

이 병 옥 | 아주대학교 기계공학부, 교수 | e-mail : rhex@ajou.ac.kr

친환경적 기술 개발은 시대적인 요청 사항으로 매우 중요한 의미를 가진다. 이 글에서는 국내 사출성형 관련 산업이 선진국형 산업으로 도약하기 위해 충족해야 하는 기술적인 요구조건뿐만 아니라 친환경적 요구조건에 대해 정의와 평가 범위에 대해 살펴보고 이와 관련된 대표적인 신기술들의 목적과 특징을 간략하게 소개한다.

### 시대적 요청으로서의 친환경적 기술

플라스틱 재료는 인류가 처음 합성하여 사용하기 시작한 지 아직 100년이 되지 않은 유아기적 발전 상태에 있는 재료이다. 그러나 그런 유아기적 상태에 있는 재료가 우리 생활에 침투하고 영향을 주고 있는 범위는 매우 넓고 깊다고 볼 수 있다. 미국 내 플라스틱 관련 산업의 규모는 미국 전체 산업에서 세 번째로 큰 산업이며 GNP의 약 13%가 넘는 규모를 가진 중요한 산업이라고 할 수 있다. 아쉽게도 국내에는 플라스틱 관련 산업이라는 개념이 정립되어 있지 않아 산업 규모에 대한 관련 통계자료가 부족하여 어느 정도 규모인지 알지 못하나 분명히 매우 큰 시장 영역을 차지하고 있음을 부인할 수 없다.

플라스틱 재료 성형법은 매우 다양하고 금속에 비해 낮은 에너지를 소비하는 특징이 있다. 그 중에서도 사출성형 기술은 대량생산에 대한 적합성 때문에 날로 수요가 증가하고 있다. 사출성형 기술을 구성하는 요소 중 금형은 새로운 제품이 개발될 때마다 새롭게 설계하고 제작하여야 하는 요소이며 제품 품질에 1차적인 영향을 주는 매우 중요한 요소로서 산업적으로도 중요한 위치를 차지하고 있다. 제품 품질의 요구조건 수준이 높아짐에 따라 금형에 대한 요구조건 수준 역시 날로 높아지며 관련 기술의 발전도 가속되고 있다. 국내 금형산업은 짧은 역사에 비해 비약적인 발전을 이루어낸 경험을 가지고 있다. 기술 수준이 낮은 상태의 시장 발전을 경험할 때는 양적 팽창에 만족하

겠지만 어느 정도 양적 팽창 속도가 둔화되고 높은 기술 수준을 요구받을 때는 주로 질적인 요구조건을 충족하여야 한다. 현재 국내 금형산업은 바로 이렇게 질적으로 높은 수준을 요구받는 단계에 있다고 판단된다. 이런 상황에서 과연 질적으로 우수한 금형이라는 것이 어떤 기술적인 요소를 갖추어야 하는가를 고민할 필요가 생긴다. 물론 높은 기술 수준의 금형이 요구받았던 전통적인 요소를 갖추어야 함은 말할 필요가 없으나, 시대적인 요구에 따라 새로운 요소에 대한 요구조건이 발생한다.

친환경이라는 낱말은 요즘 누구에게나 친숙하게 들리는 단어가 되었으며 시대적인 요청 사항으로서 누구나 공감하고 있다. 엄청나게 많은 것으로 써도써도 다 못 쓸 것 같았던 석유자원은 이제 바닥을 보이고 있으며 인간이 만들어내는 공해물질을 영원히 정화시켜줄 것 같이 크게 보이던 자연의 능력도 그 한계를 보이고 있는 상황을 우리 눈앞에서 지켜보고 있는 것이 현실이다. 전 지구적인 명제로서의 인류 문명의 지속가능성(Sustainability)은 플라스틱 성형가공을 위한 금형 기술에도 예외가 될 수 없을 것이다. 이런 상황에서 친환경 몰드기술에 대해 우리의 이해와 관련 기술을 정리하여 보는 것이 의미 있는 일이 될 것 같다.

### 친환경 몰드 기술의 정의

종래의 친환경적 이미지는 자연의 보존에 초점이 맞추어져 왔으나, 날고 있는 제트 항공기가 갑자기 엔

진을 끄면 바로 추락하는 것과 같이 현재의 문명을 유지하고 있는 에너지 소비를 급격하게 줄이기가 어려우며 개발과 발전을 원하는 개발도상국의 국민을 무시하고 무조건 자연을 보존하도록 강요할 수도 없는 상황에 있다. 위에서 언급하였듯이 현대의 친환경적인 개념은 자연의 보존이라는 것보다는 인류 문명의 지속가능성에 초점을 맞추고 있다. 인류 문명이 지속 가능하려면 사용되는 에너지 소비가 우리가 자연에서 얻어낼 수 있는 에너지양에 비해 적어야 하고, 배출하는 해로운 물질과 쓰레기의 양이 처리 가능한 수준에서 조절되어야 할 것이다. 친환경적인 몰드 기술을 규정할 때에도 이와 같은 기준이 적용되어야 하는 점에 대해 이해가 필요하고 동의가 필요할 것이다.

특정 기술이 친환경적인가를 규정할 때에도 위와 같은 기준을 적용한다고 하면 에너지 소비량과 불필요하거나 재처리가 필요한 물질을 배출하는 정도를 측정해야 할 것이다. 그렇지만 에너지 소비와 처리해야 하는 배출물질량을 측정할 때 매우 중요한 요소가 측정 범위이다. 과연 제품의 생산 현장에서만 측정된 에너지를 기준으로 삼을 것인지 아니면 생산의 전후 단계에서 소비되는 에너지를 종합적으로 고려할 것인지를 규정해야 하며, 배출되는 물질의 양이 당장은 발생되지 않지만 생산제조 과정에서 발생한 문제점으로 인해 이후 과정에서 배출되는 것이 있는지도 살펴야 할 것이다.

이와 같은 기준을 몰드기술에 적용하여 본다면 어떤 면들이 있을지를 살펴보자. 몰드기술이란 단순히 사출금형을 제조하는 기술만을 몰드기술로 보기는 어렵다. 단순 제작만을 포함하는 기술은 금형제작 기술이라는 범주로 분류할 수 있을 것이고 몰드기술이라고 하면 금형을 사용하여 성형을 하는 관련 기술을 포함해야 한다. 그 중에서도 사출성형과 관련된 기술로 한정하여 살펴보기로 한다. 사출성형 기술을 적용하여 성형하는 제품을 평가할 때 단순히 사출공정만을 평가하는 것은 불합리하다. 사출성형품은 다양한 단계를 거쳐 최종 완성되는 일련의 제조공정과 단계를 순서대로 거치는 특성을 가지고 있어 사출공정을 비

롯한 전후 단계의 에너지 소비와 배출물질 및 소요비용을 종합적으로 고려하여 평가해야 한다. 이렇게 사출성형품을 위한 광범위한 단계를 종합적으로 평가하였을 때, 성형품 설계 시간의 단축과 간편성, 금형 설계와 제작의 합리화, 금형 이동과 보관의 단순화, 생산성 및 품질 향상, 공정 결함 억제, 후공정 제거, 물류비용의 감소, 성형품 사용 후 재활용 비용 절감 등과 같은 점이 친환경적 기술을 평가하는 기준이 되어야 한다.

## 친환경 몰드 기술의 종류와 특징

친환경적 요소를 갖춘 몰드 기술은 매우 다양하고 현재도 계속 개발되고 있지만 국내 환경에서 쉽게 접할 수 있고 적용 가능한 기술을 중심으로 소개한다.

- 형상적응형 냉각회로(conformal cooling channel) 기술
- 금형표면 급속가열 기술
- 대형 경량 금형 최적설계 기술
- 공정 모니터링 기술
- 가스/액상 사출기술
- 재사용 재료(PCM) 가공기술, 순차 게이팅 기술 등

### 형상적응형 냉각회로 기술

종래의 냉각회로는 절삭가공을 통한 방법으로 제작되었다. 절삭가공의 특성과 제약으로 인해 직선 형태의 구멍을 뚫어 서로 연결하는 방식의 냉각회로가 자연스럽게 사출금형 냉각회로의 표준으로 설계되어왔다. 그러나 곡면으로 이루어진 성형품의 냉각을 위해 직선의 냉각관만으로는 많은 제약이 있기 때문에 이를 보완하기 위해 배플관과 버블러와 같은 특별한 형태의 냉각관이 발달하였으나 직선 냉각관에 비해 냉각능력이 현저하게 낮은 단점을 가지고 있다. 이와 같은 문제를 근본적으로 변화한 기술이 형상적응형 냉각회로 기술이다.

형상적응형 냉각회로 기술이란 적층 방식으로 냉각관을 가공함으로써 절삭가공이 가진 특성에 제약 받지 않고 자유로운 냉각회로를 어느 곳이나 설치할 수 있도록 하는 장점이 있다. 성형품의 두께가 다른 부분이나 곡률이 변하는 곳에도 다양한 형태의 냉각회로를 설치할 수 있어 차세대 냉각회로 기술로 인정받고 있다. 적층방식의 가공방법은 다양한데, 현재 가장 널리 사용되는 방식은 금속분말을 레이저를 이용하여 소결방법으로 적층하는 방법이다. 계속 금형에 알맞은 재료가 개발되고 있어 가까운 시일 내에 빠르게 확산될 수 있는 잠재력을 가진 기술이다.

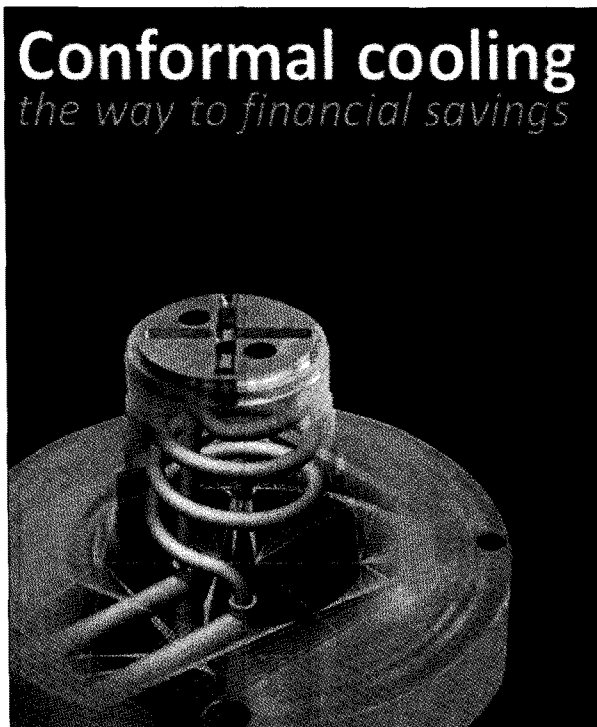
형상적응형 냉각회로 기술을 위한 제조기술은 이미 상업화되어 사용되고 있는 단계이지만, 최적의 냉각회로를 설계하기 위한 기술은 아직 발전의 초기 단계라고 볼 수 있다. 다양한 형태의 냉각회로가 제안되고 적용되고 있지만 정확하게 설계의 표준이라고 볼 수 있는 원리가 제시되고 있지 못하다. 향후 이에 대한 연구가 활발하게 이루어질 필요가 있다.

### 금형표면 급속가열 기술

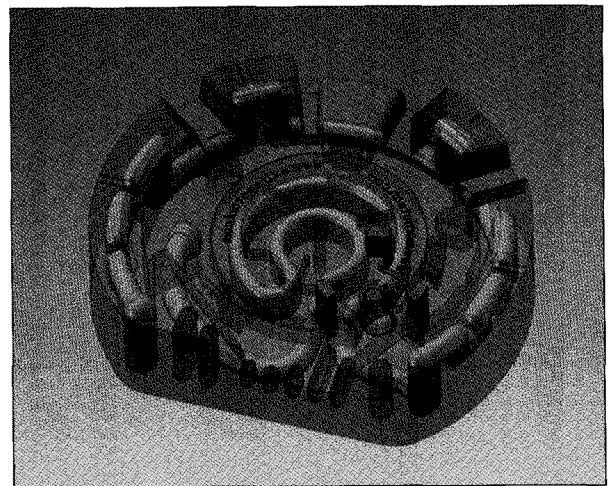
수지 재료가 금형을 충전할 때 금형 표면온도에 따라 성형품 표면의 상태가 결정된다. 특히 금형 표면 특징을 정확하고 정밀하게 전사할 필요가 있을 때 낮은 금형 표면온도는 저해요소로 작용한다. 금형 표면온도가 낮을 때 나타나는 성형 결함 중 외관 품질에 치명적인 것이 웰드라인이다. 웰드라인은 성형품 표면에 형성된 미세한 노치가 완전히 봉합되지 못함으로써 외관상 줄처럼 보이는 결함이 나타난다. 이처럼 금형 표면온도가 낮을 때 발생하는 다양한 문제점을 해결하기 위한 기술이 금형표면 급속가열 기술이다.

금형 표면온도를 높이기 위한 가장 쉬운 방법은 금형의 냉각수 온도를 높여 금형 전체 온도를 높이는 방법이지만 이 방법은 길어지는 사이클 타임과 낮은 충전중량으로 현실적이지 못한 단점이 있다. 금형표면만을 짧은 시간 내에 가열하여 수지가 금형 내에 충전되는 동안만큼만 높은 금형 표면온도를 형성하고 이후에는 냉각수에 의해 냉각되도록 하여 사이클 타임을 길게 하지 않으면서도 높은 금형 표면온도를 만들어주는 방법이 금형표면 급속가열 기술의 핵심적 사항이다.

금형표면만을 급속하게 가열하기 위한 방법으로서 화염, 고온 스팀, 전열 히터, 전자기 유도발열, 원적외선 히터, 레이저 등 다양한 방법이 개발되었고 시험적으로 사용되고 있으나 현재 상용화되어 널리 사용되



(a)



(b)

그림 1 형상적응형 냉각회로(출처: a-www.www.konformnichlazení.cz; b-www.www.timecompression.com)

는 방법은 그 중 몇 가지가 되지 않는다. 고온 스팀, 전열 히터, 전자기 유도발열 등이 상업적으로 활발하게 적용되고 있는 대표적인 방식이다. 가열 방식에 따라 적절한 장단점이 있어 성형품의 크기, 표면의 곡률 등에 따라 적용하는 방식에 차이가 있다.

#### 대형 경량 금형 최적설계 기술

사출금형을 설계할 때, 구조적인 점을 검토하여 설계가 이루어지는데, 캐비티 내부에서 발생하는 압력이 시간에 따라 매우 복잡한 상태를 보이고 있어 금형 각부에 걸리는 응력을 정확하게 예측하기는 매우 어렵다. 따라서 단순한 압력 상태를 가정하여 상한값을 기준으로 구조설계를 하게 된다. 모든 사출금형이 구조설계를 거치는 것은 아니고 유사한 성형품과 금형에 대해서는 경험적으로 결정된 치수를 기준으로 설계하는 것이 일반적인 상태이다. 사출 성형품의 크기가 날로 커지고 요구되는 정밀도가 높아지는 상황에서도 금형의 구조설계는 크게 달라지지 않은 상태로 이루어지고 있다고 볼 수 있다. 그러나 금형이 대형화할수록 과거에는 문제가 되지 않았던 문제점들이 나타나고 있다. 사출성형 압력이 증가되며 구조적인 강성의 부족으로 버가 발생하면 성형 이후 공정에서 버를 제거하기 위해 많은 인력이 투입됨으로써 제품의 경쟁력이 약화된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 방법으로 금형의 구조강성을 단순한 방법으로 높이려면 금형 중량이 늘어난다. 증가된 금형 중량은 물류비용의 증가, 금형 이동시설의 중량 한계 증설 등 관련되는 문제점이 다시 제품의 원가를 증가시켜 경쟁력 약화의 요인으로 작용하게 된다.

사출성형품 설계와 금형설계에 폭 넓게 이용되고 있는 사출성형 CAE 해석은 날로 정밀도가 향상되고 있다. 그러나 아직 금형의 구조설계를 위한 업계의 노력은 크게 달라진 것이 없다고 볼 수 있다. 위에서 설명한 대형 금형의 문제점을 해결하기 위해서는 사출성형 CAE 해석과 구조해석을 연계한 한 단계 높은 금형설계 기술을 개발할 필요가 있다. 금형의 구조를 최적화하여 경량이면서도 필요한 구조 강성을 보장할

수 있는 대형 금형은 그 자체로서 성형품 경쟁력을 향상할 수 있을 것이다. 이를 위해 필요한 요소 기술은 이미 타 분야에서 발전된 상태이다. 다만 이들을 적절하게 조합하고 연결하여 대형 경량 금형에 대한 최적 설계 기술로 발전시키고, 현장에서 활발하게 적용하여 사용할 수 있도록 자동화 하는 것이 필요하다.

#### 공정 모니터링 기술

종래에는 사출성형 기술을 활용하는 제품이 주로 저가의 제품에 국한되었다. 그러나 사출성형의 대량 생산에 대한 장점 때문에 점점 고가 제품의 생산에 사출성형 기술이 활용되고 있다. 제품의 품질을 극대화하고 생산의 균일성을 확보하기 위해 생산제조 과정에 센서를 활용하는 모니터링 기술이 적용되었다. 타 산업 분야에서도 고부가가치 제품 생산에서는, 다양한 방법으로, 제조 과정을 센서를 활용한 모니터링 기술을 적용하였다. 작업자의 경험과 감각에 의존한 제조 과정보다는 정확한 정량적 측정을 통한 평가 방법을 적용함으로써 제조과정의 효율이 비약적으로 증가하였고 생산성 또한 획기적으로 증가하였다. 모니터링 기술을 적용함으로써 얻을 수 있는 또 다른 이득은 제조 과정에 문제가 발생하였을 때 원인 분석을 위한 기본적인 자료를 제공하여 발생된 문제를 조기에 해결하는 데 결정적인 도움을 준다는 점이다. 사출성형 공정은 사이클 타임이 짧아 매우 빠른 공정이라고 볼 수 있는데 대량으로 생산된 제품의 불량률이 어느 시점에서 어떤 원인에 의해 발생하였는지를 확인하기 매우 어려운 특징이 있다. 모니터링 기술은 이러한 문제점을 개선하여 균일하고 높은 품질의 성형품을 제조하는 데 큰 도움을 준다.

현재까지 적용되었던 모니터링 대상은 주로 수지의 압력과 금형의 표면온도 등이다. 그러나 모니터링 기술을 확대 적용할 수 있는 대상은 이보다는 훨씬 다양하다. 예를 들어 금형의 구조적인 변화를 측정하기 위해 스트레인 센서를 적용하여 금형의 특정 부위의 변형을 모니터링 할 수도 있고, 성형품 두께를 균일하게 성형하는 경우 금형 형합면의 압력이나 변형을 측정

하여 전체적인 균형을 모니터링 할 수도 있다. 금형에서 발생하는 변화의 시간적인 차이는 아무리 경험 많은 기술자라고 하더라도 쉽게 알아내지 못한다. 사람의 기억에 의존한 공정관리는 더 이상 높은 수준의 요구조건을 충족할 수 있는 수단이 되지 못하기 때문에 이를 위한 적절한 모니터링 기술의 활용이 필요하다.

가장 쉽게 적용할 수 있는 모니터링 기술의 하나로써 온도관리가 있을 것이다. 금형의 온도는 제품 표면과 잔류응력으로 인한 변형을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 센서를 이용하는 방법으로 온도를 측정하지 않은 상태에서 작업자의 경험만으로 온도 변화를 알아낼 수는 없다. 모니터링 기술에 대한 업체의 확신이 부족한 것은 해당 업체가 다른 업무 영역에서도 정량적인 측정에 의한 수치적 관리를 하지 않고 있기 때문에 모니터링 기술이 가져다주는 개선점을 이해하지 못하기 때문이다.

### 가스/액상 사출기술

플라스틱 수지의 중요한 특성 중 낮은 열전달계수는 사출성형품 두께를 두껍게 설계하지 못하도록 하는 근본적인 요인이다. 얇은 두께를 가진 사출성형품의 길이가 매우 긴 경우 높은 압력강하로 인하여 보압이 제품 말단부까지 쉽게 전달되지 못함으로써 수축량이 증가한다. 수축량이 증가하면 결과적으로 금형 표면의 전사성도 낮아지고 제품 내부에 잔류응력도 증가하여 제품의 휨 변형 등을 증가하는 결과를 만든다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 발전한 기술이 가스/액상 사출기술이다. 플라스틱 수지를 금형에 주입하면서 적절한 시기에 가스 혹은 물과 같은 액상 재

료를 주입하면 주입된 가스 혹은 물은 아직 고화되지 않은 중심부를 따라 확장되며 흐르며 중심부에 빈 공간을 형성한다. 낮은 밀도를 가진 gas와 물은 제품 내부 깊은 곳까지 침투가 가능하여 압력을 멀리까지 전달함으로써 균일한 압력이 금형 전체에 가해지도록 도와주는 역할을 한다.

가스를 이용한 사출기술이 먼저 개발되어 보급되었으며 바로 많은 가전제품 외관의 성형과 종래에는 생산하기 매우 어려웠던 두꺼운 제품을 생산할 수 있게 되었다. 이어 최근에 물을 사용한 사출기술이 개발되어 보급되는 초기 단계에 있다. 물은 gas와 달리 열용량이 커서 gas가 제공하지 못하는 냉각효과까지 있어 가스 사출기술이 적용되던 제품과는 다른 제품의 개발에 적용되고 있다. 특히 속이 균일하게 빈 파이프 제품은 외관뿐만 아니라 내부의 치수 균일도도 높게 요구되는데 이러한 제품에는 물사출기술이 활용되고 있다. 아직은 국내 업계에 보급률이 낮은 상황이지만 적절한 대상 제품의 수요가 증가함에 따라 큰 성장 잠재력을 가진 기술로 평가된다.

### 기타 친환경 몰드 기술

이상으로 소개한 다양한 친환경적 기술 이외에도 다양하고 많은 기술이 있으나 모두 소개할 수 없는 아쉬움이 있다. 친환경적 기술은 앞으로도 까다로워지는 제품의 요구조건과 높아지는 시장 경쟁 환경에 따라 계속 개발되고 발전될 것이다. 제품 생산을 위한 과도한 에너지 소비와 해로운 물질의 배출량은 어떤 환경에서도 용인되지 못할 것이며 경쟁력을 상실하게 될 것이다. 과거에는 어떤 방법을 사용하건 빠르게 대량으로 제품을 생산하는 방법이 선호도가 높았으나 점점 친환경적 요구조건을 충족시키지 못하는 기술은 빠르게 도태될 것으로 믿는다. 과거와 같이 낮은 원가로 빠르게 생산하는 것이 중요한 것이 아니라 앞으로는 원가도 낮고 빠르면서도 스마트하게 생산하는 방법을 개발하는 것에 초점을 맞추어야 하며 친환경적 인가를 판단하는 범위도 제품 설계단계부터 폐기 및 재활용 단계까지도 포함하여 판단하여야 한다.

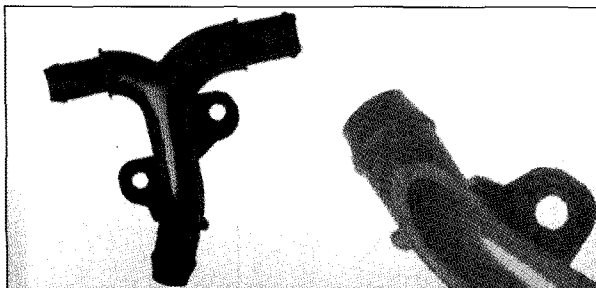


그림 2 물사출 기술을 적용한 자동차용 사출성형 파이프  
(출처: www.hrsflow.com)