



THEME

04

초고온금형 시스템(E-Mold) 및 응용사례 소개

김기영 | 주식회사 나다이노베이션, 이사 | e-mail : kky@e-mold.co.kr
김동학 | 순천향대학교 나노화학공학과, 교수 | e-mail : dhkim@sch.ac.kr

이 글에서는 플라스틱 사출 성형에 있어 금형 표면온도와 용융 수지의 온도 차이로 필연적으로 발생하는 표면 결함, 미성형 등의 다양한 사출 성형 문제를 해결하기 위해 사출 사이클에 맞추어 금형 표면 온도의 급가열-급냉각을 제어할 수 있는 E-Mold 시스템에 대해 실제 양산 적용사례를 중심으로 소개하고자 한다.

최근 AV 가전, 모바일, 자동차 내장의 사출성형 부품에 있어서 디자인 차별화 요구는 기능의 차별화에 비해 그 중요성이 점점 커지고 있는 실정이다. 디자인적 차별화 수단으로 착색, 소재, 표면처리 등이 다양하게 적용되고 있으나, 이의 효과적인 구현을 위한 기본적인 전제는 사출품의 외관품질이 높아야 한다는 점이다. 또한 광학부품 또는 정밀기능부품에서는 요구 기능 구현을 위해 유리, 금속 등의 소재로 사용되던 많은 부품이 플라스틱 사출성형이 가지는 높은 생산성과 결합된 수지 사출부품으로의 전환이 활발하게 이루어지고 있다.

전자의 요구를 만족시키기 위해서는 성형 시에 불가피하게 발생하는 웰드라인(weld line), 흐름자국(Flow Mark), 표면 얼룩 등의 외관불량에 대한 개선과 고풍택의 표현 등이 가능해야 하고, 후자는 휨, 비틀림 등의 개선, 표면미세형상의 재현, 고기능 첨가제에 따른 성형의 어려움 등 다양한 과제를 극복해야만 가능해진다. 더불어 친환경의 관점에서 부품의 경량화, VOC 배출 규제 만족을 위한 무도장화 등에 대한 요구는 점점 커지고 있는 추세이다.

이러한 요구를 만족시키기 위한 다양한 노력이 시도되어 왔지만, 기존 사출 금형의 틀 안에서 수지, 사출 조건 등의 개선만으로는 일정한 한계가 있어 생산성과 품질 간의 적당한 타협을 통해 제품을 생산해 온 것이 사실이다. 근본적인 과제 해결을 위해서는 사출 성형(냉각)사이클에 따라 금형 표면을 가열-냉각하는 과정이

반복될 수 있게끔 금형 온도를 제어하는 것이 필요하다는 인식에 대해서는 누구나 쉽게 동의하여 왔다. 즉, 사출과정에서는 수지 유리 전이온도(Tg) 이상으로 금형 표면 온도를 유지하여 금형 내 유동성과 전사성을 향상시키고, 사출 후에는 바로 급격하게 표면 온도를 낮추어 줌으로써 변형 없이 빠르게 성형이 완료될 수 있게 해 주면 대부분의 문제 해결이 가능해진다는 것이다. 다만, 사출 생산성의 손실(사출 사이클 타임 증가에 따른 생산성 저하)없이 금형 내에서 어떻게 급가열-급냉각사이클을 구현할 수 있는가가 상용화의 관건이었다.

이러한 상용화의 문제를 해결한 기술이 최근 2000년을 전후하여 시장에 출현하였고, 특히 고풍택(High Glossy) 고품질의 무도장 사양을 요구하는 디자인 차별화의 시장 수요에 부응하여 TV 등 가전시장을 중심으로 급격하게 보급되기 시작했다. 이 글에서 소개할 E-Mold 시스템도 2005년 양산화에 성공, 현재까지 가전 시장은 물론 다양한 시장에서 양산 적용이 이루어지고 있는바, 그 적용 사례를 중심으로 그 특징을 살펴보고자 한다.

초고온금형 Heat Cycle 성형시스템

초고온금형 Heat Cycle 성형시스템(E-Mold)의 특징은 가열, 냉각매체의 단열과 열전도의 기구적 구성을 갖추고 있는 독특한 금형 구조에 있다.

친환경 사출성형을 위한 금속금형가열 기술

금형의 가열에 관해서는 가열 캐비티(Cavity)라 불리는 최소화된 피가열 체적을 갖는 열용량이 극히 적은 구조체에 가열원으로 에너지 발생효율이 매우 높은(고 밀도의 와트밀도) 카트리지 히터가 금형 표면으로부터 균일한 깊이로 삽입된 구조로 되어 있다. 냉각에 관해서는 냉각 블록(Block)이라고 불리는 냉각 전용 기능을 갖는 구성 부품이 가열 캐비티 배면에 가열 캐비티와 분리되어 배치되어 있다. 또한 가열 캐비티의 승온 효율, 냉각블록에 의한 냉각 효율을 높이기 위해 캐비티와 블록 사이에 공기 단열층을 갖는 구조로 되어 있다.

금형 동작 시에 공기 단열층의 유무를 발생시켜 고체 금속의 접촉에 의한 고효율의 열전도성을 이용하여 High Cycle 냉각 프로세스를 만들어낼 수 있는 시스템이다.(그림 1 참조)

고밀도 카트리지 히터의 개발

폴리카보네이트(PC) 등 150℃ 근방의 높은 유리전이 온도(Tg)를 갖는 수지에 있어서 물이나 증기에 의한 승온에는 한계가 있다. E-Mold 시스템은 높은 와트밀도를 갖는 특수한 카트리지 타입의 히터를 개발하여 다른 가열원에 비해 매우 용이하게 승온 한계를 높일 수 있

고, 최대 300℃까지 승온이 가능하다.

히터의 설치는 가열 캐비티에 표면으로부터 균일한 깊이, 균일한 간격으로 가공된 구멍에 삽입하는 형태로 되어 있으며, 특별히 가공의 어려움은 없다. 또한 캐비티의 직경은 6mm 정도의 미세경구조로 금형 강도의 유지와 가열 캐비티의 박판 구조가 양립될 수 있도록 개발되었다. 또한 정기 점검을 통해 히터의 교환이 필요한 경우, 쉽게 교환이 가능한 구조로 되어 있다.

금형 강도보강

적은 열용량을 갖게 하기 위해 가열 캐비티는 박판화 되어 있는데 높은 강도와 함께 충전시의 수지의 가스 발생에 따른 부식을 고려하여, SUS계의 재료를 추천하고 있고, 냉각 블록은 열전도율이 좋은 AI계 또는 Cu계의 재료를 사용하고 있다. 사출 충전 시에는 형체와 함께 냉각 블록이 가열 캐비티에 밀착되는 구조로 냉각 블록이 캐비티를 지지하게 되어 있어 사출 압력에 대한 금형 휨 등의 우려는 없다.

가열·냉각성능

가열 캐비티는 일반적으로 히터에 의한 가열 온도구

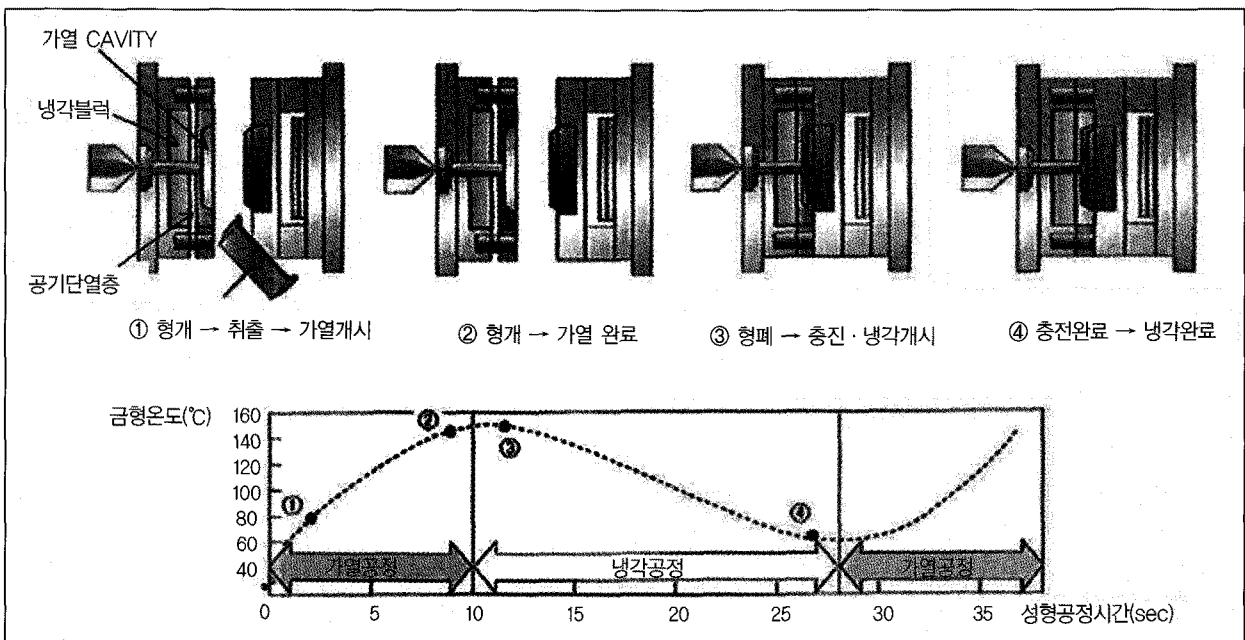


그림 1 E-MOLD 금형 프로세스

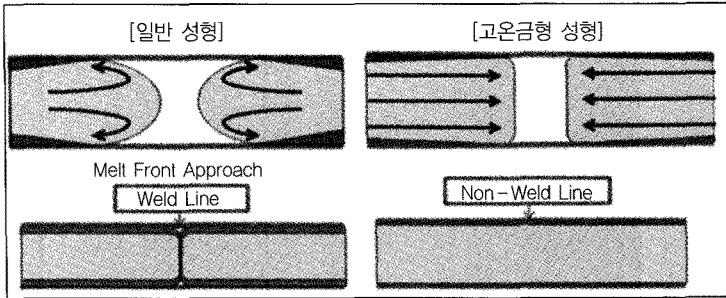


그림 2 고온 금형 효과(웰드레스)

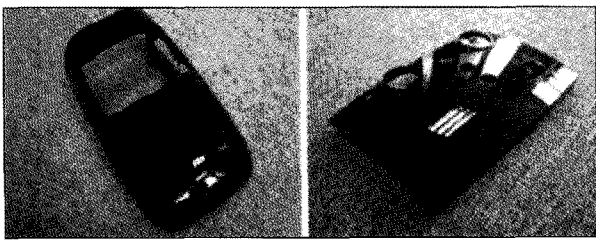


그림 3 웰드리스 고광택 성형품

배가 15초에 30℃에서 150℃까지 승온이 가능한 구조로 배치되며, 히터의 와트밀도를 높이면 보다 빠른 승온 속도를 얻을 수 있다. 동시에 냉각 블록의 온도 구배는 통상적으로 30초 내에 150℃에서 30℃까지 냉각이 이루어지도록 설계하고 있으나, 이 또한 냉각 칠러(chiller)의 설정 여부로 그 시간의 단축 및 조정이 가능하다. 형체와 동시에 열용량이 큰 냉각 블록이 가열 캐비티에 접촉되게 되면 순간적으로 냉각이 빠르게 이루어진다.

E-Mold 시스템의 적용 사례

고광택 고외관품질 구현

앞에서도 언급하였듯이 초기 초고온 금형기술은 TV 등의 가전제품에서의 사출제품의 표면 의장성 개선의 목적으로 적용되기 시작하였다.

사출성형의 충전 공정에 있어서 금형을 수지의 유리전이온도(Tg) 근방의 초고온 상태를 유지하게 되면, 웰드라인, 플로마크 등의 제거가 가능해지며, 경면의 금형 표면을 그대로 전사하게 되어 고광택의 외관 품질을 얻을 수 있다.(그림 2, 3 참조)

미세 패턴의 성형성 향상

광학 관련 부품의 경우, 광특성 등의 개선을 목적으로 표면에 1μm 이하 수십 나노미터 단위의 미세 형상 패턴의 성형이 필요한 부품이 있다. 이런 부품의 경우, 일반 금형으로 사출 시 캐비티 충전과정에서 유동성 저하로 미세 패턴의 전사가 불가능하게 되나, 초고온 금형 사출은 전사성이 우수하다는 특징으로 미세 패턴의 성형이 가능하다.(그림 4는 Anti Reflection 미세 300x300nm 패턴 전사, 그림 5는 LCD용 도광판 230nm 패턴)

수퍼 엔지니어링 + 고농도 필라 충전 수지에서의 초고온 성형

E-Mold 기술을 적용하면 최대 300℃까지 금형의 표면 온도를 올릴 수 있다는 것에 대해서는 전술한 바와 같다. 이에 따라 전기 커넥터 등에 초고온 내열특성 및 전기 절연성의 향상을 목적으로 하는 LCP 수지 등의 성형이나, 높은 전기 전도도 특성을 요구되는 연료전지용 분리판의 성형이 가능해져 그 적용이 구체화되고 있다.

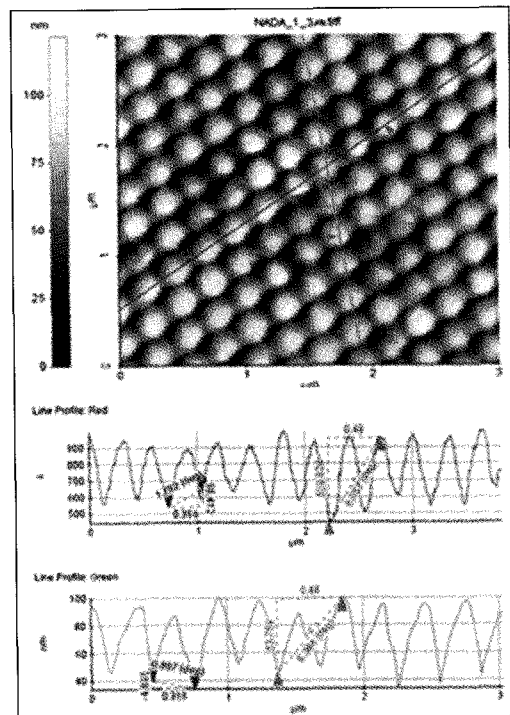


그림 4 Anti Reflection 미세 패턴 계측 결과

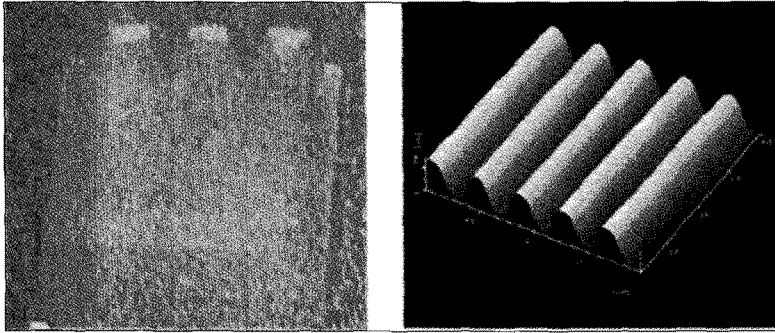


그림 5 LCD 도광판 미세 패턴 계측 결과

께 0.4mm의 패턴을 갖는 분리판의 성형 예를 보여주고 있다. 해당 수지는 고충전 필러로 유동성이 극히 나빠 280℃까지 금형의 온도를 올려주어야만 성형이 가능하다는 결과를 얻을 수 있었다.

3차원 입체 형상 구조

3차원 자유 곡면을 갖는 제품의 경우, 카트리지 히터로는 가열 캐비티면에서 균일한 거리로 배치하는 것이 곤란하다. 이 경우, 캐비티 표면 형상을 따라 가열 캐비티 배면에 균일한 깊이로 홈 가공을 해 주고, 그 가공면을 따라 곡면의 히터를 매립, 고정하는 방법을 채택함으로써 자유롭게 금형 표면의 온도를 균일하게 유지시킬 수 있다. 그림 7에 자동차 휠 커버의 사출 제품 및 금형의 적용 사례를 보여주고 있다.



그림 6 일반 금형에서의 미성형 및 초고온 금형에서의 성형 예

그림 6은 PPS 기본 수지에 카본 파이버(Carbon Fiber) + 흑연(Graphite)이 75% 충전된 수지로 박판 두

소형 사출품에서의 High Cycle 구형

핸드폰 배터리 커버와 같은 소형 사출물의 경우, 통

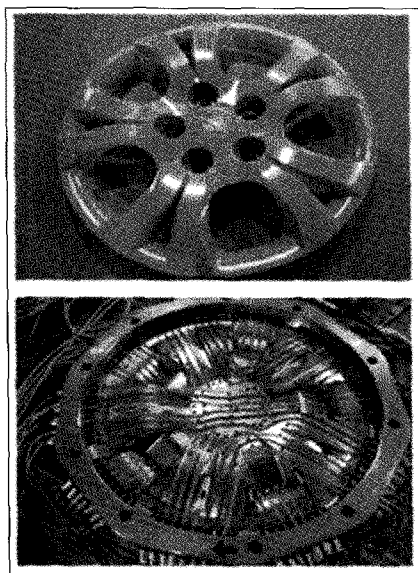


그림 7 상 : 입체형상 제품 적용 사례(자동차 휠 커버)
하 : 곡면 히터 매립 형식의 E-MOLD가열 캐비티

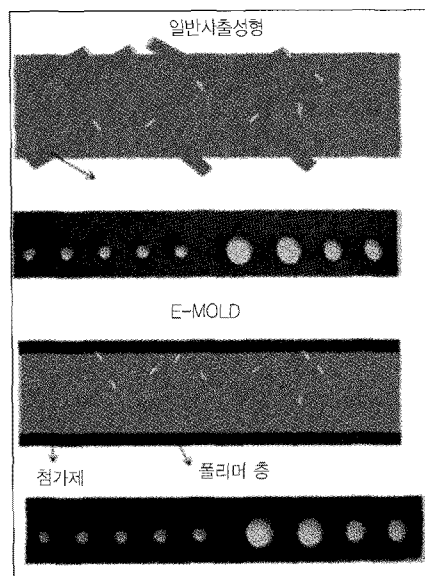


그림 8 상 : 일반사출 시 첨가물의 표면 돌출현상
하 : E-MOLD 성형 시 첨가물의 함침효과

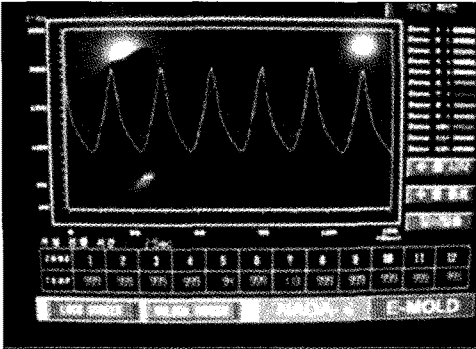


그림 9 E-MOLD 성형 시 제어기 화면

상적으로 15초 내외의 짧은 사출 사이클 타임을 갖는 것이 일반적이고, 또한 박판화의 경향을 보이고 있다. 그러나 박판화에 따라 충격강도 등 강성 보완의 필요성이 대두되고 있으며, 이를 위해 글라스 파이버(Glass Fiber) 등의 보강재료가 충전된 수지의 사용이 확대되고 있다.

고밀도 카트리지 히터와 냉각 구조의 변경을 통해 100℃에서 200℃의 Heat Cycle을 15초 내에 달성하였고, 유리 섬유를 수지 스킨 층 밑에 함침시킴으로써 미려한 표면을 얻을 수 있었다. 현재 노키아 핸드폰에의 양산 적용을 위한 최종 검증이 구체적으로 진행되고 있다.(그림 8,9 참조)

맺음말

이상에서 살펴본 바와 같이 초고온금형 기술의 하나인 E-Mold 시스템은 그 나름의 차별적인 특징을 바탕으로 하여 가전 분야에 한정되어 있는 현재 초고온 금형 기술의 수요를 자동차, 핸드폰 시장을 위시한 다양한 분야로의 시장 확대를 가시화하고 있다.

2010년 10월부터 미국 포드자동차가 이스케이프 2011년 모델에 E-Mold 시스템으로 사출된 제품이 양산 적용되기 시작하였고, 그를 통해 미국 SPE(Society of Plastic Engineers)로부터 작년 11월 Innovation Awards 를 수상하였다. 이러한 일련의 평가를 바탕으로 포드자동차가 전세계 자사 개발 차종에 본격적인 확대 적용을 위해 E-Mold 시스템의 특허 기술 사용권을 구매하는 결과로 이어졌다. 또한 핸드폰 분야에서는 주요 관련사와 양산 적용을 위한 연구 개발이 마무리 단계에 있는 등 성과를 구체화하고 있다.

시장에서 요구되는 품질의 수준을 만족시키고, 원가 절감으로 대표되는 생산성의 향상, 친환경적 기술을 양립시킬 수 있는 기술의 구현을 위한 그간의 노력이 급격한 시장확대로 이어질 것으로 기대하고 있다.



기계용어해설

충동(펠턴)수차(Impulse Water Turbine)

날개에 고속도의 분류를 충돌시켜 그 충동력으로 날개차를 회전시키는 장치를 갖춘 수차.

액침(Immersion)

현미경의 대물렌즈와 물체 사이에 1.6 정도의 굴절률을 가진 액체를 채워 현미경의 개구수를 증대시키는 것.

간접측정(Indirect Measurement)

측정량과 일정한 관계에 있는 양을 측정한 후 그 값을 계산 또는 환산표로 산출하여 측정값을 알아내는 방식.

간접 전동(Indirect Transmission)

서로 떨어져 있는 원동절과 종동절에 벨트, 로프, 체인 등으로 동력이나 운동을 전달하는 방식.

유도전동기(Induction Motor)

회전자 또는 고정자의 한쪽만이 전원에 접속되어 있고, 다른 쪽은 유도하여 동력을 얻는 대표적인 교류전동기.

공업용 로봇(Industrial Robot)

자유도가 5~6 정도로 사람의 손과 비슷한 작업을 자동화할 수 있고, 특정한 일을 행하도록 프로그램 가능한 제어장치를 갖춘 기계장치.

에디슨 효과(Edison Effect)

진공전구 안에 가열된 필라멘트에서 열전자가 방출되면 전자는 (-)이기 때문에 (+)의 전극으로 흡인되어 전류가 흐르게 되는 것.