

금형의 신기술 (3차원 Solid Model을 이용한 금형 제작)

1. 서론

제품설계에서부터 금형의 설계·제작, 나아가 생산 라인의 구축에 이르기까지 CAD/CAM/CAE 시스템이 이용되고 있다. 이러한 경향은 3차원 Solid System의 기능이 충실해짐과 더불어 더욱 강해지고 있다. 지금까지의 2차원 도면 주체의 설계 또는 CAM 시스템을 이용한 금형 제작이 크게 변화하려고 하고 있다.

금형 산업이 현재의 우위성을 유지하기 위해서는 Lead Time의 단축, 저비용과 고품질을 더욱 추구하여 가는 이외에는 방법이 없고, 3차원 Solid System의 이용은 앞으로의 해결책이라고 할 수 있을 것이다.

2. 일반적인 설계 프로세스와 CAD 기능

그림 1에는 플라스틱 사출성형 금형을 대상으로 한 설계, 제조 프로세스를 나타낸다. 설계 프로세스는 가동형, 및 고정형의 형면 설계와 금형 구조부의 설계로 나눌 수가 있다.

선도(線圖) 데이터 또는 CAD 데이터로 제공된 제품 데이터를 기초로, 형면 설계가 이루어진다. 플라스

틱 제품의 경우, 자유 표면 형상이 많으므로, 현재에도 면 모델로 분류하는 CAD 시스템이 이용되고 있다. 제품 데이터에 대하여 사용하는 수지의 종류에 대응하여 수축률을 고려한다. 제품 형상을 수정하고, 반전한 형상이 고정형의 Cavity 면 형상이 된다. 한편, 제품 데이터에 대하여, 제품의 두께에 상당하는 분을 Offset 함으로써, 가동형의 코어 형상이 생성된다. 코어 형상에는 제품의 부착부에 상당하는 보스 형상이나 리브 형상이 설정된다. 이러한 Cavity 형상이나 코어 형상의 설계를 하기 전에, 파팅면의 결정도 이루어진다. 일반적으로는 형 사양서에 지정된 빼기 방향에 대하여 수직인 방향으로 의장면 데이터를 연장하여 파팅면을 결정한다. 따라서 파팅면 자체, 곡면으로 구성되는 일이 많다.

형 구조부의 설계는 평면 조립도나 단면 조립도를 작성하면서 하는 것이 일반적이다. 고정형, 가동형의 평면 조립도, 상하 방향, 조작/반조작 방향 단면 조립도의 네 가지 조립도가 CAD의 작도 기능을 이용하여 작성된다. 그 후에 필요에 따라 부품도가 작성된다. 형 구조부의 설계에서는 ① 가이드 핀의 배치, ② 밀어빼기 슬리브 등의 배치, ③ 중자의 위치, ④ 밀어빼기 핀의 위치, ⑤ 냉각관의 배치, ⑥ 리턴 핀의 배치, 등을 결정한다. 이러한 설계 항목의 결정은 형 설

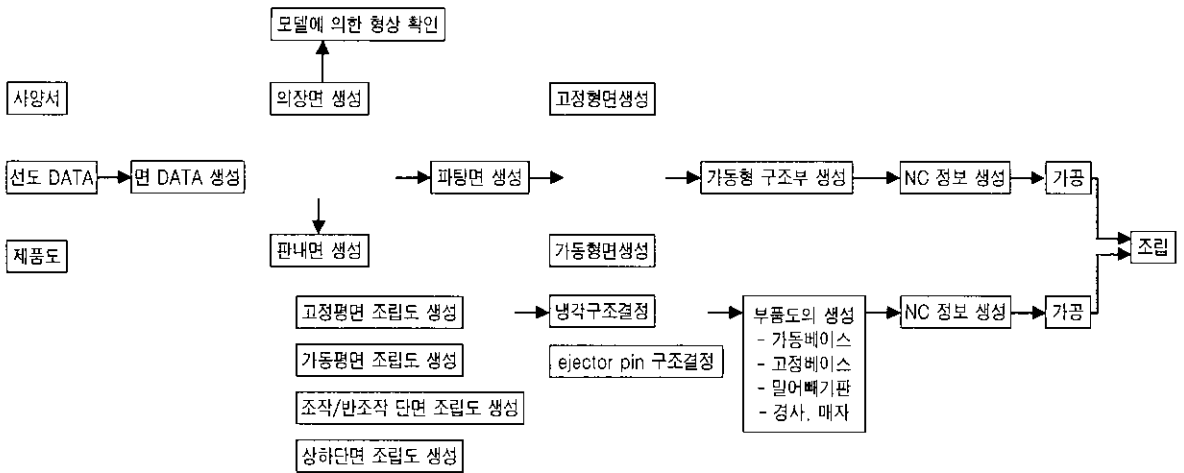


그림1 플라스틱 사출 성형 금형의 설계제작 순서

계자의 노우하우에 의존하고 있는 것이 현재의 상황이다.

3. 3차원 Solid System에 의한 금형 설계

제품 데이터의 주고받음이나 형 구조 설계를 합리화할 목적으로 3차원 Solid System에 의한 금형 설계가 점차 이루어지고 있다. 그림 2에는 금형의 설계 사례를 나타낸다. 2차원 도면에 의한 형 설계와는 달리, 3차원 Solid Modeling 기능을 이용하여, 입체적으로 금형 전체를 설계하게 된다. 저가의 3차원 커널이 이용 가능하고, 금형용 3차원 Solid 설계 시스템 개발이 계속하여 이루어지고 있다. 기본적인 3차원 모델러의 기능을 이용함으로써 형 구조 부품 사이의 간섭 체크, 언더부의 자동 추출, Slide Core와 같은 가동부나 금형 전체의 동작 시뮬레이션이 가능하다. 나아가 반투명 표시나 단면 표시에 의한 형 구조의 파악, 부품의 전개, 조립 정보의 생성 등, 형 설계의 합리화에 연결되는 기능이 많다. 단, 앞에서 기술한 6항목과 같은

형 구조에 관한 설계 항목의 결정은 2차원 설계의 경우와 마찬가지로 형 설계자의 노우하우에 의존하고 있다. 앞으로는 설계 기준의 데이터 베이스화, 또는 부품이나 형 구조의 표준화를 추진할 필요가 있다고 생각한다.

또, Solid 설계 시스템을 효율적으로 이용하고, 금형용 부품을 Solid Data화하여 부품 라이브러리를 정리하는 것은 중요한 과제이다. 특히, 부품의 종류가 많은 대형 프레스 금형에 관해서는 그 정비가 요망되고 있어, 현재, 일본의 자동차 메이커, 금형 메이커를 중심으로 프레스 금형 Solid 설계용 표준 데이터 정비 컨소시엄이 1998년에 조직되어 계속 활동하고 있다. 미국 및 유럽에서는 NAAMS(북미 자동차 메이커 표준)규격이나 VDI(독일 기술자협회)규격이 있고, 이러한 규격에 대응하는 의미에서도 중요한 활동이라고 할 수 있다. 그림 3에는 챔 유닛트를 Solid Data화한 예를 나타내고 있다.

기술적인 개선은 아직도 많이 필요하지만 형 구조 이해의 용이함은, 2차원 도면에 의한 설계보다 훨씬

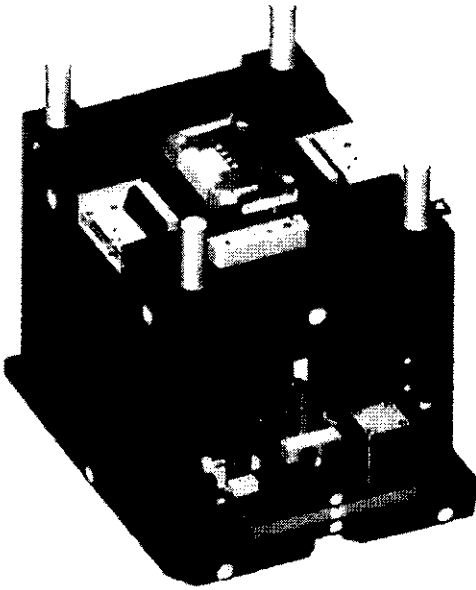


그림 2 금형의 Solid Model에 의한 설계 예

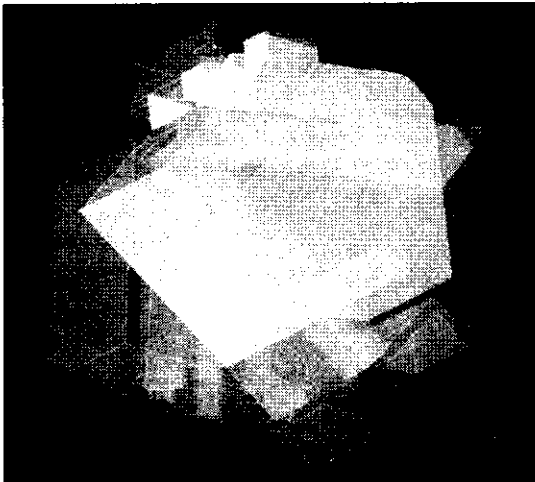


그림 3 렌즈 유닛의 Solid Model Data

우수하다. 제품 설계의 3차원 Solid화도 진행되고 있어서 설계에서 제작에 이르기까지의 데이터화도

가능해져서 데이터에 기초한 금형 제작이 시작되고 있다.

4. 3차원 CAM 기능

현재의 3차원 CAM 시스템은 직접 깎아내기 기능을 표준적으로 갖추고 있다. 즉, 블록 형상의 소재로부터 형상을 파내는 여러 종류의 황삭 기능, 절삭 저항의 변동이 적은 Down Cut 방향이 되는 등고선 공구 경로, 면을 따라 가공하기 위한 가공용 공구 경로, 절삭하고 남은 부분의 인식과 절삭하고 남은 부분 가공용 공구 경로, 황삭 가공 시에 필수인 경사 절삭용 공구 경로 등, 기본 기능에 있어서 3차원 CAM 시스템 사이의 기능 차는 거의 없어졌다. 이러한 CAM 기능의 충실함도 있고, 머시닝 센터에 의한 고속 가공이 일반화되어, 금형의 종류에 따라서는 후공정인 다듬기 공정의 생략도 이루어지고 있다.

그렇지만, 공작기계의 고속, 고정도화는 현저하고, 또 고정도재료의 가공이 일반화되고 있으므로 CAM 기능이 보다 충실해야 한다고 생각한다.

4.1 고속 가공 대응

공작기계의 이송이 고속화함에 따라 가공 시 제거량의 급격한 변동은 공구 치평의 원인이 되므로 등고선 공구 경로에 기초한 가공법으로 바뀌고 있다. 그렇지만, 등고선 공구 경로에 있어서도 XY 평면상에서 형상이 급격하게 변하는 부분은 반드시 존재하고, 제거량의 변동을 일으킨다. 이러한 형상 급변부를 인식하여 반지름 방향 절삭량을 저감시키는 공구 경로 생성 기능이 필요하다. 이송 속도를 낮추므로써 공구 한 개의 날당 제거량을 바꾸는 것도 가능하지만 고속화에 장애가 된다. 새로운 공구 경로를 생성하는 것이 되어, 엄밀한 공구 간섭 체크 기능이 필요하다.

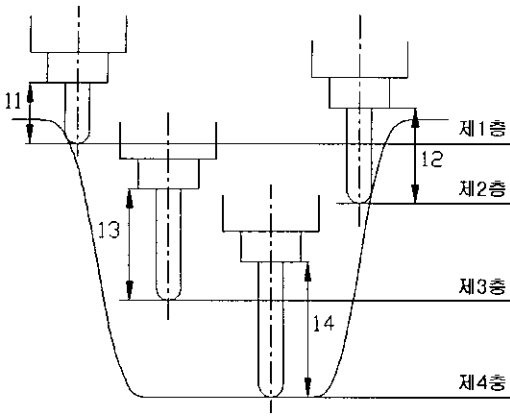


그림 4 척적의 공구 들출 길이에 의한 가공

고속 가공을 이용하는데 있어서, 공구 들출 길이는 제약이 있고, 일반의 가공에 비하여 더욱 짧게 할 필요가 있다. 이 경우, 척이나 주축 헤드와 피삭재와의 충돌이 문제가 된다. 또 제거량이 많은 금형 가공의 경우, 공구 교환을 하면서 가공을 진행한다. 따라서, 그림 4에 나타난 것과 같이 절삭 길이에 근거한 공구 교환 시간을 구하고, 거기에 가공영역을 Z 축 방향으로 나눈다. 각 가공 영역에 있어서 충돌이 생기지 않는 공구 들출 길이를 구하고, 공구 경로를 생성하는 기능이 필요하다.

고속 가공에 대응함에 있어서, 공구 경로 생성의 처리 시간이 문제가 된다. 공작 기계의 고속 고정도화가 진행되어, 황삭을 포함한 가공 시간이 현저하게 단축되었다. 공구 경로 생성의 자동화가 진행되었다고는 하지만, CAM 기능의 고속화를 도모하지 않으면 공구 경로 생성 자체가 Bottle Neck이 되어 버린다.

4.2 고정도화 대응

공작 기계의 제어 장치 고정도화도 한창 진행되고 있다. 위치의 검출계도 고분해능화가 추진되어, 서브

μm 오더의 제어가 표준화되어 위치 지령을 나노미터 단위로 처리하는 제어장치도 개발되었다. 이러한 단위로 제어를 하므로 실제 가공 시의 가공 오차를 어떠한 형태로든 보정할 필요가 생긴다. 즉, 공구의 열팽창, 가공시의 공구의 휨, 공구 마모 등이 오차 원인으로 고려된다. 시간적인 변화를 동반하는 가공 오차를 보정하고, 실제 가공 상황의 정확한 시뮬레이션 기술이나 고정도의 온라인 모니터링 시스템의 개발이 불가결하다.

금형의 형면 가공에 있어서 주로 이용되고 있는 볼랜드 밀의 경우, 주축 회전수는 일정 값으로 고정한다. 이 경우, 각 절삭 날 위치에서 절삭속도가 다르고, 가공면의 상황도 다른 것은 잘 알려져 있다. 특히, 볼랜드 밀 끝 부분에서는 절삭속도가 아주 작아서, 일부에서는 음의 절삭속도 즉, 절삭날 여유면에 의한 래핑 현상도 생긴다. 따라서, 공구 끝 부분에서의 가공은 가능하면 피할 필요가 있다. 한편, 가공면의 상황을 균일하게 하기 위해서는 각 절삭 날 위치에서 절삭 속도는 일정하지 않으면 안되고, 지금까지의 밀링 가공에서는 하지 않았던 회전수 제어를 이용할 필요가 있다. 현재의 CAM 시스템에서 절삭점을 구하는 것은 용이하므로 적절한 주축 회전수를 결정하는 것은 가능하다.

4.3 고 능률화 대응

앞에서 기술한 직접 깎아내기에 대응하여 고속고정도 가공 기술은 직교 3축의 머시닝 센터 이용을 전제로 한 것이다. 따라서, 깊이가 있는 형상의 가공에는 방전 가공을 이용하게 되고, 가공 능률을 고려할 때, 반드시 바람직하다고는 할 수 없다.

다축 제어 공작 기계를 이용하면, 충돌을 회피하면서 가공을 할 수 있으며, Z축 방향의 깊은 형상도 동일 머시닝 센터로 가공이 가능하다. 나아가 그림 5에 나타난 것과 같이 아주 작은 절삭 깊이를 주어 주축을

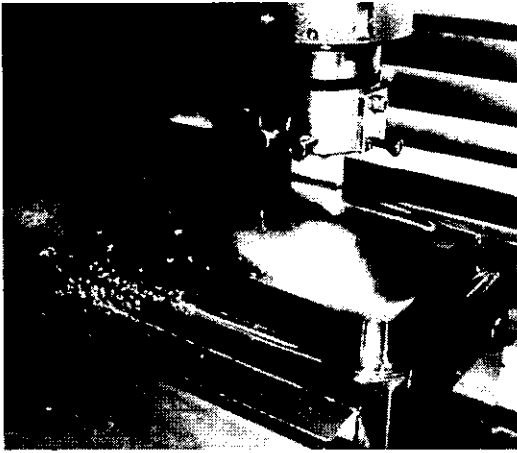
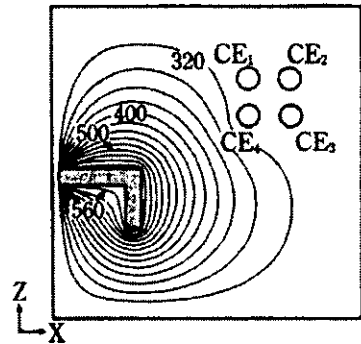


그림 5 펠 가공에 의한 금형 사상

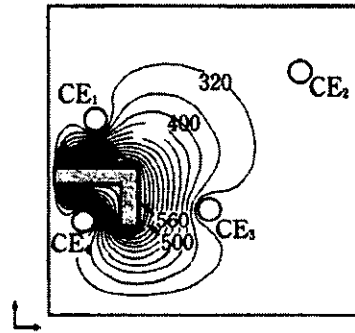
회전시키지 말고, 공작 기계의 이송계 만으로 다듬기 가공을 하는 펠 가공법도 개발되었다. 절삭 날 전체에서 절삭 속도는 균일해져서 절삭 깊이도 1 μm로부터 수 μm로 작은 것에서부터 고품질의 사상면이 얻어지는 것이 알려져 있다. 이러한 다듬기 가공법을 포함한 다축 가공용의 CAM 기능 개발은 중요하다.

5. 금형 설계와 CAE 기능

지금까지, 형 설계자의 노우하우에 의존하고 있던 형 설계도, 해석 결과에 근거하여 점차 설계가 이루어지고 있다. 그 하나로 수지의 유동 해석을 이용한 설계를 들 수 있다. 이러한 수지 유동 해석을 이용함으로써 Blow Mark 등과 같은 성형 불량 상황을 설계 단계에서 확인하거나 게이트의 종류, 게이트의 위치와 같은 게이트 법안을 결정할 때의 설계 데이터 생성에도 이용되고 있다. 정성적인 해석이 충분히 가능하고, 해석 소프트웨어 자체의 저렴화, 인터페이스 기능의 충실함도 있어, 형 설계 현장에서 많이 이용될 것이 예상된다.

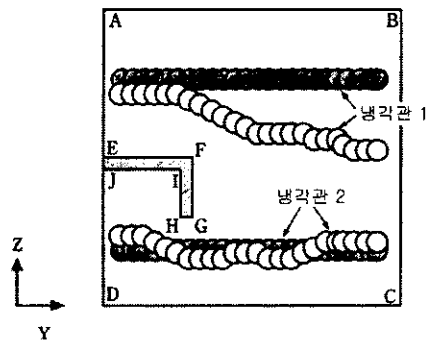


(a) 냉각관의 초기위치



(b) 최종위치(step69)

(1) 냉각요소의 자동배치



- 냉각관의 초기위치
- 냉각관의 최종위치 (step30)

(2) 2차원 공간상의 냉각관 배치

그림 6 냉각관의 자동 배치

한편, 3차원 Solid System과 구조 해석을 위한 Pre Processor 및 Post Processor 의 개발로 금형 전체의 3차원 구조 해석도 점차 가능해지고 있다. 성형 시의 금형 변형 거동을 해석하는 것으로 형 구조에 기인하는 생성 불량 의 인식과 대책, 나아가 금형 구조의 최적화에도 충분히 이용할 수 있다.

이러한 해석 수법을 이용하여 형 구조의 자동 설계를 하려는 시도도 이미 시작되었다. 그림6에는 정상 열전도 해석을 이용하여, 성형품 표면의 온도가 균일해지도록, 냉각관의 위치를 결정한 결과를 나타낸다 (1)은 2차원 해석 결과로 냉각관은 해석면에 수직으로 배치한 것으로 하고 있다. (2)는 냉각관은 해석면 상에 연속하여 배치된 것으로 하고 있다. (2)로부터 알 수 있는 바와 같이 냉각관 형상은 성형품에 따르도록 곡선형상으로 되는 것이 명확하게 되어 있다. 이 해석 수법은 3차원 형상에의 적용도 가능하고, 최적의 냉각관 형상은 현재 많이 이용되고 있는 직선상의 형상과 다른 것도 명백하게 되어 있다. 이러한 형상의 냉각관을 가공하는 수법의 개발이 전제가 되지만 현재의 냉각 방법을 재고해 볼 필요가 있다.

6. 결 론

현재의 3차원 Solid System을 베이스로 하여 CAD/CAM/CAE 기술과 형 제작의 현상을 소개함과 더불어 기술적인 과제를 명확하게 하였다. 이러한 3차원 Solid System을 중심으로 형 제작이 이미 시작되고 있다. 앞에서 기술한 것과 같이 형 설계에서 노우하우가 충분히 밝혀진 것은 아니고, 아직 개개의 기능도 충분하다고는 하기 곤란하다. 그렇지만, 2차원 도면을 없애고, 데이터에 근거한 형 제작의 방향으로 추진될 것은 틀림없으며, 가공 현장에서의 형상 확인을 위한 Viewer와 같은 새로운 기술 개발도 추진되고 있다.

이러한 새로운 생산 방식을 어떻게 도입하느냐 하는 것도 한편 중요한 과제라고 할 수 있다.

《일본정밀공학회지, Vol.67, No.3, 2001》

본 특집 기사는 건국대학교의 이성수 총무이사가 "일본정밀공학회지" 2001년 3월호 pp.382-385를 번역한 것으로 일본정밀공학회지의 연락처는 다음과 같다.

- 주소 : 102-0073 東京都千代田區 九段北 1-5-9, 九段誠和Building 2F
- 전화 : +81-3-5226-5191
- FAX : +81-3-5226-5192
- URL : <http://www.jspe.or.jp/>