 흐름이 매우 원활하지 못하여 사출압이 해

석값보다 약간 크게 필요했다. 사출물의 변형 부위 등은 냉각시간 조절을 통해 큰 변형이 없었고, 양호한 제품을 얻었다.

5. 결론

의료보조기구의 제품 특성상 인체 형상을 최대한 반영하기 위해 역공학을 이용하였다. 3D 측정을 통한 디자인을 위해 역공학을 적용하고, 금형 설계에 대한 CAE 해석 및 설계 변경을 거쳐 금형 가공까지의 금형 제작 공정간 디지털 데이터를 이용하였다.

금형제작에 디지털 데이터를 적용한 결과 금형 제작의 납기단축, 고품질화와 같은 산업 현장에서의 요구에 대응할 수 있다고 사료된다.

참고문헌

1. 임금주, "역공학을 위한 Sweep 곡면 모델링에 관한 연구," 전북대학교 석사학위 논문, 2001.
2. David F. Rogers, J. Alan Adams, "Mathematical Elements for Computer Graphics," 2nd Edition, McGraw-Hill, 1990.
3. Les Piegl and Wayne Tiller, "The NURBS Book," 2nd Edition, Springer, 1997.
4. 박상철, 남기봉, 최병규, "점열 곡선의 꼬임을 효율적으로 찾는 알고리즘," 한국 CAD/CAM학회 논문집 제4권, 제3호, pp. 190-199, 1999.
5. 이국웅, 문홍국 공역, "최신 플라스틱 기술," 성안당, 1999.
6. 최재원, 허성민, 이석희, "측정점으로부터의 곡면 및 가공 데이터 생성에 관한 연구," 한국 정밀공학회 추계학술대회 논문집(I), pp. 357-360, 1999.
7. 이철수, "CAD/CAM 형상모델링에서 NC까지," 터보테크 출판부, 1997.