

## Conformal Cooling Channel 의 구조물 제작

이창우\*(한국기계연구원 지능기계연구센터), 서정훈, 우성식, 김대중(인스텍)

### Conformal Cooling Channel Manufacturing for the Die

C. W. Lee(KIMM), J. H. Suh, S. S. Woo, D. J. Kim(InssTek)

#### ABSTRACT

The plastic injection molding industry is increasing pressure to reduce the cycle time in order to improve the productivity. The time of a cooling die is a large part of the cycle time. The conformal cooling channels can reduce the cooling time effectively as compared with conventional production die. It is hard to make the die with a conformal cooling channel by the conventional method. This paper introduces the method of a conformal cooling channel manufacturing by the DMT (Direct Metal Tooling) that is a new technology.

**Key Words** : DMT(Direct Metal Tooling), Conformal Cooling Channel, DMM(Direct Metal Manufacturing 직접금속조형)

#### 1. 서론

산업전반에 걸쳐 제품의 외관은 플라스틱 사출로 제작된 경우가 많다. 특히 21 세기 들어서면서 제품의 디자인이 강조되면서 외장은 단순히 제품을 보호하는 차원을 넘어 제품구매의 중요한 요소가 되고 있다. 때문에 플라스틱 사출은 단순한 형태에서 Art Surface 를 가지는 복잡한 형태가 많이 나타나고 있다. 플라스틱 사출 생산공정은 고온의 재료가 용융되어 금형에 접하게 되어 금형의 온도가 상승하게 되고 다음 사출공정을 위해서는 일정온도 이하로 냉각되어야 한다. 사출공정 Cycle Time 에서 금형냉각에 소요되는 시간이 매우 큰 비중을 차지하고 있어 이를 줄이기 위해 Cooling Channel 을 금형 안쪽에 삽입하는 방법을 사용하고 있다. 그런데 기존의 방법은 금형제작이 끝난 후 드릴을 이용하여 직선으로 제작하는 방법 밖에는 없어 실제로 온도가 가장 많이 상승하는 금형표면에 근접한 Cooling Channel 을 제작하는 것은 불가능해서 효율적인 냉각이 어렵다. 사출은 생산성이 40% 정도 증가하면 이익은 2.5 배 정도인 100% 정도 증가한다는 통계가 있다. 본 연구에서는 새로운 금속가공방법인 직접금속조형 기술을 이용하여 Conformal Cooling Channel 제작의 기본기술을 구현하였다.

직접금속조형기술은 1980 년대 말에 상용화에

성공한 Rapid Prototyping(RP)의 발전된 기술이라 할 수 있다. RP 기술은 3 차원 CAD 데이터를 광경화성 수지, 플라스틱, 왁스, 종이, 녹말 등의 비 기능성 소재를 이용하여 형상화 하는 작업으로 제품의 개발단계에서 발생하는 설계오류 및 시행착오를 줄이는 방법으로 주로 사용되었다. 대표적인 RP 기술에는 Stereolithography, 3D Printing, Fused Deposition Manufacturing(FDM), Laminated Object Manufacturing(LOM) 등이 있다. 금속을 직접 제작할 수 없는 RP 의 기술을 일부 보완한 기술로 등장한 기술이 Rapid Tooling(RT)다. RT 는 RP 의 모형을 가지고 분말야금이나 주조 등의 2 차 공정을 이용하여 시작금형이나 간이 금형 등을 제작할 때 사용된다. RT 도 그 방법에 따라서 Silicon Rubber Tooling, Direct AIM Tooling, Aluminum-Filled Epoxy Tooling, Sprat Metal Tooling, Cast Kirksite Tooling, 3D Keltool 등이 있다. RT 는 RP 의 모형을 기본으로 가공하는 간접 가공방식으로 새로운 실험상 직접조형기술 개발이 요구되어 레이저를 이용한 직접금속조형이 개발되었다. 레이저 직접금속조형기술은 고출력레이저를 이용하여 분말형태의 금속을 RP 처럼 3 차원 CAD 데이터를 이용하여 녹여 붙이는 방식이다. 레이저 직접조형기술은 미국을 중심으로 대략 1990 년대 중반부터 활발히 연구가 진행되어 2000 년대 사업화를 추진하고 있다. 대표적인 기술로는 미국

산디아 국립연구소의 Laser Engineered Net Shaping(LENS), 미국 미시간 대학의 Direct Metal Deposition(DMD), 미국 오스 알라모스 국립연구소의 Directed Light Fabrication(DLF), 미국 AiroMet 사의 Laser Additive Manufacturing(LAM) 기술 등이 있고 한국에서는 인스텍에서 Direct Metal Tooling(DMT) 기술이 개발되었다. 대부분 기술의 기본원리는 동일하고 구현하는 방법에서 약간의 차이를 가진다. 이러한 직접금속조형 기술을 이용한 Conformal Cooling Channel 를 가지는 사출금형은 생산성 향상에 큰 역할을 담당할 것이다.

## 2. 직접금속조형 기술개요

### 2.1 기본원리

DMT 기술은 Fig. 1 에 나타난 것처럼 3 차원 형상은 2 차원의 단면으로 이루어지고 이 단면에 따라서 얇은 금속 층을 쌓아 올리는 공정인 Materials Incess Manufacturing(MIM)을 기본으로 하고 있다. 2 차원 단면은 제작하고자 하는 3D CAD 로부터 쉽게 얻을 수 있으며 이 기술은 RP 의 기본적인 개념이기도 하다.

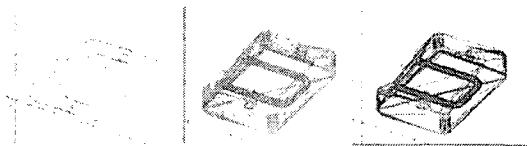


Fig. 1 Schematic diagram of MIM process

Fig. 2 는 DMT 기술의 개념도 2 차원 단면으로부터 얻은 데이터로부터 CAM 데이터로 변환하여 레이저를 이용하여 DMT 공정이 수행되는 개략도를 나타낸다. CAD 단면과 일치하는 금속 층을 쌓는 방법은 물리적으로 레이저를 이용하여 표면을 Cladding 하는 방법과 동일하며 Fig. 3 에 나타나있다. Fig. 3 에서 보는 것처럼 고출력 레이저가 금속표면에 집광되면 순간적으로 용융 풀(Melt Pool)이 생성되고 외부로부터 금속분말이 공급되어 금속표면에 Cladding 비드를 생성하게 된다. 레이저의 경로는 3D CAD 로부터 생성된 2 차원 면으로부터 CAM 을 통해서 생성된 Tool Path 에 따라 이동한다. 이 경우 표면의 기계적 성질을 향상시키기 위해서 한 번이나 두 번 정도로 끝나는 단순한 Cladding 과는 달리 DMT 의 경우에는 3 차원 형상에 따라서 반복해서 쌓아야 하므로 정밀한 Cladding 높이 제어

되지 않을 경우 중첩에러가 발생하여 원하는 형상을 얻을 수 없다. DMT 기술에서는 CCD 카메라를 이용한 용융 풀의 높이를 실시간으로 측정하고 보정하는 시스템을 개발하여 Cladding 높이를 제어한다. 직접금속조형에서 중요한 요소기술 중에 하나인 분말공급 장치는 "Lateral Powder Feeding" 방식과 "Coaxial Powder Feeding" 방식이 있는데 DMT 에서는 Cladding 이송방향과 성능이 무관한 후자를 채택하였다. DMT 공정에서는 고출력의 레이저를 사용하여 용융 풀을 만들므로 용융 풀과 가까운 노즐을 열로부터 보호하기 위해서 수냉식으로 열을 식힌다. 또한 레이저에 의한 열로 용융 풀이 산화되는 것을 방지하기 위해서 공기와 접촉되는 것을 방지해야 한다.

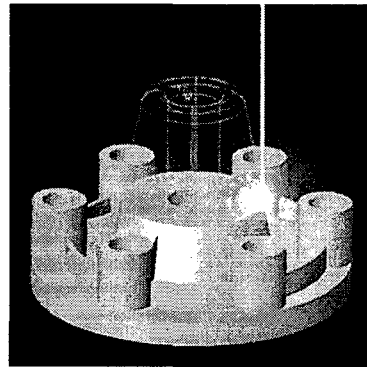


Fig. 2 Schematic diagram of DMT process

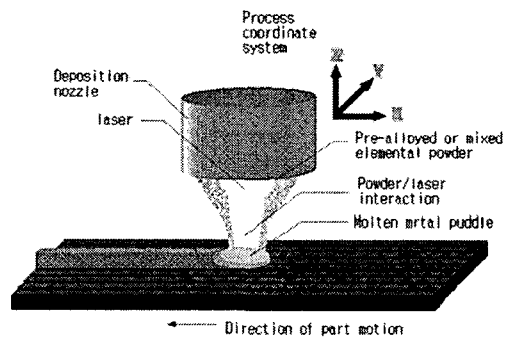


Fig. 3 Schematic diagram of laser cladding process

Fig. 4 는 DMT 기술을 이용 임펠러를 제작하는 과정을 보여준다. 이때 사용한 합금은 열간 공구강인 SKD 61 종(H13)이 사용되었다. DMT 기술은 앞에서 설명한 것처럼 기존의 절삭이나 선삭과 같이 벌크로부터 필요 없는 부분을 깎아나가는 가공과는 반대로 필요한 부분을 적층하여 만드는 방법이다. 이러한 가공방법의 차이로 기존에 가공방법으로는

불가능한 형태의 제품제작이 가능하다. 그 하나의 응용이 본 연구에서 수행한 Conformal Cooling Channel 이다. 또한 DMT 공정에서 조형에 사용되지 않은 금속분말은 회수하여 사용할 수 있으므로 재료의 손실을 최소화 할 수 있다. 티타늄 같이 매우 고가의 재료를 사용 할 경우는 큰 장점이된다.

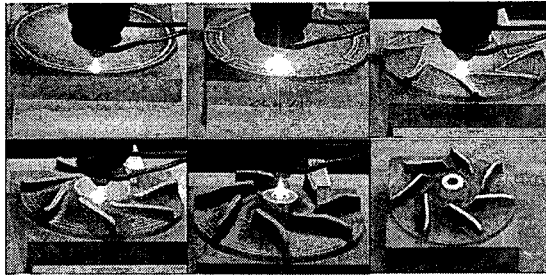


Fig. 4 Building-up process of an impeller by DMT

## 2.2 응용분야

DMT 는 다양한 합금소재 사용이 가능하면서 조형속도가 절삭가공과 달리 합금의 종류와 무관하다. 이러한 특징으로 난삭제인 공구강, 초합금, 티타늄 등의 가공이 절삭가공에 비해 매우 유리하다. 또한 이러한 난삭제들은 보통 가격이 고가인데 앞에서 말한 바와 같이 조형에 사용되지 않은 분말은 회수하여 사용이 가능하므로 매우 경제적이다. 이러한 이유로 금형이나 항공우주산업분야나 의료산업에 많이 사용되는 티타늄 제품에 적용된다. 공정상의 특징으로 국부적으로 용융된 후 급속하게 냉각되면서 Grain Microstructure 가 미세해지고 이것은 기계적 물성을 향상시킨다.

DMT 는 금속분말을 혼합하여 새로운 합금을 만들거나 공정 중에 분말을 교체 할 수 있어 부위별로 기능별로 다른 소재를 사용할 수 있다. 플라스틱 사출에 냉각효과를 높이기 위해서 안쪽에는 열전도도가 우수한 금속을 사용하고 바깥쪽은 강성이 우수한 금속을 사용할 수 있다.

DMT 는 기존의 CNC 절삭가공에 의해서 제작되는 제품에 적용됨은 물론이고 Inside-Out? 방식으로 가공되기 때문에 기존 가공방법으로는 불가능한 공정에 응용될 수 있다. 본 연구에서 시도한 내부에 복잡한 Cooling Channel 을 생성하거나 열전대 같은 센서를 특정 부위에 삽입된 제품을 만들 수 있다. 또한 Additive Material Deposition 방식이므로 금형의 리모델링이나 수리가 가능해진다. 금형의 손상 부위나 리모델링 되어야 하는 부분을 절삭가공 등의 방법으로 제거하고 그 위에 다시 DMT 공정을 이용하여 금형을 보수 또는 리모델링 할 수 있

다.

## 3. 실험장치

Fig. 5 는 본 연구에 사용된 DMT 실험장치를 나타낸다. 행정은 1000×800×600 이고 위치 분해능은 가변 되는 형태의 엔코더와 모터 드라이버가 사용되었고 본 연구에서는 1 μm로 셋팅 되어있다. 안내기구는 정밀 LM 가이드가 사용되었고 서보 모터는 AC 서보 모터가 사용되었다. 볼스크루는 더블너트 방식으로 백래쉬를 최소화 하는 방향으로 디자인 되었다. 베이스는 주물로 제작되어 전체적인 안정성을 높였고 전체적인 구조는 테이블 이동형 방식을 채택하여 대형 부품에 대한 대응성을 높였다. 레이저는 3 kW급의 PRC CO<sub>2</sub> 레이저가 사용되었고 분말공급장치는 3 종류의 분말을 선택할 수 있는 구조로 제작되어 이종의 재질로 제작이 가능하다.

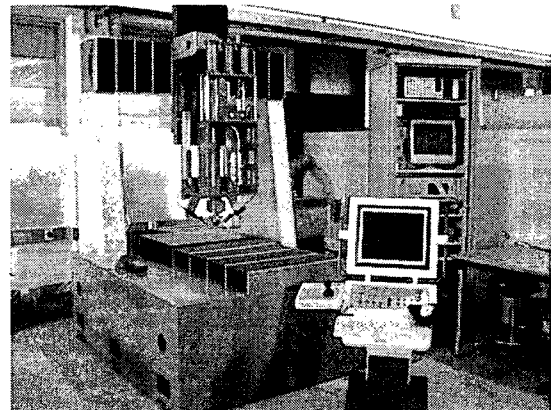


Fig. 5 DMT equipment

DMT 공정은 고출력의 레이저를 사용하여 용융 풀을 만들므로 고열이 국부적으로 발생한다. 특히 노즐은 용융 풀과의 거리가 10 mm 정도로 매우 가까워 열 손상을 받을 가능성이 높다. 특히 반사도가 높은 니켈과 같은 성분이 많이 함유된 합금을 사용할 경우에는 레이저가 반사되어 그 영향은 매우 커진다. 때문에 노즐은 열전도도가 우수한 구리나 황동을 사용한다. 본 연구에서는 열전도도는 구리에 비해서 떨어지지만 가공성이 우수한 황동을 사용하였고 수냉식 채널을 노즐 안쪽에 설치하였다 Fig. 6 는 노즐부분과 용융 풀의 높이를 측정하기 위해 설치한 CCD 카메라를 보여준다. Cladding 높이를 제어하기 위해 설치한 CCD 카메라는 시각에 의해서 측정되지 못하는 현상을 방지하고자 2 대를 설치하였다. 역시 CCD 카메라 앞부분도 열에 의한

손상을 방지하고자 수냉식으로 냉각한다.

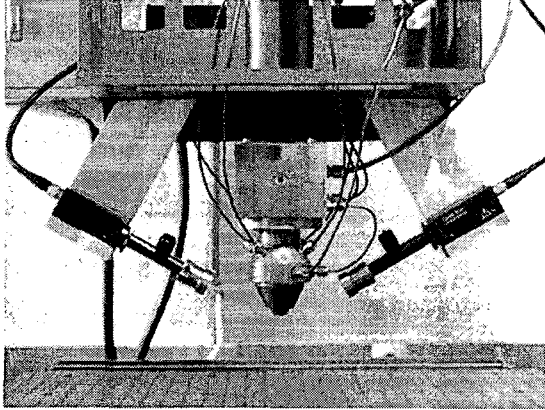


Fig. 6 Nozzle and CCD camera

Cladding 높이를 제어하기 위해서는 CCD 카메라를 이용한 정밀한 측정과 레이저 Power 제어와 더불어 금속분말의 공급이 일정하게 이루어져야 한다. 본 연구에서는 이러한 기능을 가지는 새로운 Powder Feeder 를 개발하였다. Powder Feeder 개발에 어려운 점은 기구부가 움직이기 위해서는 상대운동이 발생하는데 이 사이에 금속분말이 끼어 원활한 운동이 일어나지 않거나 Lapping 효과가 나타나 상대운동 부분이 마모되어 수명이 짧아진다. 본 연구에서 개발된 Powder Feeder 는 이러한 현상을 방지하고자 금속분말 자중에 의해서 Scraping 되는 방식을 사용하여 문제를 최소화 하였고 기본 구조는 Fig. 7 에 나타나있다.

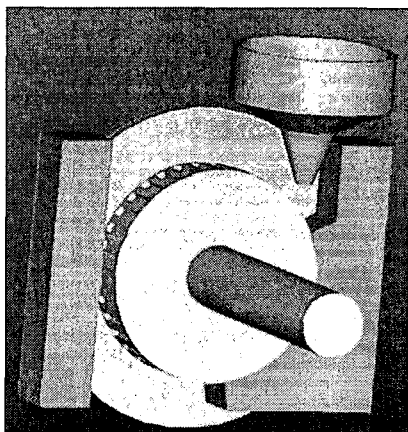


Fig. 7 Schematic diagram of a powder feeder

수직으로 설치된 호퍼에서 금속분말은 물과 같은 유체와 달리 입구가 막히면 더 이상 흘러내리지

않게 된다. Fig. 7 에서와 같이 호퍼에 담긴 금속분말은 홈이 나있는 디스크와 벽사에 쌓여 호퍼의 입구를 막게 되어 일정 높이 이상으로 분말이 쌓이지 않게 된다. 금속분말은 디스크의 홈에 끼어들어가게 되고 디스크가 시계 반대방향으로 회전하면서 디스크 표면에 있는 금속분말은 자중에 의해서 자연적으로 Scraping 되고 홈에 있는 분말만 퍼 올려져 Feeder 밖으로 배출된다. Fig. 8 은 Powder Feeder 디스크를 구동시키기 위한 모터의 입력전압과 1 분당 분말 양과의 관계를 나타내는데 최소 자중법으로 구한 1 차 곡선과 비교해서 최대 오차가 40 mg 정도로 매우 우수하다.

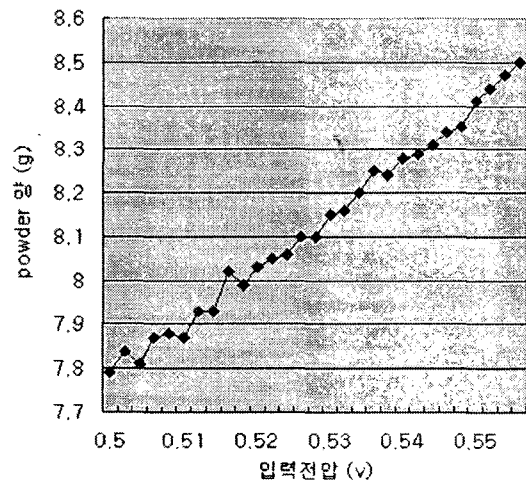


Fig. 8 Powder feeder performance

#### 4. Conformal Cooling Channel 제작

플라스틱 사출성형 산업에서는 다른 산업에 비해서 생산성 향상이 이익에 많은 영향을 준다. 생산성 향상을 위해서 사출성형공정 Cycle Time 에서 간장 긴 시간을 요구하는 냉각시간을 줄이기 위한 노력이 계속 진행 중이다. 그 중 하나의 방법이 금형내부에 수냉식 Cooling Channel 을 삽입하는 방법으로 Fig. 9 는 기존에 사용된 방법을 도식적으로 나타낸다. 기존방법은 금형 제작이 끝난 후에 드릴 작업에 의해서 직선방향으로 한정된 Cooling Channel 을 구성하였다. 이 경우 Cooling Channel 은 고온의 플라스틱과 접해 온도가 가장 많이 상승하는 금형 표면과는 거리가 떨어져 효율적인 냉각은 물론 불 균일한 냉각으로 금형이나 사출물에 열응력을 발생시키는 원인이 되기도 한다. Conformal Cooling Channel 은 도식적으로 나타난 Fig. 10 처럼 금형 표면에 일정거리를 두고 Cooling Channel 이 제작되므로 금형을 효율적으로 냉각시킴은 물론 냉각

으로 인한 열응력 발생을 최대한 억제할 수 있다.

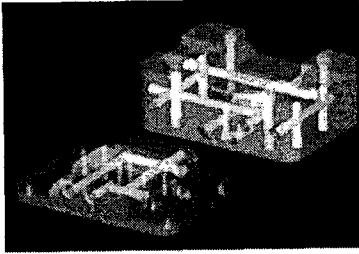


Fig. 9 Conventional Cooling Channel

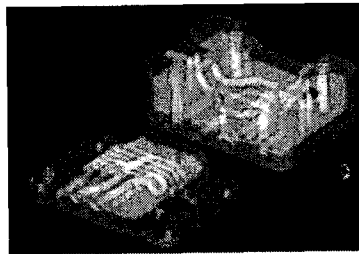


Fig. 10 Conformal Cooling Channel



Fig. 11 Process of a conformal cooling manufacturing

본 논문에서는 열전도성과 연신율이 우수하여 제작하기 용이한 동관을 사용하여 Conformal Cooling Channel 을 제작하였고 Fig. 11 은 제작과정을 나타낸다. 제작과정은 CAD 를 이용하여 Conformal

Cooling Channel 을 생성하고 DMT 공정을 이용하여 동관의 반지름 두께로 쌓아 올린다. 동관을 Cooling Channel 에 맞게 가공하여 삽입하고 다시 DMT 공정을 이용하여 나머지부분을 완성한다.

## 5. 결론

본 연구에서는 DMT 의 전반적인 기술과 장비를 직접 제작하고 동관을 이용하여 2 차원 Conformal Cooling Channel 을 제작하여 실제 금형에 사용될 수 있는 3 차원 Conformal Cooling Channel 제작을 위한 기초 연구를 수행하였다. 3 차원 Conformal Cooling Channel 제작을 위해서는 5 축 DMT 장비가 요구되는데 지금 제작된 장비는 3 축으로 장비 개선이 요구된다. 또한 실제 금형에 적용하여 외국에서 보고한 바와 같은 성능향상에 대한 검증이 필요로 하다

## 참고문헌

1. T. Wohlers, Wohlers Report 2002, "RP&T State of the Industry Annual Worldwide Progress Report," Wohlers Associates, Inc.
2. T. Wohlers, Wohlers Report 2004, "RP&T State of the Industry Annual Worldwide Progress Report," Wohlers Associates, Inc.
3. 양동렬, 기계기술, 12 월호(1995) p 10.
4. 지해성, 서정훈 "레이저 직접고속조형(DMM)기술에 의한 금형제작 및 보수," 한국 정밀공학회지, 춘계학술대회 논문집, pp. 104-107, 2002
5. Laser Surface Treatment of metals, San Miniato, Italy, 2-13 Sept. 1985, pp. 545-549