

최근 사출금형 기술 및 연구 동향



양균의
전북대 교수
(자동차 부품 · 금형 TIC 소장)



이희관
전북대
(자동차 부품 · 금형 TIC 전임 연구원)



김연술
전북대 대학원
(기계공학과)

1. 서론

금형산업의 발전은 제조공업의 기반이며, 대량생산의 가장 좋은 수단이지만 아직까지 우리나라의 금형산업은 영세성을 탈피하지 못하고 있으며, 금형설계의 표준화가 아직까지 이루어지고 있지 않다. 금형산업에서 엔지니어링 플라스틱 등의 재료의 발달로 사출금형이 차지하는 비중은 커져가고 있다. 이에 따라 사출금형의 추이는 대형화, 정밀화, 자동화 추세로 나아가고 있다. 자동차 공업의 발달과 가전 제품의 대형화로 인하여 사출기는 250온스(OZ) 이상으로 대형화, 고속 정밀화 되어가고 있는 추세이다. 전자기기, 전산기기, 반도체 산업의 발달로 고정도의 정밀도를 요구하고 있으며, 박막화 되어가고 있다. 이것은 우리나라의 사출금형 발달을 위해서 필수적인 과제라고 볼 수 있다. 최근 전자 통신 산업의 발달로 전자 통신 제품이 급변화하고 있으며, 이들 제품의 디자인 또한 하루가 빠르게 급변하고 있다. 이와 같이 제품의 cycle이 단축되어감에 따라 제품생산을 위한 금형 제작기간 또한 빨라져 가고 있다. 위와 같이 단 납기의 금형 제작은 CAD/CAM시스템과 CNC장비

의 도움으로 가능하게 되었다. 하지만 금형 제작 기간의 단축만으로는 제품의 고품질과 짧은 cycle에 대응할 수 없으므로 제품의 고품질에 대응할 수 있는 연구가 요구되어지고 있다.

2. 사출금형설계

사출성형은 생산성이 좋으며 마무리 가공을 거의 필요로 하지 않는 정형 형태로 제조가 가능하고 복잡한 형상을 만들 수 있어 고분자 재료의 대부분이 사출 성형법에 의해 성형되고 있다. 최근 들어 가볍고 강도가 매우 높은 고분자 재료의 개발로 전기전자 제품은 물론 자동차, 항공기 등의 생산에 이르기까지 사출성형의 확대는 더욱 가속화되고 있다.

우수한 사출금형을 설계하기 위한 조건으로는 다음과 같은 항목을 들 수 있다. 첫 번째로 제품 디자인의 특색을 살릴 수 있고, 또 기능을 충분히 발휘할 수 있는 치수 정밀도를 가진 성형품을 만들 수 있는 금형 구조를 가져야한다. 두 번째로 성형품의 다듬질 또는 2차 가공이 적어야 하며,

성형 능률이 좋은 금형 구조이어야 한다. 성형 능률이 좋은 금형 구조라는 것은 짧은 시간에 사출이 이루어지는 런너 시스템을 갖고 성형품의 냉각과 ejection이 신속히 이루어지고, 런너 및 게이트의 제거가 쉬운 구조를 말한다. 다음으로 마멸, 손상이 적은 내구성을 가지면서 고장이 없는 구조이며, 제작 시간이 짧고 제작비가 저렴해야 한다. 이상은 사출금형설계 시 기본적으로 요구되어지는 조건으로 볼 수 있다.

제품의 개념설계로부터 실제 제품이 생산되기까지의 과정에서 모든 정보의 흐름은 다음과 같다.

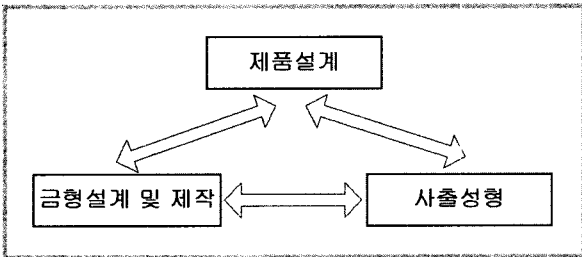


그림. 1 제품생산 과정에서 정보의 흐름

그림 1과 같은 정보의 흐름은 고품질의 금형과 제품을 생산해내는데 있어서 반드시 필요한 것인데, 아직까지 이러한 정보의 흐름과 축적의 전산화가 많이 되어있지 못한 실정이다. 이와 같이 상호간의 유기적인 연결과 원활한 정보의 흐름을 위해서 CAD(Computer Aided Design)와 CAM(Computer Aided Manufacturing) 시스템으로 설계와 생산 효율을 높이고, PDM(Product Design Management)에 관한 연구가 이루어지고 있으며⁽¹⁻²⁾, 금형설계에 대한 CAE 해석 및 설계변경을 거쳐 금형가공까지의 금형 제작 공정간의 디지털화를 통하여 금형제작의 납기 단축과 고품질화에 대응할 수 있는 연구가 수행되고 있다⁽³⁾.

사출금형 설계를 위한 엔지니어링 데이터베이스의 개발에 관한 연구⁽⁴⁾는 설계정보와 사출금형의 변수들을 관리할 목적으로 사출금형 생산의 CIM을 위한 엔지니어링 데이터베이스를 개발하였다. 데이터베이스는 제품데이터 관리 시스템과 직접 연결된다. 설계사양은 관리 정보의 통합을 갖는 금형설계의 초기 단계에서 생성된다. 설계 변수와 몰드

베이스에 대한 재료비가 CAD 과정에서 생성되고, 가공 데이터베이스로 전송된다. 제품과 몰드베이스에 대한 표준 모듈은 국제 표준과 현장 데이터를 이용하여 구성된다. 엔지니어링 데이터베이스는 사출금형설계와 생산의 CIM을 위한 중요한 정보의 루틴을 제공한다.

3. 성형불량 개선

일반적으로 사출 성형품의 품질은 제품의 외관으로 나타나는 성형불량으로 평가된다. 이러한 성형불량의 원인은 성형기, 금형, 성형조건, 수지 등의 요인이 복합적으로 작용하여 나타나게 되므로, 불량현상을 잘 파악하여 대책을 강구하여야 한다. 그렇게 하기 위해서는 원인과 대책에 대한 충분한 지식과 현장의 경험이 필요하게 된다.

현재의 사출성형 제품은 소형화 및 박막화되어가는 경향이 있으며, 정밀도와 외형의 미려함도 강조되고, 투명한 재질을 사용한 제품이 증가하면서 밀핀 흔적에 대한 연구가 더욱 필요하게 되었다. 또한, 금형 제조 원가 절감을 위해서도 밀핀 흔적을 방지하거나 개선하는 것이 필요하게 되어 원형 밀핀 흔적의 정량적 측정과 형성원리에 대한 연구가 있었다⁽⁴⁾.

대표적인 성형불량으로는 미성형(short shot)과 웰드라인(weld line)이 있다. 미성형(short shot)은 수지의 충전 부족으로 인하여 성형품의 일부가 미성형되는 것을 말하며, 웰드라인은 그림. 2에서와 같이 수지가 분기되어 충전되다가 합류한 부분에서 생기는 가는 선을 말한다. 미성형

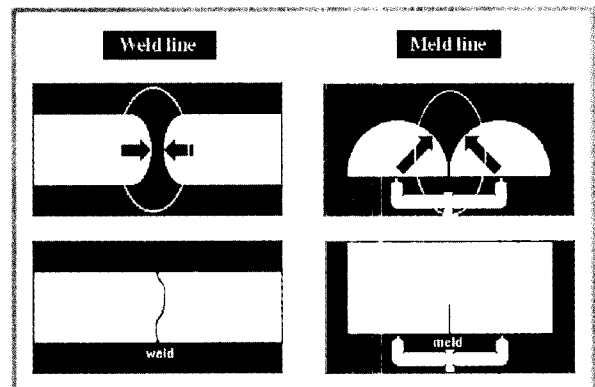


그림. 2 Weld line의 발생형태

과 웰드라인이 발생하는 원인으로 금형측면에서 알아보면, 유동전달시스템인 게이트(gate)와 런너(runner)의 영향이 가장 크다고 볼 수 있다. 이들 게이트(gate)와 런너(runner)는 용융상태의 수지가 흘러가는 홈이나 통로 또는 수지의 흐름을 유도하거나 제한하는 요소들로서, 이 유동전달 시스템의 성능에 따라 성형품의 외관, 물성, 치수 정밀도, 성형 사이클 등에 많은 영향을 미친다. 이와 같이, 사출금형의 설계에서 유동전달시스템인 게이트(gate)와 런너(runner)의 설계는 사출성형에 있어서 가장 중요한 항목 중에 하나이다. 이러한 유동전달시스템인 게이트(gate)와 런너(runner)에 대한 연구가 최근에 수행되었다⁶⁾. 사출성형 유동전달시스템의 설계는 전문가의 축적된 지식과 경험에 의존하여 이루어져 왔으며, 만족스러운 제품을 얻기까지 시행착오를 겪으며 진행되게 된다. 이렇게 경험자의 경험에만 의존하게 되는 경우에는, 제품의 형상이나 소재가 변하게 되면 이에 대한 신속한 대처가 이루어지지 못하게 되어 설계시간의 지연으로 인하여 제품의 경쟁력을 잃게 된다. 그림 3은 게이트와 런너를 보여주며, 그림 4는 게이트의 위치에 따른 성형불량의 형태를 보여준다.

위의 연구⁶⁾에서는 사출성형 금형설계에 있어 가장 중요시되는 주제 중에 하나인 유동전달시스템 설계에 주안점을 두고 유동전달시스템 설계를 위한 지지설계시스템 구축에 관하여 연구되었다. 이외에도 게이트 위치 설계에 대한 연구⁶⁾가 있다. 웰드라인과 overpacking과 같은 결함은 게이트의 위치를 적절히 선택함으로써 효과적으로 조절될 수 있다. 이 논문에서, 자동차 dashboard의 사출성형에 있어

서 게이트의 위치 설계가 CAMPmole로 행해졌고, 해석 절차의 효율을 향상시키기 위해서 런너 시스템을 시뮬레이션하기 위한 모조 런너 시스템을 개발하였다.

사출성형제품의 품질과 관련하여 성형불량을 평가할 수 있는 항목 중에 휨(warpage)은 성형 과정에서 성형품 내부에 발생된 불균일한 수축차로 인해 최종 성형품의 형상이 뒤틀리거나 휘어지는 현상으로서, 설계 제한조건 범위 내에서 제품의 치수 안정성을 얻고자 하는 설계자에게 가장 중요한 설계 목표가 된다. 이것은 제품 내에 발생하는 아주 작은 휨이라도 이로 인한 제품의 치수가 설계 허용 오차 범위를 벗어날 경우에는 의도했던 제품의 기능성이 현저히 떨어질 수 있기 때문이다. 또한, 휨 이외에 사출성형품에 흔히 나타나는 심각한 결함 중의 하나로 위에서 거론된 웰드라인을 들 수 있다. 이것이 외관을 중시하는 제품의 면 위에 나타날 경우에는 면의 품질이 떨어지고, 특히 웰드라인이 발생한 곳에서는 제품의 강도도 저하되기 때문에 제품설계자에게는 심각한 문제점으로 인식되고 있다. 이와 같은 성형 불량 최소화되는 고품질의 성형품을 얻기 위해서는 각 설계공간과 이들에 속한 설계변수인 수지(material), 금형(mold), 제품(part), 공정조건(process conditions)등을 동시에 제어할 수 있어야 하며 이는 이들 변수들의 최적 설계에 달려있다고 하겠다. 성형품의 결함을 최적화하기 위한 또 다른 연구로는 다음과 같은 연구가 있었다. 사출성형품 설계자들이 직면하고 있는 제품의 품질측면에서 제품의 휨과 웰드라인을 최적화하기 위한 자동 금형설계 방법을 제안하였다⁷⁾.

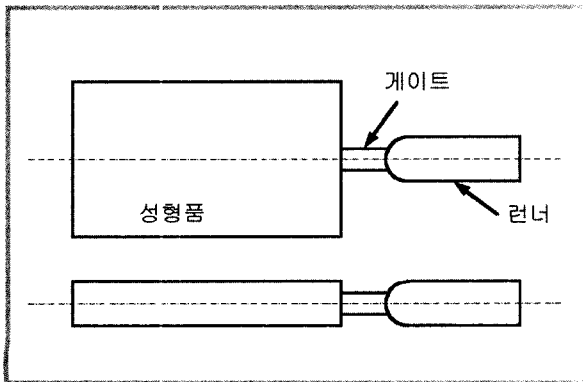


그림 3 게이트와 런너

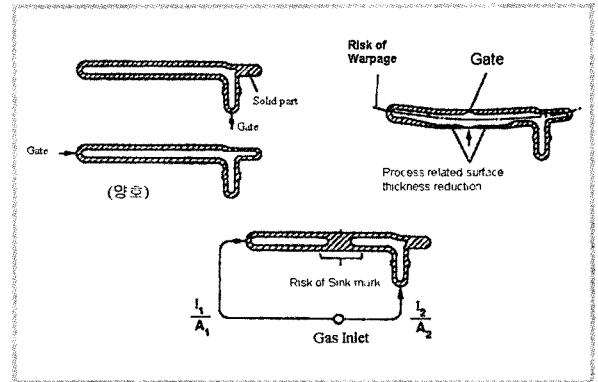


그림 4 게이트 위치에 따른 성형불량

사출성형품의 결함을 줄이기 위해서 과거에는 많은 시행착오에 의해 얻어진 경험과 직관에 의존하여 왔다. 그러나 오늘날 요구되고 있는 사출성형품의 품질과 치수 정밀도를 향상시키기 위해서는 수축과 변형을 야기하는 성형품 내의 압력과 온도분포를 정확히 예측하고 해석할 수 있는 정확한 수학적 모델링 및 해석기법이 이용되고 있다. 결국 그러한 수치해석을 통해서 사출성형 공정변수들의 복잡한 상관관계를 이해하여 금형제작 이전에 최적의 금형설계 및 성형조건을 결정할 수 있는 자료를 제공할 수 있다. 일반적으로, 사출성형용 CAE software는 유동, 냉각 및 변형해석 등을 할 수 있도록 되어 있으며, 해석을 통하여 게이트의 수와 위치선정, 런너의 크기 및 길이의 결정, 냉각회로의 설계, 웰드라인의 위치조절, 성형불량 현상의 방지 등에 기여하고 있다.

이러한 실제 성형조건을 시뮬레이션하기 위해서, 수지의 상변화와 압축성의 영향을 고려하여 사출성형의 충전과정을 해석하였다⁶⁾. 복잡한 형상과 여러 형상의 cavity를 갖는 경우에는 동시에 충전이 완료되기가 어렵다. 따라서, 다른 cavity가 충전되고 있는 동안에 먼저 충전이 된 cavity에서 고분자 수지는 압축을 받고 있기 때문에 사출성형품의 치수정밀도를 향상시키기 위한 좀더 정확한 압력과 온도분포를 예측하기 위하여 기존의 충전과정과 충전후과정(보압, 냉각과정)을 분리하여 해석하는 것이 아니라 고분자의 압축성과 상변화를 고려하기 위한 2상 모델을 사용하여 충전과정과 충전후과정을 동시에 해석할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

웰드라인을 제어하기 위해서 사출성형 유동해석에 관한 다음과 같은 연구가 수행되었다⁷⁾. 웰드라인은 사출성형으로 가공된 플라스틱 제품에서 관찰되는 결함으로, 이것은 성형압력, 온도, 속도, 게이트의 위치, 금형의 형상과 재료의 특성인 많은 인자로부터 기인한다. 이들 인자의 영향에 대한 연구가 유한요소법을 사용하여 수행되었다. 충전해석과 보압해석이 게이트의 구성과 cavity의 두께를 수정함으로써 수행되었다. 적당한 게이트의 위치가 성형압력, 온도, 속도와 고화층을 고려함으로써 결정될 수 있고, 그러므로 해서 웰드라인이 조절되었다. 웰드라인을 줄여주기 위해서, cavity에서 유동속도와 유동선단이 cavity의 두께를

수정함으로써 연구되었다. 결과적으로, 유동속도를 변화시킴으로써 유동선단이 cavity의 corner 주위로 연장되었고, 이로 인해서 웰드라인이 상당히 줄어들었다.

사출성형품은 주형상과 보조형상으로 구별할 수 있다. 주형상은 제품의 주된 기능을 수행하는 외관을 구성하게 된다. 보조형상의 지적설계에 관한 연구⁸⁾가 다음과 같이 행해졌다.

리브(rib), snap fits, 보스(boss)와 같은 보조형상들은 더 복잡하게 성형되어 성형 비용의 증가를 초래하지만, 보조형상은 조립, 강화, 성형성과 또 다른 기능적인 목적을 이유로 하여 주형상에 부착되어야 하지만, 적절하게 설계하는 것은 쉽지 않다. 이 논문에서는 쉽고, 시간과 비용측면에서 효과적인 설계방법인 ISFD(Intelligent Supplementary Feature Designer)이라 불리는 설계도구가 연구되고 개발되었다. 지적설계 시스템은 동시공학과 사출성형의 초기 설계단계에서 통합과 균형 있는 설계 결정을 갖는 CIM을 가능케 하는 새로운 도구이다. 현장에서의 보조형상 설계는 필요에 따라 금형 설계자에 의해 부가적으로 덧붙여지기 때문에 제품설계 초기 단계에서는 도면의 형태로 나오지 않는 경우가 많다. 보스와 스냅핏 같은 경우에도 작은 부형상이지만 사출성형의 전반적인 지식이 없는 설계자에 의해 도면화되면 사출성형시 많은 성형불량을 발생시키게 된다. 따라서 실제 현장에서는 경험이 많은 금형 또는 사출 전문가에 의해 도면이 수정되거나 혹은 추가되어진다. 금형 설계자가 제품도면을 넘겨받으면 자신의 경험에 비추어 파팅라인을 결정하고 런너, 게이트, 스프루, 냉각 채널과 같은 유동전달시스템(delivery system)을 설계한다. 그리고 제품의 형상에 따라 최대 변형이 예상되는 부분에 직관적으로 보조형상을 덧붙이고, 부형상의 치수나 위치 등은 지금까지의 경험에 비추어 설계하게 된다. 그러나 이와 같은 설계 방법은 오랜 경험이 축적되어 있지 않으면 매우 어렵고, 그 경험이 특정한 형상과 고분자 재료에 국한되기 때문에 새로운 형상과 고분자 재료를 이용한 신규 제품 개발의 경우 전문가의 경험도 그 한계성을 드러내 단번에 좋은 설계가 나오기 힘들고 여러 번의 시행착오를 거쳐야 하는 불합리성을 가지고 있다. 따라서 시행착오를 줄이고 전문가뿐만 아니라 설계초보자도 쉽게 부형상을 설계할

수 있는 소프트웨어를 개발함으로써 설계 단계에서 미리 금형 가공과 사출 단계에서 발생 가능한 문제들을 최소화 할 수 있다.

최근에 들어서는 컴퓨터와 사출성형 CAE(Computer Aided Engineering)의 발달로 인해 실제로 금형을 제작 하기 전에 성형 불량들의 발생 여부를 예측하여 설계에 반영할 수 있게 되었다. 그러나 상용 소프트웨어를 사용하고 있는 현재까지도 최적 설계의 어려움은 계속되는데, 이것은 현재의 사출성형 해석 소프트웨어가 뛰어난 기능에도 불구하고, 위에서 설명한 사출성형 공정에 내재된 문제점 들을 해결할 수 있는 최적 설계해를 직접적으로 제시해 주지 못하는 등 여전히 한계를 갖고 있기 때문이다.

4. 사출 성형기

고품질의 제품을 생산하기 위한 노력으로 가스사출 성형 이 연구되고 있다⁽¹¹⁻¹²⁾. 가스사출성형(Gas Assisted Injection Molding)은 금형 내에 적당량의 수지를 주입한 후에 불활성 가스를 주입하여 제품 내에 중공 구조를 형성 시키는 방법으로서 저압의 가스를 이용한 충전 및 보압을 통해 제품의 변형을 감소시킬 수 있으며, 가스채널(Gas Channel)의 설치를 통해 보압의 전달이 어려운 부위에서 수축을 방지할 수 있다. 또한 중공 구조를 형성시킴으로서 제품의 강성이 증대될 수 있으며, 살 두께가 두꺼운 제품인 경우 수지 절감 및 수축방지의 효과를 기대할 수 있는 성형

법이다. 하지만, 압력과 온도에 민감한 가스의 특성 때문에 가스채널의 설계나 가스 주입 조건의 설정이 적절하지 않으면 일반 사출에서는 볼 수 없는 각종 불량이 발생할 수 있다. 대표적인 불량으로는 수지의 충전이 완료되기 전에 가스가 수지의 유동선단을 뚫고 나가는 가스터짐(Gas Blowout)과 가스채널이 설치되지 않은 제품 영역으로 가스가 침투하는 가스퍼짐(Fingering)을 들 수 있으며, 의도 한 부위까지 가스가 충분히 주입되지 않을 경우에는 가스 채널에 수축이 발생할 수도 있다.

가스사출성형이 이상적으로 적용된다면 일반적인 사출 성형으로 생산하기 어려운 고품질의 제품을 생산할 수 있고, 이를 위해서 최적의 가스사출 금형설계가 요구되어지고 있다. 일반적으로 가스사출금형의 설계는 가스채널의 배치와 가스 주입구의 개수 및 위치결정, 가스주입조건의 최적화로 구성되는데, 가스채널의 배치는 가스사출성형의 적용 목적에 따라 좌우된다. 그림 5는 가스 사출성형의 가스 주입 방법에 따라 두 가지 형식을 보여주는 그림이다. 노즐 형식은 가스를 사출기 노즐을 통해서 하고, 핀 형식은 제품의 특정 부위로 가스 주입을 하게 된다. 그렇게 하기 위해서는 금형의 이동측에 가스 핀을 가공하여 설치해야 한다. 그림 6은 가스 사출성형의 네 단계를 보여준다. 첫 번째 단계로 수지를 금형 속으로 충전시킨다. 이때 차가운 금형면과 접촉되어 있는 부위에 고화층이 형성된다. 두 번째로, 가스 주입 단계로 질소 가스를 용융상태의 수지 속으로 주입하여 중공단면의 가스 채널을 형성하고 미성형 부

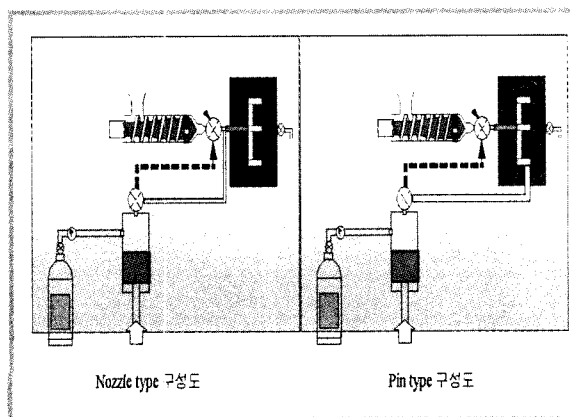


그림. 5 Gas Injection Molding

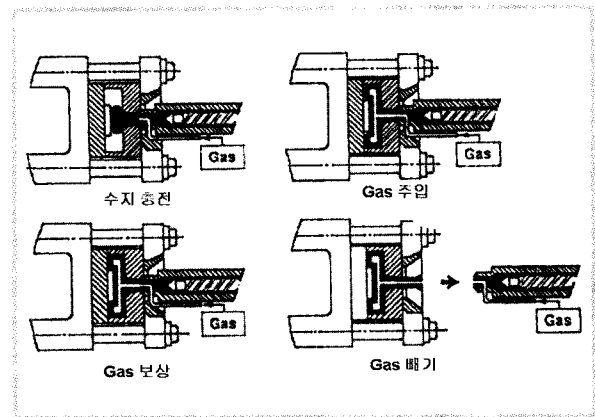


그림. 6 Gas Injection Molding Process

위로 수지를 밀어준다. 다음으로 내부까지 완전히 충전될 때 까지 가스를 계속 주입한다. 마지막으로, 가스를 배출시킨다.

5. 사출금형 제작 기술 및 연구동향

금형산업은 정밀한 CNC 가공 장비와 CAD/CAM시스템을 활용한 설비산업으로 변모하면서 저가격화, 고품질화와 더불어 제작기간의 단축에 대응하여 왔다. 그러나, 설비의 존적 기술로는 시장의 요구에 충분히 대응할 수 없게 되었으며 새로운 도전을 받게 되었다. IT와 자동화설비를 접목하여 새로운 경쟁력을 갖추기 시작했으며 그 근간에는 3차원 솔리드 모델과 숙련자의 경험과 Knowhow의 활용이 있다. 또한 금형가공에서는 고속가공기의 활용이 획기적인 시간단축을 이끌어가고 있다.

최근 3차원 솔리드 모델은 파라메트릭 방식(parametric)을 활용하여 모델 변경을 용이하게 지원하며, 곡면 모델(surface) 비해 CAE에 활용할 수 있고 STL 포맷에 의한 캐속조형(Rapid Prototyping)에 직접적으로 사용될 수 있다. 모델에 대한 정보를 다른 형태로 변환하지 않음으로써 변환에 따른 모델 정보의 손실과 시간 지연등을 배제할 수 있어 금형제작의 통합시스템의 근간을 이루고 있다. IGES 포맷이 주로 활용되고 있으나 STEP 등의 보다 발전적인 정보 교환 포맷이 활용되어 통합시스템의 개발이 가속화되고 있다. 즉, 제품설계 단계에서 금형설계와 제작, 금형을 이용한 성형, 유통과 재생까지 고려할 수 있도록 노력하고 있다. 현재 IT를 활용한 금형제작 공정을 Table 1에서 살펴보겠다.

CAD/CAM이 활용되면서 상대적으로 설계 공정이 병목 공정(Bottle Neck)으로 대두되면서 설계단계에서 CAE의 활용에 대한 관심과 필요성이 주목을 받고 있다. 금형은 가공 공정, 성형 공정 등에서 오차를 포함하고 있으며 시제품 생산 후 수정이 불가피한 것으로 알려졌다. 그러나, 시제품 생산 후 금형수정은 제품출시 지연의 주요인이며 CAE를 활용한 설계 변경의 최소화 등을 통해 금형제작 시간을 충분히 단축할 수 있다.

고속가공기는 고속회전과 고속이송을 이용하여 금형의

Table 1. IT화된 금형 공정

공정	작업내용
목업	· 제품의 외관 디자인, 부품의 조립시 간섭 검사 등을 디지털 목업과 캐속조형품으로 점검
제품설계	· 상세도 등이 CAD데이터로 주어짐 · 주어진 CAD에 근거하여 금형설계 진행
성형 시뮬레이션	· 금형설계의 검증 및 변경
금형가공	· CAM 시스템과 NC 가공으로 정밀가공 수행
성형	· 정밀성형을 위한 성형조건 제어 · 제품의 조립 등을 위한 시뮬레이션

수형(core)와 암형(cavity)등을 신속하게 가공할 수 있다. 최근에는 이송속도가 10m/min이상의 장비도 출현하고 있다. 작은 가공경로폭을 설정함으로써 STD 등의 고경도재료 가공과 연삭 등의 마무리 가공을 배제하는 가공방식으로 각광받고 있다. 이를 위해 NURBS 곡선 보간기능을 가진 CNC 제어기의 성능향상 등과 절삭부하 변동을 최소화하는 가공조건 설정이 중요하다.

더 나아가, 숙련자의 지식과 경험을 시스템에 구현할 때 진정한 IT와의 접목이 이루어진다고 할 수 있을 것이다. 단순히 우수한 설비로만 경쟁력을 갖출 수는 없으며 숙련자의 경험 등을 분석하여 시스템에 통합하고 정밀한 금형을 신속하게 생산할 수 있게 될 수 있다.

주요한 흐름은 위에서 언급한 바와 같지만 기타의 많은 방식들도 주목할 필요가 있다. 인터넷을 통한 협업작업의 시도, 성형시 정밀한 성형조건을 위한 온도 등의 성형조건 제어, 흑연을 활용한 대용량 방전가공이나 반도체나 광학부품 생산에서 형상엔드밀을 활용한 금형생산속도의 극대화, 등 각분야에서 정밀도와 생산성 향상을 위한 노력이 시도되고 있다.

6. 맺음말

이상과 같이 사출금형의 기술과 연구동향에 대하여 간략히 알아보았다. 사출성형의 시장이 날로 넓어져 가고 있는 상황에서 그 산업의 핵심 경쟁력이 저가격, 고품질과 더불어 제품 출시의 시간 단축으로 변화되어가고 있다. 이런 요건을 갖추고 경쟁우위의 위치에 도달하기 위한 노력으로

정밀성형, 고속성형, IT를 활용한 금형제작공정 등이 연구되어 질 것으로 예상된다.

참고 문헌

- (1) "사출 금형을 위한 협업 설계 시스템의 개발", 정종훈, 이 건우, 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제 5 권, 제 1 호, 2000, pp. 50-60
- (2) "사출금형 설계를 위한 엔지니어링 데이터베이스의 개발", 김성근, 허영무, 변철웅, 한국정밀공학회지, 제 17 권, 제 10 호, 2000, pp. 89-94
- (3) "역공학을 이용한 사출금형제작 공정에 관한 연구", 이희 관, 김형찬, 양근의, 한국정밀공학회지, 제 19 권, 제 6 호, 2002, pp.160-165
- (4) "사출성형에서 밀핀 흔적의 형성에 관한 연구", 한국정밀 공학회지, 제 19 권, 제 6 호, 2002, pp. 29-34
- (5) "사출성형을 위한 게이트 · 러너 지적설계시스템에 관한 연구", 이찬우, 허용정, 한국정밀공학회지, 제 18 권, 제 9 호, 2001, pp.192-203
- (6) "모조 러너를 이용한 계기관 사출성형의 게이트 위치 설 계", 한경희, 최두순, 김홍석, 대한기계학회논문집A, v.25, no.10, 2001, pp. 1575-1582
- (7) "사출성형품의 휨과 웰드라인을 최적화하기 위한 자동 금형설계 방법", 박종천, B.H.Kim, 소성 · 가공, 2000, 9, 5, pp.512-525
- (8) "압축성과 상변화를 고려한 사출성형의 충전과정 해석", 이상천, 박창언, 양동열, 한국정밀공학회지, 제 18 권, 제 12 호, 2001, pp.60-65
- (9) "효과적인 웰드라인 제어를 위한 사출성형 유동해석", 김 현필, 김용조, 한국공작기계학회논문집, Vol.10, No.2, 2001, pp.64-72
- (10) "사출성형제품 부형상의 지적 설계에 관한 연구", 강성 남, 허용정, 한국정밀공학회지, 제 18 권, 제 8 호, 2001, pp.164-173
- (11) "17" 평면모니터 front cover의 가스사출성형에 관한 연구", 김홍석, 대한기계학회 2001추계학술대회논문집 A, pp.766-771
- (12) "가스사출성형을 이용한 휴대용 화장품 보관함의 일체화 성형 연구", 이호상, 대한기계학회 2001추계학술대회논 문집A, pp.772-777