

# 고분자 사출성형 기술동향

김월룡

## 1. 국내 사출성형 분야 산업 동향

최근 대형할인점 등에서 판매되는 플라스틱 제품을 보면 대부분이 라고 해도 과언이 아닐 정도로 Made in China가 휩쓸고 있으며, Made in Korea를 찾기가 쉽지 않을 정도이다. 1980년대에 일본이 사출성형 분야에서 선두에 선 적이 있고, 이어서 1990중반부터 2000년대 초까지 우리나라가 이 분야에서 일본을 능가하다시피 하게 되었는데, 이제는 중국이나 기타 국가에 밀리는 형상이다.

사출성형에 소요되는 비용을 수지, 사출기, 금형, 각종 utility, 인건비 등 5개 부분으로 나누면 수지와 인건비 부분이 많은 부분을 차지한다. 고분자 수지 비용은 제품화되는 원료의 비용이며 세계적으로 유사한 가격이므로 차이를 비교할 필요가 없다. 하지만, 인건비 부분에 대해 언급하면, 우리나라의 경우 통상적인 플라스틱 제품의 경우 값싼 중국의 인건비로 인해 경쟁력 저하로 이어졌고, 이는 생활용품 뿐만 아니라, 가전제품, 자동차, IT/OA제품 등 각종 산업 전반에 영향을 미치게 되어 보통의 기술이나 제품으로는 저가의 중국제품과의 경쟁에서 밀려 퇴출되지 벌써 수년째이다.

더욱이, 국내에 기반을 둔 사출성형 업체도 국내에는 간단한 설비와 운영직원 몇 명만 있는 공장을 두고 중국, 베트남, 인도네시아 등 인건비가 저렴한 해외에 주요 공장을 운영하는 경우가 적지 않다.

또한, 사출성형 산업의 특성인 물량이 있으면 하루 24시간 내내 생산하는 경우가 많다보니, 이 분야에 종사하는 사람들은 3D 직종으로 생각하여 내국인이 꺼려서 임시직으로 근무하는 외국인들의 수가 많아지고, 기술축적이나 신제품 및 신기술 개발에 대한 의욕이나 활동이 없어진지 오래이다.

이러다 보니 우리나라에서 사출성형 분야를 연구하거나 관련 업종에 종사하는 전문가들의 수는 더욱 줄어들어, 기술축적이나 신기술 개발이 활발하지 못하고, 외국으로부터 도입한 신기술의 제품화에도 급급한 경우가 적지 않다.

중국산에 밀려 고전을 면치 못하던 국내의 사출성형 관련업종 중 그나마 경쟁력을 어느 정도 확보하고 있는 IT업체나 가전업체 등에서 더욱 경쟁력을 향상시켜 타의 추종을 불허하고자 내세운 것들이 획기적인 원가절감, 우수한 제품품질과 디자인, 경쟁사가 흉내내지 못할 정도로 탁월한 신기술의 적용 등이다.

이로 인해 플라스틱을 사용하는 첨단 제품의 외관제품 등에 적용되

는 신기술이나, 인건비를 상쇄하고도 품질을 향상시킬 수 있는 제품이나 기술 개발에 힘을 써서 국내외로 널리 적용이 확대되는 분야도 있으며, 해외의 우수한 신기술을 접목해 생산성과 외관품질을 향상시키는 분야도 점차 늘어가는 추세이다.

이에 우리나라 사출성형 분야에서 경쟁력을 키울 수 있고 시장을 선도할 수 있는 핵심기술과 이와 관련된 분야의 현황 등에 대해 살펴보고자 한다.

## 2. 고품질 분야 기술 동향

### 2.1 금형가열

통상적인 사출성형에서는 금형온도가 30~80 °C 정도 유지되는 것이 일반적이다. 온도를 낮추는 이유는 급냉을 시켜서 냉각시간을 줄임으로써 생산성을 높이고자 함이고, 온도를 높이는 이유는 수지의 유동성을 개선하고 압력전달이 잘 이루어지게 하여 외관을 좋게 하고자 함이다. 특히 고온에서 성형해야 하는 수지나 G/F가 보강된 수지의 경우에는 90~120 °C 정도 유지하는 경우가 있다. 이렇듯 사출성형 공정의 특성상 고온에서 용융된 수지를 차가운 금형 내 빈 공간으로 주입하는 직후부터 수지는 냉각되기 시작하여 수지온도가  $T_g$  이하로 된 후 금형을 열고 제품을 취출하는 것이 일반적인 공정이다.

저온금형에 성형하면 충전 중 발생하는 weld line, flow mark, gate mark, sink mark, 광택도 저하 등의 외관문제 뿐만 아니라, 성형시 가해지는 높은 사출압력으로 인해 사출품 내부에 잔류응력이 존재하여, 성형 후 장기간 경과하거나  $T_g$  이하의 비교적 높지 않은 열에 의해 변형이 발생하기 쉽고 제품의 성능이 저하된다.



김월룡

1987 서울대학교 섬유공학과(학사)  
 1989 서울대학교 섬유공학과(석사)  
 1989~1997 삼양사 중앙연구소 선임연구원  
 1997~ 현재 LG화학 테크센터 응용기술팀 부장

### Technological Trend for Polymer Injection Molding

LG화학 테크센터 응용기술팀 (Worl Yong Kim, Product and Processing Technology Team, Tech Center, LG Chem, 84, Jang-dong, Yusung-gu, Daejeon 305-343, Korea) e-mail: wrkimb@lgchem.com

이러한 문제들은 성형품을 도장하거나, 사출시 수지온도나 금형온도를 높이거나, 금형설계에서 gate system을 개선하는 방법을 통해 어느 정도 해결할 수 있다. 하지만, 단점들도 존재하는데 도장은 환경 및 후가공비용이 과다해지는 문제가 있고, 수지온도나 금형온도를 높이면 cycle time이 길어져 생산성이 저하되며, gate system은 약간은 개선될 수 있으나 완벽하게 제거하기 곤란하다.

이 개선방안 중 단점을 최소화할 수 있는 것이 금형온도를 높이는 것이다. 즉, 금형 전체 온도를 올리기보다는 충전과정 및 보압과정에서 수지가 접촉하는 금형표면 온도만 올리고, 냉각과정에서는 내리는 것이 cycle time 및 에너지 효율성 측면에서 좋다.

금형표면의 온도를 높일 경우, 장점으로는 외관성능 향상, 유동성 향상, weld line 제거, flow mark 제거, 경면 금형의 광택도 향상, 무광부식금형의 무광효과 향상, 사출압 감소, 잔류응력 감소로 인한 변형 최소화 등이 있으며, 단점으로는 가열 및 냉각시간으로 인해 cycle time이 늘어나며, 가열설비, 가열/냉각 utility 비용, 특허사용료 등 비용이 발생하며, 고분자의 고유유동 특성인 분수유동(fountain flow)으로 인해 수지 내에 점도가 낮은 성분이 제품의 표면으로 분포하기 쉬워서 사출품의 표면경도 저하가 일어나기 쉽다.

이러한 장단점이 상존하는 가운데, 2000년대 초까지 실험적인 시도가 이어졌지만 상업화에는 고온에서의 금형 재질의 부식문제, 금형의 변형, 불균일한 표면온도, 가열/냉각시간의 과다 등으로 인한 생산성 저하 등 문제가 지속적으로 걸림돌이었다. 일본에서는 외관에 문제가 발생하는 부위에 할로젠 램프로 가열하여 개선하는 시도가 있었고, 한국에서는 제품 외관과 맞닿는 금형 표면을 분리하여 그 뒷면을 LPG 가스로 가열하는 MmSH(Momentary mold Surface Heating)라는 기술에 대한 특허가 출원되었고, 미국에서는 고주파유도전류에 의한 표면순간가열(RTR : Rapid Thermal Response, RHC : Rapid Heating and Cooling) 등의 기술이 발표되었지만,<sup>2,3</sup> 이러한 기술들은 상업화를 시도하였으나 성공하지 못했다.

한편, 일본에서 고온고압증기로 금형 표면을 가열하는 RHCM(Rapid Heat Cycle Molding) 등의<sup>4,5</sup> 기술을 상업화에 성공하였고, 이 기술들이 2004년 한국의 display 업체에도 controller 및 금형설계기술, 금형재질, 보일러 및 부대설비 등이 도입되어 제품개발에 적용되고 있다.

국내에서도 관련기술 개발이 진일보하게 되었는데, 화제시 대형사고로 번질 가능성이 큰 플라스틱 공장에서 위험하게 LGP를 이용하여 금형을 가열한다는 자체가 도입/확산에 큰 걸림돌이 되었고, 금형의 가열부에 설치된 gas channel 및 nozzle dimension에 의해 부위별로 gas 분사량이 다르면 온도편차를 최소화하기 어려운 등의 기술적 한계가 있는 MmSH를 보완한 것이 E-Mold이다.<sup>6</sup>

아래에서 RHCM과 E-Mold에 대해 좀 더 자세히 알아보기로 한다.

### 2.1.1 RHCM

일본의 Ono Sangyo, Fuji mold와 보일러업체인 Sysko 등이 Consortium으로 개발하여 Hitachi사의 PDP TV Front cabinet과 Fujitsu사의 laptop PC Housing 등에 적용되었다. 보일러를 이용하여 증기(150 °C, 5 kg/cm<sup>2</sup>)를 금형 내에 3차원적으로 가공된 열수관을 통해 금형을 가열한다. 냉각은 통상적인 냉각수를 사용하며, 냉각관이 열수관보다 금형 표면쪽에 가깝다. 이것은 **그림 1**과 같이 가열하는 시간보다는 냉각에 많은 시간이 소요되므로 냉각시간을 단축하기 위해 표면에 가까운 곳에 열수관 보다 작은 직경의 냉각관

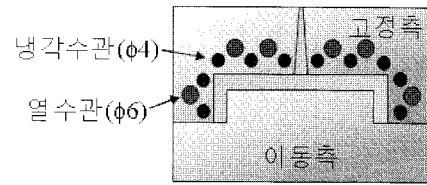


그림 1. RHCM 금형 모식도.

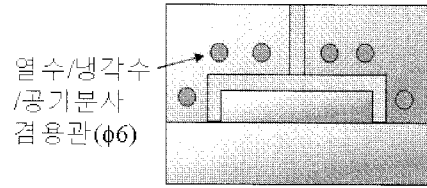


그림 2. HIT 금형 모식도.

을 많이 설치하여 균일한 냉각을 유도하고자 함이다.

금형가열시 열수관에 증기가 흐를때 냉각관에는 냉각수가 존재하므로 가열해야할 열적 체적이 많으므로 가열시간도 길어지고, 냉각시에는 열수관에 고온의 증기(또는 100 °C 이하의 열수)가 남아있으므로 냉각에 많은 시간이 걸리는 등 열효율 측면에서 매우 비효율적이다. 그래서 초기 RHCM은 하루당 보일러 운영비용이 100만원 정도로 비싼 적도 있다.

이보다 개선한 것이 국내의 금형온도조절기 업체인 (주)마상기공에서 개발한 HiTR<sup>TM</sup> 기술이 있는데, **그림 2**에서와 같이 동일한 관에 충전과정 직전 가열시 열수를 흘려보내고, 냉각과정 전에 압축공기를 뿜어 열수관 내의 열수를 재가열 장치로 보낸 후 냉각수가 흘러서 냉각을 하고 다시 열수 공급 전에 압축공기로 냉각수를 냉각수 탱크로 보내는 등의 단계를 거치도록 개발하여 열효율을 극대화시켰다. 이 기술이 유지비 절감의 효과가 매우 크므로 양산에 적용되다가 업체 및 사출체의 사정으로 돌연 사장되고 있다. 이 기술은 RHCM의 보일러 운영비용을 1/4 정도로 낮추는 방법으로 응용되고 있다.

열수를 이용한 기술의 단점은 비교적 열효율이 낮다는 것이고, 장점은 국내외의 display업체 등에서 양산사례가 많다는 것이다.

### 2.1.2 E-Mold

RHCM이 금형의 고정측에 표면에 가까운 곳에 열수관 및 냉각관을 설치하여 표면 부위만 가열/냉각한다고 해도 금형재질의 열전도 특성으로 고정측 전체의 온도가 상승하는 것은 피할 수 없는 단점이다. 이런 이유로 가열할 필요가 없는 고정측의 다른 부위까지 가열과 냉각과정을 반복하기 때문에 열효율 저하 및 에너지 낭비가 심하여 경쟁력이 낮은 것은 사실이다.

이런 단점을 해소할 수 있는 것이 충전 중 고온으로 유지하여야 할 제품의 외관이 형성될 금형의 표면층을 고정측 또는 이동측으로부터 일정 두께로 분리하여 이 부분을 충전/보압과정에서는 가열하고 냉각과정에서는 냉각함으로써 열효율을 높이려고 하는 기술이 국내의 NADA Innovation사의 MmSH이고, 이를 전기히터로 가열하는 방식으로 발전시킨 것이 E-Mold이다.<sup>8</sup> 분리되는 층인 가열코어는 열전도의 효율성과 내구성을 위해서 일정한 두께(통상 10 mm)와 형상을 가져야 한다. 지나치게 두꺼우면 열전도 효율이 떨어지고, 또 얇으면 열전도는 좋지만 사출시 높은 사출압 및 형체력에 의해 변형, 파손의 우려가 있기 때문에 적절한 두께가 필요하다.

**그림 3**은 이동측에 있는 형상을 가열코어로 분리한 금형의 모식도

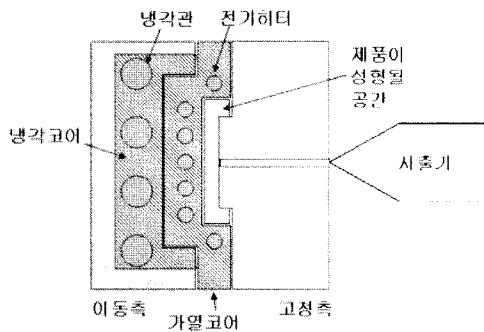
이다. 가열코어에 직경 5 mm 또는 6 mm의 전기히터가 장착되고, 이동측에는 냉각효율을 좋게 하기 위해 열전도가 우수한 Be-Cu 합금 또는 두랄루민 등으로 냉각코어를 사용하기도 한다.

**그림 4**의 가열코어는 전기히터를 사용하여 금형이 열린 직후부터 닫히기 직전까지 일정시간 동안 가열되고, 금형이 닫히면 이동측과 가열코어가 밀착되어 냉각되기 시작한다. 두께 10 mm의 금속층의 열전도 시간이 어느 정도 있기 때문에 충전과정과 보압과정까지의 통상적인 시간 내에서는 가열코어의 수지가 맞는 표면이 냉각되지 않기 때문에 이 과정에서는 표면온도가 높은 상태에서 수지가 사출된다. 따라서, 통상적으로 냉각과정부터 용융수지의 열을 전달하기 시작한다.

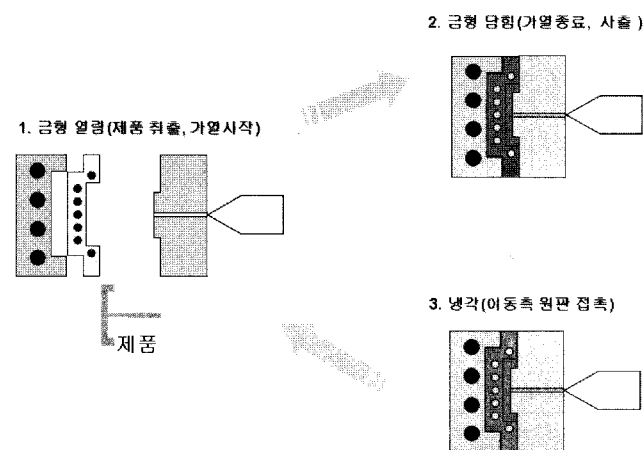
E-Mold는 개발초기에 전기히터의 잦은 단선으로 인한 불량률이 많았으나, 열전달해석 및 설계최적화를 통해 know-how를 쌓아 최적화된 설계로 단선불량 등의 문제가 없는 우수한 기술로 발전시켰고 지금은 전세계적으로 150여대 이상의 controller 판매 및 650벌 이상의 금형에 적용했을 정도로 안정화되었다.

NADA Innovations사의 이 기술은 기존의 불균일한 가열로 인한 온도편차 및 화재의 위험 등의 MmSH의 문제점들을 극복하였을 뿐만 아니라, RHCM 등의 기술로는 불가능한 금형온도 150 °C~350 °C 구현도 가능하여 engineering plastics 뿐만 아니라 super engineering plastics 등의 가공에도 유용하게 사용될 수 있다.

국내의 display 업체에서 이 기술을 아직 사용하지 않고 있거나, 해외 공장 등에서 극히 일부 사용하고 있는데, 그 이유는 이 기술이나 설비의 문제가 아니라, 2004~2005년에 투자했던 RHCM 설비를 사용하고 있기 때문이다. Utility 비용을 따지면 RHCM에서 E-Mold로



**그림 3.** E-Mold 금형 모식도.



**그림 4.** E-Mold 공정 순서(가열/사출/냉각 단계).

의 전환을 긍정적으로 고려할 필요가 있다.

E-Mold는 현재 국내기업 뿐만 아니라 일본기업, 중국기업, 대만기업의 중국, 대만, 말레이시아, 베트남, 슬로바키아 등의 현지공장에서 LCD TV와 monitor, PDP TV, notebook PC housing, home theater housing, 냉장고 등의 고품격 무도장 제품에 널리 사용되고 있고, 가전제품, 자동차 내외장부품 등으로 적용제품군이 확대되고 있다.

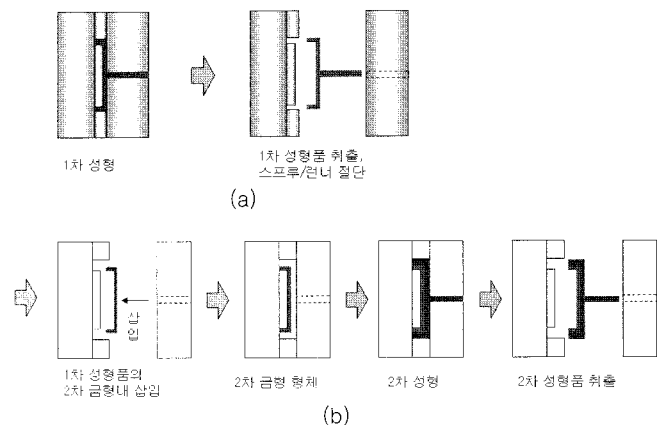
앞으로 재활용 규제(WEEE) 및 환경규제(RoHS)에 대응하기 위해서는 도장을 하지 않고도 외관품질을 높일 수 있는 기술의 중요성이 부각되는데, E-Mold는 양산성, 고온, 열효율 등의 장점으로 인해 더욱 적용범위가 넓을 것으로 기대된다. 또한, 특수용도의 사출성형에 보조기술로 사용되고 있는데, 구체적인 내용은 해당기술 소개에서 설명하고자 한다.

## 2.2 이중사출성형

이중사출성형이 최근에 개발된 기술은 아니지만, 다성분 사출성형 공법(multi-component injection molding)의 한 부분으로서 그동안 중소형 제품에 국내외에 간간히 적용되어왔다. 명맥을 유지하던 수준의 기술인 이중사출성형이 최근 다시 각광받는 이유가 그 동안 정밀도 문제로 각종 불량을 유발하기 쉬운 이 공법이 축적된 높은 정밀도의 금형가공기술 및 사출성형기술을 바탕으로 display 등 비교적 대형제품에 적용하기 시작하면서 고품질 제품의 출시에 획기적으로 기여하고 있다.

일반사출성형은 사출부와 형체부가 각각 1개씩 있고 1회 사출로 1개 제품을 성형할 수 있다. 만약, 일반사출성형기 2대와 금형 2벌로 이중사출성형과 같은 효과를 내려면, **그림 5(a)**와 같이 첫번째 사출기와 금형으로 1차 사출 후 **그림 5(b)**와 같이 두번째 사출기와 금형에 1차 성형품을 삽입하고 2차 성형을 한다. 이렇게 할 경우, 2차 사출시 고온의 2차 성형 수지에 의해 1차 성형품 표면에서 온도차가 생겨 변형과 수축이 발생하며, 2차 사출압에 의한 1차 성형품에 크랙이 발생할 가능성이 있는 등 불량률의 소지가 매우 많다. 또한, 1차 성형품과 2차 성형품과의 계면에서의 접착성도 저하되는 등의 기능상의 불량도 문제될 수 있다.

이중사출로 제품을 성형하게 되면, 사출기에 사출부 2대와 제품 2종의 cavity가 있는 금형 1벌이 필요하다. **그림 6**과 같이 금형내 고정측 cavity가 서로 같지 않고 한 쪽이 다른 쪽보다 큰 형상이어야 한



**그림 5.** (a) 일반 사출성형 : 1차 성형 and (b) 일반 사출성형 : 1차 성형품 삽입 후 2차 성형.

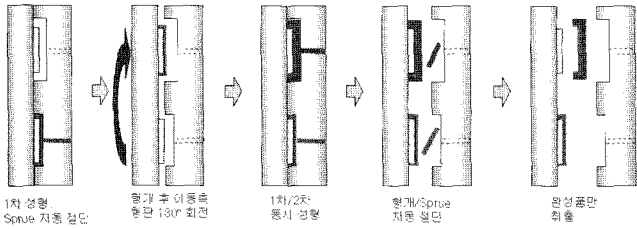


그림 6. 이중사출성형 예(형반회전 방식).

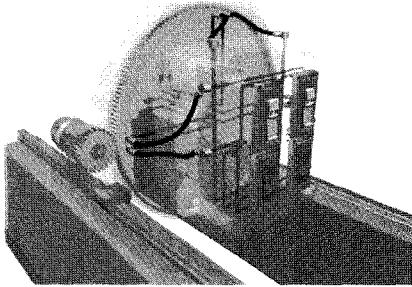


그림 7. 형반회전방식 이중사출성형기.

다. 1차 사출 후 성형품이 냉각되기 전에 금형이 열리고 이동측에 붙어있는 그대로 회전하여 2차 수지가 성형되고, 한편으로 새로운 1차 사출이 동시에 진행된다. 1차 사출한 제품이 2차 cavity 내에 있는 상태에서 2차 사출수지에 의해 덮여지기까지 장시간이 소요되지 않기 때문에 1차 성형품의 수축과 변형이 심하지 않아서 양품을 생산할 수 있다.

이중사출 기술의 분류는 형체부에 따른 분류 및 사출부의 위치에 따른 분류 등으로 구분될 수 있는데, 형체부에 따른 분류 중 형반회전 방식에 대해 간단히 언급하기로 한다.

**그림 7**은 이동측 형반이 회전하는 형반회전 다성분 사출성형(rotary injection molding)이다.<sup>9</sup> 이 그림에서 금형 1벌에 휴대폰 케이스가 2개씩 설치된 형상을 보여준다. 즉, 하측 2개 형상은 1차 성형품을, 상측 2개 형상은 1차 성형품 위에 2차 성형된 제품을 보여준다.

이런 방식은 휴대폰 케이스와 같은 소형제품의 이중사출성형에 적용이 용이하지만, LCD TV front cabinet 등과 같이 대형제품에 적용하기 곤란하다. 소형제품은 사출기의 형반이 넓지 않아도 되지만, 대형제품의 경우 제품의 면적이 사출기의 형반보다 작다고 하더라도 cavity 2개가 하나의 형반에 존재하는 형반회전 방식을 사용하려면 사출기가 감당할 수 없을 정도로 넓은 면적의 회전 형반이 필요하기 때문이다. 따라서, 통상적인 형반회전 방식이 아니라 특별한 방식을 사용해야만 한정된 크기의 사출기에서 이중사출성형이 가능하다.

통상적인 고정형반과 이동형반 외에 별도로 타이바 하부에 **그림 8**과 같이 중간에 지지형반을<sup>9</sup> 설치하였다. **그림 9**와 같이 좌우에 사출부가 각각 1개씩 있고, 2 cavity의 고정측 형반(plate)은 사출기의 고정형반과 이동형반에 각각 장착되고, 2 cavity의 이동측 형반은 중앙 지지형반 위에 장착된다. 1차 사출시에는 금형이 닫혀있고 금형이 열리면 180° 회전하여 2차 사출 및 신규 1차 사출이 동시에 진행되어서 LCD TV front cabinet과 같은 대형 이중사출품을 성형할 수 있다.

이런 이중사출성형기 기술을 LCD TV 등과 같은 대형제품에 적용하게 되면, 일반적인 성형방법보다 우수한 품질의 제품을 비교적 저렴하게 생산할 수 있는 장점이 있다. 예를 들어 **그림 10**과 같이 적용하

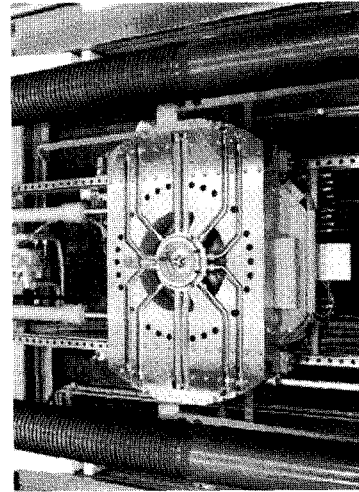


그림 8. 특수 형반회전 성형기의 중앙지지형반.

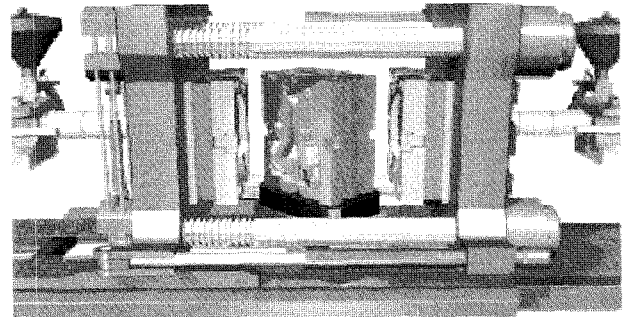


그림 9. 특수 형반회전 이중사출성형기와 금형 동작.

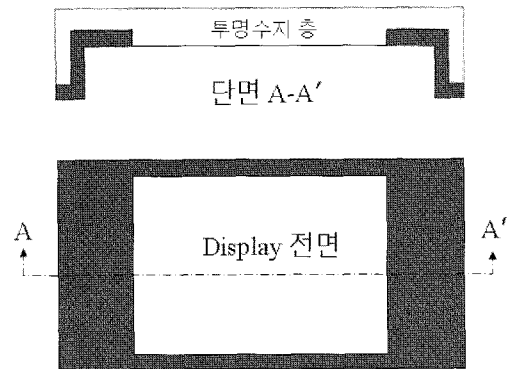


그림 10. 이중사출성형의 대형 평판제품 적용 예(개념도).

게 되면, 화면부에는 투명한 수지를 사용하여 기존 LCD display의 화면을 투명층이 보호할 수 있으며, 전면 전체를 덮었기 때문에 투명수지층이 내스크래치 성능 등이 우수하면 유리로 전면을 덮은 것보다 원가절감 및 경량화가 가능하다. 또한, 좌우측 스피커 부분은 투명층 밑에 배경색이 있어서 칼라 디자인 측면에서 심색성을 부여할 수도 있고, 그라데이션(gradation) 효과도 부여할 수 있다.

### 2.3 사출압축성형

일반적인 사출성형 제품은 충전 및 보압과정에서 매우 높은 사출압을 받게 되고, 이 압력은 사출성형공정 내에서 완전히 제거되지 못하고 잔류응력으로 존재하게 되고, 사용환경에서 온도의 영향을 받거나 시간의 변화에 따라 내부의 잔류응력이 해소되는 과정에서 변형 또는

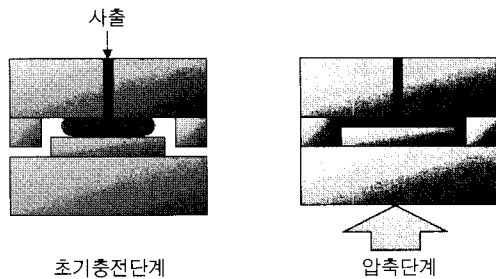


그림 11. 사출압력성형.

성능저하가 발생한다. 특히 최근의 사출제품의 경향과 같이 두께가 얇아지는 경우 사출압은 더 증가하고, 잔류응력은 더욱 심해진다.

이를 해소하기 위한 방법으로 사출압축성형이 적용되고 있다. 종류로는 사출압력방식(injection pressure)과 사출압축방식(injection compression)이 있다.

사출압축방식은 그림 11과 같이 금형이 완전히 닫히 않고 약간 열린 상태에서 충전되는 방식이고, 사출압축방식은 금형이 닫힌 상태에서 충전되지만, 매우 낮은 형체력을 설정하였으므로 충전압에 의해 금형이 약간 열리게 된다. 두 방식 다 압축단계에서는 보압 대신 형체력으로 이동축을 달아 압축하는 방식으로 차이가 없다. 따라서, 가스배출 측면에서는 거의 차이가 없지만, 사출압축방식은 사출압력방식보다 mold flash를 줄일 수 있고, 사출압력방식에서 쉽게 나타날 수 있는 flow mark를 줄일 수 있다.

사출압축성형의 장점은 낮은 압력으로 수지의 충전을 유도하고 충전 도중 또는 종료 후, 주로 금형을 압축하는 것으로 보압을 대체할 수 있으므로, 균일한 압력으로 충전/보압이 이루어지기 때문에 제품 전체의 압력 차이를 최소화할 수 있어서, 수축차이가 줄어들고 변형이 줄어든다. 낮은 사출압에서도 전사성이 우수하고, 낮은 충전압/보압을 사용하므로 잔류응력을 최소화할 수 있고 수지의 배향성을 완화할 수 있다. 따라서, 광디스크와 같이 높은 정밀도와 낮은 잔류응력이 요구되는 제품의 성형에 적합한 공정이다.

단점은 특수 사출성형기가 필요하며 정밀제어가 요구된다. 또한, 금형구조가 복잡하고 제작비용이 상승하며, 제품 형상에 제한이 있을 수 있다.

일반사출성형과 사출압축성형의 압력변화를 비교하면 다음과 같다.

일반사출성형 공정은 가스벤트를 설치하더라도 충전단계에서 공기 저항이 있고 유동층 단면이 얇기 때문에 충전압이 높다. 또한, 그림 12와 같이 제품에서 게이트로부터 최종충전 위치에 이르기까지 압력 차이가 있으므로 보압단계에서 압력차이가 해소되지 않으면 수축 차이가 발생하여 변형발생이 쉽고, 잔류응력이 많을 수 있다. 사출압축성형은 그림 13과 같이 초기사출단계에서 공기 저항이 없고 유동층 단면이 두꺼워서 비록 게이트로부터 최종충전 위치까지의 압력차이는 약간 발생하지만, 전반적으로 충전압이 낮다. 보압단계에서는 제품의 전체 면적에 걸쳐 고르게 형체에 의한 보압을 받으므로 제품의 위치에 따른 압력차이가 거의 없어서 수축차이가 거의 없고 변형과 잔류응력이 최소화될 수 있다.

최근의 추세는 금형가열과 이중사출성형 및 사출압축성형 등 3종의 기술을 함께 접목하여 LCD TV 등 대형 display 제품에 표면 전체를 투명 수지(예 : 투명 ABS, PMMA, PC 등)로, 내부 frame 부분(그림 10의 회색 부분)은 불투명 수지(예 : ABS, PC/ABS 등)로 성

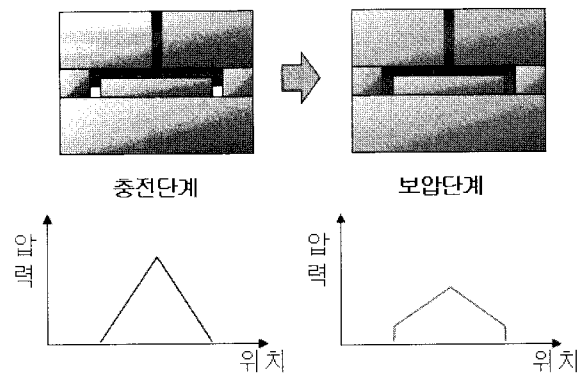


그림 12. 일반사출성형 공정.

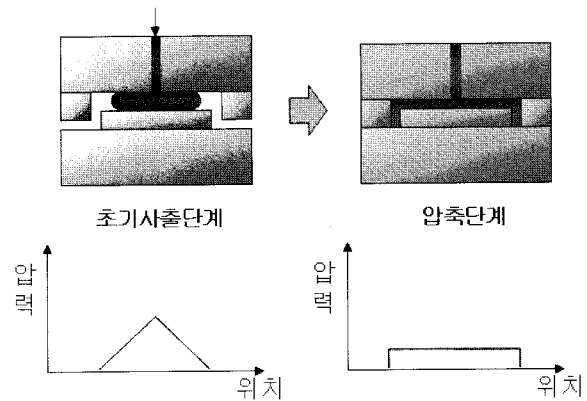


그림 13. 사출압축성형 공정.

형하되, 게이트로부터 멀리 떨어진 부분까지의 압력차이를 최소화하면서 2개 이상의 게이트를 사용할 경우 weld line도 제거하고자 이중사출성형 및 금형가열을 적용하여 외관 광택도도 높이고 일체화 성형도 가능하게 하면서 사출압축성형으로 충전압을 낮출 수 있어서 잔류응력 및 변형도 최소화한다. 잔류응력이 낮아지면 투명 부분에 주로 발생하는 복굴절률 차이에 의한 무지개색과 같은 색상차이도 제거할 수 있다. 이렇듯 예전에 새로운 성형기술로 대두되던 사출성형 최신품들이 지금은 새롭게 재조명 받으면서 2~3종의 공법이 동시에 한 제품의 개발에 적용되는 경우가 있다. 이런 기술들을 통해 쉽게 모방할 수 없는 아주 우수한 품질의 제품을 출시할 수 있어서 제품의 경쟁력을 높일 수 있다.

### 3. 원가절감 분야 기술 동향

#### 3.1 무도장 기술

사출성형품의 외관 특성을 향상하는 방법 중 대표적인 방법이 도장인데, 그 종류는 고풍택, 무광, 내스크래치성, 내마모성, SF(soft feel), 금속질감, 진주질감 등 매우 많다.

일반적으로 플라스틱 제품의 표면에 도장을 하는 경우 열경화성 수지의 원료성분들을 용제에 녹인 용액에 기능을 부여하는 특수 성분을 일정비율로 녹여 제품표면에 도장한 후 고온이나 기타 적절한 환경에서 용제 성분은 증발하고 남은 성분은 경화하여 열경화성 수지와 수지 내에 기능을 부여받은 성분이 조밀하게 존재함으로써 도장으로

서 추구하려던 목적에 맞는 기능을 수행하는 것이다.

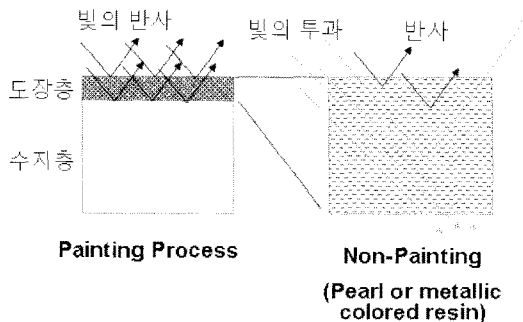
이렇게 할 경우 웬만한 외관불량이 발생한 성형품도 도장을 통해 양품화할 수 있고, 제품의 기능성 및 질감도 향상시킬 수 있지만, 성형품 표면에 있는 도장 성분을 제거하기 어렵기 때문에 재활용이 불가능하여 WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment), RoHS(Restriction of the Use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment) 등 환경규제에 대응하지 못하여 수출이 어렵고, 통상적으로 도장 비용이 사출품을 성형하기까지의 총비용을 증가하여 가격경쟁력이 없다. 예를 들어 성형품에 사용된 수지가 가격 500원, 사출비용(기계감가상각비, 인건비, utility비 포함) 500원하여 성형품의 총비용이 1,000원이라면 통상적으로 도장 비용만 1,000원 이상이므로, 성형품의 원가는 2,000원이 된다. 도장을 하지 않고도 특수한 질감을 낼 수 있는 수지가 가격 1,000원이라면 사출비용 포함하여 1,500원이므로 제품 1개당 500원의 원가절감이 가능하여 경쟁력을 갖추게 된다.

따라서, 최근의 추세는 가전제품, display 제품, IT제품, 자동차 내외장재 등에 도장을 하지 않고도 도장한 것과 유사한 질감을 구현함으로써 원가절감을 꾀하고자 하는 추세이나, 기술적인 한계가 많아 상업화하기가 어렵다. 각각의 문제점과 개선방안에 대해서는 아래 구체 기술에서 언급하기로 한다.

### 3.1.1 무도장 Pearl Color 및 Metallic Color

플라스틱 제품에 pearl 또는 metallic 색상을 부여하기 위해 일반적으로 pearl 안료나 metallic 안료가 함유된 혼합액을 사출품 표면에 도장하여 질감을 부여한다. 일반적인 pearl 안료나 metallic 안료는 우수한 질감을 위해 편상형태를 사용하는데, aspect ratio가 수십~수백 수준이다. **그림 14**의 좌측과 같이 사출품에 도장하면 편상입자가 표면에 평행하게 배열함으로써 넓은 면적에서 빛을 반사하거나 회절을 일으켜 금속질감 또는 진주질감을 나타낸다.

이 안료를 수지에 혼합사출할 경우 **그림 14**의 우측 그림과 같이 안료층이 성형품 전체에 분포하게 되므로, 도장액과 동일한 함량의 안료를 수지에 혼합할 경우에 표면층에서 빛을 반사할 안료가 도장공법보다 많지 않기 때문에 질감이 저하된다. 이를 극복하기 위해서는 많은 양의 안료를 투입해야 하는데, 수지 측면에서는 불순물이 많이 포함되는 것이기 때문에 기계적 물성저하와 유동성 저하 및 외관불량이 발생할 소지가 매우 크다. 대표적인 외관불량으로는 weld line 부근에서 수지의 weld line과 무관하게 안료성분에 의한 weld line이 발생하며, gate 주위, 흐름이 복잡한 부위, 충전말단 부위 및 gas vent가 잘되지 않는 부위 등에서 안료성분에 의한 flow mark도 발생한다. 이런 불량들은 단순히 성형조건만으로 개선하기 불가능하고, 고점도



**그림 14.** 도장층의 반사.

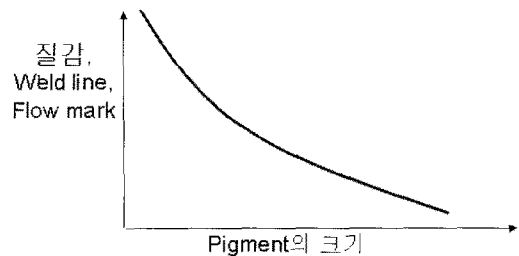
유체 내에 편상형 입자의 거동에 대한 이해가 선행되지 않으면 해결하기 어렵다.

**그림 15**은 안료의 크기와 사출품의 표면질감 및 불량과의 관계를 나타낸 것이다. 일정한 무게 비율로 투입할 경우 안료의 크기가 클수록 안료의 질감은 떨어지지만, 안료의 개수가 적어지기 때문에 유동성도 다소 회복되어 weld line이나 flow mark 등의 외관불량이 줄어든다.

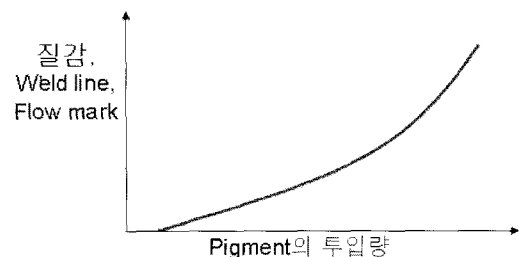
**그림 16**은 안료의 함량과 사출품의 표면질감 및 불량과의 관계를 나타낸 것이다. 동일한 크기일 경우 투입량이 많아지기 때문에 표면질감은 좋아지지만, 함량이 많으면 수지의 유동성이 저하되므로 안료입자와 고분자 유체간의 속도 차이가 더욱 심해지기 때문에 유체의 속도가 떨어지는 weld line 부근이나 flow mark 부근에서 안료입자의 유동이 제대로 이루어지지 않아 빛을 반사할 정도의 안료입자가 없기 때문에 외관불량이 증가한다.

**그림 17**은 안료가 포함된 수지의 유동성과 사출품의 표면질감 및 불량과의 관계를 나타낸 것이다. 수지의 유동성은 단순히 유체의 점도만을 얘기하는 것이 아니라 사출성형에서 충전속도도 중요한 변수이고 사출성형에서 속도를 저해할 수 있는 각종 요인들 예를 들어 gas vent가 효과적으로 작동하는 지와 수지온도와 금형온도 등도 외관품질의 변수가 됨을 의미한다.

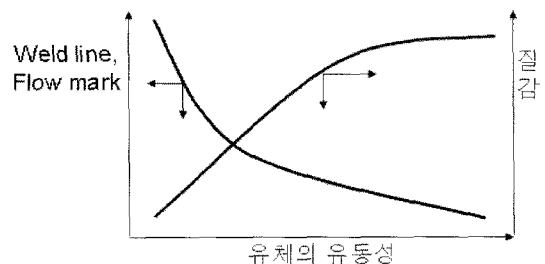
Weld line이나 flow mark 등의 불량이 발생하는 원인에 대해 살펴보면 다음과 같다. 첫 번째 원인으로 **그림 18**과 같이 편상안료가



**그림 15.** 안료의 크기와 외관 성능.



**그림 16.** 안료의 함량과 외관 성능.



**그림 17.** 수지의 유동성과 외관 성능.

weld line 부근에서 제품표면과 평행한 방향으로 배열되지 못하고 오히려 fountain flow에 의해 표면과 수직에 가까운 방향으로 배향되어있기 때문에 이 부위에서 빛을 반사시키지 못하여 그림 19의 좌측 그림과 같이 우리 눈에는 흑색 선처럼 나타난다. 이 부위를 확대하여 뒷면에서부터 빛을 투과시켜서 보면 그림 19의 우측 그림과 같이 안료입자가 없는 부분은 밝게 나타난다. 특이한 것은 수지의 weld line과 안료입자로 인해 흑색선 weld line처럼 나타나는 입자수직배향 부분과는 위치상으로 일치하지 않는다. 이는 수지의 weld line 부근에서 표면층과 내부층에서 좌우측으로부터의 흐름의 차이가 있기 때문으로 추정된다.

두 번째 원인으로 그림 20과 같이 안료입자의 분포 차이가 발생하기 때문이다. 그림의 시료는 판상 안료입자가 아닌 다면체 형상의 안료입자를 사용했는데 weld line 부근에서 판상안료를 사용하지 않았으므로 표면에 수직방향으로의 배향이 나타날 수가 없는데도 안료입자의 개수의 차이가 나타났는데, 비교적 고점도 유체 내에 고체인

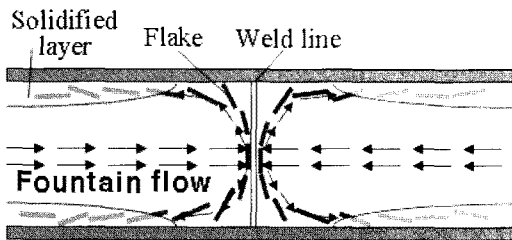


그림 18. Weld line에서의 입자 배향.

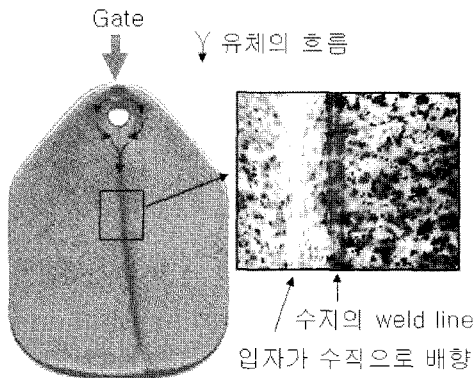


그림 19. Weld line에서의 흑선 원인분석.

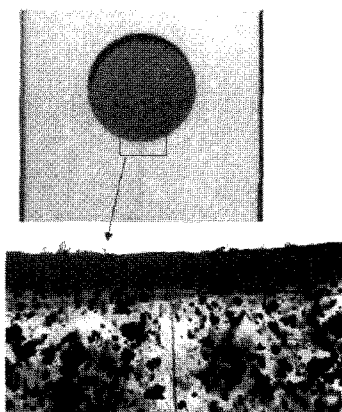


그림 20. Weld line에서 다면체 입자의 분포.

입자가 함께 유동하게 되면 weld line 부근에서 유동성이 좋은 유체는 양방향의 흐름이 만난 직후에도 fountain flow effect에 의해 표면 쪽으로 이동할 수 있지만 점도가 무한대라고 가정할 수 있는 고체 입자는 유동이 현격히 저하되어 weld line 직전부터 접경영역으로 이동하기 어렵고 특히 접경영역에서부터 표면쪽으로는 더욱 이동할 수가 없기 때문에 이러한 입자의 분포 차이가 나타난다.

판상안료의 배향을 개선하는 방법은 2가지가 있다. 첫째는 판상안료와 다면체 안료를 적절한 비율로 섞어 사용하는 것이다.<sup>10</sup> 판상안료는 질감 향상을 위해 사용하고, weld line이나 flow mark 부근에서의 배향성 향상을 위해서는 다면체 안료를 사용하면 weld line이나 flow mark를 현격하게 개선할 수 있다.<sup>10</sup>

둘째는 그림 21과 같이 금형가열 기술을 적용하여 금형표면온도 ( $T_m - 30\text{ }^\circ\text{C}$ )를  $\sim T_m$  정도로 높이고 충전속도를 매우 빠르게 하여 충전함으로써 그림 21의 좌측 아래 그림과 같이 fountain flow의 중심을 변경시켜 판상의 입자가 표면근처에서 표면에 평행하게 배열되도록 한다. 단, 금형가열기술에 약간의 제한이 있다. Pearl color 또는 metallic color용으로 사용하는 투명/내스크래치성 ABS의 경우  $T_m$  범위가  $240\sim 250\text{ }^\circ\text{C}$  정도인데, 금형표면온도를 최소한  $210\text{ }^\circ\text{C}$  이상으로 올려야 하는데, 고온고압열수를 사용하는 RHCM 등과 같은 기술로는 불가능하고, E-Mold와 같이 최대  $350\text{ }^\circ\text{C}$  까지 올릴 수 있는 초고온금형 가열 기술이 개선효과가 있다. 또, pearl color 혹은 metallic color용 투명 PC의 경우는 점도에 따라 다르겠지만 최소한  $250\sim 300\text{ }^\circ\text{C}$  이상을 유지해야 효과가 있다.

Weld line에서의 분포 차이를 개선하는 방법은 weld line에서의 유체 및 안료입자의 유동성을 향상시키는 것이다. 즉, weld line 주변의 금형표면이나 이동측에 gas vent를 잘 설치하여 유체의 흐름을 저해하지 않도록 하는 것과, weld line 부위에 overflow well을 설치하여 보다 더 적극적인 유체흐름을 유도하는 것과, E-Mold 등의 기술을 사용하여 금형온도를 높임으로써 weld line에서의 유동을 더욱 높여야 한다.

이러한 무도장 pearl/metallic color 제품을 성형하기 위해서는 수지의 유동성이 좋아야 하고, 안료입자도 weld line을 최소화할 수 있어야 하며, 금형측면에서 gas vent, overflow well, 복잡한 흐름을 회피할 수 있는 gate system, E-Mold와 같은 금형가열 기술 등으로 유동성 저하를 최소화해야 하며, 사출측면에서는 가능한 한 사출속도를 높여서 유동성 손실을 최소화해야 양품을 생산할 수 있다.

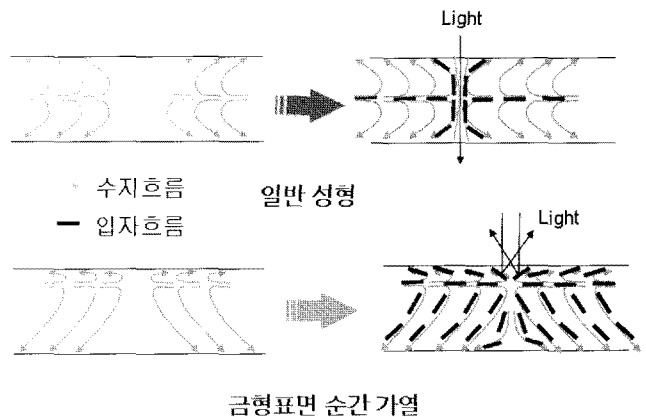


그림 21. Fountain flow와 판상입자의 배향 개선.



### 3.1.2 무도장/무광

자동차의 유리에 플라스틱 내장재 표면이 반사되면 시야를 방해하여 사고의 위험이 크기 때문에 내장재 표면은 일반적으로 무광 도장을 하는데, 도장공정 비용이 성형품의 제조원가 이상으로 높기 때문에 요즘과 같은 글로벌 위기 상황에서는 원가절감의 주요한 대상으로 거론된다. 이를 위해 도장하지 않고도 수지, 금형, 성형조건, 기타 설비 등의 측면에서 신기술을 적용하여 제품의 표면에 무광효과를 균일하게 구현하는 것을 무도장/무광 기술이라고 한다.

수지측면에서는 성형 후 수지의 내부 성분들 차이에 의해 표면에 수  $\mu\text{m}$ 의 요철이 스스로 형성되어 가시광선의 산란을 유발하여 무광 효과를 발현하게 된다. 또한, 수지 자체에 gas가 많으면 이러한 효과 및 금형표면에 밀착되는 전사성을 떨어뜨리게 될 뿐만 아니라 광택 편차 등 각종 문제를 야기하므로 가스 성분이 최소화되어야 한다.

금형표면에 **그림 22**와 같은 embossing 처리를 형상 크기별로 만들어 평가를 하면, **그림 23**과 같이 표면 조도에 따른 광택도를 비교할 수 있다. 가장 무광효과가 좋은 구간은  $2\mu\text{m}$  정도이고,  $1\mu\text{m}$  이하면 수지의 유동성이 충분치 못해 미세한 embossing 부위에 미성형이 발생하여 광택도가 증가하고,  $5\mu\text{m}$  이상이면 빛을 반사할 면적이 넓어지기 때문에 광택도가 증가한다.

**그림 24**는 일반적인 embossing 금형에 일반수지를 사용하였을 때의 광택도를 예시하였다. 산란되는 부위도 있지만 광택이 있는 부위도 있음을 보여준다. **그림 25**는 동일 금형에 무광 수지를 사용할 경우의 광택도를 예시하였다. 대부분의 지역에서 산란이 일어나 무광효과를 확인할 수 있다.

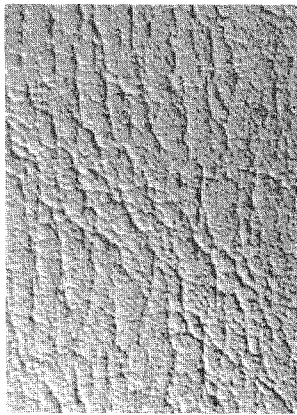


그림 22. Embossing 표면.

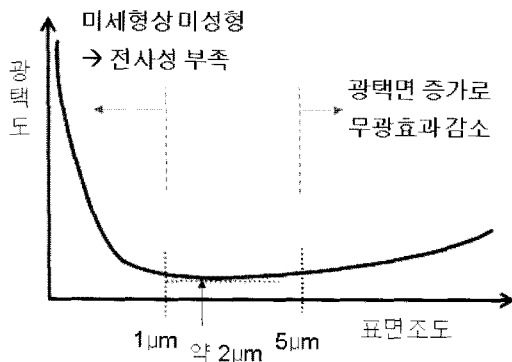


그림 23. 표면조도와 광택도.

무광 제품용 금형의 가스 vent는 통상적인 금형보다 수배 이상 많이 설치해야 한다. 도장하지 않기 때문에 충전 말단에 가스 vent가 제대로 이루어지지 않으면 가스가 물려서 수지의 유입을 방해하기 때문에 금형표면에 밀착되지 못하여 광택도가 증가하기 때문이다.

성형조건 측면에서도 유동성 향상을 위해 충전속도를 빠르게 하고, 수지온도와 금형온도를 가능한 한 높게 해야 한다. 단, 가스 vent 효과를 높이기 위해서 성형조건을 최적화해야 한다. 예를 들어 충전말단 부위에 충전되기 직전까지는 높이고, 직전부터는 충전속도를 낮추어 가스가 배출되는 시간적인 여유를 주는 등 다단충전속도 제어를 하는 것이 좋다.

가스화 과정에서 용융수지내 가스 함유를 최소화하기 위해 screw rpm과 배압도 최적화해야 하고, 가스화 과정 중 수지내 가스를 배출할 수 있는 추가설비(국내 시온테크의 실린더 가스배출기<sup>11,12</sup> 또는 Gaven<sup>13,14</sup> 등)를 사출기에 설치하면 더욱 우수한 무광 제품을 생산할 수 있다.

### 3.2 MuCell

Mucell은 고온고압 가스( $\text{CO}_2$ 나  $\text{N}_2$ )를 수지 내에 용해시켜 고유동 SCF(super critical fluid)를 만들어 충전 후 보압과정에서 이들 가스가 성형품 내부에서 미세발포를 하여 보압이 없이 sink mark나 변형을 개선할 수 있으며, 발포율에 따라 7~15%의 무게감량을 통해 경량화를 달성할 수 있다. 최근에 나온 기술이 아니라 95년말 상업화되기 시작하여 해외 자동차 업체 및 IT/OA업체에서 널리 사용되고 있는 기술인데, 최근에 Mucell과 금형가열기술을 접목한 연구 또는 사출압축성형(core back 방식) 등과 접목한 연구들이<sup>15</sup> 많이 진행되고 있다.

금형가열 기술이 다양한 제품에 적용되고 있는데, 양면 가열 방식을 사용하는 경우가 드물고 주로 제품의 외관면에만 가열하므로 성형 후 변형이 쉽게 발생하고 또한, sink mark를 쉽게 개선할 수 없는 단점이 있다. 따라서, 충전압을 낮추어 잔류응력을 줄이면서 보압과정에서 보압 대신 발포로 수축을 개선할 수 있어서, 미려한 표면을 가지면서도 외관 불량 없는 개선한 대형 제품을 성형할 수 있다.

또한, 발포기체가 성형품 표면으로 나타나 silver streak 등과 같은 외관불량이 쉽게 나타날 수 있는데, 금형가열기술과 접목하게 되면 외관불량을 감출 수 있다. 실험적으로 건조하지 않은 수지를 일반성형으로 사출하면 표면에 silver streak 등이 많이 나타나지만, 금형가

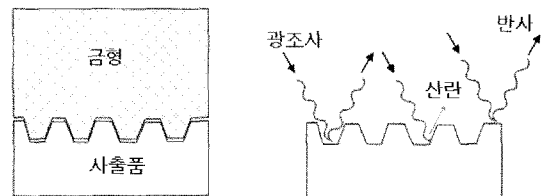


그림 24. 일반수지의 embossing 효과.

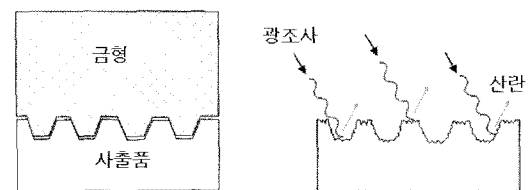


그림 25. 무광수지의 embossing 효과.



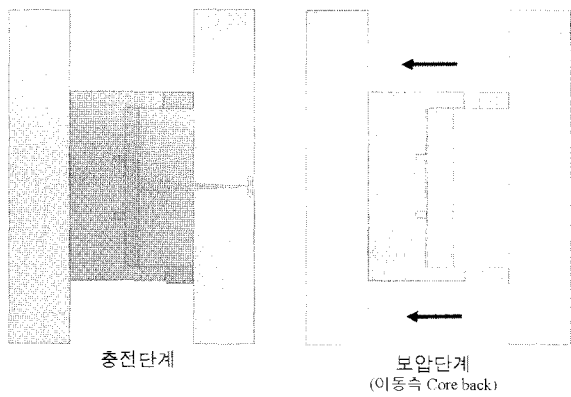


그림 26. MuCell과 core back을 통한 발포 개편.

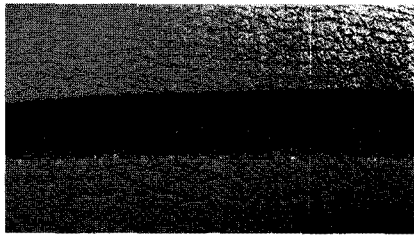


그림 27. Core back 방식으로 발포된 성형품 단면 사진.

열을 하면 건조하지 않은 수지라도 표면에 silver streak 등이 나타나지 않는 현상을 쉽게 볼 수 있다.

이는 차가운 금형표면에 닿은 수지는 고화되기 시작하면서 가스를 포함하게 되고 이후 밀려오는 용융수지에 의해 고화중인 표면의 수지와 가스의 혼합층이 함께 늘어나면서 미세한 백화 현상이 발생하여 silver streak이 나타나는데, 금형온도가 높으면 금형 표면에서 수지와 가스 혼합되지도 않고 혼합되었다고 가스를 둘러싸고 있는 용융 유체의 온도가 높아 점도가 매우 낮기 때문에 혼합가스가 압력이 낮은 지역으로 쉽게 이동할 수 있으므로 안쪽으로 이동하여 표면에는 silver streak 등 가스에 의한 불량률이 낮아진다.

또한, 발포율을 높이는 기술로 금형 내에 SCF 내 가스의 압력보다 높은 압력으로 환경을 만들어 SCF가 금형 내 충전시 표면으로 나오지 않도록 한 후 SCF를 충전하고, 표면층의 일정두께부분이 고화되고 나면 그림 26과 같이 금형을 일정 거리만큼 벌려서 내부의 압력을 매우 낮게 함으로써 고화되지 않은 부분에서 발포를 가속화시킨다.<sup>9</sup> 이렇게 하면 그림 27과 같이 발포율을 높일 수 있는데, 이 기술은 일본과 유럽 등지에서 자동차 내외장재 및 대형품의 경량화 방법으로 상업화되고 있다.

#### 4. 사출성형기술 인증자격제<sup>16</sup>

아무리 좋은 제품과 금형을 설계하고 좋은 설비를 설치하였지만, 사출현장에 근무하는 작업자의 기술수준 및 역량이 부족하다면 제품의 품질은 편차가 클 것이고 제품의 불량률이 증가하여 경쟁력도 저하될 것이다.

앞에서도 얘기하였지만 사출공장의 특성상 3D 직공이란 관념이 있어서 우수한 인력이 꺼리는 분야이다 보니, 이런 문제가 더욱 심화되고 있었다. 그래서, 2005년부터 중소기업연수원, LG전자, LG화학 등

3개 기관에서 협약을 맺어 LG전자의 협력사 중 휴대폰 사출업체의 기술력 강화를 위해, 유사기관들이 해오던 단순한 교육을 벗어나 사출성형기술에 대한 이론과 실무 교육 및 수준별 필기시험, 실기시험, 사례발표 등을 통해 평가를 하여 합격한 경우에 한해 3~1급까지의 기술인증자격증을 부여하는 인증자격제를 실시하였다.

교육 및 필기시험은 사출성형 관련하여 교육/연수를 주로 하는 이들이 운영할 수 있다. 그러나, 사출성형 실기시험과 현장개선 사례발표를 점수화하여 변별력 있게 평가한다는 것은 상당히 해결하기 곤란한 과정이지만, 상기 3개 기관은 이를 훌륭히 수행해내었다.

이러한 교육의 성과는 제도를 시행한 직후 바로 나타나는 것이 아니라 2~3년에 걸쳐서 꾸준히 나타나게 되는데, 2006년말부터 조금씩 나타나기 시작하여 현재는 완전히 안정화되어 LG전자 협력사의 기술 수준 향상에 크게 기여하였고, 자격제에 참가하는 이들의 의식구조 개선에도 큰 전환점이 되어 단순히 사출성형 작업자라는 체념을 극복하고 지금은 제품개발 초기부터 양산관리 및 품질관리까지 제품개발 전반에 걸쳐 다양한 역량을 갖춘 이들로 성장할 수 있게 하였고, 사출성형기술 인증자격제의 효과는 협력사의 기술력 향상 및 수익 향상뿐만 아니라 LG전자 휴대폰 사업분야의 성과창출에 있어서 기술적인 측면에서 기여하였다고 말할 수 있다.

사출성형기술 인증자격제 운영 초기에 일부 업체는 불량률 관리조차 한 적이 없을 정도로 협력사의 기술 및 관리 수준이 낮았지만, 본 제도에 적극 참여함으로써 환골탈태하여 이들 업체가 지금은 LG전자의 프리미엄폰을 개발한 주요 업체로 성장하기도 하였다. 인증자격제를 2005년부터 현재까지 운영한 결과, 3급 및 2급 자격증 취득자가 약 100명 정도로 이들 자격증 취득자들은 소속 협력사에서 주요한 직책을 맡고 있으며, 진급 및 자격 수당에서 그 노력과 성과를 보상 받고 있다.

이러한 과정을 2008년까지는 국내에서만 운영하였고, 글로벌 시대에 맞춰 2008년 말부터 인도네시아 등 해외에 있는 한국업체의 협력사에도 확대 적용하고 있는데, 국내에서 개발된 시장선도 기술과 개발된 제품이 해외생산기지에서도 제대로 생산되기 위해서는 해외에서도 인증자격제와 같은 tool이 활성화되어야 한다.

#### 5. 결론

앞서 살펴본 바와 같이 최근의 기술동향은 10여 년 전에 발표되었지만 용도나 적용 제품군이 한정되어 성장하지 못했거나, 양산화 과정에서 제한적으로 사용되던 과거의 신기술들이 최근 새로운 적용분야를 찾고 또한, 그 사이 발전한 각종 가공기술 및 금형기술 등을 이용하여 다양한 제품으로 적용이 확대되고 있는 추세이다. 특히 현재까지 우리나라가 강세인 IT, OA, display 등의 분야에서 이런 경향이 활발하게 진행되고 있다.

또한, 이런 기술들을 단독으로 적용하게 되면 그 효과도 크지 않지만, 다른 2~3종의 기술과 결합할 경우 설비측면에서는 이전에는 생각하지 못했던 고비용이 투자되지만, 고부가가치 제품을 생산할 수 있는 기술을 축적하여 경쟁력을 갖추으로써 우수한 디자인과 접목하여 시장을 선도하는 제품군들을 볼 수 있다.

신제품이 출시되면 후발업체가 디자인은 복제할 수 있지만, 가공기술과 개발 know-how는 쉽게 복제할 수 없다. 따라서, 디자인과 결합

된 가공기술은 디자인을 복제하기 어렵게 하여 디자인을 보호할 수 있으므로, 경쟁력 강화와 후발업체와의 차별화에 필요한 핵심역량으로서 가공기술을 중요시해야 하고 지속적으로 발전시켜나가야 한다.

### 참고문헌

1. KR-10-0380802, B1 (2003).
2. D. Yao, B. Kim, *SPE ANTEC*, **49**, 607 (2003).
3. D. Yao, B. Kim, *SPE ANTEC*, **49**, 521 (2003).
4. 日本特開2002-210783.
5. USP-6752612, B2 (2004).
6. KR-10-0644920, B1 (2006).
7. KR-10-0470835, B1 (2005).
8. <http://www.e-mold.co.kr/>.
9. <http://www.engelglobal.com/>.
10. KR-10-0789244, B1 (2007).
11. <http://www.zion-tech.co.kr/>.
12. KR-0709576, B1 (2007).
13. <http://www.gaven.co.kr/>.
14. KR-0822479, B1 (2008).
15. S. C. Chen, J. S.Huang, P. S. Hsu. *et al.*, *SPE ANTEC*, **54**, 426 (2008).
16. 조복기, “뿌리깊은 중소기업 바람에 아니될까”, 중소기업진흥공단, 서울, 2008.